

**GOBIERNO DE  
MÉXICO**



# Programa Hídrico Regional 2021-2024

Región Hidrológico-Administrativa  
XII Península de Yucatán

**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



**CONAGUA**  
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

**GOBIERNO DE  
MÉXICO**



Programa Hídrico Regional 2021-2024  
Región Hidrológico-Administrativa  
XII Península de Yucatán

Comisión Nacional del Agua

PROGRAMA HÍDRICO REGIONAL 2021-2024

REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA XII PENÍNSULA DE YUCATÁN

D. R. © Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales  
Ejercito Nacional número 223, colonia Anáhuac,  
C. P. 11320, Miguel Hidalgo, Ciudad de México.

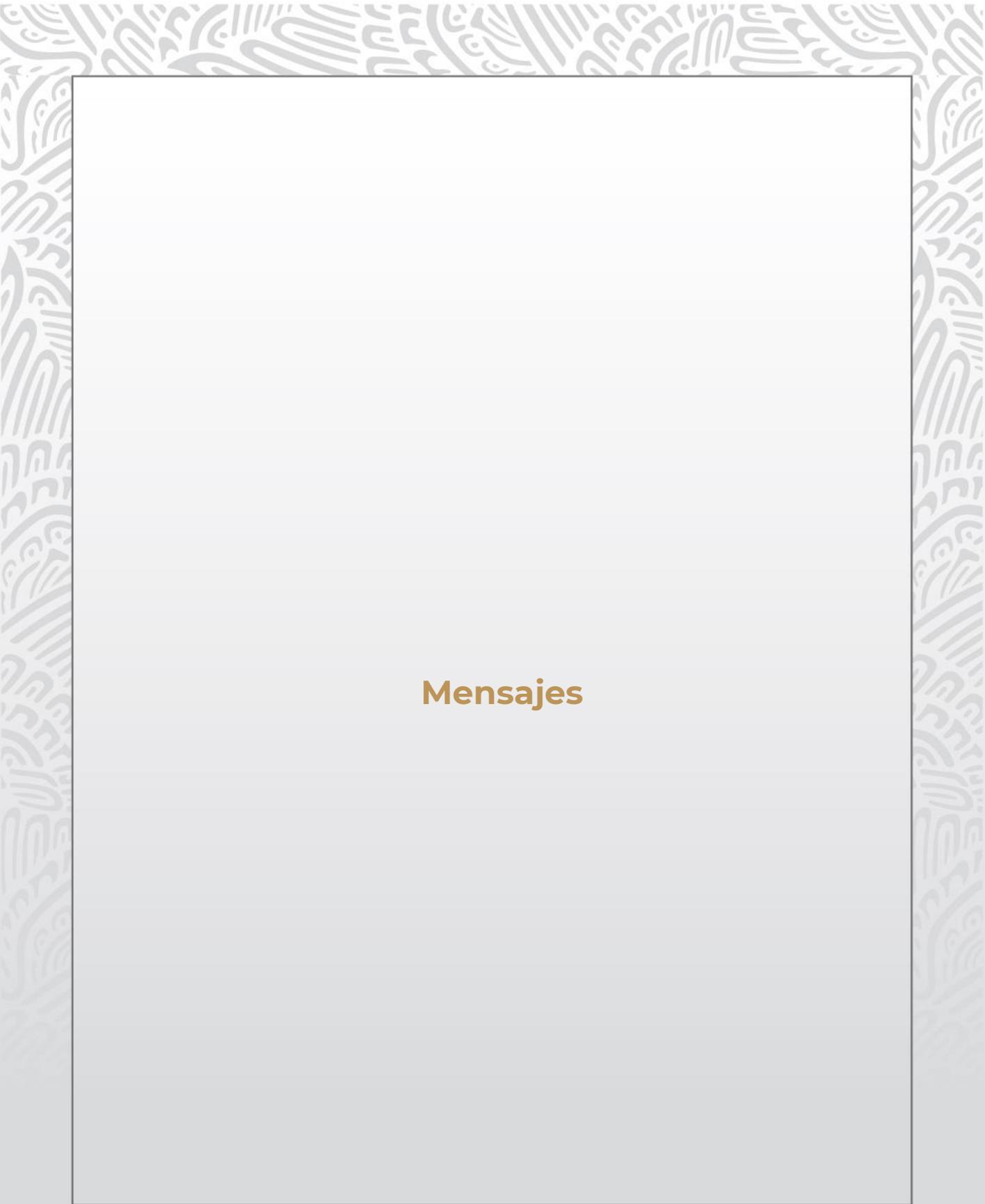
Comisión Nacional del Agua  
Insurgentes Sur número 2416, colonia Copilco El Bajo,  
C.P. 04340, Coyoacán, Ciudad de México.  
Tel. (55) 5174-4000

Impreso y hecho en México

Distribución gratuita. Prohibida su venta.

Queda prohibido el uso para fines distintos al desarrollo social.

Se autoriza la reproducción sin alteraciones del material contenido en esta obra, sin fines de lucro y citando la fuente



## Mensajes

## Mensaje del Presidente del Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán

El presente documento que contiene al Programa Hídrico Regional 2021 – 2024 (Programa Hídrico Regional 2021 – 2024 Región Hidrológico-Administrativa XII Península de Yucatán). Es el producto de la participación de más de 1,126 personas: miembros de las comunidades rurales, empresarios, representantes de la sociedad civil organizada, funcionarios de los tres niveles de gobierno, académicos, investigadores y estudiantes entre otros sectores. Se trata de un instrumento de planeación que orientará acciones, inversiones y prioridades para atender la creciente complejidad de la realidad hídrica de la cuenca de la Península de Yucatán. Sin embargo, el PHR 2021 – 2024 no parte de cero. Tiene sus raíces en el recientemente publicado Programa Nacional Hídrico, así como en el Programa Hídrico Regional 2030 y el Plan Rector (Plan rector en materia de agua para la protección, conservación y recuperación ambiental de la Península de Yucatán), entre otros instrumentos previos de planeación.



El actual PHR 2021 – 2024 representa un ejercicio de actualización de esos planes anteriores y agrega un esfuerzo sin precedentes de participación ciudadana e institucional. De hecho, el desarrollo y uso de distintas herramientas de comunicación y de interacción en línea, desarrolladas para este PHR 2021 – 2024 ante los retos impuestos por la pandemia de COVID-19, son un antecedente que permita fortalecer y masificar cada vez más la participación ciudadana en la planeación hídrica, y el ordenamiento del territorio, por citar dos ejemplos. A los miembros del Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán nos enorgullece presentar a la sociedad, un instrumento que nos ayude a coordinar esfuerzos y a trabajar con una visión común que asegure, a través del cuidado del agua, la salud de las personas, las comunidades y los ecosistemas que convivimos en esta plataforma kárstica del sureste de México.

A nombre del Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán, agradezco a la Comisión Nacional del Agua por su liderazgo y por la apertura para ciudadanizar este ejercicio de planeación, a la Fundación Río Arronte por haber aportado los recursos necesarios para desarrollar al trabajo de muchos meses que se resume en este documento, a Amigos de Sian Ka'an por haber administrado los recursos del proyecto, y a Ithaca Environmental, por el arduo trabajo de recabar y analizar toda la información que se plasma en estas páginas. Sin duda, el mayor agradecimiento se dirige a todas esas personas e instituciones que, de manera desinteresada, aportaron tiempo, ideas, propuestas, datos e información sin los cuales no se podría haber logrado este programa de trascendencia regional.

En mi calidad de Presidente del Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán aprecio profundamente la confianza, apoyo y participación de todos quienes integran este espacio de colaboración para el manejo del agua. El PHR 2021 – 2024 nos guiará, sin duda, en impulsar una agenda hídrica, social y ambiental que apoye a autoridades y sociedad a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sustentable 2030 y las agendas regionales, estatales y municipales de aprovechamiento, tratamiento, manejo y cuidado del agua.

Gonzalo Merediz Alonso  
Presidente  
Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán



# Mensaje del Director General del Organismo de Cuenca Península de Yucatán

Es indudable que la Península de Yucatán representa un territorio de oportunidad para el desarrollo social y económico, por su estratégica ubicación geográfica y por la riqueza de sus recursos naturales. Por ello, ha experimentado en los últimos años un importante desarrollo económico, que se expresa, entre otras formas, en significativos cambios en el uso del suelo y un incremento notable en los usos del agua.

Hoy en día, ya se enfrentan marcados retos en lo que se refiere al cuidado y preservación del recurso hídrico. Otro gran reto es el dar cabal cumplimiento a los derechos humanos al agua y el saneamiento.

Para ello, resulta sumamente importante se atiendan en paralelo los rezagos actuales y los preparativos para hacer frente a los escenarios futuros, uno próximo, los posibles impactos que traerá consigo el desarrollo de proyectos de gran calado como el Tren Maya y la presión que estos detonen, sobre el gran acuífero de la Península de Yucatán.

En este contexto, la mejor manera para encontrar el camino hacia su buen uso y preservación es la planificación y gestión de los recursos hídricos, con la participación de los tres niveles de gobierno, los usuarios de las aguas nacionales y sociedad en general.

El Programa Hídrico Regional 2021-2024 (PHR) se construyó bajo este enfoque, no obstante, las limitantes que debieron enfrentarse ante las medidas contra la pandemia causada por el COVID-19. El éxito en la implementación, seguimiento y evaluación por parte del Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán del PHR dependerá de que todas las partes mantengan una disposición inobjetable a trascender las diferencias existentes.



# Contenido

|   |           |
|---|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN</b>   | <b>2</b>  |
| <b>MARCO NORMATIVO</b>  | <b>6</b>  |
| Derecho humano al agua  | 6         |
| Obligaciones básicas del Estado   | 7         |
| Marco normativo en relación con el agua   | 7         |
| <br>  |           |
| <b>CAPÍTULO 1. DIAGNÓSTICO</b>  | <b>11</b> |
| 1.1. Unidades de planeación   | 13        |
| 1.2. Medio Ambiente   | 15        |
| 1.2.1. Clima  | 15        |
| 1.2.2 Aguas superficiales   | 16        |
| 1.2.2.1 Cuencas   | 16        |
| 1.2.2.2 Balance de aguas superficiales  | 19        |
| 1.2.3 Aguas subterráneas  | 19        |
| 1.2.3.1 Balance por acuífero  | 20        |
| 1.2.3.2 Balance por unidad de planeación  | 23        |
| 1.2.3.2.1 Recarga   | 23        |
| 1.2.3.3 Vulnerabilidad del acuífero   | 30        |
| 1.2.4 Usos del suelo  | 32        |
| 1.3 Aspectos demográficos y sociales  | 37        |
| 1.3.1. Desarrollo poblacional   | 37        |
| 1.3.2 Pueblos originarios   | 40        |
| 1.3.3 Condiciones de marginación  | 41        |
| 1.3.4 Desarrollo Humano   | 42        |
| 1.4 Aspectos económicos   | 44        |
| 1.4.1 Producto Interno Bruto  | 44        |
| 1.4.2 Población económicamente activa y ocupada   | 46        |
| 1.4.3 Productividad del agua  | 48        |
| 1.4.4 Producción agrícola   | 48        |
| 1.4.5 Infraestructura hidroagrícola   | 52        |
| 1.5 Usos del agua   | 53        |
| 1.5.1 Tipos de uso del agua y su evolución  | 53        |
| 1.5.2 Uso Público Urbano  | 61        |
| 1.5.2 Retorno de descargas de aguas residuales  | 64        |
| a) Permisos de Descargas de Aguas Residuales  | 64        |
| b) Total de los retornos de aguas residuales  | 67        |
| c) Aguas que provienen de la precipitación pluvial y que percolan hasta el manto freático           | 69        |
| 1.5.3 Derechos del agua   | 69        |
| 1.6 Caracterización de los servicios de agua potable, drenaje y saneamiento                         | 70        |
| 1.6.1 Según los informes de la “Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento” | 70        |
| 1.6.1.1 Inversión en infraestructura  | 70        |
| 1.6.1.2 Coberturas de agua potable  | 70        |
| 1.6.1.3 Cobertura de saneamiento  | 71        |
| 1.6.1.4 Potabilización de agua  | 72        |
| 1.6.1.5 Desinfección del agua   | 73        |
| 1.6.1.6 Tratamiento de aguas residuales   | 73        |
| 1.6.2 Indicadores de Gestión de Organismos Operadores   | 75        |
| 1.6.2.1 Cobertura de agua potable   | 75        |
| 1.6.2.2 Cobertura de alcantarillado   | 75        |
| 1.6.2.3 Eficiencia física   | 77        |
| 1.6.2.4 Consumo   | 77        |
| 1.6.2.5 Costos entre volumen producido  | 77        |
| 1.6.2.6 Relación Costo- Tarifa  | 82        |

|   |            |
|---|------------|
| 1.6.3 Rezago en los servicios de agua   | 83         |
| 1.6.4 Fondo de Aportaciones a la Infraestructura Social   | 89         |
| 1.6.5 Presupuesto de Egresos de la Federación   | 94         |
| 1.7 Calidad del agua  | 95         |
| 1.7.1 Red Nacional de Medición de Calidad del Agua (RENAMECA)   | 95         |
| 1.7.2 Calidad del agua subterránea en el acuífero kárstico de Yucatán   | 101        |
| 1.7.2.1 Zona Costera  | 104        |
| 1.8 Fuentes de contaminación  | 108        |
| 1.8.1 Contaminación derivada del Uso Público Urbano   | 108        |
| 1.8.2 Contaminación derivada de los sitios de disposición a cielo abierto de residuos sólidos urbanos   | 113        |
| 1.8.3 Contaminación derivada de la disposición de lodos de fosas sépticas y de aquellas del proceso de nixtamalización del maíz                             | 122        |
| 1.8.4 Contaminación derivada de la Actividad Industrial   | 127        |
| 1.8.5 Contaminación derivada de la Actividad Porcícola y Avícola  | 129        |
| 1.8.6 Contaminación por nitratos  | 135        |
| 1.8.7 Contaminación derivada de medicamentos  | 136        |
| 1.8.8 Contaminación derivada del uso de agroquímicos  | 137        |
| 1.8.9 Efectos en la salud humana  | 150        |
| 1.8.10 Enfermedades relacionadas con la contaminación del agua  | 154        |
| 1.9 Gestión de riesgos y peligros   | 168        |
| 1.10 Escenarios de crecimiento con el proyecto del Tren Maya  | 169        |
| 1.11 Aeropuerto Internacional en Tulum, Quintana Roo  | 174        |
| 1.12 Proceso participativo para identificación de problemáticas hídricas  | 175        |
| 1.12.1 Problemáticas generales y específicas  | 178        |
| 1.12 Conclusiones sobre la situación del recurso hídrico  | 184        |
| <b>CAPÍTULO 2. GESTIÓN INTEGRADA DEL AGUA</b>   | <b>189</b> |
| 2.1 El Consejo de Cuenca y su evolución   | 190        |
| 2.2 Estructura  | 190        |
| 2.3 Órganos auxiliares y funcionales del Consejo de cuenca  | 193        |
| 2.4 Fortalezas del CCPY   | 198        |
| 2.5 Debilidades y acciones de mejora del CCPY   | 198        |
| <b>CAPÍTULO 3. CAMBIO CLIMÁTICO Y MANEJO HÍDRICO</b>  | <b>201</b> |
| 3.1. Escenarios socioambientales y de cambio climático para la identificación de riesgos  | 201        |
| 3.1.1. Reducción de la disponibilidad de agua   | 202        |
| 3.2. Salinización del acuífero  | 206        |
| 3.3. Aumento de inundaciones  | 209        |
| <b>CAPÍTULO 4. ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS</b>   | <b>212</b> |
| 4.1. Vinculación regional/local con la Agenda 2030  | 215        |
| 4.2. <i>Objetivos</i> del Desarrollo Sostenible   | 217        |
| 4.3. Vinculación del Plan Rector en Materia de Agua para la protección, conservación y recuperación ambiental de la Península de Yucatán con la Agenda 2030 | 217        |
| 4.4. Indicadores de seguimiento y gestión ambiental   | 226        |
| 4.5. Programa de Agua Potable, Drenaje y Tratamiento de Aguas Residuales (PROAGUA)  | 227        |
| 4.6. Programa de apoyo a la Infraestructura Hidroagrícola   | 227        |
| <b>CAPÍTULO 5. OBJETIVOS, ESTRATEGIAS Y ACCIONES PUNTUALES</b>  | <b>229</b> |
| 5.1. OP 1: Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población más vulnerable y desatendida             | 232        |
| 5.1.1. EP 1.1 - Reducir el rezago en el acceso al agua potable y mejorar la calidad del servicio especialmente para la población desatendida                | 234        |
| 5.1.2. EP 1.2 - Reducir el rezago en el acceso a drenaje y sanitarios particularmente para la población desatendida   | 236        |



|   |            |
|---|------------|
| 5.2. OP 2 - Aprovechar eficientemente el agua para contribuir al desarrollo sostenible de los sectores productivos  | 238        |
| 5.2.1. EP 2.1 - Optimizar el uso de agua en el sector agrícola para construir a la seguridad alimentaria y el bienestar de la población y ecosistemas   | 240        |
| 5.2.2. EP 2.2 - Optimizar el uso del agua en el sector de servicios para construir a la equidad y justicia hídrica y evitar riesgos ambientales   | 241        |
| 5.3. OP 3 - Reducir la vulnerabilidad de la población ante inundaciones y sequías, con énfasis en pueblos indígenas y población marginada   | 243        |
| 5.3.1. EP 3.1 - Proteger a la población, particularmente población desatendida, e infraestructura de inundaciones   | 245        |
| 5.3.2. EP 3.2 - Proteger los medios de subsistencia tradicionales de inundaciones y sequías   | 247        |
| 5.4. OP 4 - Preservar la integralidad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan cuencas y acuíferos   | 250        |
| 5.4.1. EP 4.1 - Reducir descargas e infiltración de aguas residuales no tratadas  | 251        |
| 5.4.1.1 Contaminación por fosas sépticas deficientes  | 252        |
| 5.4.1.2 Contaminación por deficiencias en la red pública de drenaje   | 254        |
| 5.4.1.3 Contaminación por sistemas de drenaje inadecuados o inexistentes  | 256        |
| 5.4.2. EP 4.2 - Reducir la contaminación por agroquímicos   | 257        |
| 5.4.3. EP 4.3 - Evitar la contaminación por actividad pecuaria  | 259        |
| 5.4.4. EP 4.4 - Controlar la contaminación por residuos sólidos   | 260        |
| 5.4.5. EP 4.5 - Preservar zonas de recarga y sanear cuerpos de agua   | 262        |
| 5.5. OP 5: Mejorar las condiciones para la gobernanza del agua con el fin de fortalecer la toma de decisiones y combatir la corrupción  | 263        |
| 5.5.1. EP 5.1 - Fortalecer la gobernanza hídrica local y articularla a nivel regional   | 266        |
| 5.5.2. EP 5.2 - Fortalecer y diversificar el financiamiento para atender las prioridades hídricas y reforzar las capacidades de gestión del agua  | 267        |
| 5.5.3. EP 5.3 - Incrementar el conocimiento hidrológico y geológico de la PY y vincularlo con la gestión del agua   | 267        |
| <b>CAPÍTULO 6. INDICADORES</b>  | <b>269</b> |
| 6.1 Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población desatendida históricamente  | 271        |
| 6.2 Aprovechar eficientemente el agua para contribuir al desarrollo sostenible de los sectores productivos  | 273        |
| 6.3 Reducir la vulnerabilidad de la población ante inundaciones y sequías, con énfasis en pueblos indígenas y población marginada.  | 275        |
| 6.4 Preservar la integralidad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan humedales, selvas y acuíferos.  | 278        |
| 6.5 Mejorar las condiciones para la gobernanza regional y local del agua a fin de fortalecer la toma de decisiones, la transparencia y la participación social  | 284        |
| <b>CAPÍTULO 7. CATÁLOGO DE ACTIVIDADES COLECTIVAS</b>   | <b>289</b> |
| 7.1 Actividad colectiva 1.- Revisar la estructura y conformación de los Órganos Auxiliares del Consejo de Cuenca Península de Yucatán (CCPY) para cada UP.  | 295        |
| 7.2 Actividad colectiva 2.- Reforzar y alinear las alianzas intermunicipales a nivel UP   | 298        |
| 7.3 Actividad colectiva 3.- Mejorar el entendimiento sobre la disponibilidad de agua a nivel UP   | 300        |
| 7.4 Actividad colectiva 4.- Instrumentar un sistema de monitoreo (hidrológico y calidad del agua) a nivel UP en tiempo real para generar una cobertura peninsular del sistema hidrológico                       | 303        |
| 7.5 Actividad colectiva 5.- Apoyar y articular líneas de investigación para incrementar el entendimiento del sistema hídrico y la capacidad de respuesta para la gestión hídrica resiliente y sustentable       | 306        |
| 7.6 Actividad colectiva 6.- Fomentar la capacitación multinivel para el manejo de cuencas hidrológicas  | 310        |
| 7.7 Actividad colectiva 7.- Alinear el ordenamiento territorial con un enfoque hídrico y de riesgos a nivel UP y promover un sistema de alerta temprana con perspectiva de cambio climático regional.           | 313        |
| 7.8 Actividad colectiva 8.- Incorporar la visión regional al proceso de negociación y asignación de presupuestos federales en materia de agua potable y saneamiento en poblaciones históricamente desatendidas. | 316        |
| <b>CAPÍTULO 8. INVERSIONES Y PROGRAMAS PRESUPUESTALES</b>   | <b>320</b> |



|  |  |            |
|--|--|------------|
| 8.1  | Análisis de programas presupuestales públicos  | 320        |
| 8.1.1  | Presupuestos estatales y de Organismos Operadores  | 325        |
| 8.2  | Presupuestos ejecutados por fundaciones y organizaciones de la sociedad civil nacionales e internacionales   | 325        |
| 8.3  | Presupuesto de acuerdo con cartera de proyectos del PHR  | 327        |
| 8.4  | Planeación presupuestaria al 2030 en alineación con PHR 2030   | 330        |
| 8.5  | Fuentes alternativas de financiamiento   | 332        |
| 8.5.1  | Financiamiento climático   | 333        |
| 8.5.2  | Fundaciones y Organizaciones de la Sociedad Civil (OSC)  | 334        |
| 8.5.3  | Otras fuentes de financiamiento  | 334        |
| 8.6  | Comparación de presupuestos disponibles y necesarios   | 336        |
| 8.6.1  | Análisis de presupuestos para el OP 1. Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población más vulnerable y desatendida. | 336        |
| 8.6.2  | Análisis de presupuestos para el OP 2. Aprovechar eficientemente el agua para contribuir al desarrollo sostenible de los sectores productivos.                               | 338        |
| 8.6.3  | Análisis de presupuestos para el OP 3.- Reducir la vulnerabilidad de la población ante inundaciones y sequías, con énfasis en pueblos indígenas y población marginada.       | 338        |
| 8.6.4  | Análisis de presupuestos para el OP 4. Preservar la integralidad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan cuencas y acuíferos.          | 339        |
| 8.6.5  | Análisis de presupuestos para el OP 5. Mejorar las condiciones de la gobernanza del agua a fin de fortalecer la toma de decisiones y combatir la corrupción.                 | 340        |
| 8.7  | Conclusiones   | 341        |
| <b>CAPÍTULO 9. IMPLEMENTACIÓN, SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN</b>  |  | <b>344</b> |
| 9.1  | Proceso para la atención de las acciones puntuales   | 344        |
| 9.2  | Proceso para la atención de las actividades colectivas   | 347        |
| <b>TRANSPARENCIA</b>   |  | <b>350</b> |
| <b>GLOSARIO DE TÉRMINOS</b>  |  | <b>351</b> |
| <b>RECONOCIMIENTOS</b>   |  | <b>353</b> |
| <b>ANEXO I BALANCE POR ACUÍFERO</b>  |  | <b>358</b> |
| <b>ANEXO II BALANCE POR UNIDAD DE PLANEACIÓN</b>   |  | <b>358</b> |
| <b>ANEXO III DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA SOBRE EL CÁLCULO DE RECARGA EN EL BALANCE HÍDRICO POR UNIDADES DE PLANEACIÓN</b> |  | <b>358</b> |
| <b>ANEXO IV VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO</b>  |  | <b>358</b> |
| <b>ANEXO V PRODUCCIÓN AGRÍCOLA</b>   |  | <b>358</b> |
| <b>ANEXO VI TOTAL DE RETORNOS DE AGUAS RESIDUALES</b>  |  | <b>358</b> |
| <b>ANEXO VII SUELOS Y FUNCIONES DE PEDOTRANSFERENCIA</b>   |  | <b>358</b> |
| <b>ANEXO VIII ACUMULACIÓN DE SARGAZO EN EL LITORAL ORIENTE DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN</b>                              |  | <b>358</b> |
| <b>ANEXO IX GESTION DE RIESGOS Y PELIGROS</b>  |  | <b>358</b> |
| <b>ANEXO X CAMBIO CLIMÁTICO Y MANEJO HÍDRICO</b>   |  | <b>358</b> |
| <b>ANEXO XI ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS NACIONALES E INTERNACIONALES (CDB)</b>  |  | <b>358</b> |
| <b>ANEXO XII ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS NACIONALES E INTERNACIONALES (PROAGUA)</b>                                   |  | <b>358</b> |
| <b>ANEXO XIII ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS NACIONALES E INTERNACIONALES (HIDROAGRÍCOLA)</b>                            |  | <b>358</b> |
| <b>ANEXO XIV INDICADORES</b>   |  | <b>358</b> |
| <b>ANEXO XV CARTERA DE PROYECTOS PHR 2021-2024</b>   |  | <b>358</b> |
| <b>REFERENCIAS</b>   |  | <b>358</b> |

## Índice de tablas

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Tabla 1.  | Regiones Hidrológicas Administrativas   | 12 |
| Tabla 2.  | Superficie por UP y cantidad de municipios que los conforman.   | 14 |
| Tabla 3.  | Características de principales corrientes superficiales   | 18 |
| Tabla 4.  | Balance de aguas superficiales  | 19 |
| Tabla 5.  | Disponibilidad de agua por acuífero (hm <sup>3</sup> )  | 22 |
| Tabla 6.  | Datos históricos del valor de recarga media y disponibilidad del 2011 al 2020 del Acuífero por RHA XII PY.  | 22 |
| Tabla 7.  | Recarga por UP.   | 25 |
| Tabla 8.  | Recarga total por UP (Mm <sup>3</sup> )   | 28 |
| Tabla 9.  | Presión sobre disponibilidad de agua en la PY y UP con datos de Beuer Gotweinn et al 2011 y volumen de extracción del REPDA 2008  | 29 |
| Tabla 10. | Parámetros hidrológicos para el cálculo de la disponibilidad de agua para los escenarios de y Bauer Gotweinn 2011 y DOF 2020  | 30 |
| Tabla 11. | Usos del suelo en la Península de Yucatán   | 32 |
| Tabla 12. | Tipo de humedales de la región  | 36 |
| Tabla 13. | Tasas de crecimiento anual.   | 37 |
| Tabla 14. | Población en la PY por UP.  | 38 |
| Tabla 15. | Población total y densidad demográfica de la PY por UP.   | 38 |
| Tabla 16. | Municipios más poblados por UP.   | 39 |
| Tabla 17. | Total de población y población Maya por UP.   | 40 |
| Tabla 18. | Grado de marginación por entidad federativa, municipios y UP.   | 42 |
| Tabla 19. | Grado de Índice de Desarrollo Humano (IDH) por UP.  | 43 |
| Tabla 20. | Municipios con el menor y mayor grado de Índice de Desarrollo Humano por UP.  | 43 |
| Tabla 21. | Población Económicamente Activa (PEA) y Población Ocupada (PO) por entidad y UP.  | 46 |
| Tabla 22. | Producción agrícola por unidad de planeación 2018-2020, cultivos cíclicos y perennes (riego y temporal)   | 51 |
| Tabla 23. | Productividad económica agrícola con sistemas de riego por UP en la PY.   | 51 |
| Tabla 24. | Distritos de riego  | 52 |
| Tabla 25. | Distritos de temporal tecnificado   | 52 |
| Tabla 26. | Extracción y usos del agua en la Península de Yucatán y entidades federativas de Campeche, Yucatán y Quintana Roo.  | 54 |
| Tabla 27. | Número de Pozos y valores de extracción total de agua concesionada para el año 2020   | 56 |
| Tabla 28. | Número de Pozos y valores de extracción total de agua concesionada para el año 2008   | 57 |
| Tabla 29. | Volumen de extracción por UP y uso en Campeche.   | 59 |
| Tabla 30. | Volumen de extracción por UP y uso en Yucatán.  | 60 |
| Tabla 31. | Volumen de extracción por UP y uso en Quintana Roo  | 62 |
| Tabla 32. | Extracción de agua para uso público urbano, por habitante a nivel peninsular y por UP.  | 63 |
| Tabla 33. | Volúmenes concesionados (Mm <sup>3</sup> ) de descarga de aguas residuales por unidad de planeación y uso del agua  | 65 |
| Tabla 34. | Volumen de descarga anual y ubicación de los pozos concesionados para descarga de uso público urbano en la PY, vinculados a Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. | 65 |
| Tabla 35. | Volumen de descarga total proveniente de aguas concesionada/asignada en la PY.  | 68 |
| Tabla 36. | Relación entre el tratamiento de aguas residuales y vertidas en pozos de inyección con respecto al volumen total extraído para el uso Público Urbano.                   | 68 |
| Tabla 37. | Cumplimiento en la Recaudación del OCPY 2014 -2019.   | 70 |
| Tabla 38. | Cobertura de alcantarillado y drenaje, 2020   | 72 |
| Tabla 39. | Plantas potabilizadoras de agua por entidad federativa, 2019  | 72 |
| Tabla 40. | Caudal de aguas residuales municipales tratadas, en plantas de tratamiento por entidad federativa, 2019   | 74 |
| Tabla 41. | Total de viviendas que disponen de drenaje, red pública y tanque séptico  | 77 |
| Tabla 42. | Rezago social en materia de condiciones sanitarias en la vivienda en Campeche, Quintana Roo y Yucatán.  | 84 |

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| Tabla 43. | Total de viviendas con servicio de agua entubada y abastecimiento de agua del servicio público por UP.                                  | 85  |
| Tabla 44. | Total de viviendas que cuentan con tinaco, cisterna, sanitario y letrina por UP.  | 85  |
| Tabla 45. | Total de viviendas que cuentan con drenaje y energía eléctrica por UP.  | 86  |
| Tabla 46. | Rezago social en Campeche por Unidad de Planeación.   | 87  |
| Tabla 47. | Rezago social en Quintana Roo por Unidad de Planeación.   | 88  |
| Tabla 48. | Rezago social en Yucatán por Unidad de Planeación.  | 89  |
| Tabla 49. | Inversión FAIS en obras referentes a materia de agua en Campeche.   | 89  |
| Tabla 50. | Inversión FAIS en obras referentes a materia de agua en Quintana Roo.   | 91  |
| Tabla 51. | Inversión FAIS en obras referentes a materia de agua en Yucatán.  | 92  |
| Tabla 52. | Tabla de Presupuesto de Egresos de la Federación para los periodos 2019 – 2021  | 94  |
| Tabla 53. | Número de estaciones activas de medición de calidad de agua subterránea por entidad en la PY  | 95  |
| Tabla 54. | Número de estaciones activas de medición de calidad de agua superficial por entidad en la PY  | 96  |
| Tabla 55. | Caracterización de los lodos de las fosas sépticas, bio-digestores y plantas de tratamiento   | 109 |
| Tabla 56. | Registros de mosquitos en el sistema de drenaje pluvial de la Ciudad de Mérida.   | 110 |
| Tabla 57. | Resultados generales del semáforo de calidad de agua  | 112 |
| Tabla 58. | Resultado de los análisis de agua de los pozos del ex basurero de Mérida.   | 117 |
| Tabla 59. | Datos fisicoquímicos, sanitarios y biológicos para las aguas de la laguna derivada de las aguas de nixtamal.                            | 126 |
| Tabla 60. | Datos de metales traza en la laguna adyacente a las lagunas de oxidación.   | 126 |
| Tabla 61. | Censo de descargas residuales   | 127 |
| Tabla 62. | Concentraciones de elementos potencialmente peligrosas de algunos pozos localizados al sureste de Mérida.                               | 128 |
| Tabla 63. | Concentrado porcícola de las granjas en algunos municipios de la UP YucN  | 131 |
| Tabla 64. | Especies mantenidas en los traspatios (n=159) de una comunidad rural de Yucatán, México.  | 134 |
| Tabla 65. | Valores de concentraciones promedio y desviación estándar de fármacos encontrados en muestras de aguas residuales porcícolas, en µg/mL. | 136 |
| Tabla 66. | Coordenadas de los sitios de muestreo de agua en el Río Candelaria, Campeche.   | 147 |
| Tabla 67. | Concentraciones de plaguicidas organoclorados en agua del Río Candelaria, Campeche (µg L-1).  | 147 |
| Tabla 68. | Concentraciones de los herbicidas, insecticidas organofosforados en agua del Río Candelaria, Campeche (µg L-1).                         | 148 |
| Tabla 69. | Número de casos de cáncer en niños y adolescentes, anual por sexo y edades.   | 151 |
| Tabla 70. | Tasa de Mortalidad por Cáncer Cervicouterino 2001-2012*.  | 151 |
| Tabla 71. | Municipios con el mayor número de defunciones por cáncer de mama en mujeres de 25 años y más (2009-2014).                               | 151 |
| Tabla 72. | Tasa de Mortalidad por Cáncer Cervicouterino 2001-2014*.  | 152 |
| Tabla 73. | Municipios con el mayor número de defunciones por cáncer Cervicouterino en mujeres de 25 años y más (2009-2014).                        | 152 |
| Tabla 74. | Concentraciones de pesticidas en sangre de mujeres con cáncer cervicouterino y mamario de diversos municipios de Yucatán.               | 153 |
| Tabla 75. | Concentraciones de pesticidas en la leche materna del municipio de Kanasín, Yucatán.  | 153 |
| Tabla 76. | Lista de los cenotes incluidos en el monitoreo de contaminación fecal   | 156 |
| Tabla 77. | Presencia o ausencia de colifagos.  | 158 |
| Tabla 78. | Descripción de las áreas de muestreo a lo largo del Anillo de Cenotes, Yucatán, México.   | 160 |
| Tabla 79. | Actividades antropogénicas en las áreas cercanas al anillo de cenotes y estimaciones de generación de residuos.                         | 161 |
| Tabla 80. | Eficiencia de la cloración de agua.   | 164 |
| Tabla 81. | Escenarios de proyecciones de la población en la región y por subregión   | 171 |
| Tabla 82. | Proyecciones de demanda de suelo y disponibilidad para urbanización   | 173 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Tabla 83.  | Resumen de los Problemas Públicos según el Plan Nacional Hídrico (PP-PNH) y sus respectivas subcategorías  | 176 |
| Tabla 84.  | Problemáticas generales del PP-PNH 1   | 178 |
| Tabla 85.  | Problemáticas generales del PP-PNH 2   | 180 |
| Tabla 86.  | Problemáticas generales del PP-PNH 3   | 181 |
| Tabla 87.  | Problemáticas generales del PP-PNH 4   | 182 |
| Tabla 88.  | Creación de Órganos Auxiliares   | 193 |
| Tabla 89.  | Órganos auxiliares por UP  | 197 |
| Tabla 90.  | Debilidades y acciones de mejora   | 199 |
| Tabla 91.  | Resumen de escenarios GCM de cambio climático al 2050. Promedio con incertidumbre ( $\pm$ ).   | 202 |
| Tabla 92.  | Efectos del cambio climático en la recarga de aguas subterráneas en PY al 2050   | 203 |
| Tabla 93.  | Comparación de fuentes para la estimación de la recarga base y la presión sobre la disponibilidad  | 203 |
| Tabla 94.  | Escenarios de consumo de agua en la PY al 2050 considerando efectos sobre la recarga del cambio climático bajo el escenario RCP8.5 y efectos demográficos del Tren Maya.   | 204 |
| Tabla 95.  | Escenario de la disponibilidad de agua subterránea al 2050 bajo efectos del cambio climático en el escenario RCP8.5 y el desarrollo del Tren Maya en $Mm^3/año$ .  | 204 |
| Tabla 96.  | Análisis de sensibilidad de la recarga al 2050 a efectos socioambientales sobre la recarga y extracción  | 206 |
| Tabla 97.  | Porcentaje del volumen concesionado en condiciones de vulnerabilidad muy alta y alta a salinización (<10km de la costa) al 2050 bajo el escenario de cambio climático RCP8.5   | 208 |
| Tabla 98.  | Relación de objetivos prioritarios del ODS, PND, con ejes temáticos, objetivos y estrategias PROMARNAT, PNH 2020-2024, PHR 2030, PHR 2021-2024, y Plan rector.   | 212 |
| Tabla 99.  | Vinculación del desafío Ríos Limpios de la Agenda 2030 con las metas y acciones generales del Plan Rector  | 217 |
| Tabla 100. | Vinculación del desafío Cobertura Universal de la Agenda 2030 con las metas y acciones generales del Plan Rector   | 218 |
| Tabla 101. | Vinculación del desafío Asentamientos Seguros frente a Inundaciones Catastróficas de la Agenda 2030 con las metas y acciones generales del Plan Rector   | 219 |
| Tabla 102. | Estructura básica del Plan Rector en materia de agua para la protección, conservación y recuperación ambiental de la PY. Diagnóstico e identificación de retos y problemas, estrategias, objetivos, acciones y proyectos prioritarios. | 220 |
| Tabla 103. | Indicadores de gestión ambiental   | 226 |
| Tabla 104. | Objetivos prioritarios priorizados a escala peninsular   | 230 |
| Tabla 105. | Estrategias prioritarias EP por objetivo y proporción de actores del proceso participativo que señalaron cada una.   | 231 |
| Tabla 106. | Estrategias prioritarias y acciones puntuales planteadas en el proceso participativo para cumplir con el OP 1  | 232 |
| Tabla 107. | Alineación del objetivo 1 del PHR con los principios rectores y criterios del PND  | 233 |
| Tabla 108. | Acciones puntuales para reducir el rezago en el acceso al agua potable (EP 1.1)  | 235 |
| Tabla 109. | Acciones puntuales para reducir el rezago en el acceso a drenaje y sanitarios (EP 1.2)   | 238 |
| Tabla 110. | Tabla de estrategias prioritarias y acciones puntuales para cumplir con el OP2   | 239 |
| Tabla 111. | Alineación del objetivo 2 del PHR con los principios rectores y criterios del PND  | 240 |
| Tabla 112. | Volumen concesionado para uso agrícola y presión sobre la disponibilidad por UP al 2020  | 241 |
| Tabla 113. | Acciones puntuales para optimizar el uso del agua en el sector agrícola (EP 2.1)   | 242 |
| Tabla 114. | Medidas propuestas para optimizar el consumo de agua en el sector servicios (EP 2.2)   | 243 |
| Tabla 115. | Estrategias prioritarias y acciones puntuales para cumplir con el OP3  | 244 |
| Tabla 116. | Alineación del objetivo 3 del PHR con los principios rectores y criterios del PND  | 245 |
| Tabla 117. | Vulnerabilidad a inundaciones para la población desatendida por UP   | 246 |
| Tabla 118. | UP prioritarias para la implementación de acciones puntuales para proteger a la población por inundaciones   | 247 |
| Tabla 119. | Acciones puntuales para proteger a la población de inundaciones (OP 3.1)   | 248 |
| Tabla 120. | Índice de exposición a sequías y sus componentes   | 248 |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Tabla 121. | Acciones puntuales para proteger medios de subsistencia tradicionales de sequias (EP 3.2)   | 249 |
| Tabla 122. | Alineación del objetivo 4 del PHR con los principios rectores y criterios del PND   | 250 |
| Tabla 123. | Estrategias prioritarias y acciones para cumplir con el OP4   | 251 |
| Tabla 124. | Distribución de viviendas con fosa o tanque séptico al 2020   | 253 |
| Tabla 125. | Acciones puntuales para reducir contaminación por fosas sépticas deficientes (EP 4.1)   | 253 |
| Tabla 126. | Distribución de viviendas con acceso a drenaje de la red pública al 2020  | 254 |
| Tabla 127. | Municipios con mayor cobertura de la red pública de drenaje 2020  | 254 |
| Tabla 128. | Municipios urbanos con mayor cantidad de viviendas sin acceso a la red pública al 2020  | 254 |
| Tabla 129. | Situación del tratamiento de aguas residuales estatales al 2020   | 255 |
| Tabla 130. | Acciones puntuales para reducir contaminación por plantas de tratamiento deficientes (EP 4.1)   | 256 |
| Tabla 131. | Distribución de viviendas con sistemas de drenaje inadecuados o inexistentes al 2020  | 256 |
| Tabla 132. | Proporción de viviendas con sistemas de drenaje inadecuados o inexistentes por tipo de localidad al 2020  | 257 |
| Tabla 133. | Acciones puntuales para reducir contaminación en sistemas de drenaje inadecuados o inexistentes (EP 4.1)  | 257 |
| Tabla 134. | Distribución del consumo para uso agrícola en millones de m <sup>3</sup> por año al 2020  | 258 |
| Tabla 135. | Acciones puntuales para reducir la contaminación por agroquímicos (EP 4.2)  | 259 |
| Tabla 136. | Número de cabezas de actividad pecuaria al 2019   | 260 |
| Tabla 137. | Acciones puntuales para reducir la contaminación por actividad pecuaria (4.3)   | 260 |
| Tabla 138. | Porcentaje de población que cuenta con el servicio de recolección de basura al 2019   | 261 |
| Tabla 139. | Números de los sitios de disposición final al 2019  | 261 |
| Tabla 140. | Acciones puntuales para controlar la contaminación por residuos sólidos (EP 4.4)  | 262 |
| Tabla 141. | Acciones puntuales para preservar zonas de recarga y cuerpos de agua (EP 4.5)   | 264 |
| Tabla 142. | Alineación del objetivo 1 del PHR con los principios rectores y criterios del PND   | 265 |
| Tabla 143. | Estrategias prioritarias y acciones puntuales para cumplir el OP5   | 265 |
| Tabla 144. | Resumen de indicadores por objetivo prioritario y estrategia  | 269 |
| Tabla 145. | Alineación con el PNH y PND   | 290 |
| Tabla 146. | Actividades colectivas para la PY y su impacto transversal a los Objetivos Prioritarios (OP)  | 291 |
| Tabla 147. | Relación de las acciones colectivas con los objetivos prioritarios del ODS, PND, con ejes temáticos, objetivos y estrategias de PROMARNAT, PNH 2020-2024, PHR 2030, PHR 2021-2024, y Plan rector.         | 292 |
| Tabla 148. | Actividad colectiva 1: Revisar la estructura y conformación de los Órganos Auxiliares del CCPY a nivel UP   | 295 |
| Tabla 149. | Hoja de ruta para la Actividad Colectiva 1 (2021 – 2024)  | 297 |
| Tabla 150. | Actividad colectiva 2: Reforzar y alinear las alianzas intermunicipales a nivel UP  | 298 |
| Tabla 151. | Hoja de Ruta para la Actividad Colectiva 2 (2021 – 2024)  | 299 |
| Tabla 152. | Actividad colectiva 3: Mejorar el entendimiento sobre la disponibilidad de agua a nivel UP  | 301 |
| Tabla 153. | Hoja de Ruta para la Actividad Colectiva 3 (2021 – 2024)  | 302 |
| Tabla 154. | Actividad colectiva 4: Instrumentar un sistema de monitoreo a nivel UP en tiempo real para generar una cobertura peninsular del sistema hidrológico   | 304 |
| Tabla 155. | Hoja de Ruta para la Actividad Colectiva 4 (2021 – 2024)  | 305 |
| Tabla 156. | Actividad colectiva 5: Apoyar y articular líneas de investigación para incrementar el entendimiento del sistema hídrico y la capacidad de respuesta para la gestión hídrica resiliente y sustentable      | 307 |
| Tabla 157. | Líneas de investigación propuestas  | 308 |
| Tabla 158. | Hoja de Ruta para la Actividad Colectiva 5 (2021 – 2024)  | 309 |
| Tabla 159. | Actividad colectiva 6: Fomentar la capacitación multinivel para el manejo de cuencas hidrológicas   | 311 |
| Tabla 160. | Hoja de Ruta de Actividad Colectiva 6 (2021 – 2024)   | 312 |
| Tabla 161. | Actividad colectiva 7: Alinear el ordenamiento territorial con un enfoque hídrico y de riesgos a nivel UP y promover un sistema de alerta temprana con perspectiva de cambio climático a nivel peninsular | 314 |
| Tabla 162. | Hoja de Ruta para las Actividades Colectivas (2021 – 2024)  | 315 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 163. Actividad colectiva 8: Incorporar la visión regional al proceso de negociación y asignación de presupuestos federales en materia de agua potable y saneamiento en poblaciones históricamente desatendidas | 317 |
| Tabla 164. Hoja de Ruta para la Actividad Colectiva 8 (2021 – 2024)  | 318 |
| Tabla 165. Distribución de presupuesto pagado entre 2016 y 2020 para la Península de Yucatán (PY) de acuerdo con criterios clave   | 321 |
| Tabla 166. Alineación de Estrategias prioritarias con criterios de etiquetado para el periodo de 2016 a 2020 de presupuestos del PEF en la PY, en millones de pesos M.N. por año en promedio.                        | 322 |
| Tabla 167. Presupuesto pagado y asignado promedio entre 2016 y 2020 según el PEF, en millones de pesos M.N.  | 324 |
| Tabla 168. Presupuesto estatal y municipal ejecutado para proyectos de agua potable y saneamiento, 2020  | 325 |
| Tabla 169. Inversión en proyectos hídricos por fundaciones y organismos internacionales desde el 2019 en la PY por tipo de institución, en millones de pesos M.N.  | 326 |
| Tabla 170. Resumen de proyectos de organismos internacionales y fundaciones por OP. Montos en millones de pesos M.N. por año   | 326 |
| Tabla 171. Distribución de montos totales de la cartera de proyectos PHR en millones de pesos M.N.   | 329 |
| Tabla 172. Presupuesto durante 2018-2024 para las UP por EP según el PHR 2030 en millones de pesos M.N. por año  | 332 |
| Tabla 173. Alineación de presupuestos del PHR 2030 con EP del PHR 2021-2024. Montos en millones de pesos M.N.  | 333 |
| Tabla 174. Requisitos para el financiamiento climático de proyectos  | 335 |
| Tabla 175. Distribución de responsabilidades las acciones puntuales  | 344 |
| Tabla 176. Principales actores involucrados en la atención a las estrategias prioritarias  | 345 |
| Tabla 177. Distribución de responsabilidades para las actividades colectivas   | 347 |
| Tabla 178. Principales ámbitos de implementación del CCPY y otros actores relevantes para la implementación de las actividades colectivas  | 348 |

## Índice de figuras

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Figura 1.  | Estructura de los Consejos de Cuenca (Nivel táctico).   | 2  |
| Figura 2.  | Subdivisión del país en 13 RHA y entidades federativas.   | 11 |
| Figura 3.  | Localización de la RHA XII PY.  | 12 |
| Figura 4.  | Regiones Hidrológicas.  | 13 |
| Figura 5.  | UP en la RHA XII PY   | 14 |
| Figura 6.  | Tipos de Clima en el PY   | 15 |
| Figura 7.  | Precipitación pluvial promedio 1995 a 2020  | 17 |
| Figura 8.  | Agua superficial  | 18 |
| Figura 9.  | Flujo del agua subterránea  | 20 |
| Figura 10. | Representación de flujos de agua subterránea (líneas azules) de la Península de Yucatán                   | 21 |
| Figura 11. | Acuíferos en la PY  | 21 |
| Figura 12. | Esquema general del ciclo hidrológico   | 24 |
| Figura 13. | Recarga de agua subterránea para la PY  | 25 |
| Figura 14. | Recarga por UP  | 27 |
| Figura 15. | Recarga total por UP (Mm <sup>3</sup> )   | 27 |
| Figura 16. | Mapa de grado de vulnerabilidad en la PY  | 31 |
| Figura 17. | Volumen de descarga total permitida en la PY  | 32 |
| Figura 18. | Usos del suelo en la Península de Yucatán   | 33 |
| Figura 19. | Expansión de la mancha urbana del área metropolitana de Mérida  | 34 |
| Figura 20. | Expansión de la mancha urbana de la ciudad de Cancún  | 34 |
| Figura 21. | Superficie protegida por tipo competencia federal, municipal y estatal (km <sup>2</sup> )                 | 36 |
| Figura 22. | Proyección de la población por estado al 2050   | 39 |
| Figura 23. | Población Maya a escala municipal por UP  | 40 |
| Figura 24. | Índice de marginación por entidad, período 1990-2020  | 41 |
| Figura 25. | Componentes del IDH por entidad   | 42 |
| Figura 26. | Producto Interno Bruto por Entidad Federativa   | 45 |
| Figura 27. | Participación porcentual de la Península de Yucatán en el PIB nacional                                    | 45 |
| Figura 28. | Población ocupada por rama de actividad económica por entidad   | 47 |
| Figura 29. | Ingresos de la población por entidad  | 47 |
| Figura 30. | Evolución del consumo consuntivo en la PY   | 48 |
| Figura 31. | Productividad económica del agua en la PY   | 48 |
| Figura 32. | Estadística de la producción agrícola en la PY (temporal y riego)   | 49 |
| Figura 33. | Superficie agrícola sembrada en la Península de Yucatán por modalidad                                     | 49 |
| Figura 34. | Estadística de la producción agrícola (riego) en la Península de Yucatán                                  | 50 |
| Figura 35. | Superficie agrícola sembrada en la Península de Yucatán por modalidad                                     | 50 |
| Figura 36. | Evolución en los usos del agua en la Península de Yucatán   | 55 |
| Figura 37. | Distribución espacial de los pozos con registro de concesión de agua en la PY, año 2020.                  | 56 |
| Figura 38. | Distribución espacial de los pozos con registro de concesión de agua en la Península de Yucatán, año 2008 | 58 |
| Figura 39. | Diferentes usos del agua para cada una de las UP de Campeche  | 58 |
| Figura 40. | Diferentes usos del agua para cada una de las UP de Yucatán   | 60 |
| Figura 41. | Diferentes usos del agua para cada una de las UP de Quintana Roo  | 62 |
| Figura 42. | Permisos de descarga de aguas residuales (Mills m <sup>3</sup> )  | 64 |
| Figura 43. | Ubicación de pozos de descarga público urbano (pozos de absorción o inyección)                            | 66 |
| Figura 44. | Volumen de descarga total proveniente de aguas concesionada/asignada en la PY                             | 67 |
| Figura 45. | Inversión en infraestructura de agua potable, drenaje y saneamiento, 2002 a 2019                          | 71 |
| Figura 46. | Evolución en la cobertura de agua potable   | 71 |
| Figura 47. | Evolución en la cobertura de saneamiento  | 72 |
| Figura 48. | Evolución del agua desinfectada para el consumo humano por entidad federativa                             | 73 |
| Figura 49. | Evolución en el caudal tratado en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, 2003 a 2019 | 74 |
| Figura 50. | Cobertura de agua potable (%), 2012 a 2017  | 76 |
| Figura 51. | Cobertura de alcantarillado (%), 2012 a 2017  | 76 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Figura 52. | Eficiencia física (%), 2012 a 2017   | 78  |
| Figura 53. | Consumo (l/hab/día), 2012 a 2017   | 79  |
| Figura 54. | Costos entre volumen producido (\$/m <sup>3</sup> ), 2012 a 2017   | 80  |
| Figura 55. | Micromedición (%), 2012 a 2017   | 81  |
| Figura 56. | Relación costo-tarifa, 2012 a 2017   | 82  |
| Figura 57. | Características temporales y espaciales en cuanto al rezago hídrico público urbano   | 83  |
| Figura 58. | Distribución de la inversión FAIS en la UP CampN   | 90  |
| Figura 59. | Distribución de la inversión FAIS en la UP CampC   | 90  |
| Figura 60. | Distribución de la inversión FAIS en la UP CampS   | 90  |
| Figura 61. | Distribución de la inversión FAIS en la UP QRooN   | 91  |
| Figura 62. | Distribución de la inversión FAIS en la UP QRooC   | 91  |
| Figura 63. | Distribución de la inversión FAIS en la UP QRooS   | 92  |
| Figura 64. | Distribución de la inversión FAIS en la UP YucN  | 93  |
| Figura 65. | Distribución de la inversión FAIS en la UP YucO  | 93  |
| Figura 66. | Distribución de la inversión FAIS en la UP YucS  | 93  |
| Figura 67. | Semáforo para evaluar el índice de calidad del agua subterránea  | 97  |
| Figura 68. | Semáforo de calidad del agua: Índice de cumplimiento de calidad de agua (izquierda) e Iso concentraciones de CF (derecha)            | 98  |
| Figura 69. | Semáforo para evaluar el índice de calidad del agua superficial  | 98  |
| Figura 70. | Índices de cumplimiento: índice de cumplimiento de calidad de agua superficial (izquierda) y Nitrógeno inorgánico disuelto (derecha) | 99  |
| Figura 71. | Red de monitoreo de calidad del agua (RENAMECA)  | 99  |
| Figura 72. | Total de sitios de monitoreo de calidad del agua subterránea   | 100 |
| Figura 73. | Calidad del agua subterránea en la Península de Yucatán. Promedio del período 2012-2019  | 100 |
| Figura 74. | Calidad del agua subterránea en la Península de Yucatán. Promedio del período 2020   | 101 |
| Figura 75. | Clasificación de la calidad del agua del acuífero de la PY   | 102 |
| Figura 76. | Zonas con influencias químicas diferentes en el agua subterránea   | 103 |
| Figura 77. | Elevación de la haloclina en función de la distancia a la costa  | 107 |
| Figura 78. | Zona Hotelera y los rellenos a los que fue sujeta la laguna para expansión urbana en sistema lagunar Nichupté                        | 111 |
| Figura 79. | Sitios de monitoreo generales en la zona urbana y turística de Cancún  | 112 |
| Figura 80. | Dirección del flujo subterráneo en la zona del sitio de disposición de basura en la ciudad de Mérida                                 | 113 |
| Figura 81. | Ubicación de los pozos de muestreo de agua   | 114 |
| Figura 82. | Corte litológico del Pozo 2 del ex basurero de Mérida, Yucatán   | 115 |
| Figura 83. | Perfiles de (A) temperatura (B) conductividad eléctrica y (C) oxígeno disuelto vs profundidad  | 116 |
| Figura 84. | Perfiles de (D) potencial de hidrógeno y (E) redox vs profundidad  | 116 |
| Figura 85. | Sección de isoconcentración de DBO en mg/L   | 119 |
| Figura 86. | Sección de isoconcentración de arsénico en µg/L  | 119 |
| Figura 87. | Sección de isoconcentración de hierro en mg/L  | 120 |
| Figura 88. | Sección de isoconcentración de mercurio en µg/L  | 120 |
| Figura 89. | Sección de isoconcentración de coliformes totales en NMP/100 mL  | 121 |
| Figura 90. | Sección de isoconcentración de coliformes fecales en NMP/100 mL  | 121 |
| Figura 91. | Isoconcentraciones para el carbón orgánico total (mh/L)  | 124 |
| Figura 92. | Isoconcentraciones para la DQO total y soluble (mg/L)  | 124 |
| Figura 93. | Isoconcentraciones para la DBO5 (mg/L)   | 125 |
| Figura 94. | Incidencia de metales pesados en niños según estrato económico   | 129 |
| Figura 95. | Distribución de granjas porcícolas en Yucatán  | 131 |
| Figura 96. | Distribución de granjas avícolas en Yucatán, según función zootécnica  | 133 |
| Figura 97. | Tipos de instalaciones para aves encontrados en el traspatio de comunidades rurales de Yucatán                                       | 134 |
| Figura 98. | Ubicación de los sitios de muestreo para evaluación de agroquímicos  | 138 |
| Figura 99. | Expresión genética de Vitelogenina en peces cebras enjaulados en diferentes cuerpos de agua de Yucatán                               | 139 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 100. Expresión genética de CYP1A en peces cebras enjaulados en diferentes cuerpos de agua de Yucatán  | 139 |
| Figura 101. Concentración total de plaguicidas organoclorados en pozos y cenotes ubicados en la zona de Anillo de Cenotes  | 142 |
| Figura 102. Concentración en pozos de captación de agua potable de Aldrín Alfa Lindano en 2015   | 143 |
| Figura 103. Distribución espacial de DDT en temporada de secas   | 144 |
| Figura 104. Distribución espacial de DDT en temporada de lluvias   | 144 |
| Figura 105. Distribución espacial de DDT en temporada de nortes  | 145 |
| Figura 106. Distribución espacial de Lindano en temporada de nortes  | 145 |
| Figura 107. Distribución espacial de Lindano en temporada de secas   | 146 |
| Figura 108. Distribución espacial de Lindano en temporada de lluvias   | 146 |
| Figura 109. Concentraciones totales ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) de DDT, HCH y drines en agua del Río Candelaria, Campeche   | 148 |
| Figura 110. Concentraciones totales ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) de endosulfán en agua del Río Candelaria, Campeche.   | 149 |
| Figura 111. Concentraciones ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) del herbicida glifosato en agua del Río Candelaria, Campeche  | 150 |
| Figura 112. Ubicación de los cenotes muestreados en la Zona Geohidrológica del Anillo de Cenotes   | 155 |
| Figura 113. Distribución del Norovirus GI, GII y el Adenovirus humano durante la temporada seca y lluviosa en sitios seleccionados en el acuífero del noreste de la PY, México | 157 |
| Figura 114. Área de estudio con los sitios de muestreo y algunos detalles del uso de suelo   | 159 |
| Figura 115. Variaciones espaciales y temporales de a). Conductividad eléctrica, b). Esteroles y, c). Esteroles fecales a lo largo del anillo de cenotes                        | 162 |
| Figura 116. Monitoreo a la cloración en los sistemas municipales de agua potable   | 164 |
| Figura 117. Tasa de población de casos de enfermedades de origen hídrico (EOH) en la PY  | 165 |
| Figura 118. Enfermedades de origen hídrico en la PY (miles de casos)   | 166 |
| Figura 119. Infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas (A04, A08, A09, excepto A08.0)   | 166 |
| Figura 120. Condición trófica del agua marina e indicadores de calidad de agua litoral y lagunar   | 168 |
| Figura 121. Trazo de la ruta del Tren Maya y municipios de influencia  | 169 |
| Figura 122. Escenario poblacional al año 2030 previsto para la península de Yucatán  | 170 |
| Figura 123. Superficie potencial urbanizable después de excluir criterios biofísicos   | 172 |
| Figura 124. Área potencial urbanizable final para Mérida, Yucatán.   | 172 |
| Figura 125. Zonas de atención prioritaria para la gestión de residuos sólidos y tratamiento de aguas residuales  | 174 |
| Figura 126. Posible ubicación del AIT  | 175 |
| Figura 127. Esquema del proceso participativo  | 176 |
| Figura 128. Problemática hídrica, impactos y causas  | 187 |
| Figura 129. Evolución del Consejo de Cuenca Península de Yucatán   | 191 |
| Figura 130. Estructura del Consejo Cuenca Península de Yucatán   | 192 |
| Figura 131. Sectores usuarios y de la sociedad organizada  | 192 |
| Figura 132. Presión sobre la disponibilidad y distribución de usos del agua al 2050.   | 205 |
| Figura 133. Mapeo del acuífero a partir de las mediciones de resistividad eléctrica por medio de un estudio aéreo electromagnético   | 207 |
| Figura 134. Penetración de la cuña salina bajo escenario de cambio climático RCP8.5 para la costa norte de Yucatán   | 208 |
| Figura 135. Vulnerabilidad a salinización del acuífero al 2050.  | 209 |
| Figura 136. Periodos de retorno de vientos máximos de huracanes en la PY considerando escenarios de cambio climático RCP8.5 al 2100.   | 210 |
| Figura 137. Esfuerzos internacionales  | 214 |
| Figura 138. Componentes básicos de la Agenda de Agua 2030  | 215 |
| Figura 139. Problemas prioritarios en la PY  | 226 |
| Figura 140. Jerarquización de retos y necesidades del PHR  | 229 |
| Figura 141. Esquema de la integración de las EP  | 230 |
| Figura 142. Distribución de las viviendas con rezago de agua potable a nivel peninsular, 2020  | 234 |
| Figura 143. Distribución del total de viviendas de población desatendida con rezago en agua potable  | 235 |
| Figura 144. Distribución de la población con rezago de drenaje en la PY al 2020  | 237 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 145. Distribución del total de viviendas de población desatendida sin acceso a drenaje en la PY al 2020   | 237 |
| Figura 146. Porcentaje de extracción de agua subterránea para distintas actividades  | 239 |
| Figura 147. Volumen total de agua concesionada para el sector agrícola a nivel PY por volumen de concesión   | 242 |
| Figura 148. Proporción del volumen de agua subterránea concesionado para la UP QRooN por uso de agua   | 243 |
| Figura 149. Cantidad de viviendas por tipo de drenaje en municipios urbanos y rurales al 2020  | 252 |
| Figura 150. Comparación de grado de vulnerabilidad a la contaminación con la ubicación de pozos dentro de la PY  | 258 |
| Figura 151. Cambio de uso de suelo en la PY  | 263 |
| Figura 152. Consolidación de la cartera de proyectos PHR mediante criterios de filtrado  | 327 |
| Figura 153. Captura de pantalla de la herramienta de visualización de la cartera de proyectos disponible en <a href="http://phr2024py.com">phr2024py.com</a> | 328 |
| Figura 154. Distribución de montos anuales y cantidad de proyectos de la cartera de proyectos por UP en millones de pesos por año                            | 330 |
| Figura 155. Montos anuales para la implementación de la cartera de proyectos por EP y UP en millones de pesos por año  | 331 |
| Figura 156. Comparación de presupuestos estimados y presupuestos disponibles por EP en millones de pesos M.N al año.   | 337 |
| Figura 157. Brechas de financiamiento para el Objetivo 1. Montos en millones de pesos M.N.   | 337 |
| Figura 158. Brechas de financiamiento para el Objetivo 2. Montos en millones de pesos M.N.   | 338 |
| Figura 159. Brechas de financiamiento para el Objetivo 3. Montos en millones de pesos M.N.   | 339 |
| Figura 160. Brechas de financiamiento para el Objetivo 4. Montos en millones de pesos M.N.   | 340 |
| Figura 161. Brechas de financiamiento para el Objetivo 5. Montos en millones de pesos M.N.   | 341 |

## Siglas y acrónimos

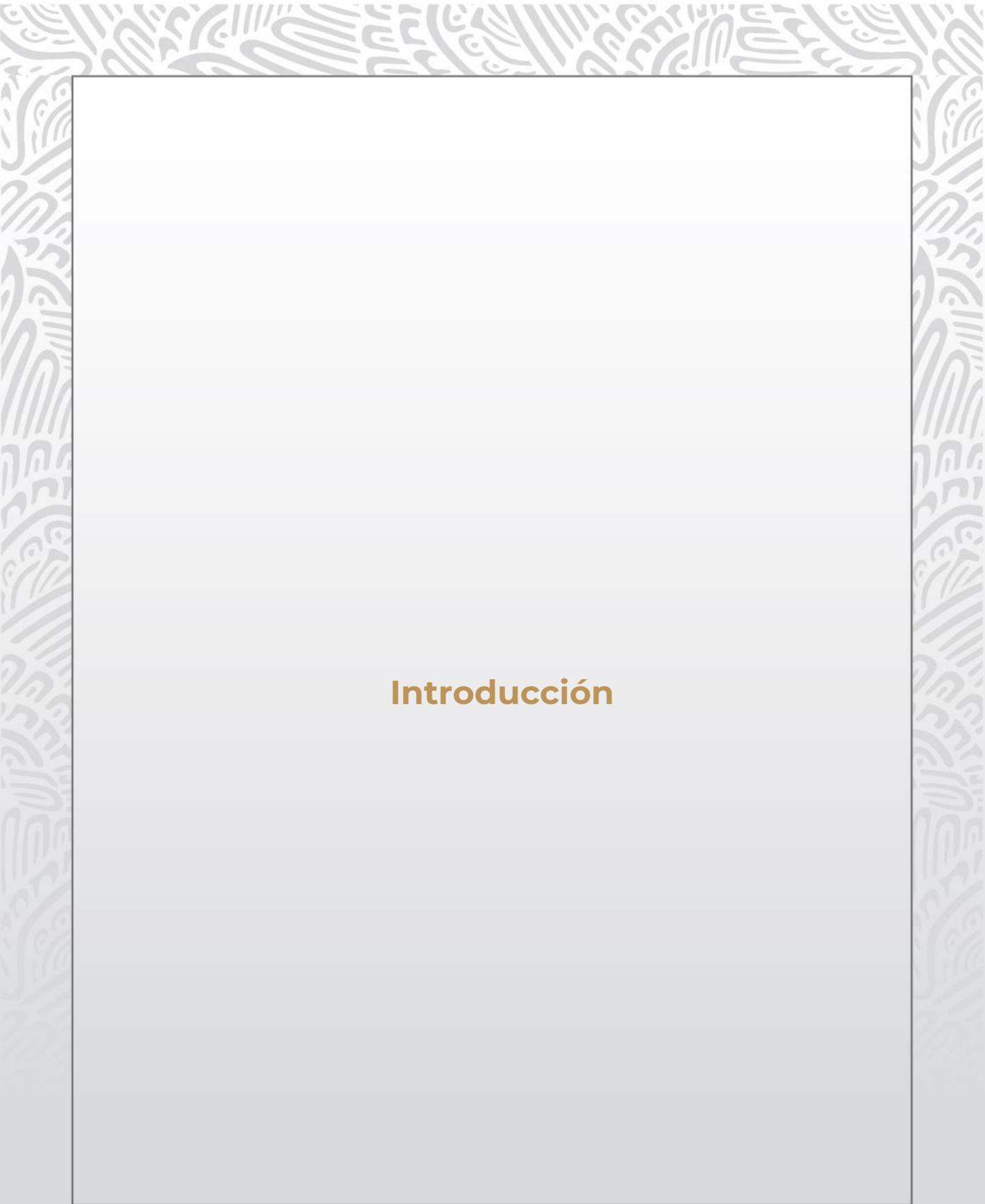
|          |  |
|----------|--|
| AGU      | Asamblea General de Usuarios   |
| AL21     | Agenda Local 21  |
| ANP      | Áreas Naturales Protegidas   |
| ATP      | Análisis Técnico Prospectivo   |
| CADNC    | Consumo del Agua de Descarga Natural Comprometida  |
| CAMPC    | Campeche Candelaria  |
| CAMPN    | Campeche Norte   |
| CAMPS    | Campeche Sur   |
| CAPA     | Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo                           |
| CCPY     | Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán   |
| CDB      | Convenio sobre Diversidad Biológica  |
| CE       | Conductividad Eléctrica  |
| CENAPRED | Centro Nacional de Prevención de Desastres   |
| CESVYA   | Consejo Estatal de Sanidad Vegetal y Animal  |
| CI       | Presencia de Cloro   |
| CMNUCC   | Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático                              |
| COFEPRIS | Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios                                  |
| CONABIO  | Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad                               |
| CONACYT  | Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología   |
| CONAGUA  | Comisión Nacional del Agua   |
| CONANP   | Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas  |
| CONAPO   | Consejo Nacional de Población  |
| COP      | Conferencia de las Partes  |
| COTAS    | Comités Técnicos de Aguas Subterráneas   |
| COTASMEY | Comité Técnico de Aguas Subterráneas de la Zona Metropolitana del Anillo de Cenotes de Yucatán |
| COTESE   | Comité Técnico de Evaluación y Seguimiento   |
| COVI     | Comisión de Operación y Vigilancia   |
| CPV      | Censo de Población y Vivienda  |
| CUSTF    | Cambio de Uso de Suelos de Terrenos Forestales   |
| DBO      | Demanda Bioquímica de Oxígeno  |
| DNC      | Descarga Natural Comprometida  |
| DOF      | Diario Oficial de la Federación  |
| DQO      | Demanda Química de Oxígeno   |
| ECA      | Espacio de Cultura del Agua  |
| EP       | Estrategias Prioritarias   |
| ES       | Salinidad Efectiva   |
| FAFEE    | Fondo de Aportaciones para el Fortalecimiento de las Entidades Federativas                     |
| FHE      | Fenómenos Hidrometeorológicos Extremos   |
| FISE     | Fondo de Infraestructura Social para las Entidades   |
| FONATUR  | Fondo Nacional de Fomento al Turismo   |
| FONDEN   | Fondo Nacional para Desastres Naturales  |
| FONSUR   | Programa Fondo Sur Sureste   |

---

|              |   |
|--------------|---|
| FOPREDEN     | Fondo de Prevención de Desastres Naturales  |
| FORTAFIN     | Fondo para el Fortalecimiento Financiero  |
| GEI          | Gases Efecto Invernadero  |
| GET          | Grupos Especializados de Trabajo  |
| GETCCYPD     | Grupos Especializados de Trabajo de Cambio Climático y Prevención de Desastres                                      |
| GETECCA      | Grupos Especializados de Trabajo de Educación, Comunicación y Cultura del Agua                                      |
| GETS         | Grupos Especializados de Trabajo de Saneamiento   |
| GETH         | Grupos Especializados de Trabajo de Humedales   |
| HAPs         | Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos   |
| IMTA         | Instituto Mexicano de Tecnología del Agua   |
| INEGI        | Instituto Nacional de Estadística y Geografía   |
| IPCC         | Intergovernmental Panel of Climate Change   |
| JAPAY        | Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán   |
| LAN          | Ley de Aguas Nacionales   |
| LGCC         | Ley General de Cambio Climático   |
| LGEEPA       | Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente  |
| MODIS        | Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer   |
| MPAN         | Mineralización Anaeróbica Potencial del Nitrógeno   |
| MSRRD        | Marco de Sendai para la Reducción de Desastres  |
| NOM          | Normas Oficiales Mexicana   |
| OA           | Órganos Auxiliares  |
| ODS          | Objetivos de Desarrollo Sostenible  |
| OMS          | Organización Mundial de la Salud  |
| ONG          | Organizaciones No Gubernamentales   |
| OP           | Objetivos Prioritarios  |
| OSC          | Organizaciones de la Sociedad Civil   |
| PEF          | Presupuesto de Egresos de la Federación   |
| PEI          | Programa de Estímulos a la Innovación   |
| PHR          | Programa Hídrico Regional   |
| PHRPY        | Programa Hídrico Regional de la Península de Yucatán  |
| PND          | Plan Nacional de Desarrollo   |
| PIGOO        | Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores   |
| PNH          | Programa Nacional Hídrico   |
| PNUD         | Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo  |
| POEL         | Programa de Ordenamiento Ecológico Local  |
| POET         | Programa de Ordenamiento Ecológico de Territorio  |
| POETCY       | Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio Costero del Estado de Yucatán                                     |
| Plan Rector  | Plan rector en materia de agua para la protección, conservación y recuperación ambiental de la Península de Yucatán |
| PP-PNH       | Problemas Públicos según el Plan Nacional Hídrico   |
| PR 2019-2024 | Plan Rector   |
| PROAGUA      | Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento  |
| PROMARNAT    | Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales   |
| PS           | Salinidad Potencial   |

---

|          |  |
|----------|--|
| PTARs    | Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales               |
| PY       | Península de Yucatán                                     |
| QROOC    | Quintana Roo Centro                                      |
| QROON    | Quintana Roo Norte                                       |
| QROOS    | Quintana Roo Sur   |
| QRSS     | Quintana Roo Speleological Survey                        |
| RAMSAR   | Convención de Humedales de Importancia Internacional.    |
| RENAMECA | Red de Monitoreo de la Calidad de Agua                   |
| REPDA    | Registro Público de Derechos del Agua                    |
| RHA      | Regiones Hidrológico-Administrativas                     |
| RMOD     | Retención de Materia Orgánica Disuelta                   |
| SAR      | Relación de Adsorción de Sodio                           |
| SDS      | Secretaría de Desarrollo Sustentable                     |
| SEDENA   | Secretaría de la Defensa Nacional                        |
| SEMA     | Secretaría del Medio Ambiente del Estado de Quintana Roo |
| SEMARNAT | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales        |
| SNIA     | Sistema Nacional de Indicadores de la SEMARNAT           |
| UP       | Unidad de Planeación                                     |
| YucN     | Yucatán Norte  |
| YucO     | Yucatán Oriente  |
| YucS     | Yucatán Sur  |
| ZOFEMAT  | Zona Federal Marítimo Terrestre                          |



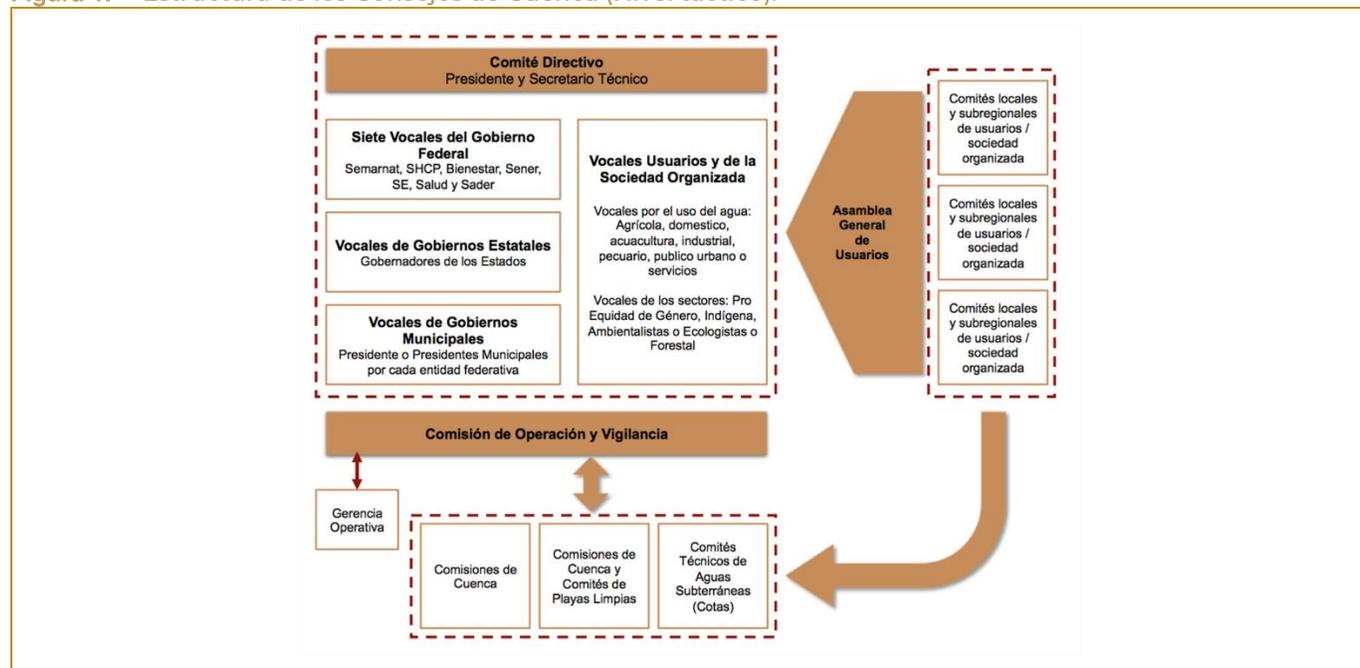
## Introducción

En México, la política hídrica tiene como base la Ley de Aguas Nacionales (LAN), en donde se hace referencia a la planeación y la programación; estableciendo en su artículo 15 el carácter obligatorio de éstas para la gestión integrada de los recursos hídricos, la conservación de recursos naturales, los ecosistemas vitales y el medio ambiente.

En ella se establece un modelo de manejo integrado, con la cuenca como unidad de gestión. En donde la planeación y programación hídrica deben involucrar al nivel federal, estatal y municipal. A partir de lo anterior, surge la integración y actualización de un catálogo de Programas para el uso o aprovechamiento del agua, así como de su preservación y control de su calidad. Como resultado se tiene:

- El Programa Nacional Hídrico (PNH), alineado con las estrategias internacionales y nacionales, aprobado por el Ejecutivo Federal y retroalimentado por los programas hídricos regionales (Nivel estratégico).
- Programas Hídricos para cada una de las cuencas hidrológicas o grupos de cuencas hidrológicas en que se constituyan Organismos de Cuenca y operen Consejos de Cuenca, elaborados, consensuados e instrumentados por éstos, y alineados con las necesidades estatales o locales y los lineamientos nacionales e internacionales (Figura 1).
- Los subprogramas específicos, regionales, de cuencas hidrológicas, acuíferos, estatales y sectoriales que permitan ordenar el manejo de cuencas y acuíferos (Nivel operativo, lo que para este Programa denominamos "UP").
- Programas especiales o de emergencia que instrumente "la Comisión" o los Organismos de Cuenca para la atención de problemas y situaciones especiales en que se encuentre en riesgo la seguridad de las personas o sus bienes.

**Figura 1. Estructura de los Consejos de Cuenca (Nivel táctico).**



Fuente: Modificado del PHR 2014-2018.

A nivel estratégico, se cuenta con el PNH 2020-2024, observando las disposiciones de la Ley de Planeación que ordena que se debe asegurar la congruencia entre dicho programa especial y el Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2020-2024, así como con el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2019-2024.

El PHR 2021-2024 de la RHA XII PY se preparó en el marco de ese proceso nacional de planificación hídrica a instancias de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), gracias al apoyo financiero por parte de la Fundación Río Arronte, la administración por parte de Amigos de Sian Ka'an A.C., y el auspicio y liderazgo del Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán (CCPY).



A nivel táctico, El PHR 2021-2024 de la RHA XII PY, se realizó mediante un proceso de planeación estratégica participativa, basada en diversos planes y programas previos, que sirvió como marco de vinculación con los aspectos de planeación sectorial y programación, armónico con la política hídrica nacional, que permita fijar una hoja de ruta hacia la seguridad, la sustentabilidad y la resiliencia hídrica de la región en el corto, mediano y largo plazo. La integración del PHR articula el diagnóstico; la alineación con los Objetivos nacionales e internacionales; Objetivos, Estrategias y Acciones Puntuales; Sistemas de Monitoreo (metas de bienestar y parámetros; Catálogo de actividades colectivas (proyectos y acciones); Inversiones y Programas Presupuestales; y Mecanismos de Transparencia.

La integración de este PHRPY enfrentó como principal reto la situación de la pandemia por el virus COVID-19. Esta situación limitó las reuniones y entrevistas presenciales, afectando el ejercicio participativo. El reto principal fue capturar las voces de grupos vulnerables, principalmente de los Pueblos y Comunidades Indígenas, así como de comunidades apartadas. Si bien, la participación de actores con acceso a herramientas virtuales se facilitó, para otros grupos la brecha digital limitó su involucramiento.

Conscientes de la limitación tecnológica se implementó una estrategia para involucrar de manera más activa a los actores con capacidad de contactar a grupos con una mayor brecha digital o bien con historial de trabajo con estas comunidades. La estrategia consistió en solicitar el apoyo de los integrantes del Consejo de Cuenca provenientes de Comunidades Indígenas y comunidades apartadas, del Instituto Nacional para los Pueblos Indígenas, de los Consejos Asesores de las Áreas Naturales Protegidas Federales y de organizaciones de jóvenes y de la sociedad civil.

De tal modo se logró extender la participación a través de entrevistas telefónicas, reuniones participativas; y cuestionarios en línea, tanto en castellano como en lengua maya. Además, se preparó material didáctico en ambos idiomas que se puso a disposición de quienes organizaron reuniones. Se realizaron campañas desde la página de Facebook del CCPY para promover la participación de la sociedad en el proceso. La estrategia logró que se contará con una participación aproximada de poco más de 1,126 personas de diferentes sectores a lo largo del proceso. El resultado de éste fue la integración del presente documento que se conforma de nueve capítulos y anexos.

El capítulo 1 contiene la descripción de las características del contexto hidro-geológico, aspectos demográficos, sociales y económicos, gestión de riesgos, cambio climático, además del diagnóstico de las problemáticas identificadas para la Península de Yucatán.

El capítulo 2 se hace un análisis y descripción de detallada de la estructura de gestión del agua en la Península de Yucatán. Detallando la estructura y los diferentes Órganos Auxiliares y funcionales del Consejo de Cuenca. Así mismo se hace una revisión sobre las fortalezas, debilidades y las acciones de mejora del Consejo de Cuenca.

El capítulo 3 hace referencia a los escenarios socio-ambientales y de cambio climático en la Península de Yucatán. Y se evalúan los riesgos en cuanto a salinización de acuíferos y el aumento de inundaciones derivado de fenómenos hidrometeorológicos extremos.

El capítulo 4 incluye la alineación de este PHR 2021-2024 con los objetivos del PND, PROMARNAT, PNH, PHR 2030, PHR 2014-2018, Programas de Gestión de los Órganos Auxiliares de Cuenca y los Comités de playas Limpias, así como el Plan rector en materia de agua para la protección, conservación y recuperación ambiental de la Península de Yucatán (Plan Rector) y los ODS. Además, se destacan los esfuerzos realizados a nivel internacional para lograr el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. Entre ellos se encuentran el Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB), la Conferencia de las Partes (COP) 21, la Agenda Local 21 (AL21), el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (MSRRD) 2015-2030 y la Convención RAMSAR.

El capítulo 5 describe las estrategias prioritarias resultado de la integración del proceso participativo, los análisis técnicos y estadísticos. Cada estrategia se distribuyó de acuerdo con los cinco objetivos basados en el PNH.

En el capítulo 6 se retoman algunos indicadores que miden el progreso de las metas ya establecidas y monitorean los avances de la Región en función de las necesidades derivadas del proceso participativo que se desarrolló en este programa. Por cada objetivo se definieron algunas prioridades que cubren las necesidades vistas en el proceso participativo. El avance de estas prioridades se medirá de igual manera con un indicador, de tal modo que se monitoreará de manera eficiente la planeación y toma de decisiones regional, tomando en cuenta a todos los actores involucrados en la gestión hídrica de la PY.

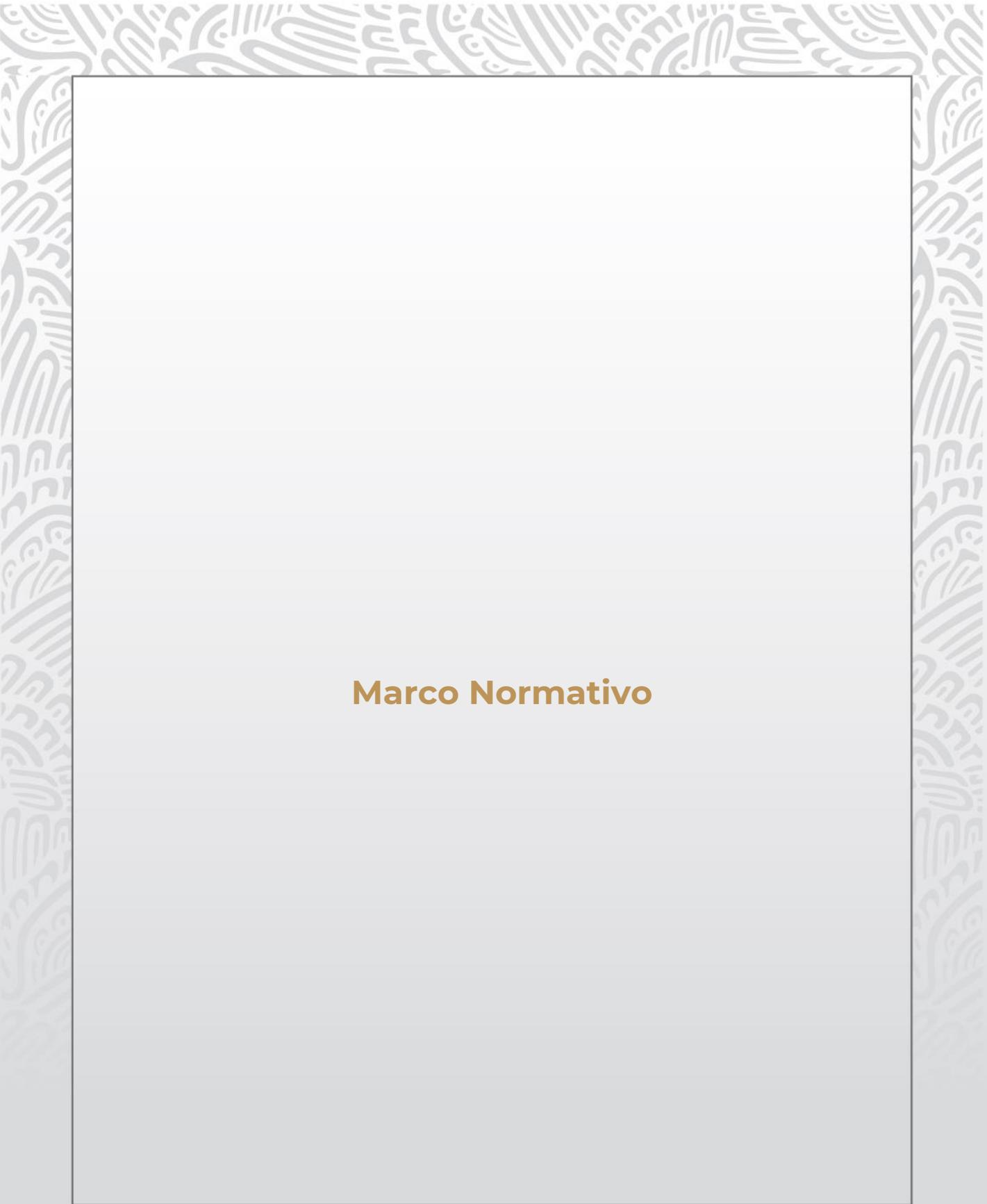
El capítulo 7 adelanta un catálogo de actividades colectivas expresadas a través de un conjunto de proyectos integrales considerando: el nombre del proyecto, principales características, localización (estado, municipio, cuenca, UP), costos y principales beneficios.

En el capítulo 8 se desarrolla un análisis de la programación anualizada del gasto corriente y del gasto de inversión para el periodo 2021-2024, alineados a los objetivos, estrategias y actividades del catálogo, considerando los programas presupuestales del sector hídrico y los de otros sectores.

Finalmente, el capítulo 9, enfoca en describir el proceso para la implementación, seguimiento y evaluación de las acciones puntuales y de las actividades colectivas.

Los principales puntos en los que se utilizó y se alineó el Plan Rector en materia de agua para la protección, conservación y recuperación ambiental de la península de Yucatán 2019 en el proceso de elaboración del PHR 2021 – 2024, se resaltan en los siguientes puntos:

- Análisis inicial de problemáticas hídricas y medidas para el proceso participativo.
- Alineación de Problemáticas, Objetivos estratégicos, Metas generales, Acciones generales y tipos de proyectos plasmados en el Plan Rector con los distintos instrumentos de planeación vigentes (PNH 2020-2024 y PHR visión 2030) para la formulación de la propuesta de Objetivos, Estrategias y acciones puntuales de este PHRPY 2021-2024 (Capítulo 4).
- Análisis de la matriz de proyectos priorizada (ANEXO 15 del documento del Plan Rector) para la identificación de presupuestos necesarios por UP y análisis de brecha de dichos presupuestos con los presupuestos estimados por el PHR visión 2030 y los presupuestos disponibles federales según el DOF y estatales según información enviada por los Organismos Operadores de los tres estados al CCPY.
- Consolidación de la cartera de proyectos del PHRPY 2021-2024 a partir de la matriz de proyectos priorizada del PR (ANEXO 15 del documento del Plan Rector) en una herramienta virtual de acceso público para la identificación de proyectos por parte de gobiernos locales y sociedad civil disponible en: <https://sites.google.com/ithacaev.com/participacion-phr-2020-2024-py/explora/catalogo-de-actividades-colectivas><<https://na01.safelinks.protection.outlook.com/?url=https%3A%2F%2Fsites.google.com%2Fithacaev.com%2Fparticipacion-phr-2020-2024-py%2Fexplora%2Fcatalogo-de-actividades-colectivas&data=04%7C01%7C%7Caf81c1ad804e436aae9108d971b64bad%7C84df9e7fe9f640afb435aaaaaaaaaaa%7C1%7C0%7C637665850094433303%7CUnknown%7CTWFpbGZsb3d8eyJWljojMC4wLjAwMDAiLCJQIjoiV2luMzliLCJBTiI6IklhaWwiLCJXVCI6Mn0%3D%7C1000&sdata=a06RT2ruNo0LqriirYZJaC2z%2BKVF9G4sHOQCjC5x%2FIM%3D&reserved=0>
- Utilización de los indicadores de seguimiento del PR como base para los indicadores del PHRPY 2021-2024 en conjunto con los demás instrumentos de planeación hídrica vigentes.



## **Marco Normativo**

La gestión del agua es un eje estratégico para garantizar el bienestar social, así como su desarrollo y el de las generaciones futuras. En donde la trascendencia del recurso hídrico se transforma en la ejecución de un conjunto de leyes y normas clave que tienen como eje central la LAN y a su vez tienen metas en común que se relacionan estrechamente con el derecho humano al agua.

## Derecho humano al agua

Por acuerdos internacionales, se entenderá a los convenios regidos por el Derecho Internacional Público, celebrado por escrito entre cualquier dependencia u organismo descentralizado de la Administración Pública Federal, Estatal o Municipal y uno o varios órganos gubernamentales extranjeros u organizaciones internacionales, cualquiera que sea su denominación, sea que se derive o no de un tratado previamente aprobado. De conformidad con la Fracción I del Artículo 76 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, los tratados deberán ser aprobados por el Senado y Ley Suprema de toda la Unión cuando estén de acuerdo con la misma, en los términos del artículo 133 de la propia Constitución.

En temas hídricos, el derecho humano al agua es el derecho de todos a disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y doméstico es una parte esencial de los derechos humanos. Por lo que la sociedad internacional ha puesto mayor atención en motivar a todos los Estados para adoptar instrumentos internacionales y ponerlos en marcha a través de planes y programas que mejoren y amplíen el acceso de todas las personas a este recurso vital. Lo cual implica que todas las poblaciones tengan, sin discriminar a ninguna persona y sin importar su nivel económico, tengan acceso al abastecimiento del agua y al saneamiento de las aguas residuales.

El acceso al agua es un  
derecho humano  
consagrado en nuestra  
Constitución.

Por lo anterior se puede decir que los factores que componen el derecho al agua son:

- El derecho de las personas a este recurso;
- La responsabilidad de los poderes públicos;
- El servicio de acceso a todas las personas; y
- El ámbito de aplicación de los Estados.

Además, se debe considerar que el agua es un recurso natural limitado y un bien público fundamental para la vida y la salud. El derecho humano al agua es indispensable para vivir dignamente y es una condición previa para la realización de otros derechos humanos. Es importante señalar que más de 1,000 millones de personas a nivel mundial carecen de un suministro suficiente de agua y varios miles de millones no tienen acceso a servicios adecuados de saneamiento, lo cual constituye la principal causa de contaminación del agua y de varias enfermedades relacionadas con el agua.

En tanto que lo que resulta adecuado para el ejercicio del derecho al agua puede variar en función de distintas condiciones, los siguientes factores se aplican en cualquier circunstancia:

- La disponibilidad. El abastecimiento de agua de cada persona debe ser continuo y suficiente para los usos personales y domésticos. Esos usos comprenden normalmente el consumo, el saneamiento, la colada, la preparación de alimentos y la higiene personal y doméstica. La cantidad de agua disponible para cada persona debería corresponder a las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS).
- La calidad. El agua necesaria para cada uso personal o doméstico debe ser salubre, y por lo tanto, no ha de contener microorganismos o sustancias químicas o radiactivas que puedan constituir una amenaza para la salud de las personas. Además, el agua debería tener un color, un olor y un sabor aceptables para cada uso personal o doméstico.
- La accesibilidad. El agua y las instalaciones y servicios de agua deben ser accesibles a todos, sin discriminación alguna, dentro de la jurisdicción del Estado Parte. La accesibilidad presenta cuatro dimensiones superpuestas: i) Accesibilidad física, ii) Accesibilidad económica, iii) No discriminación, iv) Acceso a la información.

## Obligaciones básicas del Estado

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, norma fundamental que regula la administración del agua en nuestro país señala en su Artículo 4º, Párrafo Quinto que toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible; y es el Estado quien garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines.

En esta administración se impulsa una mayor cooperación internacional para garantizar el derecho del agua, y para complementar los esfuerzos nacionales de los países en desarrollo. Estos esfuerzos requieren de una mayor disposición de los Estados para adoptar medidas que garanticen este derecho a nivel nacional, esto con nuevas disposiciones legislativas, así como con el desarrollo de planes y programas que clarifiquen que el acceso al agua es un derecho y no sólo un beneficio. De manera que se facilite la adopción de políticas estatales, nacionales e internacionales que encaminen hacia un mejor nivel de vida de la población, impulsando un consumo sostenible bajo un aprovechamiento responsable.

La Constitución Mexicana, en su Artículo 27, establece que, si bien el derecho de propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional corresponde originariamente a la Nación, este puede ser transmitido a particulares, constituyendo la propiedad privada y permitiendo que las aguas subterráneas sean libremente alumbradas por los propietarios mediante obras artificiales.

Sin embargo, se clarifica que el manejo, aún de los particulares, seguirá siendo normado por la Nación a través de la institución correspondiente, y con el objeto de privilegiar el interés público, no sólo en términos de mejoramiento de las condiciones de vida de la población o para las actividades productivas, sino también para la preservación de los recursos naturales y del equilibrio ecológico; para lo cual, se mencionan instrumentos aprobados por el Ejecutivo Federal como reglamentos y vedas. Este precepto está reflejado en la LAN.

## Marco normativo en relación con el agua

Para la gestión del agua, existen leyes que involucran o se relacionan directa o indirectamente con el recurso hídrico. Entre ellas podemos destacar las siguientes:

- La Ley de Planeación establece, en su Artículo 4º que es responsabilidad del Ejecutivo Federal conducir la planeación nacional del desarrollo con la participación democrática de los grupos sociales, y señala en su Artículo 22 que el PND indicará los programas especiales que deben ser elaborados, los cuales serán congruentes con el mismo. Esta Ley refiere que este desarrollo debe atenderse a criterios de equidad, integralidad, sustentabilidad y con perspectiva de género.
- La LAN, como principio de política hídrica, reconoce la naturaleza del agua como un bien de dominio público federal, vital, vulnerable y finito, con valor social, económico, ambiental, prioritario y de seguridad nacional; y puntualiza, que el uso del consumo doméstico y público urbano será preferente sobre cualquier otro, especialmente en poblaciones o zonas marginadas.

El acceso al agua es un  
derecho humano  
consagrado en nuestra  
Constitución.

La LAN establece que la planificación hídrica es de carácter obligatorio para la gestión integrada de los recursos hídricos, la conservación de los recursos naturales, ecosistemas vitales y el medio ambiente. Por tanto, la formulación, implantación y evaluación de la planificación y programación hídrica comprenderá, entre otros, el PNH y los Programas Hídricos para cada una de las cuencas hidrológicas o grupos de cuencas hidrológicas en que se constituyan Organismos de Cuenca y operen Consejos de Cuencas, elaborados, consensuados e instrumentados por éstos.

Este instrumento preserva la atribución del Poder Ejecutivo Federal de ejercer la autoridad y administración de las aguas nacionales, directamente o a través de la CONAGUA, órgano administrativo desconcentrado de la SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales); y que ejercerá sus funciones en los ámbitos

federal y regional, a través de los Organismos de Cuenca. En este sentido, la LAN promueve la participación de los diferentes órdenes de gobierno y sociedad a través de los Consejos de Cuenca.

Finalmente, la LAN señala que la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, incluyendo las del subsuelo, así como de los bienes nacionales que administre la CONAGUA, motivará el pago por parte de los usuarios de las cuotas que establece la Ley Federal de Derechos. Resultando exentos de pago aquellos que se dediquen a actividades agrícolas o pecuarias y el uso doméstico que se relacione con estos usos y las localidades rurales iguales o inferiores a 2 500 habitantes.

- En la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente (LGEEPA) se establecen las bases y los criterios para el aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales, buscando la compatibilidad entre la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas y con la prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo.

El artículo 20 BIS de dicha LGEEPA se refiere a que la “formulación, expedición, ejecución y evaluación del ordenamiento ecológico general del territorio se llevará a cabo de conformidad con lo dispuesto en la Ley de Planeación. Asimismo, la SEMARNAT deberá promover la participación de grupos y organizaciones sociales y empresariales, instituciones académicas y de investigación, y demás personas interesadas, de acuerdo con lo establecido en esta Ley, así como en las demás disposiciones que resulten aplicables.

Para lo anterior, determina las facultades de la federación, los estados y los municipios en materia de cuidado ambiental, mencionando entre ellas la regulación del aprovechamiento sustentable, la protección y preservación de las aguas nacionales y de los demás recursos naturales de su competencia; la prevención y control de la contaminación de las aguas de jurisdicción estatal, así como las aguas nacionales asignadas; y, la aplicación de las disposiciones jurídicas en materia de prevención y control de la contaminación de las aguas que se descarguen en los sistemas de drenaje y alcantarillado de los centros de población, así como de las aguas nacionales que tengan asignadas, con la participación que conforme a la legislación local en la materia, corresponda a los gobiernos de los estados, respectivamente. En este sentido se infiere la necesidad de contar con leyes estatales que respalden las acciones de prevención relacionadas especialmente con la calidad del agua.

- En la Ley General de la Salud se menciona que serán las autoridades sanitarias quienes deberán establecer las normas, tomar las medidas y realizar las actividades a que se refiere esta Ley referentes a la protección de la salud humana ante los riesgos y daños dependientes de las condiciones del ambiente.

En el Artículo 118, hace mención de que a la Secretaría de Salud le corresponde, entre otras acciones, determinar los valores de concentración máximos permisibles para el ser humano de contaminantes en el ambiente; emitir las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) a las que deberá sujetarse el tratamiento del agua para uso y consumo humano, estableciendo criterios sanitarios para la fijación de condiciones particulares de descarga, el tratamiento y uso de aguas residuales; promover y apoyar el saneamiento básico.

En concordancia, el Artículo 457 tipifica como delito y penaliza al que por cualquier medio contamine un cuerpo de agua, superficial o subterráneo, cuyas aguas se destinen para uso o consumo humano, con riesgo para la salud de las personas; quedando sin definirse qué se entiende por contaminación en los términos de esta ley, la cual carece de definición de términos.

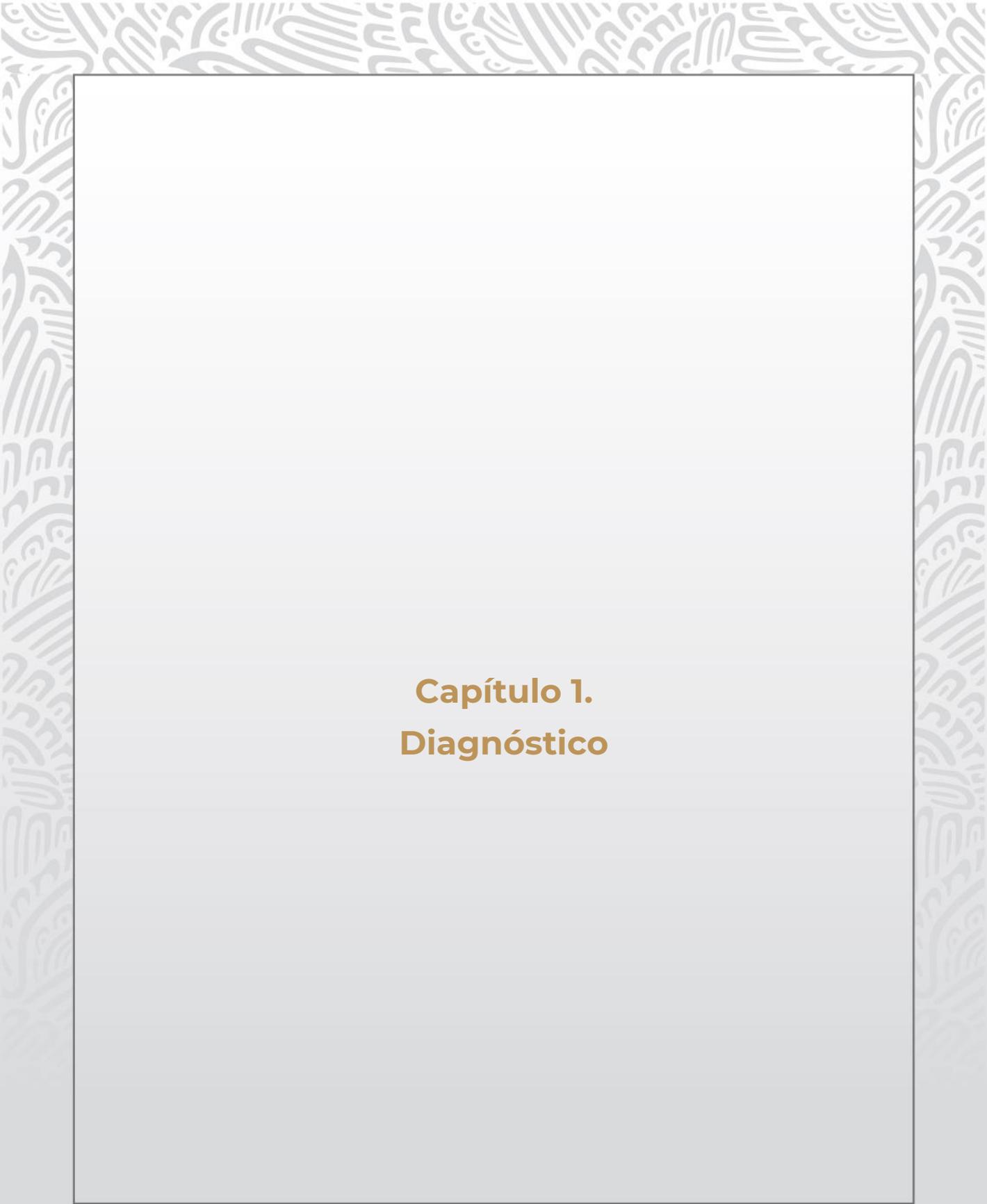
- La Ley de Desarrollo Rural Sustentable en su Título Tercero, sobre el Fomento Agropecuario y de Desarrollo Rural Sustentable, establece que la política y programas de fomento a la producción atenderán prioritariamente el criterio de sustentabilidad en relación con el aprovechamiento de los recursos, ajustando las oportunidades de mercado, tomando en cuenta los planteamientos de los productores en cuanto a la aceptación de las prácticas y tecnologías para la producción.
- La Ley General de Cambio Climático (LGCC) expresa que las dependencias y entidades de la administración pública federal centralizada y paraestatal, las entidades federativas y los municipios, en el ámbito de sus competencias, implementarán acciones para la adaptación conforme a ciertas disposiciones. Al Estado se le concede la atribución de formular, regular, dirigir e instrumentar acciones de preservación, restauración, manejo y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y recursos hídricos de su competencia. El Artículo 8 determina que, a nivel municipal, estas acciones deben aplicarse a la prestación del servicio de agua potable y saneamiento y la preservación de los recursos naturales, entre otras, algunas de las cuales también están relacionadas con el agua, aunque no directamente.

Los recursos del Fondo para el Cambio Climático se han destinado entre otras acciones, a las que permitan recargar los mantos acuíferos; implementar prácticas agropecuarias sustentables; preservar la integridad de playas, costas, zona federal marítimo terrestre, terrenos ganados al mar y cualquier otro depósito que se forme

con aguas marítimas, humedales y manglares; promover la conectividad de los ecosistemas a través de corredores biológicos, conservar la vegetación ripiara y para aprovechar sustentablemente la biodiversidad.

- La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) establece el marco para la colaboración internacional para hacer frente al cambio climático. Reconoce que el cambio climático representa una amenaza para el recurso hídrico y que la política climática debe incluir el tema del agua con el fin de garantizar un futuro resiliente al clima y sostenible.



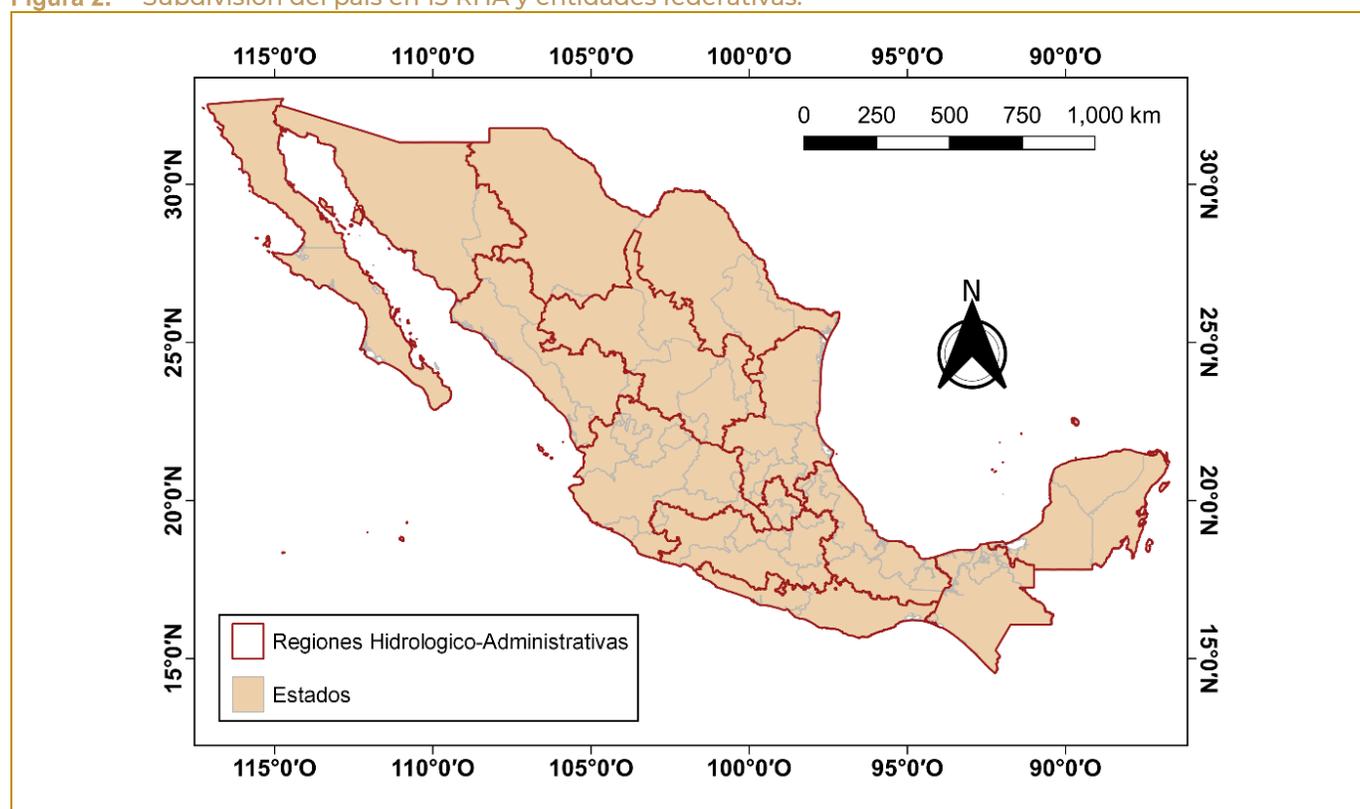


# **Capítulo 1. Diagnóstico**

Para fines de administración del agua, el país se dividió en 757 cuencas hidrológicas, agrupadas en 37 regiones hidrológicas, además de 653 acuíferos para la administración de las aguas subterráneas. De acuerdo con la Ley de Aguas Nacional (LAN), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) desempeña sus funciones a través de 13 Organismos de Cuenca, cuyos sendos ámbitos de competencia son las 13 Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA, Figura 2 y Tabla 1).

Las Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA) están definidas con criterios hidrológicos y respetando la división política municipal para facilitar los procesos administrativos y la integración de información socioeconómica. Las RHA están conformadas por una o varias regiones hidrológicas o por Unidades de Planeación (UP), en las que se considera a la cuenca hidrológica como unidad básica para la gestión integrada de los recursos hídricos. La lista de los municipios que integran a cada RHA se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) en mayo de 1998, con modificaciones en publicaciones posteriores.

**Figura 2.** Subdivisión del país en 13 RHA y entidades federativas.



Fuente: Elaborado con datos de CONAGUA (2020).

Oficialmente la RHA XII PY comprende la totalidad de los estados de Quintana Roo, Yucatán y Campeche. Se localiza en la porción sureste de la República Mexicana; colinda al norte y al poniente con el Golfo de México, al sur con la República de Guatemala, al oriente con el Mar Caribe, al suroeste con Tabasco y al sureste con Belice, país con el que comparte la cuenca del Río Hondo.

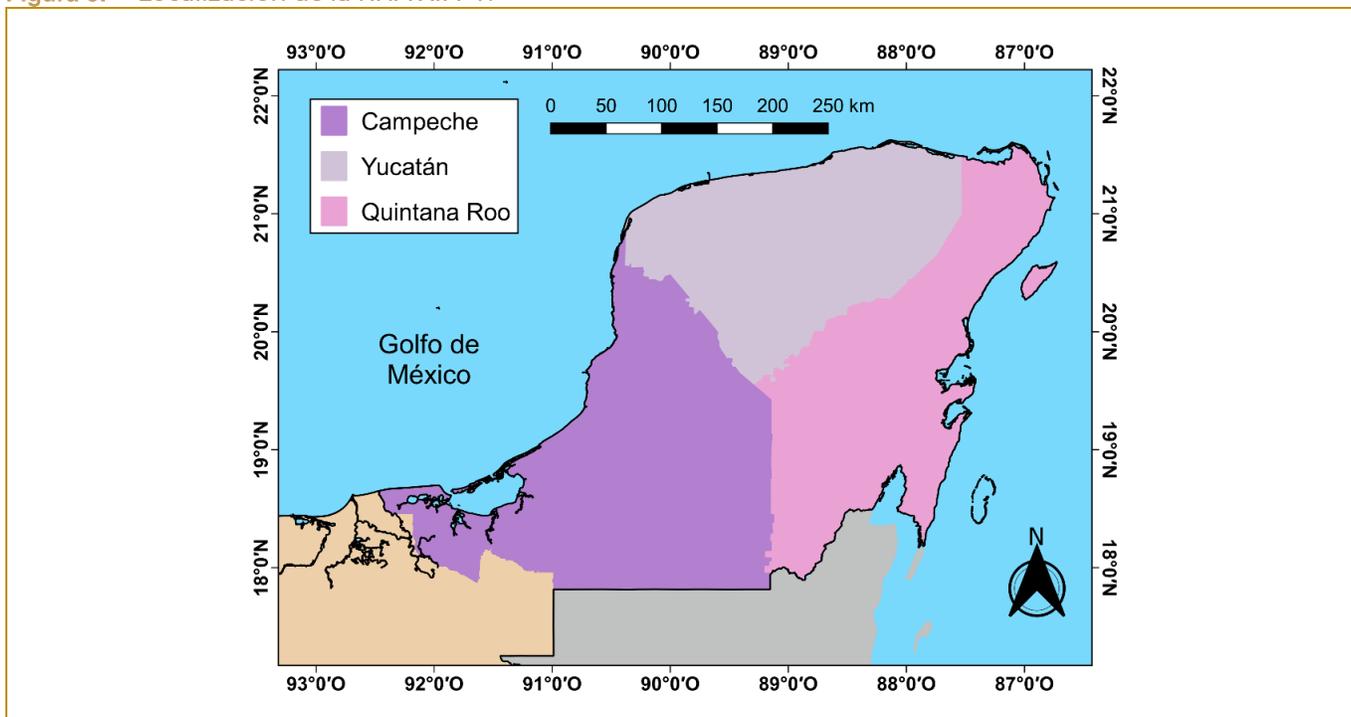
Cuenta con una extensión territorial total de 144,220.59 km<sup>2</sup> que representa poco más 7% de la superficie terrestre de la República Mexicana. La RHA XII PY (Figura 3) está hidrológicamente conformada por las regiones hidrológicas 31, 32 y 33 (Figura 4), en las cuales los parteaguas de sus microcuencas quedan incluidos en los límites políticos de Yucatán, Quintana Roo y Campeche.

**Tabla 1.** Regiones Hidrológicas Administrativas

| Clave | Región hidrológica-administrativa |
|-------|-----------------------------------|
| I     | Península de Baja California      |
| II    | Noroeste                          |
| III   | Pacífico Norte                    |
| IV    | Balsas                            |
| V     | Pacífico Sur                      |
| VI    | Río Bravo                         |
| VII   | Cuencas Centrales del Norte       |
| VIII  | Lerma-Santiago-Pacífico           |
| IX    | Golfo Norte                       |
| X     | Golfo Centro                      |
| XI    | Frontera Sur                      |
| XII   | Península de Yucatán              |
| XIII  | Aguas del Valle de México         |

Fuente: CONAGUA (2018), Atlas del Agua en México.

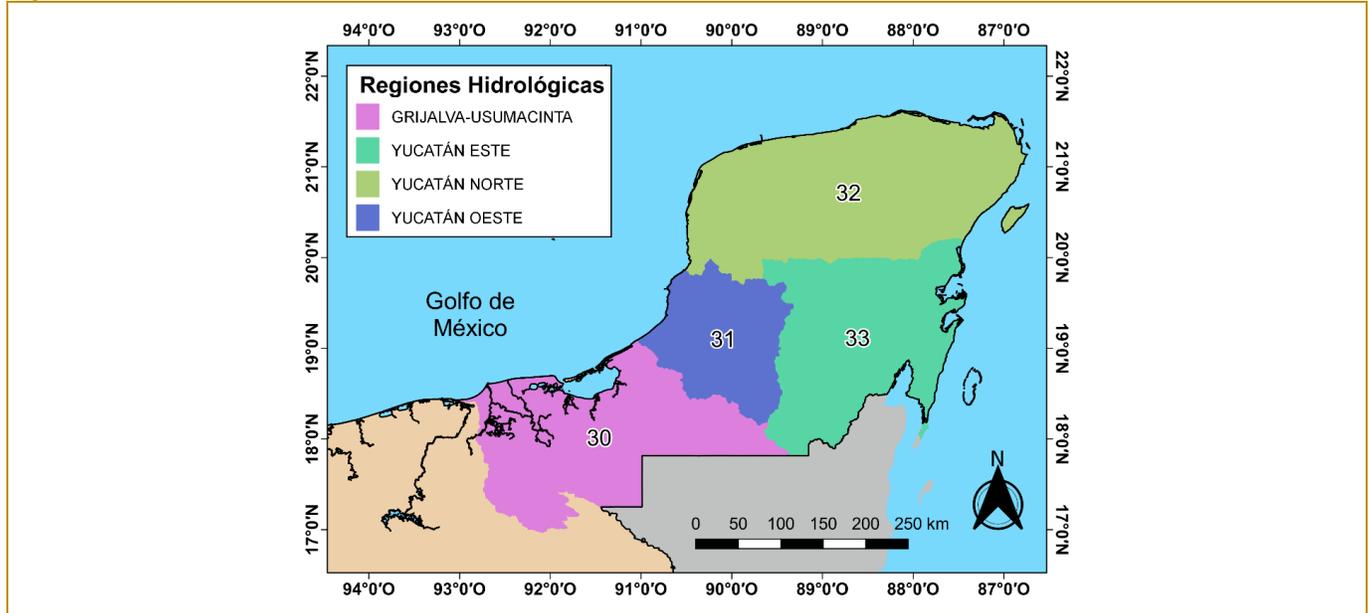
En la Región Hidrológica 33 queda incluida la porción mexicana del Río Hondo, cuya cuenca se extiende por la margen izquierda a la subcuenca del arroyo Ucum o Río Escondido, donde se ubican las lagunas Chacán-Batán; también queda incluida en la RHA XII una parte de la Región hidrológica 30 (Grijalva-Usumacinta), con la Cuenca Laguna de Términos y el municipio de Palizada, Campeche.

**Figura 3.** Localización de la RHA XII PY.


Fuente: Elaborado con datos de CONABIO (2020).

Las aguas superficiales de importancia que existen en la Región son los ríos Palizada, Candelaria y Champotón, en Campeche, y el Hondo, en Quintana Roo; otros escurrimientos son los ríos Chumpán y Mamantel en Campeche, y el arroyo Ucum o Río Escondido, en Quintana Roo. En el resto de la Región los arroyos son intermitentes, funcionan cuando tienen suficiente carga hidráulica y normalmente descargan en sumideros o xuches.

**Figura 4. Regiones Hidrológicas.**



Fuente: Elaborado con datos de CONAGUA (2020).

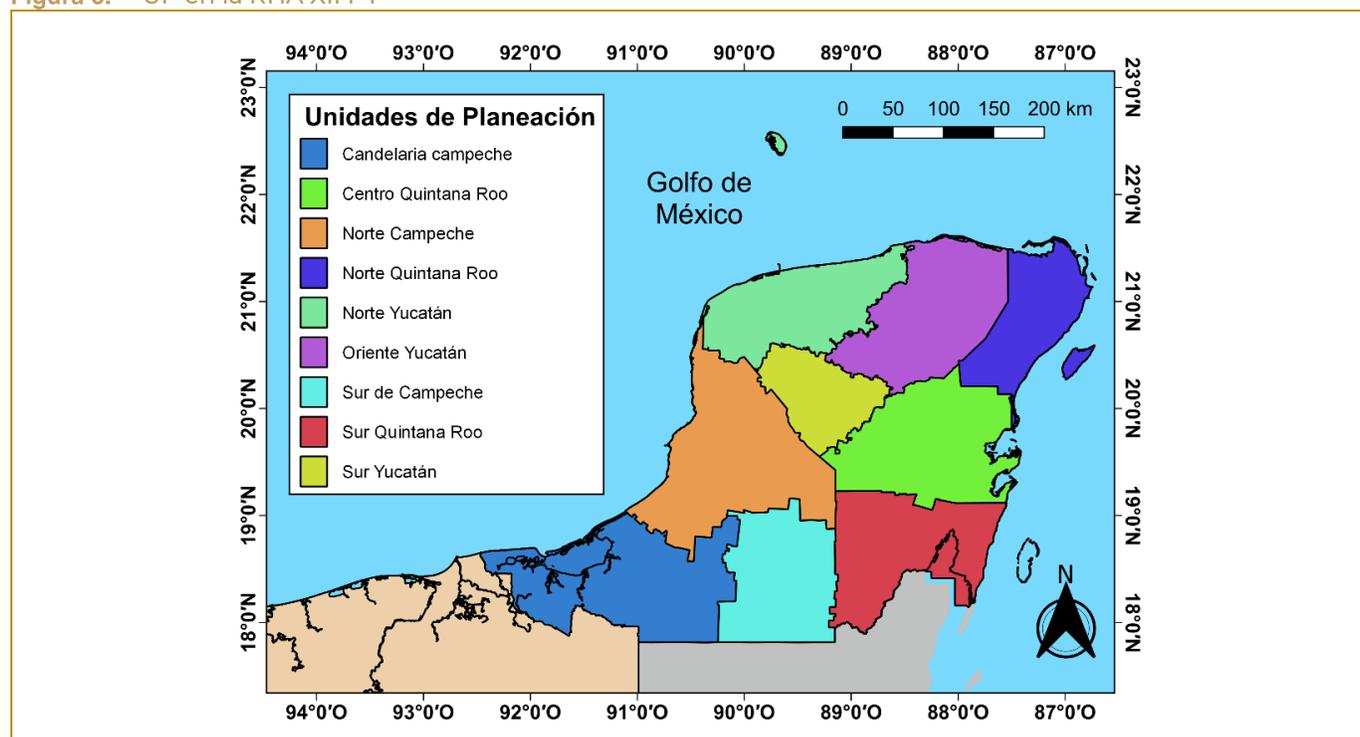
## 1.1. Unidades de planeación

La formulación de la Agenda del Agua Visión 2030, impulsó una política de sustentabilidad hídrica para entregar, a la siguiente generación, un país con ríos limpios, cuencas y acuíferos en equilibrio, cobertura universal de agua potable y alcantarillado, y asentamientos seguros frente a inundaciones catastróficas. Para realizar el Análisis Técnico Prospectivo aplicado en la Agenda del Agua Visión 2030, se dividió a la península de Yucatán en diez unidades de planeación, utilizando un corte hidrológico-estatal, definiendo a la unidad de planeación como el área geográfica formada por un grupo de municipios que pertenecen a un solo estado, dentro de los límites de una subregión hidrológica.

En esta edición se incorporó la subdivisión territorial por Células de Planeación Propuestas en ese documento y que en el presente trabajo modificamos a nueve Unidades de Planeación (UP ver Anexo 15), tres en Campeche, tres en Quintana Roo y tres en Yucatán (Figura 5 y Tabla 2).

Yucatán es el estado con más municipios, 106, de los cuales la mayoría se concentra en la UP YucN. Las UP con mayores municipios se registran en aquellas asociadas a las capitales estatales, o de alta urbanización, como Campeche, Mérida y Cancún, Riviera Maya, como se muestra en la Tabla 2.

El enfoque de UP reconoce la problemática diferenciada existente en la región y ayuda a identificar e implementar las soluciones colectivas para lograr el bienestar de la

**Figura 5.** UP en la RHA XII PY


Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 2.** Superficie por UP y cantidad de municipios que los conforman.

| Entidad / Unidad de Planeación | Superficie (km <sup>2</sup> ) | Número de municipios |
|--------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| <b>Campeche</b>                | <b>57 634.42</b>              | <b>12</b>            |
| CampN                          | 22 349.62                     | 7                    |
| CampC                          | 21 280.82                     | 4                    |
| CampS                          | 14 003.98                     | 1                    |
| <b>Quintana Roo</b>            | <b>44 809.22</b>              | <b>11</b>            |
| QRooN                          | 11 002.53                     | 7                    |
| QRooC                          | 17 792.14                     | 2                    |
| QRooS                          | 16 014.55                     | 2                    |
| <b>Yucatán</b>                 | <b>41 776.95</b>              | <b>106</b>           |
| YucN                           | 16 638.43                     | 61                   |
| YucO                           | 16 783.68                     | 27                   |
| YucS                           | 8 354.84                      | 18                   |

Fuente: INEGI (2020).

Este enfoque hacia las UP reconoce la problemática diferenciada existente en la Región; por lo que ayuda a identificar e implementar las soluciones colectivas para lograr el bienestar de la población y el derecho humano al agua. Asimismo, se considera como temas esenciales la perspectiva de género, la atención hacia los pueblos

originarios y el atender los retos asociados con el cambio climático para el sistema hidrológico de la Región. Este nivel de análisis optimiza las soluciones, facilita la toma de decisiones y permite integrar a los usuarios del agua en la implementación de acciones efectivas para una gestión del agua sostenible y resiliente. Lo anterior se puede potencializar con el trabajo y colaboración de los órganos auxiliares del Consejo de Cuenca.

El análisis propuesto a nivel de UP (Nivel Operativo) permite obtener un diagnóstico y una proyección de los volúmenes ofrecidos para los distintos usos del agua, así como la demanda estimada para la Región hacia el 2050. Esto con los insumos de la participación directa desde diversos sectores a ese nivel.

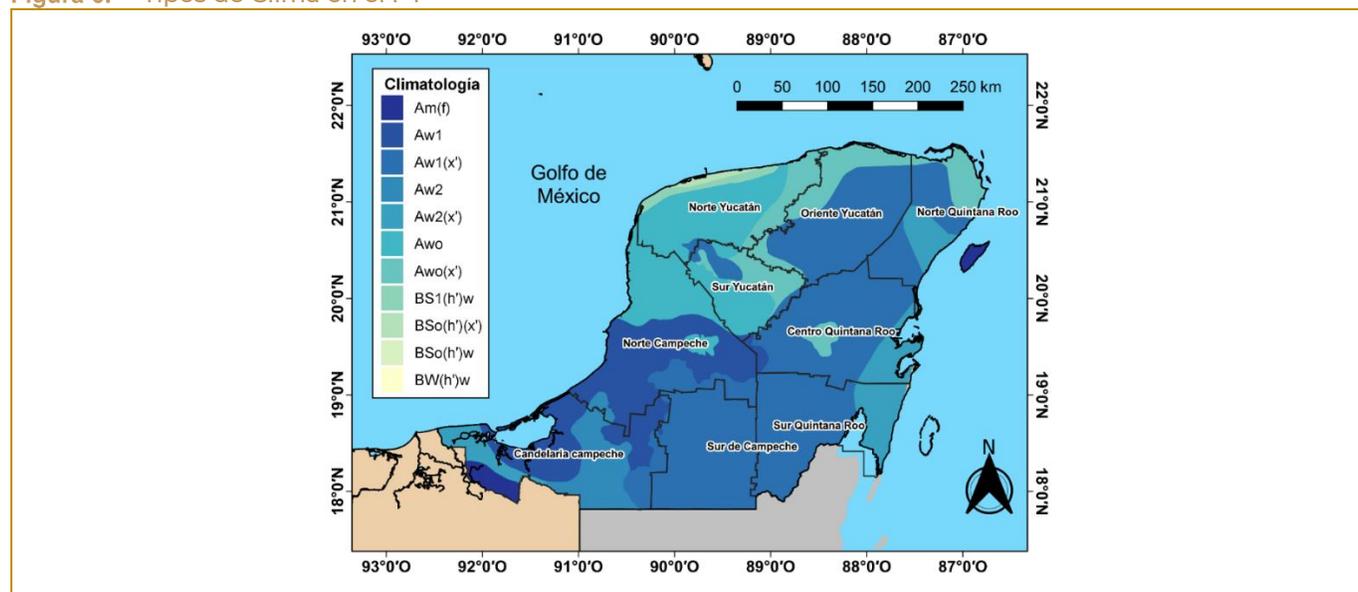
## 1.2. Medio Ambiente

### 1.2.1. Clima

Por su ubicación, la península recibe la influencia de los vientos alisios, la sequía intraestival, las ondas del este, tormentas tropicales y huracanes, los vientos polares y nortes, las altas presiones y las corrientes marinas. De éstos, el que más aporte de lluvias produce son los vientos alisios que penetran con fuerza a la región durante el verano.

Estas condiciones determinan dos tipos de climas de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García (1973); estos dos grupos climáticos se dividen en varios tipos (grupo y régimen de lluvias) y subtipos (variantes climáticas con condiciones de temperatura y régimen de lluvias, canícula, oscilación térmica y marcha de la temperatura (Figura 6) (Orellana et al. 1999).

**Figura 6.** Tipos de Clima en el PY



**Fuente:** Elaborado con datos de CONABIO (2008).

Símbolos de tipos y subtipos del grupo A (Cálidos húmedos):

-Am(f) Húmedo con lluvias intensas de verano que compensan la sequía de invierno.

-Aw Cálido subhúmedo con lluvias en verano; de acuerdo con su grado de humedad se divide en:

Aw0 Es el más seco de los cálidos subhúmedos.

Aw1 Intermedio en cuanto al grado de humedad, con lluvias en verano.

Aw2 Es el más húmedo de los cálidos subhúmedos.

Una (x) a continuación de la w indica un porcentaje de lluvia invernal con respecto a la anual mayor de 10.2.

Una (x) antes de la w indica que el sitio tiene un régimen de lluvias intermedio, en el que no se cumple el requisito de 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo que en el mes más seco.

Símbolos de tipos y subtipos del grupo B (Secos):

-BS Tipo de clima semiárido que se subdivide en dos subtipos de acuerdo con su grado de humedad:

BS0 Es el más seco de los semiáridos, con un cociente P/T menor de 22.9.

BS1 Es el menos seco de los BS con un cociente P/T mayor de 22.9.

-BW Tipo de clima muy seco, desértico.

w Régimen de lluvias de verano; por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente que en el mes más seco. Porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2 de la total anual.

w(x) Régimen de lluvias de verano, con un porcentaje de lluvia invernal mayor de 10.2 respecto a la anual.

- (x')w Régimen de lluvias uniformemente repartido o intermedio con un porcentaje de lluvia invernal entre 10.2 y 18.  
(h') Muy cálido, temperatura media anual mayor de 22° C y del mes más frío mayor de 18° C.  
i Isotermal, oscilación de la temperatura (mes más cálido menos mes más frío) menor de 5° C.  
(i') con poca oscilación entre 5° y 7° C.  
g Marcha de la temperatura tipo Ganges, lo que significa que el mes más cálido se presenta antes del solsticio de verano.  
Basado en la clasificación climática según Köppen, modificado por Enriqueta García (1964).

El primero se presenta en una franja de la parte norte de la península, especialmente en el estado de Yucatán, y se caracteriza por tener escasas lluvias y altas temperaturas; dicha franja se extiende desde Celestún hasta el Cuyo.

Abarcando la mayor parte del estado de Yucatán, el norte de Campeche y parte del norte de Quintana Roo, incluyendo Isla Mujeres y Contoy se puede distinguir el clima cálido subhúmedo (Aw0) con lluvias en verano y marcada presencia de canícula, una temperatura media anual que oscila entre 26 y 27.6°C y precipitaciones registradas entre los 940 y 1,132 mm.

En el sur, cubriendo la mayor parte de los estados de Quintana Roo y Campeche y el vértice del cono sur de Yucatán está el clima más húmedo de los tres (Aw2), con lluvias en verano y marcada canícula; el promedio anual de precipitación oscila entre 1,438 y 1,561 mm. En promedio, el valor medio anual de temperatura en la Península es de 25.8°C. Las temperaturas más elevadas en la región se presentan entre los meses de mayo y agosto.

En la región es común la presencia de temperaturas relativamente altas durante el día (por lo regular arriba de 30°C) y uniformes en el transcurso del año. No obstante, la variación entre las temperaturas máximas y mínimas diarias es generalmente acentuada, por causa del descenso térmico que se registra en las noches, y que es particularmente notorio durante la estación invernal.

En sus rasgos más generales, el régimen pluvial en la Península de Yucatán se caracteriza por la dominancia de una condición subhúmeda en la mayor parte del territorio. Salvo la porción costera noroccidental, que se destaca por su marcada carencia de lluvias por tiempos prolongados, el régimen pluvial muestra un acentuado contraste en su distribución anual, el cual se manifiesta en una clara diferenciación de tres épocas de humedad en el transcurso del año: el temporal o época de fuertes lluvias regulares donde se registra el mayor porcentaje de la precipitación anual (entre 60 y 70% de acuerdo a diferentes autores), en algunos casos con más de 300 mm de lluvia en 24 horas en época de ciclones y una constante de 208 mm durante 20 años en el mes de septiembre; los nortes o época de lluvias escasas pero algo constantes que aportan el resto del porcentaje total de la precipitación anual y mantiene la alta humedad ambiental (entre 60% en el norte y 80% en el sur) y la seca o época con lluvias ocasionales y aisladas.

Históricamente, considerando los promedios de las precipitaciones desde los años 1995 al 2020 (Figura 7), la RHA XII alcanzó los 1,215.9 mm anuales, ocupando el tercer lugar nacional, superado sólo por Frontera Sur con 1,846 mm y Golfo Centro con 1,558 mm, respectivamente. El año más lluvioso ha sido el 2020, en el que alcanzó un promedio de 1,586.2 mm, mientras que las precipitaciones anuales más bajas han sido de 1,115.2 mm para Campeche, registrada en el año 2012, en Quintana Roo es de 725.5 mm ocurrida en el año 1995 y para Yucatán es de 725.4 mm registrada en el año 2009.

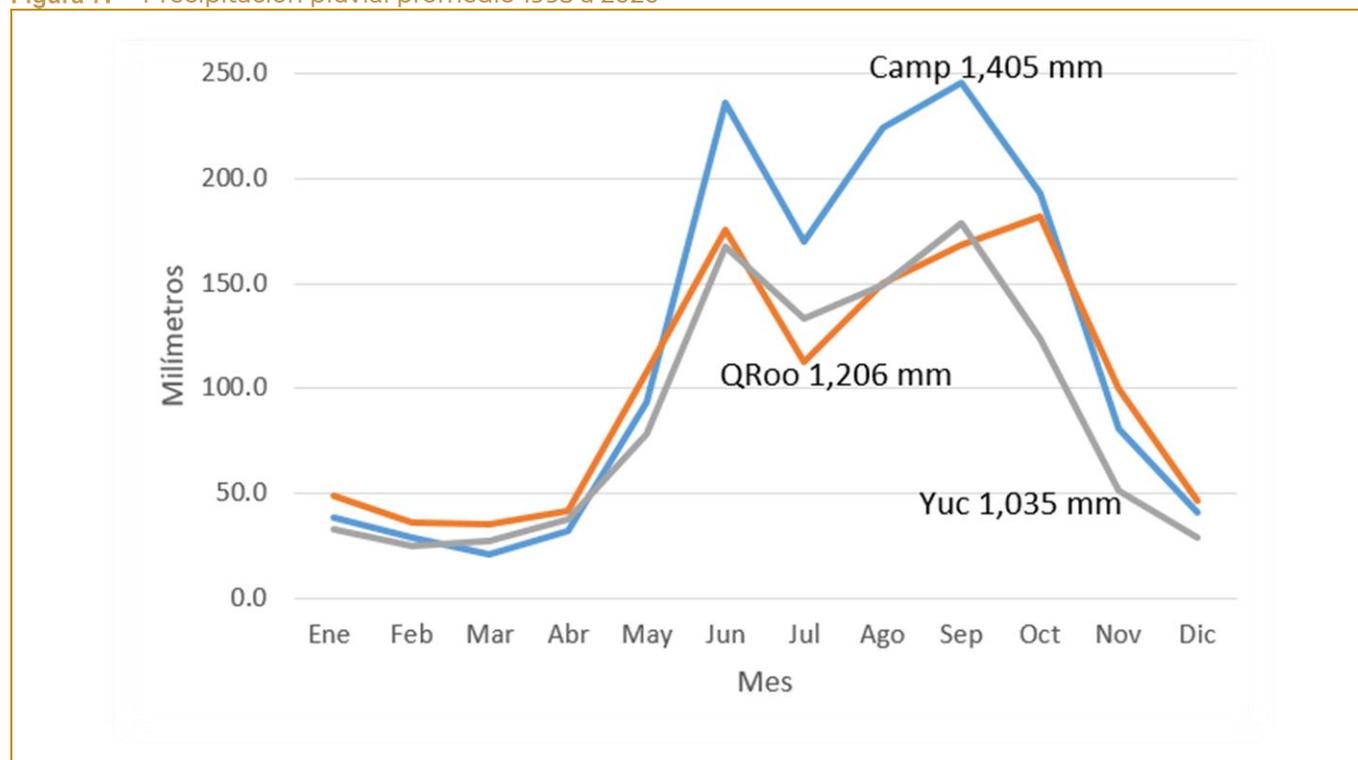
## 1.2.2 Aguas superficiales

### 1.2.2.1 Cuencas

La conformación de la Región Hidrológico-Administrativa XII Península de Yucatán es de manera muy diferente a la del resto del país; en ella no figuran montañas ni grandes elevaciones de terreno y sólo algunos escurrimientos superficiales de importancia, no obstante la elevada precipitación pluvial que se registra en esta Región, que va de los 500 mm en la franja costera Norte hasta los 2,100 mm al Suroeste, en los límites con el estado de Tabasco y los 1,300 mm al Sureste, en los límites con Belice. En la mayoría de este territorio, con excepción de la parte sur y de los litorales, la capacidad de infiltración del terreno es alta, lo que, aunado a la alta precipitación pluvial y a la reducida pendiente topográfica, favorece la renovación del agua subterránea de la península, que, para volver al mar, rompe brecha en el subsuelo una vez alcanzado el manto freático, formando cavidades y aguadas interiores conocidas como cenotes. Por lo anterior, prácticamente toda el área funciona como zona de recarga propiciando que los escurrimientos superficiales sean escasos o de muy corto recorrido. Estas corrientes superficiales se desarrollan principalmente en las RH 30, 31 y 33 (Figura 8). En la Región Hidrológico-Administrativa XII Península de Yucatán, aun cuando existe un número reducido de corrientes superficiales, tres de ellas son de carácter transfronterizo, ya que se originan en países vecinos; tal es el caso del  río Candelaria  cuyos escurrimientos se originan en Guatemala y

después de recorrer aproximadamente 150 km por el Sur del estado de Campeche, descarga sus aguas en la Laguna de Términos; el arroyo Azul, el cual tiene su origen también en Guatemala y es frontera natural entre dicho país y México y el río Hondo, formado a partir de la confluencia de dicho arroyo Azul y el río Bravo, cuyas aguas se originan en Belice.

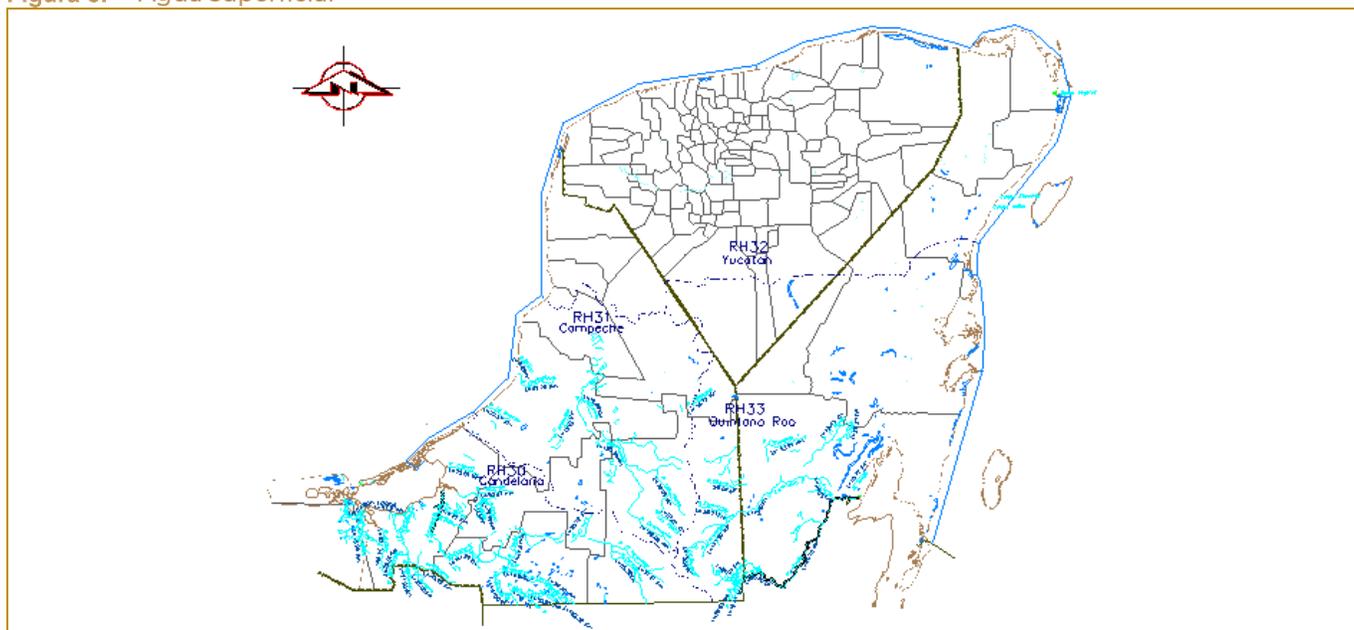
**Figura 7.** Precipitación pluvial promedio 1995 a 2020



Fuente: Dirección Técnica del OCPY, CONAGUA

El río Candelaria es el principal escurrimiento de tipo perene y desemboca en la Laguna de Términos, con un patrón de drenaje dendrítico. En la región RH30, se encuentran los ríos Chumpán, Candelaria, y Mamantel, en la región RH31 el río Champotón y en la RH33 el río Escondido y el Hondo, mismo que sirve como límite internacional con Belice y se origina a partir de la confluencia del Arroyo Azul y el Río Bravo, con una longitud de 121 km y una cuenca de más de 13,000 km (Figura 8). Hacia el suroeste del estado de Campeche existe el sistema lagunar más importante del litoral del Golfo de México, constituido por la Laguna de Términos y otras que la circundan como son: Pom-Atasta, Puerto Rico, Del Corte, el Vapor, San Francisco, del Este, Balchacah y Panlao. Estas lagunas reciben agua dulce de los principales ríos de Campeche, se comunican con la Laguna de Términos y esta a su vez lo hace con el mar y con el estero de Sabancuy; por lo tanto, en mayor o menor grado todo el sistema lagunar tiene agua salada. Los ríos que alimentan el anterior sistema lagunar son: el San Pedro y San Pablo que en parte sirven como límite con el estado de Tabasco, el Palizada que se desplaza más hacia el Este y es un efluente del río Usumacinta, el Chumpán, el Candelaria que procede de la República de Guatemala y el Mamantel. En el estado de Quintana Roo, destacan la Laguna de Bacalar con 55 km de longitud, Chinchancanab y el sistema Lagunar Nichupté con 12 km.

Además de las corrientes antes mencionadas, existen las siguientes: río Champotón, río Chumpán, río Mamantel y río Palizada. Se muestra a continuación en la Tabla 3 una relación de estas corrientes y algunas de sus características.

**Figura 8. Agua superficial**

**Fuente:** CONAGUA.

**Tabla 3. Características de principales corrientes superficiales**

| Río/Arroyo     | Región Hidrológica     | Longitud (Km) | Área Drenada (Km <sup>2</sup> ) | Problemática De Inundación  |
|----------------|------------------------|---------------|---------------------------------|---|
| Río Candelaria | 30 Grijalva Usumacinta | 150           | 11 115                          | Inunda o incomunica aproximadamente a 2,500 pobladores de 35 localidades.   |
| Río Champotón  | 31 Yucatán Oeste       | 47            | 649                             | Inunda o incomunica aproximadamente a 1,065 pobladores de 11 localidades.   |
| Río Palizada   | 30 Grijalva Usumacinta | 85            | 1 272                           | Inunda o incomunica aproximadamente a 6,396 pobladores de 21 localidades.   |
| Río Chumpán    | 30 Grijalva Usumacinta | 91            | ND                              | Inunda o incomunica aproximadamente a 392 pobladores de 36 localidades.   |
| Río Mamantel   | 30 Grijalva Usumacinta | 45            | 1 225                           | Inunda o incomunica aproximadamente a 213 pobladores de 45 casas-habitación asentadas en sus márgenes.                        |
| Río Hondo      | 33 Yucatán Este        | 115           | 13 465                          | Inunda aproximadamente 96 casas de 8 localidades de la margen izquierda, poniendo en riesgo aproximadamente a 480 habitantes. |
| Arroyo Azul    | 33 Yucatán Este        | 45            | ND                              | Inunda aproximadamente 252 casas del poblado La Unión, poniendo en riesgo aproximadamente 1,260 habitantes.                   |

**Fuente:** Direcciones Locales Campeche y Quintana Roo de la CONAGUA

El estado de Campeche concentra el mayor número de ríos que forman el entorno hidrológico superficial de la Península de Yucatán. Los ríos de Palizada y Candelaria son, por su área de cuenca y volumen escurrido, los más importantes de la entidad, donde se concentran en sus márgenes el mayor número de habitantes, además de que atraviesan los centros de mayor población; como se menciona anteriormente estos ríos tienen características de

pendientes suaves, casi plana, donde las crecidas se presentan en forma paulatina, muy diferente a ríos de grandes pendientes donde las avenidas son de rápida respuesta y de peligro eminente. De tal modo que esto permite que, durante la época de crecientes, se cuente con suficiente tiempo para realizar las actividades necesarias y alertar y proteger a la población que se encuentre en riesgo de inundación y de posible aislamiento por las avenidas.

El Río Hondo, por sus características estructurales y geológicas no causa problemas de inundación en las poblaciones cercanas a su cauce, así como tampoco daños a la agricultura de la región. Cabe hacer mención que la única población que se afecta es la localidad de La Unión por la creciente del Arroyo Azul, que es uno de los formadores del río Hondo.

### 1.2.2.2 Balance de aguas superficiales

A partir de los datos estimados en el balance de aguas superficiales, se aprecia que el escurrimiento virgen o por cuenca propia es de 3,026 hm<sup>3</sup> al año (Tabla 4). El escurrimiento total de la Región disponible al nivel de descargas al mar (Ab) se estima en 5,328 hm<sup>3</sup> al año.

**Tabla 4.** Balance de aguas superficiales

| Región Hidrológica | Cuenca del río | Ar    | Uc  | Ab    | Cp    |
|--------------------|----------------|-------|-----|-------|-------|
| 30                 | Candelaria     | 1 959 | 213 | 3 385 | 1 680 |
| 31                 | Champotón      | 599   | 2   | 1 332 | 734   |
| 33                 | Río Escondido  | -     | 0   | 611   | 612   |
| Total              |                | 2 558 | 215 | 5 328 | 3 026 |

Volúmenes en millones de metros cúbicos

Ar.- Volumen medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba

Uc.- Volumen anual de extracción de agua superficial

Ab.- Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo

Cp.- Volumen medio anual de escurrimiento natural

**Fuente:** DOF, 2020.

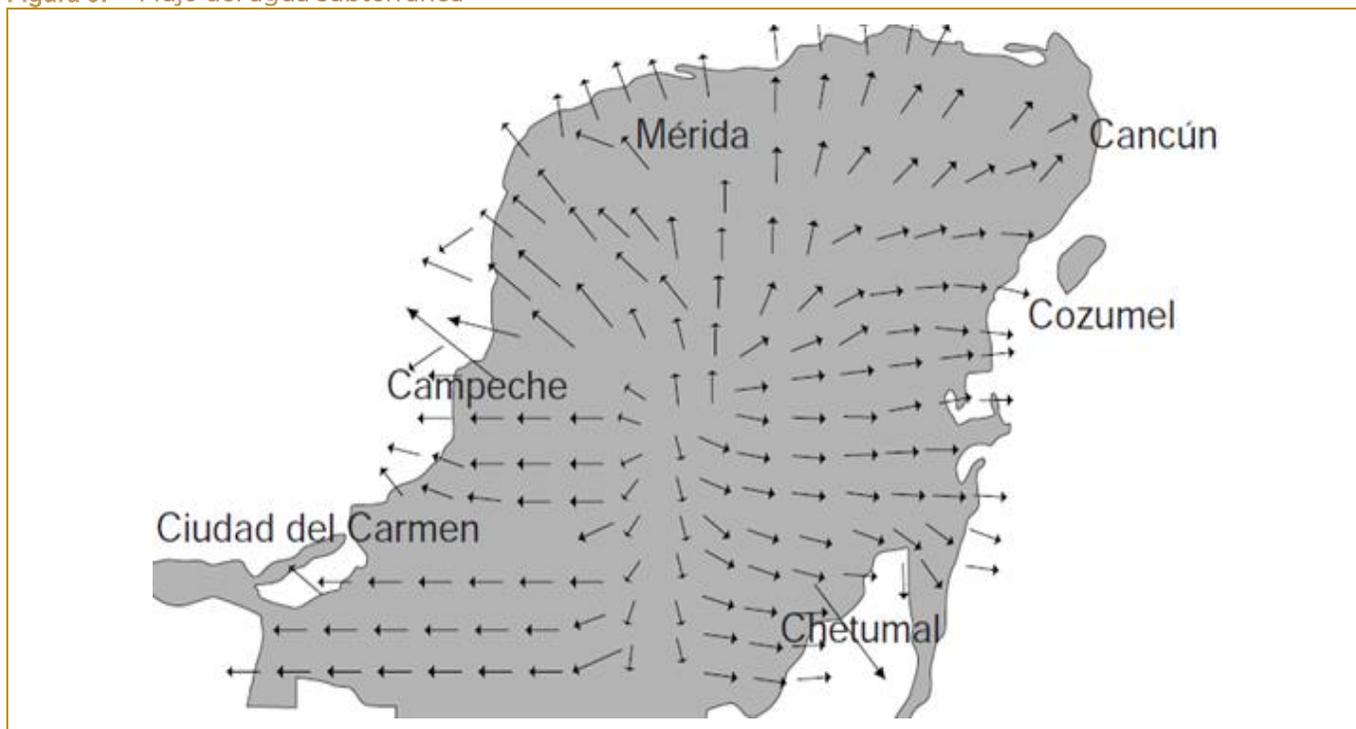
### 1.2.3 Aguas subterráneas

La naturaleza cárstica de la Península de Yucatán determina que sus características hidrológicas más notables sean la existencia de un manto hídrico subterráneo presente en toda su extensión y la presencia de una capa de agua salina que se extiende en forma de cuña por debajo de la capa de agua dulce, hasta una distancia cercana a los 100 km hacia el interior de la península, a partir de la costa norte. En el Anexo 1 se presenta una descripción amplia y detallada sobre el entorno geológico del acuífero kárstico de Yucatán.

Por tal razón, una capa salobre, formada por la propiedad miscible de las aguas dulces y saladas, se mueve en forma vertical, ascendiendo o descendiendo en función de los fenómenos que determinan el ciclo natural de carga-recarga, pero también, por efecto de la extracción para las actividades humanas.

El agua precipitada se infiltra al subsuelo formando grandes volúmenes que se desplazan a velocidades mínimas. Estas aguas subterráneas fluyen radialmente de las zonas de mayor precipitación, ubicadas al sur de Xpujil, hacia las costas dispersándose hacia el noroeste, noreste y norte donde se realiza la descarga natural del acuífero, alimentando a los esteros y lagunas costeras y arrastrando las sustancias que se adicionan al flujo en su recorrido (Figura 9).

**Figura 9.** Flujo del agua subterránea



Fuente: CONAGUA, OCPY, Dirección Técnica.

Se considera que, por sus características de gran fracturamiento y abundancia de oquedades, su alta conductividad hidráulica, lo poco espeso de sus suelos y de la zona no saturada, el acuífero de la Península de Yucatán es altamente vulnerable a la contaminación, debido a la rapidez con la que el agente externo accede al acuífero, situación que se describe particularmente importante en la porción norte, debido principalmente al impacto por actividades humanas.

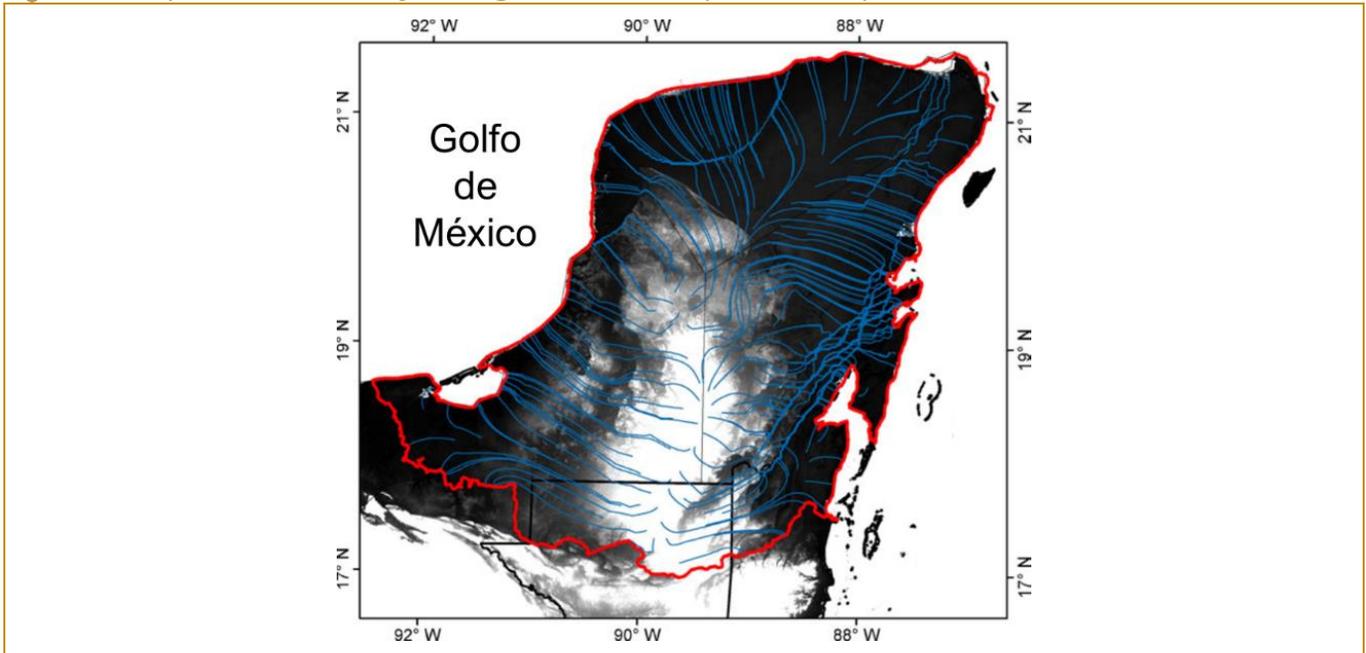
Como resultado de diversos estudios se llegó a plantear un nuevo modelo de flujos del agua subterránea que es el que se muestra en la Figura 10. En el anexo 1 antes referido, se hace una más amplia descripción de los estudios realizados en este tema. Este nuevo modelo, si bien habría que tomarlo con la debida reserva, también representa un avance con respecto al modelo de la Figura 9, sin embargo, se reconoce que es necesario continuar con los estudios que lleven a afianzar estas hipótesis.

La interacción de las características geológicas originarias con los procesos que dan lugar a la porosidad y permeabilidad secundarias, así como la dinámica ambiental, han dado lugar a cinco unidades hidrogeológicas, que en dirección Norte-Sur se presentan como sigue: región costera; círculo, semicírculo o anillo de cenotes; planicie interior; región de cerros y valles y cuencas escalonadas.

### 1.2.3.1 Balance por acuífero

Para efectos de determinación de la disponibilidad de aguas subterráneas, en la Península de Yucatán se identifican cuatro acuíferos (Figura 11), los cuales, de acuerdo con la publicación del DOF con fecha 7 de abril de 2020, cuentan con volumen total de 3,008.9 hm<sup>3</sup> (Tabla 5).

**Figura 10.** Representación de flujos de agua subterránea (líneas azules) de la Península de Yucatán



**Nota:** Los tonos de gris indican las elevaciones topográficas, siendo el color blanco el de mayor altitud. Se observa la interconectividad hidrogeológica de oeste a este y de sur a norte de la región del APFFB. Tomado de: (Bauer-Gottwein et al. 2011).

**Fuente:** Modificado de Charvet (2009).

**Figura 11.** Acuíferos en la PY



**Fuente:** Elaborado con datos de CONAGUA.

**Tabla 5.** Disponibilidad de agua por acuífero (hm<sup>3</sup>)

| Acuífero             | Recarga media anual | Descarga natural comprometida | Volumen concesionado | Volumen de extracción de aguas subterráneas consignado en estudios técnicos (VEAS) | Disponibilidad media anual de agua subterránea |
|----------------------|---------------------|-------------------------------|----------------------|--|--|
| Xpujil               | 2 099.4             | 1 784.1                       | 7.1                  | 0.9  | 307.2  |
| Cerros y Valles      | 1 194.2             | 854.9                         | 22.6                 | 31.8   | 284.9  |
| Isla de Cozumel      | 208.7               | 160.4                         | 17.7                 | 0.6  | 29.9   |
| Península de Yucatán | 21 813.4            | 14 542.2                      | 4 657.8              | 226.4  | 2 386.9  |
| Total                | 25 315.7            | 17 341.6                      | 4 762.3              | 259.9  | 3 008.9  |

Fuente: DOF, 7 de abril del 2020

Al tomar en cuenta la relación entre la recarga del acuífero y su explotación, se puede concluir que el grado de presión es bajo, ya que no alcanza el 40%. De acuerdo con lo antes expuesto, la disponibilidad del agua subterránea desde la perspectiva regional aún es suficiente.

Tras observar en retrospectiva la evolución, para el acuífero 3105 denominado Península de Yucatán se tenía una disponibilidad de 5,759.22 Hm<sup>3</sup>/año de acuerdo con la publicación de 2003 y para la última publicación de 2020 una disponibilidad de 2,386.92 Hm<sup>3</sup>/año, 59% menos en 17 años, lo que, aritméticamente, daría una situación alarmante en 15 años. Algo similar ocurre para el acuífero 2305 denominado Isla de Cozumel que pasó de 92.12 Hm<sup>3</sup>/año a 29.89 Hm<sup>3</sup>/año, es decir, 67% menos de disponibilidad para el mismo período de tiempo (Mejía Gómez 2020, CONAGUA). Al revisar los “Acuerdos por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los acuíferos” emitidos desde el 2011 a la fecha, el valor de recarga no se ha modificado, aunque el valor de precipitación anual haya sido diferente, disminuyendo la DNC, incrementando la disponibilidad, y presentando un brinco abrupto en el volumen de extracción de aguas subterráneas en el 2020, de hasta 4,965.25 Mm<sup>3</sup>/año en total (denominado VEAS en la Tabla 5) disminuyendo la disponibilidad media de agua subterránea (Tabla 6).

**Tabla 6.** Datos históricos del valor de recarga media y disponibilidad del 2011 al 2020 del Acuífero por RHA XII PY.

| Año  | Recarga media Mm <sup>3</sup> /año (Precipitación mm) | Descarga Natural Comprometida Mm <sup>3</sup> /año | Disponibilidad total Mm <sup>3</sup> /año | Volumen de extracción de aguas subterráneas Mm <sup>3</sup> /año | Disponibilidad media de agua subterránea Mm <sup>3</sup> /año | Fuente                  |
|------|---|--|---|--|---|-------------------------|
| 2020 | 25 315.70<br>(1,214.16 mm)<br>14.6 %                  | 17 305.60<br>68.30%                                | 7 974.06                                  | 4 965.25   | 3 008.91  | SINA-<br>CONAGUA.Gob.mx |
| 2018 | 25 315.70   |  |   | 1 343.50   | 3 487.32  | SINA-<br>CONAGUA.Gob.mx |
| 2017 | 25 315.70   |  |   | 1 343.50   | 4 065.26  | SINA-<br>CONAGUA.Gob.mx |
| 2016 | 25 315.70   |  |   | 1 343.50   | 4 065.26  | SINA-<br>CONAGUA.Gob.mx |

| Año       | Recarga media Mm <sup>3</sup> /año (Precipitación mm) | Descarga Natural Comprometida Mm <sup>3</sup> /año | Disponibilidad total Mm <sup>3</sup> /año | Volumen de extracción de aguas subterráneas Mm <sup>3</sup> /año | Disponibilidad media de agua subterránea Mm <sup>3</sup> /año | Fuente                      |
|-----------|---|--|---|--|---|-----------------------------|
| 2015      | 25 315.70   |  |   | 1 343.50   | 4 065.26  | SINA- CONAGUA.Gob.mx        |
| 2014      | 25 315.70   |  |   | 1 343.50   | 4 560.26  | SINA- CONAGUA.Gob.mx        |
| 2013      | 25 315.70<br>(1 671.53 mm)                            | 19 411.94<br>76.60%                                | 5 903.76                                  | 1 343.50   | 4 560.26  | SINA- CONAGUA.Gob.mx        |
| 2012      | 25 315.70   |  |   |  | 5 691.00  | SINA- CONAGUA.Gob.mx        |
| 2011      | 25 315.70   |  |   |  | 5 150.00  | SINA- CONAGUA.Gob.mx        |
| 2004-2008 | 37 790.22<br>(1 259.04 mm)<br>19.5 %                  | 25 697.34<br>Estimado 68 %                         | 12 092.88                                 | 2 368.00   | 9 724.80<br>estimado  | Bauer Gotweinn et al 2019   |
| 1995      | 34 959.70<br>(1 283.06 mm)<br>19.1 %                  | 23 772.59<br>Estimado 68 %                         | 11 187.11                                 | 1 023.61   | 10 163.44<br>estimado   | Lutz, W. et al 1996 (IIASA) |

Fuente: SINA- CONAGUA.Gob.mx.

### 1.2.3.2 Balance por unidad de planeación

A continuación, se presenta un ejercicio de estimación de la recarga de agua subterránea a nivel de unidades de planeación. Al respecto, los resultados obtenidos sirven como una simple referencia y deben tomarse con toda reserva, ya que habrá de tenerse muy en cuenta que la unidad de planeación no representa un acuífero y sus límites no corresponden por lo tanto a una delimitación hidrogeológica.

La información oficial es la que rige en este PHR 2021 – 2024, por lo que la información científica de referencia presentada solo permite el contraste que indica la necesidad de mayores estudios y reflexiones sobre el tema de disponibilidad.

En el Anexo 2 se presenta un análisis detallado sobre el papel que juegan la vegetación, la evaporación, el suelo y el manto freático en el ciclo hidrológico.

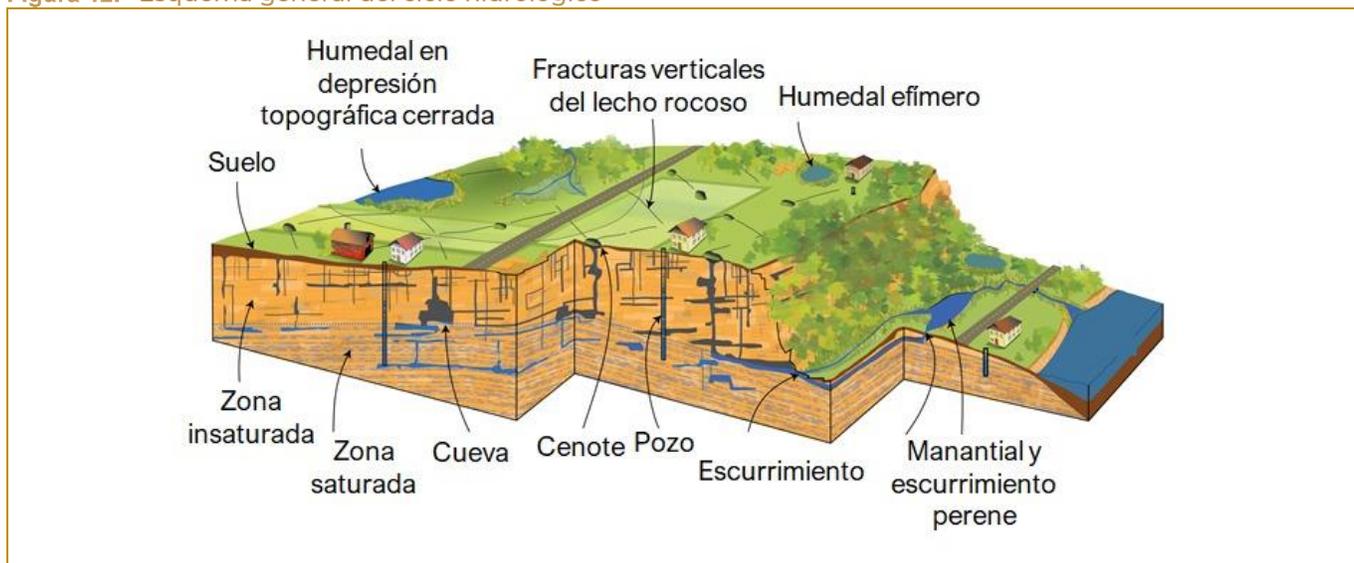
#### 1.2.3.2.1 Recarga

La recarga de agua subterránea ocurre principalmente por la infiltración de la precipitación, aunque también suele ocurrir por la infiltración de cuerpos superficiales o por exceso de agua en zonas agrícolas (IMTA 2019). Existen diversos destinos del agua precipitada. Una parte se retiene en el suelo, ya que éste tiene una gran capacidad de campo o de almacenamiento de agua. Otra parte es almacenada en cuerpos de agua superficiales, como ríos, lagos, lagunas etc. Un tercer destino es el agua que se percola hasta el manto freático y se incorpora como recarga al acuífero, de hecho, varios autores mencionan que la recarga efectiva al manto freático equivale a un 14 o 17 % (Bauer et al., 2011) de la precipitación a nivel peninsular (Lesser 1976; Hanshaw and Back 1980; Back 1985, y Gondwe et al. 2010). Finalmente, parte del agua que se precipita se regresa a la atmósfera a través de la evaporación de suelo y cuerpos de agua y evapotranspiración de plantas (Figura 12).

En esta sección se retoma el trabajo de Bauer (2011), el cual representa un trabajo de investigación científica del resultado del trabajo de investigadores locales e internacionales, con datos que van del 2004 al 2008 y dan cuenta de los primeros resultados de recarga al manto freático. Los cuales permiten establecer las recargas por UP. Que, si bien es una primera aproximación a la situación local de cada UP, da una idea del balance de agua en cada una de ellas. lo que permitirá para comparar con el registro del DOF.

Rodríguez-Huerta et al. (2020) y Bauer Gottwein et al. (2011), utilizaron diversos métodos para evaluar la recarga actual de la PY (RHA-XII-PY), los cuales varían de 43 a 143 mm/año (Thorntwaite; THO, Hamon; HAM). Si se considera la referencia de la FAO (2017) la recarga estaría en el orden de los 72 mm/año, proceso que ocurre entre junio a noviembre, siendo septiembre el mes con la mayor contribución a la recarga vertical al agua subterránea (en promedio 46 mm/año) en la RHA-XII-PY (CONAGUA 2019).

**Figura 12.** Esquema general del ciclo hidrológico



Fuente: Modificado de Runkel et al. 2003

Sobresalen las zonas de recarga más importantes en la parte suroccidental y nororiental de Campeche (Candelaria y Laguna de Términos) y Yucatán, entre los municipios de Cenotillo y Tizimín. El resto de las áreas la recarga vertical no es significativa, e incluso en algunas áreas costeras de la Península no reciben recarga vertical alguna, sin embargo, pueden recibir recargas vía flujos subterráneos (González-Herrera et al. 2002; Bauer-Gottwein et al. 2011; Pérez-Ceballos et al. 2012). Un ejemplo de ello es la fractura de Holbox, y otras estructuras kársticas similares, que presentan conductividades eléctricas, y por lo tanto permeabilidades, más altas que los terrenos que la circundan (Gondwe et al. 2012).

Los mismos autores mencionan que existe una correlación directa entre la precipitación y la recarga vertical. Sin embargo, observaron que existe un valor límite por debajo del cual no existe recarga posible, y este es de 798 mm/año.

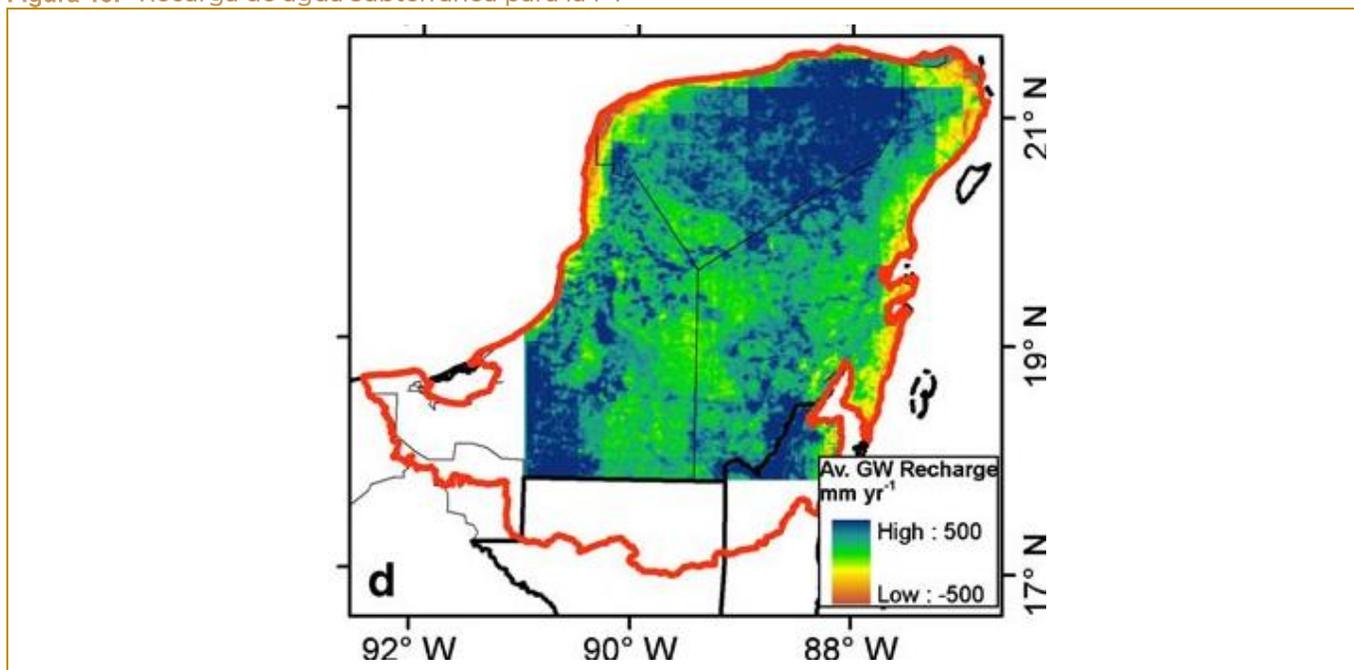
Este resultado sugiere todo el territorio que se encuentre por debajo de este valor no recibirá una recarga natural vertical significativa, derivada de la infiltración y percolación de la precipitación.

En la siguiente figura se muestra el Mapa de Peter Bauer-Gottwein et al. (2011) se retrabajó para este proyecto de PHR (ver metodología en el Anexo 3), y se identificaron los mm de recarga que van de los -500 a los 500 mm. Además, se obtuvo el porcentaje de recarga que ocupan los diferentes valores (100, 200, 300, 400, 500 mm) con respecto a la superficie total de la zona geohidrológica o UP.

En este caso se observa que, para el caso de la UP CampC, el 61.55 % de su territorio presenta una recarga de 500 mm o más. Posteriormente se calculó la recarga unitaria ( $Mm^3/Km^2$ ) para cada valor y se obtuvo la recarga total como se muestra en la Figura 13 y la Tabla 7.

Los estudios sobre recarga recopilados por Bauer Gottwein et al. (2011), analizados en este trabajo, con datos de 2004 a 2008, presentan un promedio de precipitación total para los cuatro años de 1,259.04 mm, un valor muy cercano al promedio general de la serie de 14 años mencionada anteriormente (SINA).

Figura 13. Recarga de agua subterránea para la PY



Nota: Todas las cantidades se dan en mm por año.

Fuente: Peter Bauer-Gottwein et al. (2011).

Tabla 7. Recarga por UP.

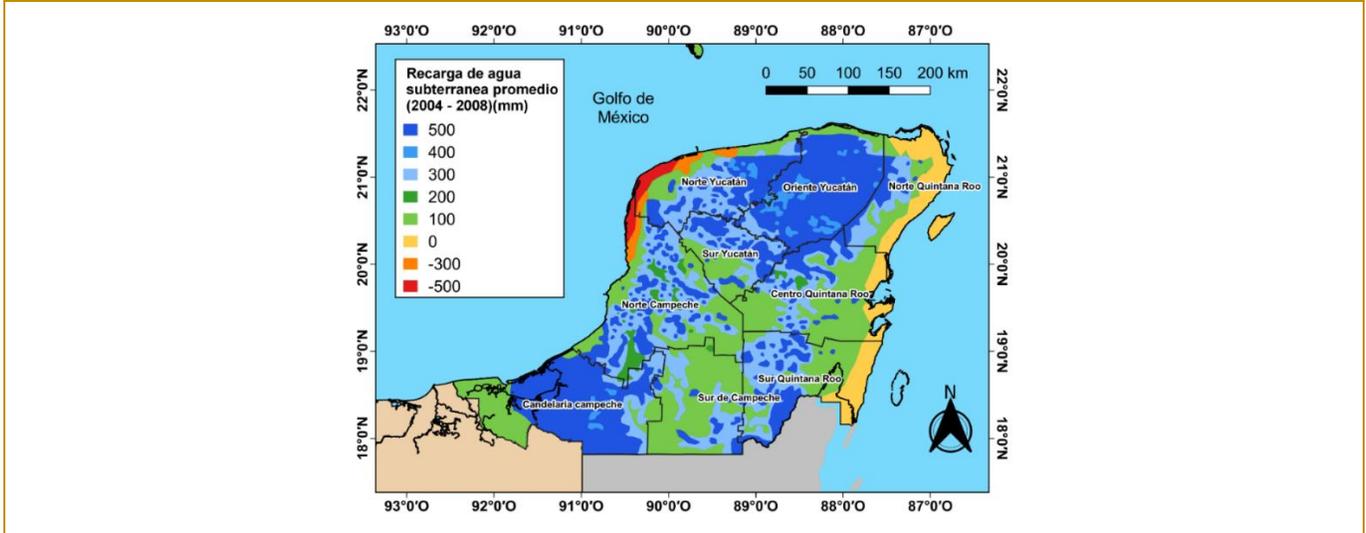
| Unidad de Planeación | Superficie total (km <sup>2</sup> ) | Recarga 2004-2008 (mm) | Superficie de recarga (km <sup>2</sup> ) | Porcentaje de recarga | Recarga en Mm <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> | Recarga en Mm <sup>3</sup> |
|----------------------|-------------------------------------|------------------------|--|-----------------------|---|----------------------------|
| Campeche             | 57 634.42                           | 100                    | 6 791.18                                 | 30.39                 | 679.12                                      | 679.12                     |
|                      |                                     | 200                    | 1 836.65                                 | 8.22                  | 367.33                                      | 367.33                     |
| CampN                | 22 349.62                           | 300                    | 8 350.91                                 | 37.36                 | 2 505.27                                    | 2 505.27                   |
|                      |                                     | -500                   | 535.11                                   | 2.39                  | -267.55                                     | -267.55                    |
|                      |                                     | 500                    | 4 354.38                                 | 19.48                 | 2 177.19                                    | 2 177.19                   |
|                      |                                     |                        |  |                       |   | 5 317.31                   |
| CampC                | 21 280.82                           | 100                    | 5 301.30                                 | 24.91                 | 530.13                                      | 530.13                     |
|                      |                                     | 200                    | 105.95                                   | 0.50                  | 21.19                                       | 21.19                      |
|                      |                                     | 300                    | 2 376.06                                 | 11.17                 | 712.82                                      | 7 12.82                    |
|                      |                                     | 500                    | 13 097.47                                | 61.55                 | 6 548.74                                    | 6 548.74                   |
|                      |                                     | 400                    | 398.40                                   | 1.87                  | 159.36                                      | 159.36                     |
|                      |                                     |                        |  |                       |   | 7 972.23                   |
| CampS                | 14 003.98                           | 100                    | 9 397.20                                 | 67.11                 | 0.10  | 939.72                     |
|                      |                                     | 200                    | 53.91                                    | 0.38                  | 0.20  | 10.78                      |
|                      |                                     | 300                    | 3 590.83                                 | 25.64                 | 0.30  | 1 077.25                   |
|                      |                                     | 500                    | 962.03                                   | 6.87                  | 0.50  | 481.01                     |
|                      |                                     |                        |  |                       |   | 2 508.76                   |

| Unidad de Planeación | Superficie total (km <sup>2</sup> ) | Recarga 2004-2008 (mm) | Superficie de recarga (km <sup>2</sup> ) | Porcentaje de recarga | Recarga en Mm <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> | Recarga en Mm <sup>3</sup> |
|----------------------|-------------------------------------|------------------------|--|-----------------------|---|----------------------------|
| <b>Quintana Roo</b>  | <b>44 809.22</b>                    |                        |  |                       |   |                            |
| QRooN                | 11 002.53                           | 100                    | 2 502.91                                 | 22.75                 | 0.1   | 250.29                     |
|                      |                                     | 0                      | 4 782.24                                 | 43.46                 | 0.0   | 0.00                       |
|                      |                                     | 300                    | 2 387.68                                 | 21.70                 | 0.3   | 716.31                     |
|                      |                                     | 500                    | 1 315.91                                 | 11.96                 | 0.5   | 657.96                     |
|                      |                                     | 400                    | 0.34                                     | 0.00                  | 0.4   | 0.13                       |
|                      |                                     |                        |  |                       |   |                            |
| QRooC                | 17 792.14                           | 100                    | 9 381.49                                 | 52.73                 | 0.1   | 938.15                     |
|                      |                                     | 0                      | 1 755.41                                 | 9.87                  | 0.0   | 0.00                       |
|                      |                                     | 200                    | 365.85                                   | 2.06                  | 0.3   | 73.17                      |
|                      |                                     | 300                    | 3 776.63                                 | 21.23                 | 0.5   | 1 132.99                   |
|                      |                                     | 500                    | 2 512.75                                 | 14.12                 | 0.4   | 1 256.38                   |
|                      |                                     |                        |  |                       |   |                            |
| QRooS                | 16 014.55                           | 100                    | 5 106.99                                 | 31.89                 | 0.1   | 510.70                     |
|                      |                                     | 0                      | 2 841.95                                 | 17.75                 | 0.0   | 0.00                       |
|                      |                                     | 300                    | 4 939.38                                 | 30.84                 | 0.3   | 1 481.81                   |
|                      |                                     | 500                    | 3 126.09                                 | 19.52                 | 0.5   | 1 563.04                   |
|                      |                                     |                        |  |                       | 3 555.56                                    |                            |
| <b>Yucatán</b>       | <b>41 776.95</b>                    |                        |  |                       |   |                            |
| YucN                 | 16 638.43                           | 100                    | 3 120.89                                 | 21.32                 | 0.1   | 312.09                     |
|                      |                                     | 300                    | 4 317.77                                 | 29.50                 | 0.3   | 1 295.33                   |
|                      |                                     | -500                   | 1 002.87                                 | 6.85                  | -0.5  | -501.44                    |
|                      |                                     | 500                    | 4 758.03                                 | 32.50                 | 0.5   | 2 379.02                   |
|                      |                                     | 400                    | 470.60                                   | 3.21                  | 0.4   | 188.24                     |
|                      |                                     | -300                   | 929.01                                   | 6.35                  | -0.3  | -278.70                    |
|                      |                                     |                        |  |                       | 3 394.54                                    |                            |
| YucO                 | 16 783.68                           | 100                    | 1 233.85                                 | 7.35                  | 0.1   | 123.38                     |
|                      |                                     | 300                    | 1 052.45                                 | 6.27                  | 0.3   | 315.73                     |
|                      |                                     | 500                    | 13 011.86                                | 77.53                 | 0.5   | 6 505.93                   |
|                      |                                     | 400                    | 1 485.49                                 | 8.85                  | 0.4   | 594.20                     |
|                      |                                     |                        |  |                       |   |                            |
| YucS                 | 8 354.84                            | 100                    | 2 638.20                                 | 31.58                 | 0.1   | 263.82                     |
|                      |                                     | 300                    | 3 224.67                                 | 38.60                 | 0.3   | 967.40                     |
|                      |                                     | 500                    | 2 491.95                                 | 29.83                 | 0.5   | 1 245.98                   |
|                      |                                     |                        |  |                       | 2 477.20                                    |                            |
| <b>Total</b>         |                                     |                        |  |                       |   | <b>37 790.22</b>           |

Fuente: Elaborado con datos de Bauer (2011).

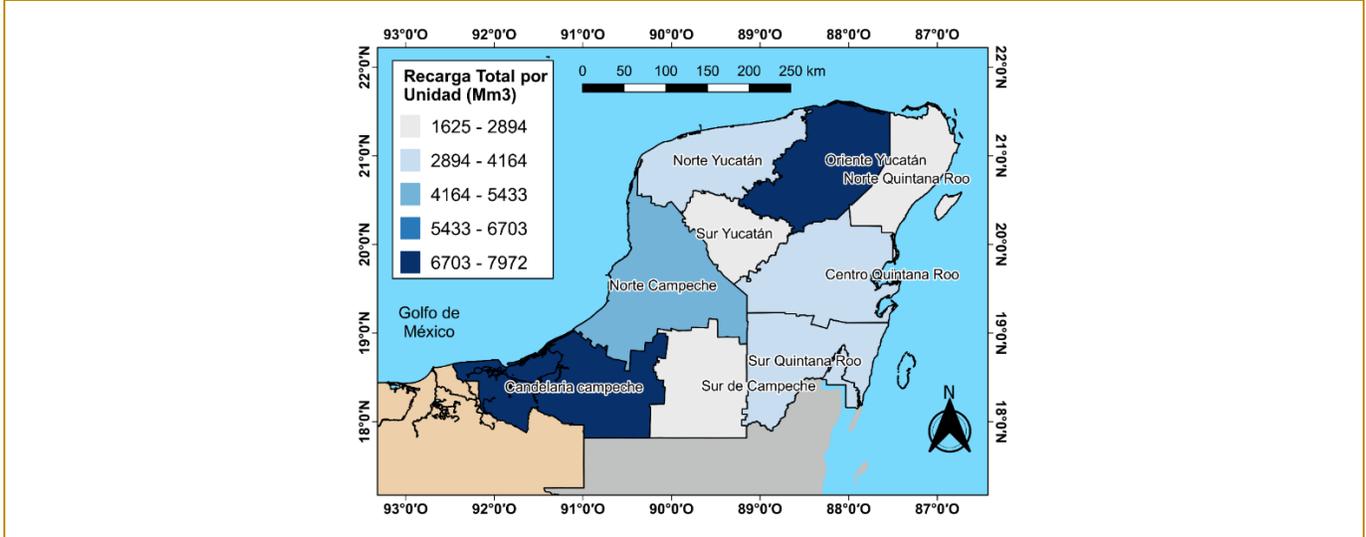
En la Figura 14 y Figura 15 y en la Tabla 8 se observa la recarga total por UP ( $Mm^3$ ) mediante rangos de variación que van de los  $1,624.69 Mm^3$ , que sería la recarga más baja y que corresponde a la UP QRoon, a  $7,972.23 Mm^3$ , que sería la mayor recarga vertical correspondiente a la UP CampC.

**Figura 14.** Recarga por UP



**Nota:** Se observa la recarga en  $Mm^3$  mediante rangos que van de  $-500 mm$  a  $500 mm$ .  
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 15.** Recarga total por UP ( $Mm^3$ )



**Fuente:** Modificado de Bauer-Gottwein et al. (2011). Península de Yucatán Acuífero Kárstico, México.

**Tabla 8.** Recarga total por UP (Mm<sup>3</sup>)

| Entidad / Unidad de Planeación | Superficie (km <sup>2</sup> ) | Recarga total por unidad en Mm <sup>3</sup> | Recarga total por unidad en Mm <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> |
|--------------------------------|-------------------------------|---|--|
| <b>Campeche</b>                | <b>57 634.42</b>              | <b>15 798.31</b>                            | <b>0.27</b>  |
| CampN                          | 22 349.62                     | 5 317.31                                    | 0.24   |
| CampC                          | 21 280.82                     | 7 972.23                                    | 0.37   |
| CampS                          | 14 003.98                     | 2 508.77                                    | 0.18   |
| <b>Quintana Roo</b>            | <b>44 809.22</b>              | <b>8 580.93</b>                             | <b>0.19</b>  |
| QRooN                          | 11 002.53                     | 1 624.69                                    | 0.15   |
| QRooC                          | 17 792.14                     | 3 400.69                                    | 0.19   |
| QRooS                          | 16 014.55                     | 3 555.56                                    | 0.22   |
| <b>Yucatán</b>                 | <b>41 776.95</b>              | <b>13 410.98</b>                            | <b>0.34</b>  |
| YucN                           | 16 638.43                     | 3 394.54                                    | 0.23   |
| YucO                           | 16 783.68                     | 7 539.24                                    | 0.45   |
| YucS                           | 8 354.84                      | 2 477.20                                    | 0.30   |

**Fuente:** Bauer-Gottwein et al. (2011).

De esta forma, la recarga vertical total para la PY asciende a 37,790.22 Mm<sup>3</sup> anual (Bauer Gottwein et al. 2011). Valores muy semejantes resultaron en los trabajos de Lutz W. et al. (1996; IIASA). Estos valores se contrastarán más adelante con las estimaciones del balance de recarga que se presentan en las publicaciones del DOF derivado de la aplicación de la NOM-011 CNA del 2014 al 2020.

Bauer Gottwein et al. (2019) mencionan que el agua subterránea que recarga al acuífero kárstico de la PY finalmente fluye en tres grandes canales de agua subterránea, que son el flujo de salida costero, el bombeo y la evapotranspiración. Beddows (2004) midió el flujo del agua subterránea costera en los principales manantiales submarinos en un tramo de costa de 80 km en el sur de Quintana Roo y calculó un promedio de flujos de aproximadamente 0.73 m<sup>3</sup>/s por km de costa. Usando la estimación de recarga de Lesser (1976), el promedio de salida costero rondaría los 0.27 m<sup>3</sup>/s por km de costa. Según estos resultados, Beddows (2004) argumentó que la recarga de agua subterránea promedio general para su área de estudio cerca de la costa del Caribe puede estar entre el 30% y el 70% de precipitación promedio. Por otro lado, Gondwe et al. (2010b) calcularon la tasa de recarga de agua subterránea promedio equivalente al 17% de la precipitación anual media, lo que concuerda con la estimación de Lesser (1976).

El estudio también sugirió tasas de recarga promedio limitadas en la costa del Caribe. La aparente discrepancia con Beddows (2004) es que la estimación puede explicarse por el flujo de agua subterránea desde partes distantes de la PY al área de estudio costera de Beddows. Particularmente las estimaciones de Beddows (2004) fue local y la de Bauer et al (2011) fue regional.

Las diferentes estimaciones disponibles de costa afuera fueron revisadas y comparadas con los resultados de modelos regionales de agua subterránea (BRN Gondwe, Universidad Técnica de Dinamarca, datos no publicados, 2010), y para esa área de estudio, se modeló el flujo costero equivalente a ~ 0.3-0.4 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> por kilómetro de costa, que está en el mismo rango que las estimaciones de Hanshaw y Back (1980) y Thomas (1999) basado en mediciones de campo.

Se observa que los datos de Bauer Gottwein et al. (2011) y de Lutz, W. et al. (1996) (IIASA) son más altos dado que se considera una infiltración de poco más del 19% mientras que, en los Acuerdos Anuales, publicados en el DOF, son de sólo 14%, que es el valor entre la precipitación total y la recarga estimada. La DNC varía en los Acuerdos Anuales, publicados en el DOF, de 2020 y 2013 dado que representan porcentajes diferentes de la recarga, pasando del 76% al 68%:

## Crece el grado de presión hídrica.

En la Tabla 9, se presenta el balance de agua realizado con los datos de extracción, y es posible observar que, para ese año de 2008, existía disponibilidad en los diferentes acuíferos y particularmente en el cálculo por Unidades de Planeación. Sin embargo, se observa también que la presión sobre la disponibilidad total del acuífero en la UP QRo0N asciende a 86.75 %, por lo que sólo está a 13.25 % de ser ocupada por los diversos sectores productivo y público urbano, colocando en riesgo la Descarga Natural Comprometida (salud de ecosistemas y dilución de contaminantes) en un futuro próximo. Otras Unidades de Planeación en donde la presión sobre la disponibilidad era media se refiere a la del Norte y Sur de Yucatán, que alcanzaba la cifra del 43.04 % y 39.23 % respectivamente, con lo que aún existía disponibilidad del recurso, pero ya para el 2008 se veía el crecimiento de las ciudades capitales y de desarrollo turístico de manera ascendente. A nivel peninsular, la presión sobre la disponibilidad total para el año 2008 sería del 16.06 %, con un gran potencial.

**Tabla 9.** Presión sobre disponibilidad de agua en la PY y UP con datos de Beuer Gotweinn et al 2011 y volumen de extracción del REPDA 2008

| Entidad / Unidad de planeación | Superficie (km <sup>2</sup> ) | Recarga total por UP (Mm <sup>3</sup> /año) | Descarga natural comprometida (Mm <sup>3</sup> /año) | Disponibilidad total (Mm <sup>3</sup> /año) | Volumen de extracción (Mm <sup>3</sup> /año) | Disponibilidad media (Mm <sup>3</sup> /año) | Presión sobre la disponibilidad (%) |
|--------------------------------|-------------------------------|---|--|---|--|---|-------------------------------------|
| <b>Campeche</b>                | 57 634.42                     | <b>15 791.83</b>                            | <b>10 374.19</b>                                     | <b>5 417.63</b>                             | <b>367.08</b>                                | <b>5,050.55</b>                             | <b>6.76</b>                         |
| CampN                          | 22 349.62                     | 5 319.06                                    | 3 508.89   | 1 810.32                                    | 282.67                                       | 1 527.64                                    | 15.61                               |
| CampC                          | 21 280.82                     | 7 980.30                                    | 5 256.36   | 2 723.94                                    | 83.36  | 2 640.58                                    | 3.06                                |
| CampS                          | 14 003.98                     | 2 506.71                                    | 1 652.46   | 854.24                                      | 1.07   | 853.17                                      | 0.12                                |
| <b>Quintana Roo</b>            | <b>44 809.22</b>              | <b>8 558.56</b>                             | <b>5 645.96</b>                                      | <b>2 912.59</b>                             | <b>654.80</b>                                | <b>2 257.79</b>                             | <b>22.48</b>                        |
| QRooN                          | 11 002.53                     | 1 628.37                                    | 1 067.24   | 561.13                                      | 486.79                                       | -74.34                                      | 86.75                               |
| QRooC                          | 17 792.14                     | 3 398.29                                    | 2 241.81   | 1 156.48                                    | 39.65  | 1 116.83                                    | 3.42                                |
| QRooS                          | 16 014.55                     | 3 555.23                                    | 2 338.12   | 1 217.11                                    | 128.36                                       | 1 088.75                                    | 1.01                                |
| <b>Yucatán</b>                 | <b>39 776.93</b>              | <b>13 404.82</b>                            | <b>8 830.47</b>                                      | <b>4 946.45</b>                             | <b>1 098.42</b>                              | <b>3 848.03</b>                             | <b>22.20</b>                        |
| YucN                           | 16 638.43                     | 3 396.11                                    | 2 239.67   | 1 156.43                                    | 497.65                                       | 658.78                                      | 43.03                               |
| YucO                           | 16 783.68                     | 7 535.87                                    | 4 967.96   | 2 567.91                                    | 269.73                                       | 2 298.18                                    | 10.52                               |
| YucS                           | 8 354.84                      | 2 473.02                                    | 1 629.19   | 843.83                                      | 331.04                                       | 512.79                                      | 39.23                               |
| <b>Total Península</b>         | <b>142 220.57</b>             | <b>37 790.22</b>                            | <b>25 697.73</b>                                     | <b>13 200.29</b>                            | <b>2 120.30</b>                              | <b>11 079.99</b>                            | <b>16.06</b>                        |

Fuente: Beuer-Gotweinn et al 2011 y REPDA 2008

Sin embargo, como se ha mostrado a lo largo de este documento, el modelo ajustado de los datos de recarga de agua presentado en las publicaciones científicas da cuenta de la distribución espacial de los diversos parámetros hidrológicos, los cuales son representativos para ese año del 2008. Una limitante del modelo es que no incluye escurrimiento superficial ni tampoco toma en cuenta los flujos subterráneos. Sin embargo, da una buena idea de la distribución espacial promedio anual de la precipitación, evapotranspiración y recarga, conceptos clave en el balance hidrológico.

En este sentido, resalta el hecho de que tanto en el balance hidrológico presentado por el DOF 2020, como en la publicación Bauer Gotweinn et al 2011, para datos del 2008, la precipitación total anual promedio para toda la Península de Yucatán fue de 1,214.16 mm para el primero y 1,259.04 mm, el segundo. Muy parecidos en cantidad de lámina de lluvia. Sin embargo, se presenta una gran diferencia en el volumen calculado para la recarga del acuífero debido a la proporción utilizada de la precipitación para cada escenario (DOF 2020 y Bauer Gotweinn 2011). Esto tiene un impacto muy importante en el cálculo final de la disponibilidad, como se muestra en la siguiente Tabla 10.

**Tabla 10.** Parámetros hidrológicos para el cálculo de la disponibilidad de agua para los escenarios de y Bauer Gotweinn 2011 y DOF 2020

| Parámetro hidrológico   | Bauer Gotweinn 2011 | DOF 2020  | Comentario   |
|---|---------------------|-----------|--|
| Precipitación (mm)  | 1 259.04            | 1 214.16  | No hay diferencia significativa  |
| Proporción porcentual para recarga %  | 21.20               | 14.70     | Una diferencia de 6.5 puntos porcentuales  |
| Recarga Mm3/año   | 37 790.22           | 25 315.70 | Representa una diferencia de 14,474 Mm3/año  |
| Proporción porcentual para descarga natural comprometida %                        | 68.00               | 68.00     | En este caso el valor porcentual se mantuvo en ambos casos   |
| Descarga Natural Comprometida Mm3/año   | 25 697.34           | 17 341.60 | Representa una diferencia de 8,355.74 Mm3/año  |
| Disponibilidad total Mm3/año  | 12 092.88           | 7 974.06  | Representa una diferencia de 4,118.89 Mm3/año  |
| Extracción concesionada Mm3/año   | 2 120.30            | 4 965.25  | El incremento del 2008 al 2020 es de más del 100 %   |
| Pozos registrados (REPDA)   | 28 442              | 48 610    | Más de 20 mil pozos  |
| Presión sobre la disponibilidad total a nivel de la RHXII, Península de Yucatán % | 16.06               | 62.20     | Un incremento significativo  |
| Presión sobre la disponibilidad total a nivel de la UP Norte QRoo %               | 86.75               | 234.10    | La variación es enorme, la disponibilidad está agotada y se consume la descarga natural comprometida |

**Fuente:** Beuer-Gotweinn et al 2011 y DOF 2020

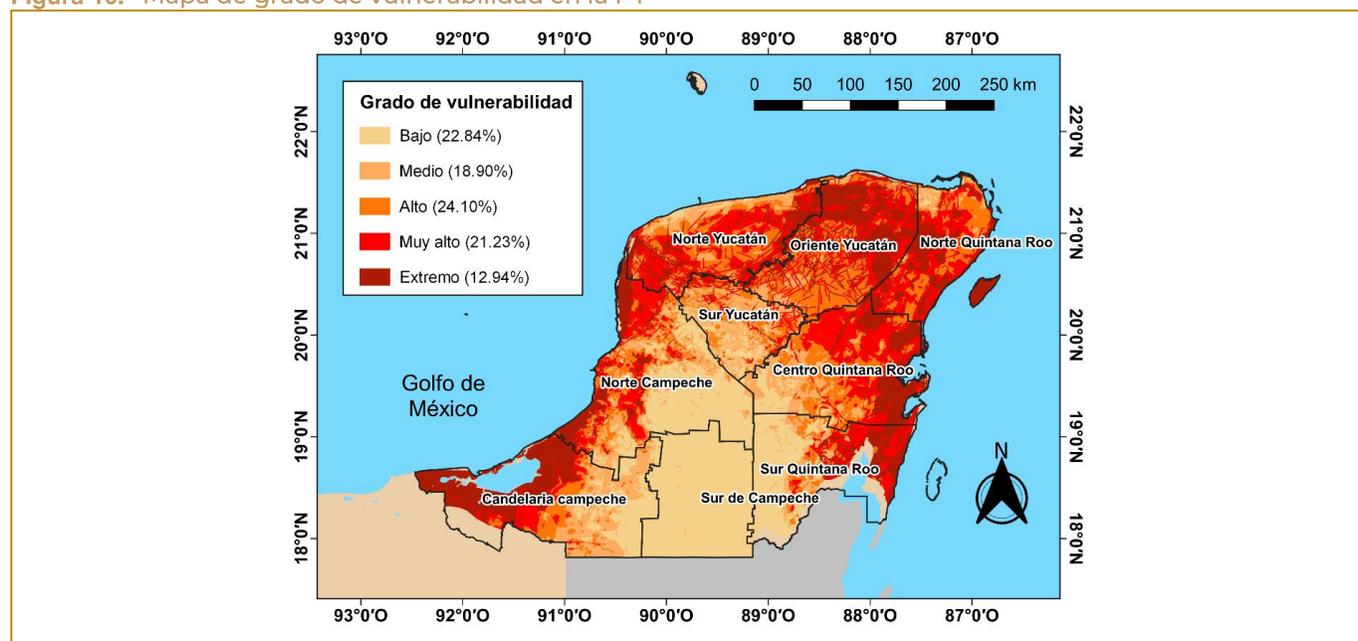
Hace falta reflexionar mucho más sobre el tema de la recarga y la proporción que realmente ingresa al acuífero de la precipitación, y generar conocimiento científico para mejorar los cálculos para cada UP. Esto en la perspectiva de que, en un periodo de 12 años, se han concesionado más del doble de agua consumida en el 2008 y más de 20 mil pozos en explotación. Por lo que la presión sobre la disponibilidad total del agua paso de 16 % a más del 62 %. Cada vez más cerca del umbral para garantizar la salud de los ecosistemas y la dilución de contaminantes, así como el derecho humano al agua. Sin embargo, es notorio que en ambos escenarios (2008 y 2020) algunas Unidades de Planeación se encontraban a 13 % de disponibilidad media en el 2008, pero que para el año 2020 han ocupado la disponibilidad total y consumen la descarga natural comprometida para la salud de los ecosistemas, la dilución de contaminantes y el derecho humano al agua en calidad y cantidad, esta condición se mantiene en el supuesto también de una mayor recarga.

### 1.2.3.3 Vulnerabilidad del acuífero

Para esta sección se generó un mapa de vulnerabilidad intrínseca a la contaminación del acuífero de la PY (Figura 16) mediante la selección y el análisis minucioso de los atributos presentes en Campeche, Yucatán y Quintana Roo, con respecto a las formaciones geológicas, variables climáticas, usos y tipos de la vegetación, entre otros, incorporando el mapa de las Anomalías de Beuer y considerando los métodos DRASTIC y EPIK, para identificar las zonas de mayor vulnerabilidad (ver metodología en Anexo 4).

Se entiende que la vulnerabilidad intrínseca es usada para definir la vulnerabilidad del agua subterránea frente a los contaminantes generados por las actividades humanas. Toma en cuenta las características geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas de un área, sin embargo, es independiente de la naturaleza de los contaminantes.

Figura 16. Mapa de grado de vulnerabilidad en la PY



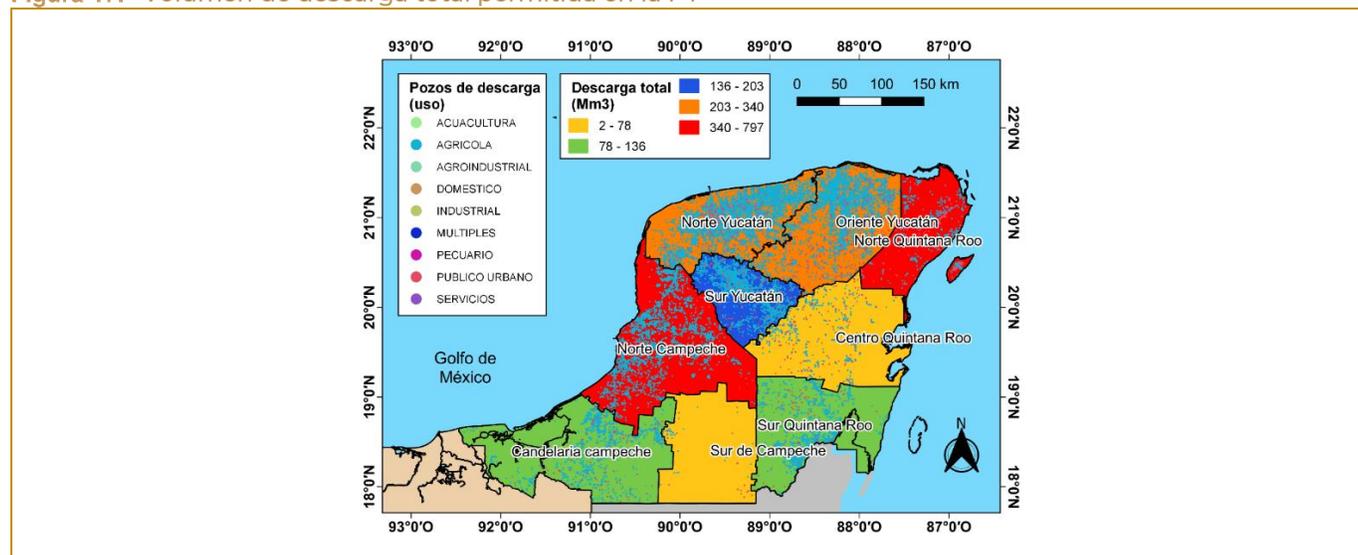
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 16 y en su recuadro superior izquierdo, se observa una superficie de vulnerabilidad “Bajo”, con 22.84%, distribuido principalmente en el Sur y Centro de la PY, coincidiendo con las partes más altas del territorio; le sigue el grado de vulnerabilidad Alto, con 24.10%, asociado con los depósitos del Mioceno-Plioceno y sistema multi-anillos del cráter de Chicxulub; le sigue el grado de vulnerabilidad “Muy Alto”, con 21.23%, asociado a las planicies costeras, vinculado con el desarrollo kárstico, con fallas, fracturas, y dolinas, entre otros. Como se observa en la Figura 16, en su recuadro superior derecho, el grado de vulnerabilidad “Extremo”, se presenta en el 12.94% del territorio peninsular, vinculado con zonas de inundación superficial como en los ríos de la UP CampC, en partes menores a 5 msnm del anillo de cenotes en el Norte de Yucatán, buena parte del valle kárstico del Oriente de Yucatán, el sistema de fracturas de Holbox y sistema de cavernas en el Norte de Quintana Roo, así como la Reserva de la Biosfera de Sian Ka’an, hacia la costa de Chetumal.

La vulnerabilidad específica en la PY se puede esquematizar con el apoyo del mapa de descargas de aguas residuales concesionadas por parte de CONAGUA, en cuanto a tipo de uso de agua, público urbano, servicios, pecuario, retornos de riego agrícola, agroindustrial, acuacultura, entre otros, inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA 2019).

En la Figura 17 se observa de forma esquemática la vulnerabilidad específica, dada por el uso múltiple del agua en la zona (las descargas por UP se presentan en el apartado Descargas y Tratamiento de Aguas Residuales). Esta agua que se consumió se retorna al medio subterráneo contaminada, en mayor o menor volumen total, contribuyendo a la contaminación del acuífero, y el riesgo potencial en la salud de la población y de los ecosistemas y recursos naturales, incluyendo los recursos preferentes (recursos naturales de los que dependen principalmente) de las comunidades originarias Mayas. Se observa que las UP CampN y QRoos son las que más volumen de aguas residuales generan, en zonas donde la vulnerabilidad es Muy Alta, seguido por las UP YucN, con grado “Alto” y “Muy Alto”, y YucO, en donde la vulnerabilidad “Extrema” predomina.

La actividad agrícola es la que mayor cantidad de agua de descarga presenta, con una gran dispersión territorial, lo que requiere un esfuerzo mayor para controlar la contaminación agroquímica que genera. Le siguen las descargas público-urbanas, las cuales están muy bien localizadas y requieren mayor tratamiento. Sin embargo, hay otras que son puntuales y con grandes cargas orgánicas como la agroindustria y pecuaria (como en la UP YucN), o con generación de metales pesados como la industrial, vinculado a las zonas más urbanizadas de los tres estados. Ante esta situación, la generación de un sistema de monitoreo en tiempo real y con una cobertura espacial representativa es una demanda urgente de la Península para la conservación de la calidad del agua subterránea.

**Figura 17.** Volumen de descarga total permitida en la PY


Fuente: Elaborado con datos del OCPY (2020) y REPDA (S/D).

### 1.2.4 Usos del suelo

La Península de Yucatán en la mayor parte de su territorio se encuentra con vegetación secundaria de diversos tipos (55.1 %), todos relacionados con sistemas tropicales de baja altitud y estacional, como la selva baja caducifolia, mediana subcaducifolia y mediana subperennifolia. Las superficies con vegetación primaria, tales como selvas altas subperennifolias y altas perennifolias, ocupan áreas reducidas (21.1%), principalmente al sur de la Península. Los suelos que se dedican a las actividades agrícolas, pecuarias o forestal alcanzan el 18.9% del territorio y se concentran básicamente hacia el oriente de Yucatán y sur de Campeche (Tabla 11).

**Tabla 11.** Usos del suelo en la Península de Yucatán

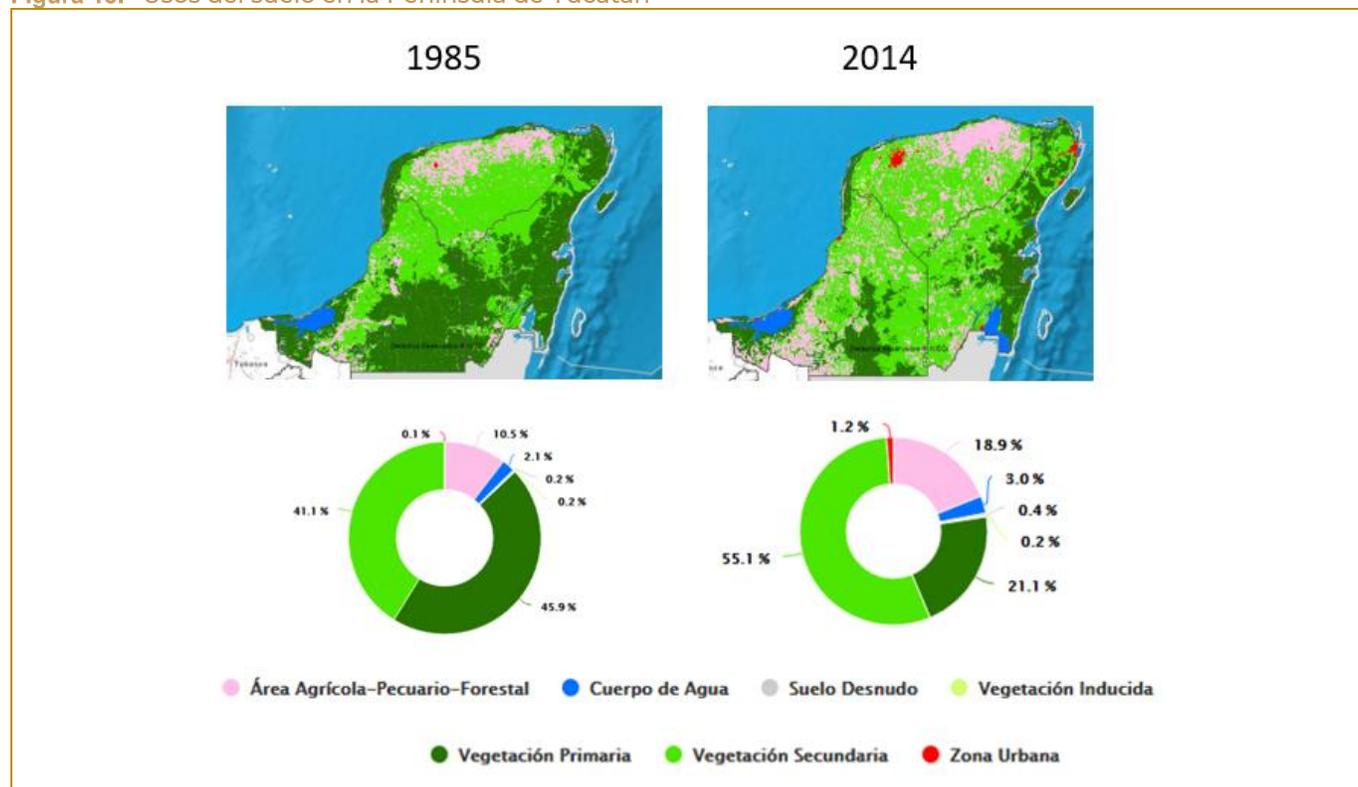
| Uso de suelo               | Superficie |                 |
|----------------------------|------------|-----------------|
|                            | %          | Km <sup>2</sup> |
| Agrícola-Pecuaria-Forestal | 18.4       | 26 599.10       |
| Cuerpo de agua             | 3.0        | 4 362.82        |
| Suelo desnudo              | 0.2        | 281.47          |
| Vegetación inducida        | 0.4        | 562.94          |
| Vegetación primaria        | 20.6       | 29 746.54       |
| Vegetación secundaria      | 53.8       | 77 545.54       |
| Zona urbana                | 1.2        | 1 688.83        |
| Otro                       | 2.4        | 3 484.59        |
| Total                      | 100.0      | 144 220.59      |

Fuente: INEGI, 2014

Como parte de las tendencias observadas en los cambios de uso del suelo a partir de 1985 (Figura 18), destacan las aperturas de superficies a la actividad agricultura-pecuaria-forestal (al pasar de 10.5 a 18.9%), lo cual se encuentra principalmente en el oriente de Yucatán y norte de Campeche; el incremento en la superficie con vegetación

secundaria (creció de un 41.1 al 55.1%), así como la expansión de las manchas urbanas (de un 0.1 a 1.2%), como son los casos del área metropolitana de Mérida y la ciudad de Cancún.

**Figura 18.** Usos del suelo en la Península de Yucatán

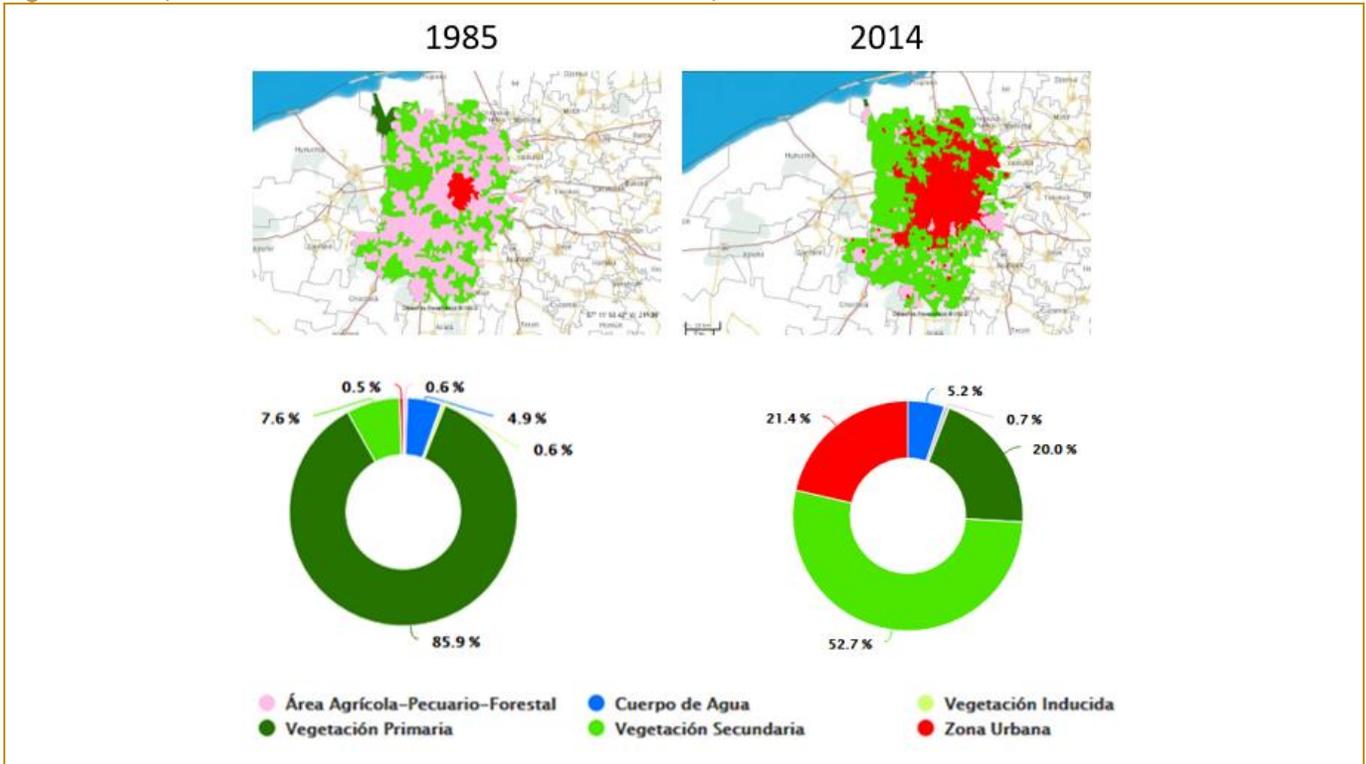


Fuente: INEGI, 2014

En el ámbito geográfico de los municipios que corresponden al área metropolitana de Mérida (Figura 19), se observa la notable reducción de la superficie dedicada a actividades productivas, mientras que, en contraste, la extensión de la mancha urbana creció de 39.94 km<sup>2</sup> en 1985 a 361.92 km<sup>2</sup> en 2014.

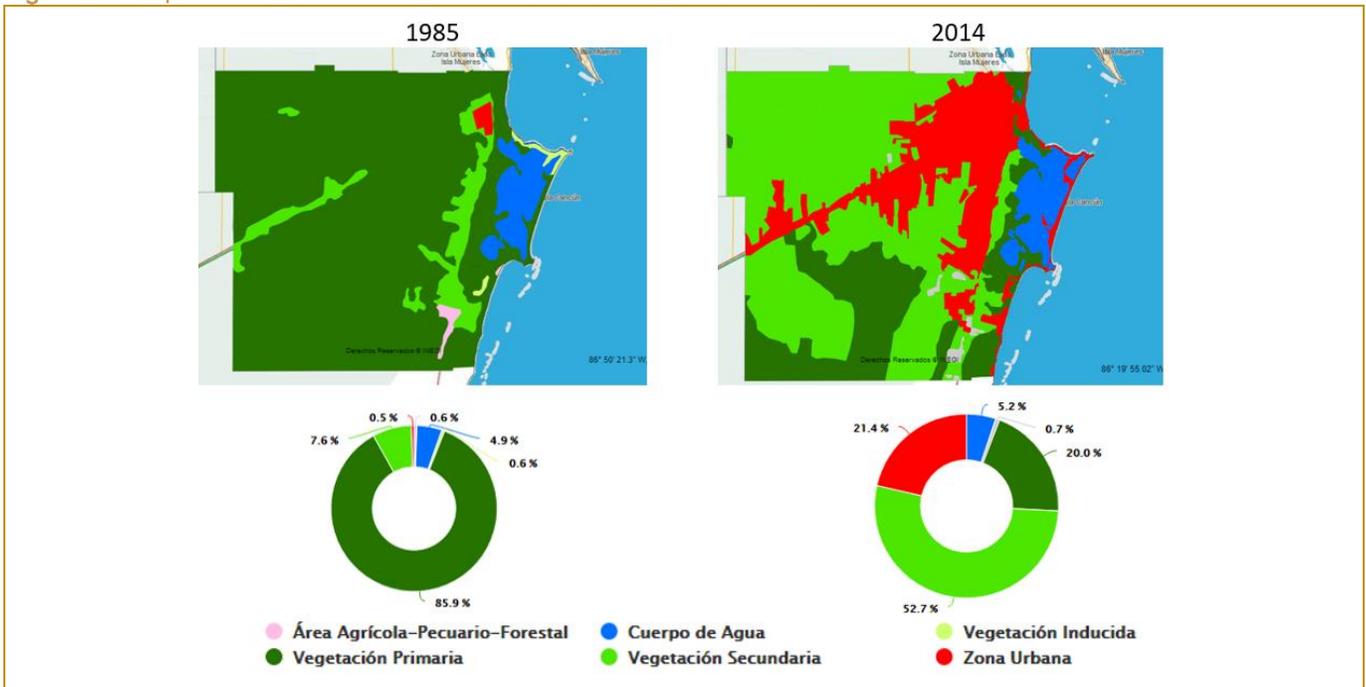
Mientras que, en el municipio de Benito Juárez, Quintana Roo (Figura 20), se observa un notable cambio en el uso del suelo, al ser sustituida una considerable superficie de vegetación primaria, por vegetación secundaria, así como también la extensión de la mancha urbana de la ciudad de Cancún creció de 6.24 km<sup>2</sup> en 1985 a 352.03 km<sup>2</sup> en 2014.

Figura 19. Expansión de la mancha urbana del área metropolitana de Mérida



Fuente: INEGI, 2014

Figura 20. Expansión de la mancha urbana de la ciudad de Cancún



Fuente: INEGI, 2014

La Península de Yucatán presenta un ecosistema nativo muy característico, por lo cual es considerada desde un punto de vista biogeográfico como una provincia biótica claramente definida. La mayor parte de la península está cubierta por vegetación tropical estacional como la selva baja caducifolia, mediana subcaducifolia y mediana subperennifolia. Los bosques húmedos como las selvas altas subperennifolia y altas perennifolias sólo ocupan áreas reducidas al sur de la península.

Existen otros tipos de vegetación que ocupan áreas menos extensivas por estar asociadas a fenómenos o condiciones particulares. En ellas se da la presencia de varias especies restringidas a estos ambientes que contribuyen substancialmente a la riqueza de especies de la península y que les confieren importancia a efectos del diseño de planes de conservación. Estos tipos de vegetación incluyen "aguadas", "rejolladas", cenotes, sabanas, petenes, dunas costeras y manglares.

Sin embargo, en las últimas décadas, las actividades agroindustriales, ganaderas a gran escala y el turismo de masas han afectado a la península. De acuerdo con el Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible (CCMSS), tan solo en el 2013 en la Península de Yucatán se perdieron 80 mil hectáreas de cobertura vegetal (40% del total del país) equivalentes al 2.3 por ciento de la superficie arbolada de la región.

Como resultado, se observa una gran fragmentación de las agrupaciones vegetales en toda la península, pero especialmente en las zonas dedicadas a la actividad agropecuaria en el estado de Yucatán.

Actualmente, la mayor parte de las comunidades vegetales corresponden a vegetación secundaria que se encuentra en alguna etapa seral. La vegetación primaria se ubica en las partes más aisladas del norte y sur de la península, como parte de las reservas de Sian Ka'an en Quintana Roo y Calakmul en Campeche.

Hay que hacer hincapié en que los humedales constituyen un eslabón básico e insustituible en el ciclo del agua, brindan numerosos servicios ambientales y tienen importancia económica que redunde en beneficios a la sociedad. Sin embargo, la modificación de los flujos de agua, el relleno y la contaminación derivada de la falta de planeación del desarrollo, han originado la degradación y pérdida de grandes extensiones de estos. La Convención de RAMSAR ha adoptado un Sistema de Clasificación de Tipos de Humedales que incluye 42 tipos, agrupados en tres categorías: humedales marinos y costeros, humedales continentales y humedales artificiales.

En la Península se ubican 23 Sitios RAMSAR con un área total de 27,535 km<sup>2</sup>, de los cuales tres se encuentran en Campeche con el 36 por ciento de la superficie total, 12 en Quintana Roo con el 42 por ciento de superficie y ocho en Yucatán con el 22 por ciento. También encuentran 432 humedales, entre continentales y artificiales, que abarcan un área total de 35,423 km<sup>2</sup>.

Entre los humedales costeros de la región, son notables los manglares. La Península de Yucatán contiene el 55 por ciento (4,237 km<sup>2</sup>) de la extensión total de manglares en México. A nivel estatal, Campeche es el que posee la mayor superficie de manglar del país (25.2%), seguido por Quintana Roo (16.9%) y Yucatán (12.9%).

Campeche con el 90.3 por ciento y Quintana Roo con el 64.5 por ciento ocupan el segundo y cuarto lugar entre los estados con el mayor porcentaje de manglares en áreas protegidas federales. De la misma forma Yucatán (45.8%) y Campeche (35.4%) ocupan el 2° y 3° lugar entre los estados con el mayor porcentaje de manglares en áreas protegidas estatales. También en la península se ubican 23 de los 81 sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica (Tabla 12).

En los últimos 30 años ha  
disminuido  
considerablemente la  
superficie con vegetación

**Tabla 12.** Tipo de humedales de la región

| Tipo de humedales    | Cantidad   | Superficie (km <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------|-------------------------------|
| Palustres            | 180        | 25 976.7                      |
| Lacustres            | 49         | 439.3                         |
| Fluviales/Ribereños  | 106        | 1 867.0                       |
| Estuarinos           | 90         | 7 076.4                       |
| Creados/Artificiales | 7          | 60.9                          |
| <b>Total</b>         | <b>432</b> | <b>35 420.3</b>               |

Fuente: Atlas del Agua 2014, CONAGUA

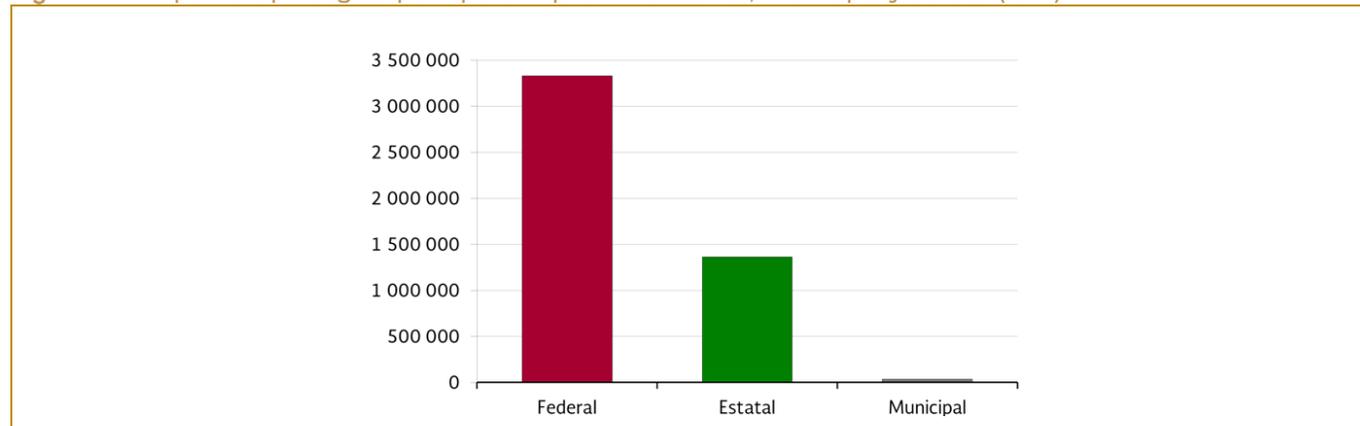
Dada la riqueza de la biodiversidad de la región y la importancia de la conservación de sus ecosistemas para la preservación de especies, en la Península de Yucatán se han decretado 43 Áreas Naturales Protegidas (ANP) en diferentes modalidades. Las mismas, abarcan un área total de 47 276.7 km<sup>2</sup>.

A pesar de que el estado de Campeche presenta la menor cantidad de ANP, en comparación con Quintana Roo que tiene el triple de áreas, presenta una mayor área bajo protección (39.3%). El estado de Yucatán es quien menos aporta al total con el 25.1 por ciento de su territorio bajo alguna modalidad de protección (Figura 21).

Destaca que tanto en Campeche como en Quintana Roo, la mayor parte del área bajo protección es de competencia federal, en proporción promedio de 3.6 hectáreas bajo protección federal por cada una de protección estatal. Por su parte, en Yucatán esta relación se invierte a 1.2 hectáreas protegidas bajo administración estatal por cada hectárea a cargo de la federación.

También resalta que en el estado de Yucatán la superficie protegida de competencia municipal supera por mucho las de los otros dos estados.

34 por ciento de la superficie de la Península se encuentra protegida.

**Figura 21.** Superficie protegida por tipo competencia federal, municipal y estatal (km<sup>2</sup>)


Fuente: Elaborado con datos de: SINAP, CONANP (disponibles en <http://www.conanp.gob.mx/>), CONACYT (disponibles en <http://www.conacyt.gob.mx/>) y el Sistema Estatal de ANP de Campeche.

## 1.3 Aspectos demográficos y sociales

### 1.3.1. Desarrollo poblacional

La población total de la península es de 5,107,246 habitantes, de los cuales el 49.6 por ciento son hombres y 50.4 por ciento son mujeres, representando el 4.05 por ciento de la población total del país. De esta población, un bajo porcentaje (14.4%) vive en localidades rurales y el resto (85.3%) en localidades urbanas.

La Tabla 13 muestra el crecimiento poblacional que ha presentado la PY hasta 2020 según censos de INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). La población pasó de 1,097,192 habitantes en 1970, a cerca de 5,107,246 habitantes en 2020, un incremento del 400% en 50 años con poco más de 75,580 personas incorporándose al censo anualmente. El crecimiento poblacional de 1970 a 2020 ha sido del 2.2 por ciento, muy por encima del total nacional (1.4%). Cancún, en la UP QRooN, la ciudad más importante, demográficamente hablando, seguida por Mérida y Campeche. Yucatán es el estado con la mayor población en los últimos 50 años (1970 - 2020), alcanzando para el 2020 2,320,898 de los 5,091,949 habitantes que se registraron en toda la PY. La UP YucN es la más poblada y con una tasa de crecimiento moderada, menor del 2%. Sin embargo, Quintana Roo presenta el mayor crecimiento a nivel peninsular, al pasar de 88,150 habitantes en 1970, a 1,867,985 habitantes en 2020. En el caso de la UP CampN es quien presenta el mayor crecimiento y pasa de 167,345 a 516,988. En el caso de las tasas de crecimiento anual se observa en la Tabla 13 que el mayor crecimiento anual se presenta en Quintana Roo, con valores que van de 5.3 % a 3.5 % anual. Seguido por Yucatán, con valores de 1.9 a 1.8. Mientras que Campeche presenta los valores más bajos de tasa de crecimiento anual de hasta 1.2 %.

La unidad de planeación QRooN, en donde se ubica Cancún, es la más densamente poblada, seguida por YucN, en

**Tabla 13.** Tasas de crecimiento anual.

| Entidad Federativa | TMCA 05/00 | TMCA 10/05 | TMCA 15/10 | TMCA 15/00 | TMCA 20/15 |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Campeche           | 1.80%      | 1.70%      | 1.80%      | 1.80%      | 1.20%      |
| Quintana Roo       | 5.30%      | 3.10%      | 2.50%      | 3.70%      | 3.50%      |
| Yucatán            | 1.90%      | 1.50%      | 1.40%      | 1.60%      | 1.80%      |
| Total general      | 2.80%      | 2.00%      | 1.90%      | 2.20%      |            |

Fuente: INEGI (2020). [https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?pxq=Poblacion\\_Poblacion\\_03\\_13b8bdfc-8744-4623-a652-03cb6901fd47](https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?pxq=Poblacion_Poblacion_03_13b8bdfc-8744-4623-a652-03cb6901fd47)

En la Tabla 14, se observa que, en 2020, de los 5,107,246 habitantes a nivel peninsular, el 85.5% se concentra en zonas urbanas y el 14.5% se distribuye en zonas rurales. Campeche presenta la mayor proporción rural con 230,606 habitantes. Sin embargo, Quintana Roo es el estado con mayor densidad poblacional (132 hab/km<sup>2</sup>), la UP QRooN alcanza los 201 hab/km<sup>2</sup>. La segunda densidad de población más alta es la UP YucN, con 88 hab/km<sup>2</sup>, debido a la presencia de la zona metropolitana de Mérida (Tabla 15).

**Tabla 14.** Población en la PY por UP.

| Entidad / Unidad de Planeación | 1970             | 1980             | 1990             | 2000             | 2005             | 2010             | 2015             | 2020             |
|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Campeche</b>                | 251 556          | 420 553          | 535 185          | 690 689          | 754 730          | 822 441          | 899 931          | 928 363          |
| CampN                          | 167 345          | 267 773          | 347 493          | 398 853          | 435 526          | 470 735          | 511 801          | 532 285          |
| CampC                          | 84 211           | 152 780          | 187 692          | 268 721          | 295 390          | 324 824          | 359 706          | 364 364          |
| CampS                          |                  |                  |                  | 23 115           | 23 814           | 26 882           | 28 424           | 31 714           |
| <b>Quintana Roo</b>            | 88 150           | 225 985          | 493 277          | 874 963          | 1 135 309        | 1 325 578        | 1 501 562        | 1 857 985        |
| QRooN                          | 19 489           | 77 108           | 248 301          | 575 382          | 817 427          | 969 820          | 1 119 127        | 1 459 428        |
| QRooC                          | 32 314           | 50 878           | 72 413           | 91 417           | 98 119           | 111 205          | 119 244          | 123 155          |
| QRooS                          | 36 347           | 97 999           | 172 563          | 208 164          | 219 763          | 244 553          | 263 191          | 275 402          |
| <b>Yucatán</b>                 | 757 486          | 1 063 733        | 1 362 940        | 1 658 210        | 1 818 948        | 1 955 577        | 2 097 175        | 2 320 898        |
| YucN                           | 520 358          | 764 221          | 984 990          | 1 204 893        | 1 321 368        | 1 422 796        | 1 532 071        | 1 725 548        |
| YucO                           | 142 835          | 177 776          | 219 206          | 266 327          | 297 645          | 318 456          | 338 198          | 356 459          |
| YucS                           | 94 293           | 121 736          | 158 744          | 186 990          | 199 935          | 214 325          | 226 906          | 238 891          |
| <b>Total</b>                   | <b>1 097 192</b> | <b>1 710 271</b> | <b>2 391 402</b> | <b>3 223 862</b> | <b>3 708 987</b> | <b>4 103 596</b> | <b>4 498 668</b> | <b>5 107 246</b> |

Fuente: INEGI (2020).

**Tabla 15.** Población total y densidad demográfica de la PY por UP.

| Entidad / Unidad de Planeación | Población rural | Población Urbana | Población total  | Densidad demográfica hab/km <sup>2</sup> |
|--------------------------------|-----------------|------------------|------------------|--|
| <b>Campeche</b>                | 231 776         | 696 587          | 928 363          | 20.70                                    |
| CampN                          | 110 557         | 421 728          | 532 285          | 13.46                                    |
| CampC                          | 95 234          | 269 130          | 364 364          | 17.20                                    |
| CampS                          | 25 985          | 5 729            | 31 714           | 2.26                                     |
| <b>Quintana Roo</b>            | 180 727         | 1 677 258        | 1 857 985        | 132.56                                   |
| QRooN                          | 50 919          | 1 408 509        | 1 459 428        | 201.37                                   |
| QRooC                          | 59 187          | 63 968           | 123 155          | 7.28                                     |
| QRooS                          | 70 621          | 204 781          | 275 402          | 17.01                                    |
| <b>Yucatán</b>                 | 326 047         | 1 994 851        | 2 320 898        | 62.78                                    |
| YucN                           | 173 114         | 1 552 434        | 1 725 548        | 88.34                                    |
| YucO                           | 111 698         | 244 761          | 356 459          | 18.49                                    |
| YucS                           | 41 235          | 197 656          | 238 891          | 42.58                                    |
| <b>Total</b>                   | <b>737 380</b>  | <b>4 354 569</b> | <b>5 107 246</b> | <b>35.41</b>                             |

Fuente: INEGI (2020).

[https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/consulta/general\\_ver4/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&mp:c=](https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&mp:c=)
<https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/Proyectos/bd/censos/cpv2020/pt.asp>

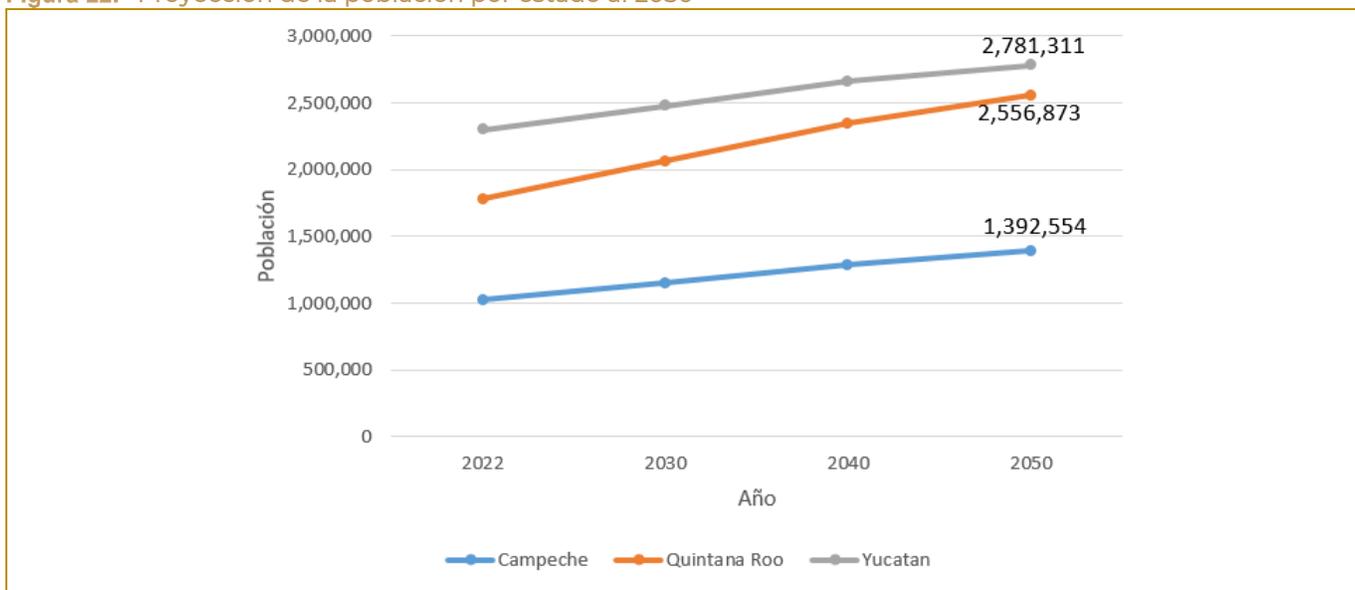
En la Tabla 16 se corrobora que es, en este caso, el Municipio de Mérida, en la UP YucN, la más poblada, y concentra al 57.67% de la población total de la UP. Le sigue en importancia el Municipio de Benito Juárez en la UP QRooN, con el 62.45% del total.

**Tabla 16.** Municipios más poblados por UP.

| Entidad / Unidad de Planeación | Municipios más poblados | Población por municipio |
|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Campeche                       |                         |                         |
| CampN                          | Campeche                | 294 077                 |
| CampC                          | Carmen                  | 248 845                 |
| CampS                          | Calakmul                | 31 714                  |
| Quintana Roo                   |                         |                         |
| QRooN                          | Benito Juárez           | 911 503                 |
| QRooC                          | Felipe Puerto Carillo   | 83 990                  |
| QRooS                          | Othón P. Blanco         | 233 648                 |
| Yucatán                        |                         |                         |
| YucN                           | Mérida                  | 995 129                 |
| YucO                           | Valladolid              | 85 460                  |
| YucS                           | Tekax                   | 45 062                  |

Fuente: INEGI (2020). <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?t=123&ag=31>

Un aspecto por considerar en los escenarios futuros es el incremento de la población y su concentración en zonas urbanas. De acuerdo con las proyecciones de población del Consejo Nacional de Población (CONAPO), se estima para el año 2050 una población total de 6,730,738 habitantes en la región (Figura 22), considerando una tasa promedio anual de crecimiento del 1.2 por ciento.

**Figura 22.** Proyección de la población por estado al 2050


Fuente: CONAPO, <https://datos.gob.mx/busca/dataset/proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2016-2050>

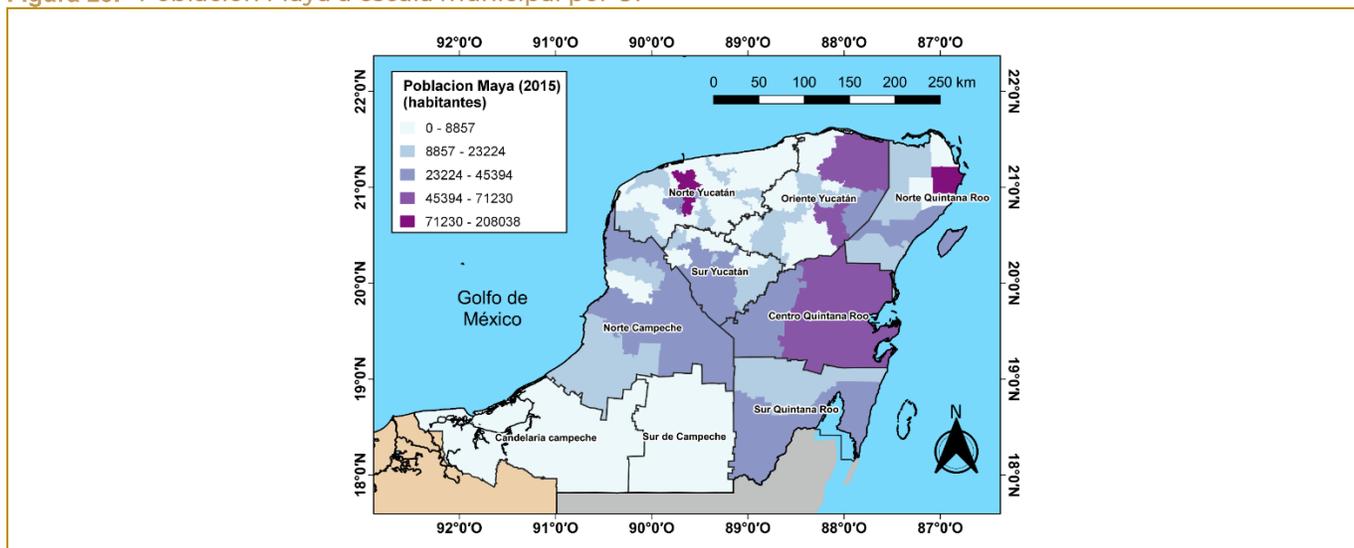
### 1.3.2 Pueblos originarios

La comunidad originaria en la PY es la Maya Yucateca, aunque existe una representación de Chol y Tzeltal, particularmente en Campeche. De la población total peninsular, el 31.63% es Maya originaria. Yucatán es el estado en donde es mayor su presencia, con 1,615,738 de habitantes del total de la población, lo cual lo caracteriza como un estado indígena, en el que la mayor proporción se encuentra en las UP YucS y YucO.

Una tercera parte de la población es originaria.

Sin embargo, la mayor concentración a nivel peninsular de población originaria maya ocurre en la UP YucN, con más de 546,420 habitantes originarios, seguido por las otras zonas urbanas mayores como Campeche y Cancún y Rivera Maya (Figura 23 y 0). En Quintana Roo la mayor proporción de comunidades originarias se dan en la UP QRooC.

**Figura 23.** Población Maya a escala municipal por UP



Fuente: Elaborado con datos del INPI (2015). [http://atlas.inpi.gob.mx/?page\\_id=951](http://atlas.inpi.gob.mx/?page_id=951)  
[http://atlas.inpi.gob.mx/?page\\_id=951](http://atlas.inpi.gob.mx/?page_id=951)

**Tabla 17.** Total de población y población Maya por UP.

| Entidad / Unidad de Planeación | Población total | Población Maya |
|--------------------------------|-----------------|----------------|
| <b>Campeche</b>                | 928 363         | 158 844        |
| CampN                          | 532 285         | 149 468        |
| CampC                          | 364 364         | 8 102          |
| CampS                          | 31 714          | 1 274          |
| <b>Quintana Roo</b>            | 1 857 985       | 428 038        |
| QRooN                          | 1 459 428       | 271 231        |
| QRooC                          | 123 155         | 103 225        |
| QRooS                          | 275 402         | 53 582         |
| <b>Yucatán</b>                 | 2 320 898       | 1 028 856      |
| YucN                           | 1 725 548       | 546 420        |

| Entidad / Unidad de Planeación | Población total  | Población Maya   |
|--------------------------------|------------------|------------------|
| YucO                           | 356 459          | 280 822          |
| YucS                           | 238 891          | 201 614          |
| <b>Total</b>                   | <b>5 107 246</b> | <b>1 615 738</b> |

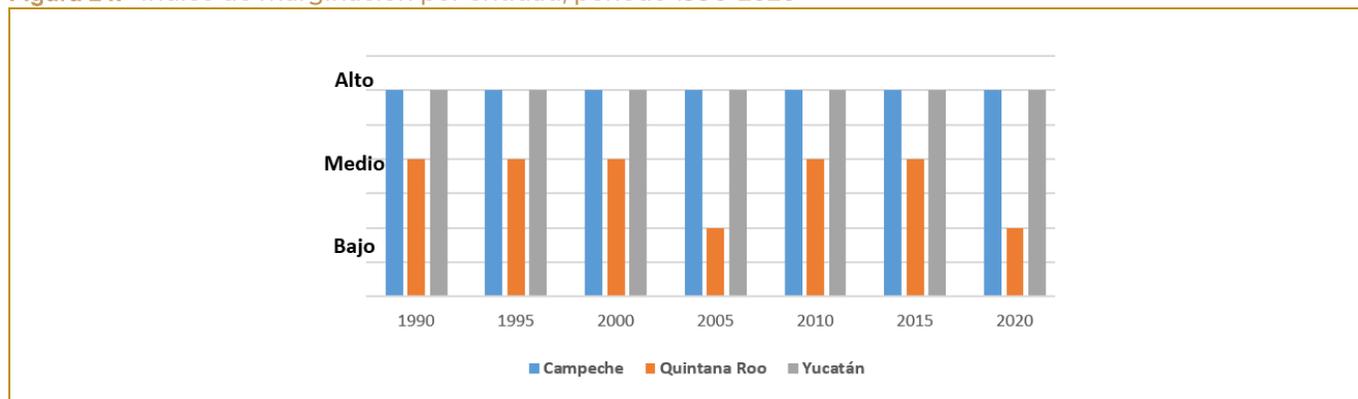
Fuente: INPI (2015). [http://atlas.inpi.gob.mx/?page\\_id=951](http://atlas.inpi.gob.mx/?page_id=951)

### 1.3.3 Condiciones de marginación

El índice de marginación es una medida-resumen que permite diferenciar los estados y municipios del país según el impacto global de las carencias que padece la población como resultado de la falta de acceso a la educación, la residencia en viviendas inadecuadas, la percepción de ingresos monetarios insuficientes y las relacionadas con la residencia en localidades pequeñas.

Con respecto a las condiciones sociales, de acuerdo con el CONAPO 2020, la Península de Yucatán presenta en general un alto grado de marginación (Figura 24). La evolución del índice de marginación en el período 1990 a 2020 permite observar que tanto Campeche, como Yucatán han permanecido a lo largo del período con un alto grado, mientras que Quintana Roo ha oscilado entre medio y bajo, ubicándose al 2020 con un nivel bajo de marginación.

**Figura 24.** Índice de marginación por entidad, período 1990-2020



Fuente: CONAPO, 2020.

<https://www.gob.mx/conapo/documentos/indice-de-marginacion-por-entidad-federativa-y-municipio-2020>

En el año 2015, la Región contaba con el 59.8 % (76) de municipios con un grado de marginación alto y muy alto, lo cual se redujo a un 33.3% (43 municipios) para el año 2020. De éstos a Yucatán corresponde el 93%, a Quintana Roo el 2% y a Campeche el 5%. El grado de marginación bajo y muy bajo se presentaba en 46 municipios que representan el 35.6%. Yucatán es la única entidad que presentaba el municipio de Mayapan con grado de marginación muy alto (3,965 habitantes, 0.17% de la población). La situación más favorable se observaba en Quintana Roo, donde se notaba una distribución muy equitativa de los municipios entre los grados de marginación muy bajo, bajo y medio, sin presentar grados de marginación altos o muy altos.

A pesar de mantenerse en la PY un alto grado de marginación, se redujo el número de municipios en esta condición.

La PY presenta una estructura social en la que no están presentes oportunidades para el desarrollo, ni las capacidades para adquirirlas (como el acceso a los centros de salud, educación, así como a los bajos ingresos de los diversos trabajos asalariados). Si tales oportunidades no se manifiestan directamente, las familias y comunidades que viven en esa situación se encuentran expuestas a ciertos riesgos y vulnerabilidades (a sequías e inundaciones) que les impiden alcanzar mejores condiciones de vida. Esta no sólo se establece la relación entre pobreza, exclusión y marginación, sino también con el vínculo de la marginación con la democracia y la participación, para luego desarrollar el diseño de políticas públicas (CONAPO 2010).

riesgos y vulnerabilidades (a sequías e inundaciones) que les impiden alcanzar mejores condiciones de vida. Esta no sólo se establece la relación entre pobreza, exclusión y marginación, sino también con el vínculo de la marginación con la democracia y la participación, para luego desarrollar el diseño de políticas públicas (CONAPO 2010).

El índice de marginación permite encontrar diferencias entre las UP (Tabla 18). De tal forma que la única UP que presenta municipios con Muy Alto índice de marginación es YucO. Mientras que, por otro lado, las localidades que presentan el índice de marginación Muy Bajo son aquellas asociadas a los mayores desarrollos urbanizados, como en las UP CampC y CampN. Otras UP que se suman al bajo índice de marginación son YucN, QRooN y QRooS.

**Tabla 18.** Grado de marginación por entidad federativa, municipios y UP.

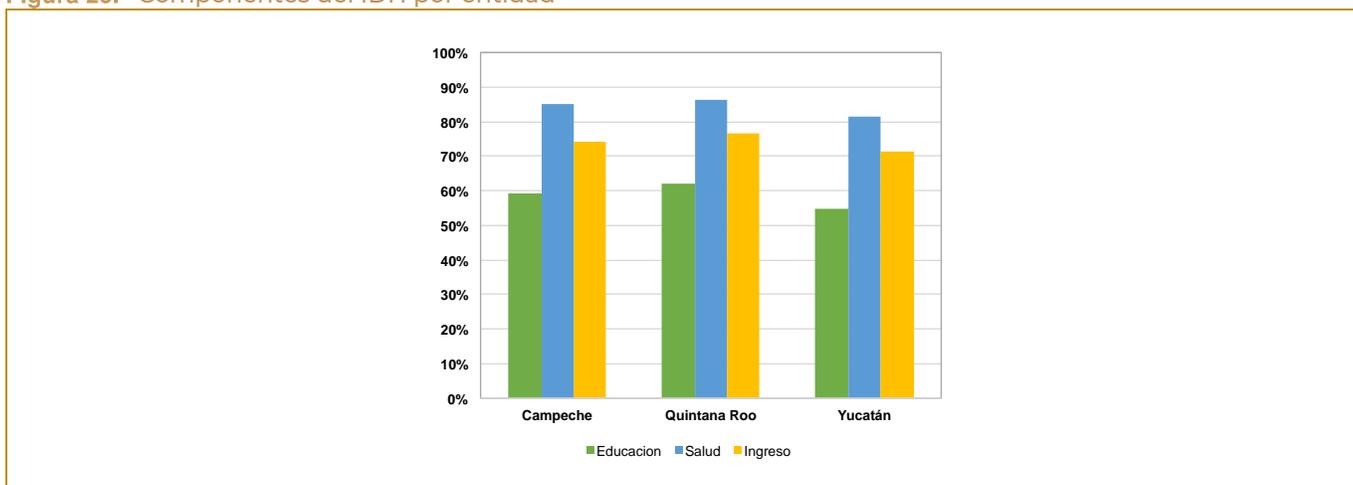
| Entidad / Unidad de Planeación | Muy bajo | Bajo | Medio | Alto | Muy alto |
|--------------------------------|----------|------|-------|------|----------|
| <b>Campeche</b>                | 2        |      | 5     | 5    |          |
| CampN                          | 1        |      | 4     | 1    |          |
| CampC                          | 1        |      | 1     | 2    |          |
| CampS                          |          |      |       | 1    |          |
| <b>Quintana Roo</b>            | 4        | 2    |       | 4    |          |
| QRooN                          | 3        | 2    |       | 1    |          |
| QRooC                          |          |      |       | 2    |          |
| QRooS                          | 1        |      |       | 1    |          |
| <b>Yucatán</b>                 | 1        | 6    | 31    | 63   | 5        |
| YucN                           | 1        | 6    | 24    | 30   |          |
| YucO                           |          |      | 4     | 18   | 5        |
| YucS                           |          |      | 3     | 15   |          |

Fuente: CONAPO (2015).

### 1.3.4 Desarrollo Humano

El Índice de Desarrollo Humano (IDH) es una medida sinóptica del desarrollo humano. Mide los adelantos medios de la PY en tres aspectos básicos del desarrollo humano: educación, salud e ingreso, los cuales se presentan para Campeche, Quintana Roo y Yucatán se muestran en la Figura 25.

**Figura 25.** Componentes del IDH por entidad



Fuente: PNUD (2015). <https://www.mx.undp.org/content/mexico/es/home/library/poverty/informe-de-desarrollo-humano-municipal-2010-2015--transformando-.html>

En la Tabla 19 se presenta la clasificación del IDH para cada UP, así como el número de municipios en cada clasificador. En este caso sobresale Yucatán que posee más del 60 % de sus municipios con un IDH Medio. Por otro lado, Campeche presenta más del 70 % de sus municipios con un grado de IDH de Alto y Muy Alto.

**Tabla 19.** Grado de Índice de Desarrollo Humano (IDH) por UP.

| Entidad / Unidad de Planeación | Medio | Alto | Muy alto |
|--------------------------------|-------|------|----------|
| <b>Campeche</b>                | 3     | 6    | 2        |
| CampN                          | 1     | 4    | 1        |
| CampC                          | 1     | 2    | 1        |
| CampS                          | 1     |      |          |
| <b>Quintana Roo</b>            | 4     | 5    | 1        |
| QRooN                          | 1     | 4    | 1        |
| QRooC                          | 2     |      |          |
| QRooS                          | 1     | 1    |          |
| <b>Yucatán</b>                 | 66    | 39   | 1        |
| YucN                           | 28    | 32   | 1        |
| YucO                           | 23    | 4    |          |
| YucS                           | 15    | 3    |          |

Fuente: PNUD (2015). <https://www.mx.undp.org/content/mexico/es/home/library/poverty/informe-de-desarrollo-humano-municipal-2010-2015--transformando-.html>

En la Tabla 20 se observa que los valores más altos de IDH están en Ciudad del Carmen, en Campeche, Benito Juárez, Othón P. Blanco, y Mérida (sin sobrepasar el valor de 0.85). Los valores más bajos encontrados se presentan en Mayapán, y en Tahdziu, Yucatán. Lo anterior denota la existencia de una gran centralidad en las áreas más urbanizadas generando grandes contrastes con el resto de las localidades, que tiene que ver con la accesibilidad a centros de salud, centros educativos y mejores posibilidades de ingreso.

**Tabla 20.** Municipios con el menor y mayor grado de Índice de Desarrollo Humano por UP.

| Entidad / Unidad de Planeación | Grado    | Índice de IDH | Municipio  |
|--------------------------------|----------|---------------|------------|
| <b>Campeche</b>                | Más alto | 0.82          | Campeche   |
|                                | Más bajo | 0.65          | Hopelchén  |
| CampC                          | Más alto | 0.81          | Carmen     |
|                                | Más bajo | 0.64          | Candelaria |
| CampS                          | Más alto | 0.64          | Calakmul   |
|                                | Más bajo | -             | -          |

| Entidad / Unidad de Planeación | Grado    | Índice de IDH | Municipio              |
|--------------------------------|----------|---------------|------------------------|
| <b>Quintana Roo</b>            |          |               |                        |
| QRooN                          | Más alto | 0.80          | Benito Juárez          |
|                                | Más bajo | 0.68          | Lázaro Cárdenas        |
| QRooC                          | Más alto | 0.68          | Felipe Carrillo Puerto |
|                                | Más bajo | 0.67          | José María Morelos     |
| QRooS                          | Más alto | 0.79          | Othón P. Blanco        |
|                                | Más bajo | 0.68          | Bacalar                |
| <b>Yucatán</b>                 |          |               |                        |
| YucN                           | Más alto | 0.83          | Mérida                 |
|                                | Más bajo | 0.63          | Tetiz                  |
| YucO                           | Más alto | 0.73          | San Felipe             |
|                                | Más bajo | 0.57          | Mayapán                |
| YucS                           | Más alto | 0.74          | Ticul                  |
|                                | Más bajo | 0.57          | Tahdziú                |

Fuente: PNUD (2015). <https://www.mx.undp.org/content/mexico/es/home/library/poverty/informe-de-desarrollo-humano-municipal-2010-2015--transformando-.html>

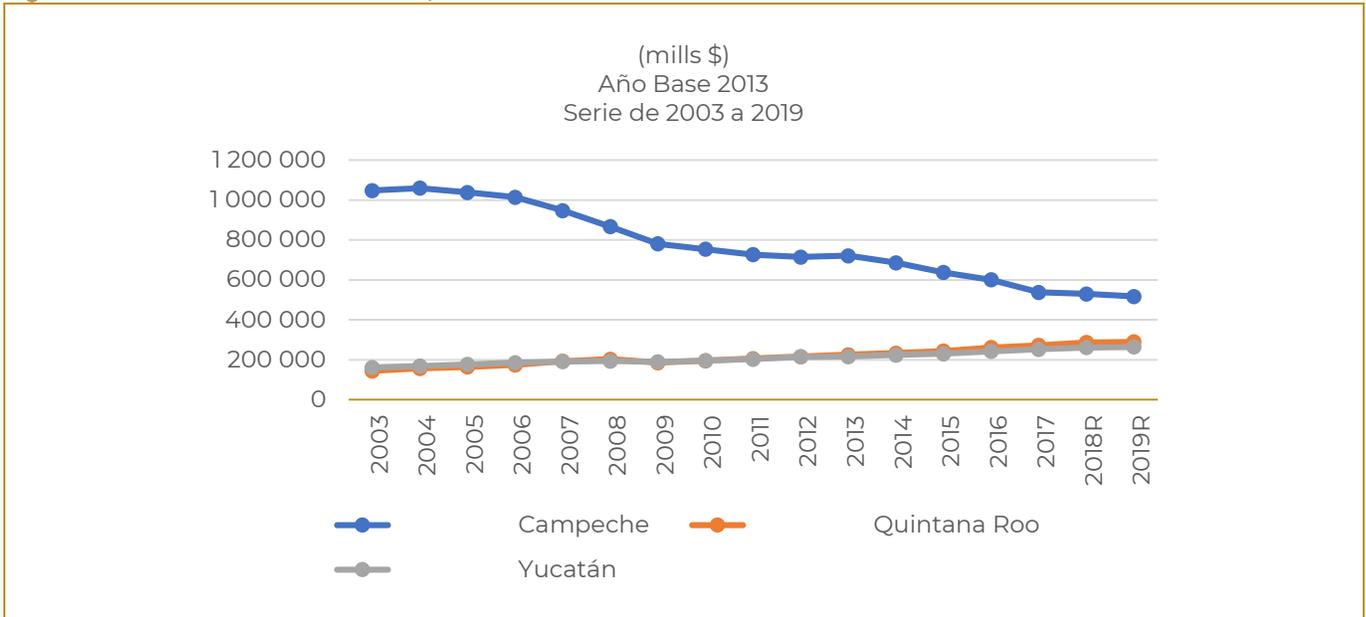
## 1.4 Aspectos económicos

### 1.4.1 Producto Interno Bruto

Al año 2019, los principales resultados económicos arrojaban un PIB Regional de 1,072,146 millones de pesos, a los cuales el estado de Campeche hizo la mayor contribución aportando el 48 por ciento, producto de la actividad extractiva; Quintana Roo contribuyó con el 27 por ciento principalmente por actividades de servicios de alojamiento y comercio, y Yucatán con el 25 por ciento principalmente por actividades de comercio, industria manufacturera, servicios inmobiliarios y construcción. En la dinámica de la economía de la PY muestra predominio la producción petrolera del Estado Campeche (Figura 26).

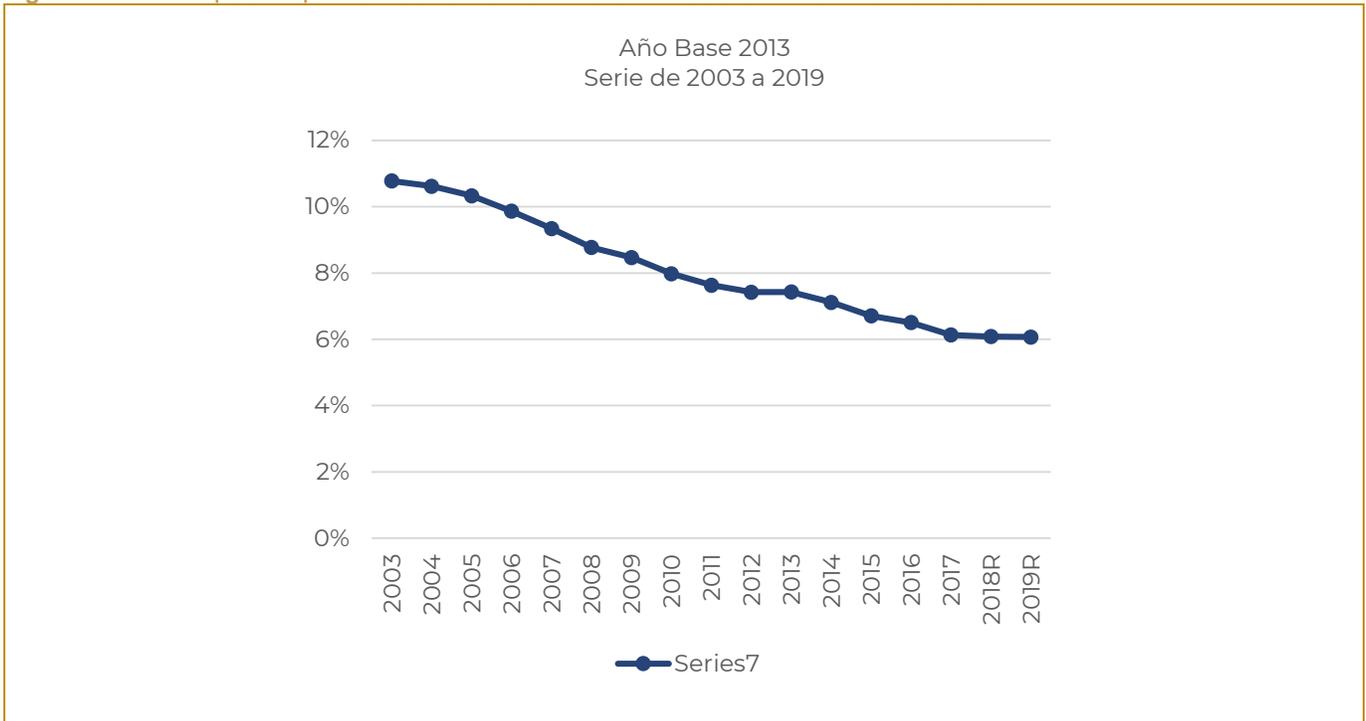
Mientras que el PIB de los estados de Quintana Roo y Yucatán muestran una tendencia creciente, a simple vista, y con una visión de largo plazo, el PIB de Campeche disminuyó (Figura 26), no obstante, esto fue ocasionado por la reducción de la plataforma petrolera, de aproximadamente 100 mil barriles diarios, cada año. El enorme peso de esta rama productiva originó la disminución mencionada en el valor de la economía campechana, Ésta marcada desaceleración ha sido causada por dos fenómenos: una fuerte caída de la actividad de construcción y un debilitamiento del sector manufacturero (Figura 27). En contraste, el sector de servicios ha observado un fuerte dinamismo. De igual forma, las actividades agropecuarias observaron un desempeño positivo.

**Figura 26. Producto Interno Bruto por Entidad Federativa**



Fuente: Sistema de Cuentas Nacionales de México. Producto Interno Bruto por Entidad Federativa. Año Base 2013. Serie de 2003 a 2019. Revisada.

**Figura 27. Participación porcentual de la Península de Yucatán en el PIB nacional**



Fuente: Sistema de Cuentas Nacionales de México. Producto Interno Bruto por Entidad Federativa. Año Base 2013. Serie de 2003 a 2019. Revisada.

Entre las principales actividades en el estado de Campeche, se encuentran: comercio (2.8%); construcción (6.0%); minería petrolera (79.3%) y servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles. Juntas representan el 90.1% del PIB estatal. Los sectores estratégicos en el estado son: agroindustrial, productos del mar, forestal, minería, petroquímica y turismo.

Para el estado de Quintana Roo las principales actividades son: servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas (22.0%); comercio (17.1%); servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles (12.4%); construcción (7.8%); y, transportes, correos y almacenamiento (6.5%). Juntas representan el 65.8% del PIB estatal. Los sectores estratégicos en Quintana Roo son: agronegocios, forestal, pesca y acuicultura, manufactura, turismo y apoyo a negocios. Mientras que a futuro se espera que sean: Tecnologías de la Información, energía renovable y biomasa.

Mientras que, para el estado de Yucatán, entre las principales actividades se encuentran: comercio (21.8%); construcción (11.4%); industria alimentaria (11.7%); información en medios masivos (4.2%); servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles (12.9%). Juntas representan el 62.0% del PIB estatal. Los sectores estratégicos en la entidad son: logística, Tecnologías de la Información, innovación, turismo, agroindustria, y energías renovables.

#### 1.4.2 Población económicamente activa y ocupada

En la Tabla 21 se muestra que en la PY la Población Económicamente Activa está constituida por 2,629,708 habitantes (51.5% del total) y de ésta, 2,593,412 se encuentra ocupada. El 98 por ciento de la población económicamente activa se encuentra ocupada.

**Tabla 21.** Población Económicamente Activa (PEA) y Población Ocupada (PO) por entidad y UP.

| Entidad / Unidad de Planeación | PEA              | PO               |
|--------------------------------|------------------|------------------|
| <b>Campeche</b>                | 462 607          | 456 296          |
| CampN                          | 265 234          | 262 035          |
| CampC                          | 181 982          | 178 901          |
| CampS                          | 15 391           | 15 360           |
| <b>Quintana Roo</b>            | 1 006 817        | 990 307          |
| QRooN                          | 806 699          | 792 694          |
| QRooC                          | 58 413           | 58 027           |
| QRooS                          | 141 705          | 139 586          |
| <b>Yucatán</b>                 | 1 160 284        | 1 146 809        |
| YucN                           | 885 408          | 874 063          |
| YucO                           | 163 890          | 162 609          |
| YucS                           | 110 986          | 110 137          |
| <b>Total</b>                   | <b>2 629 708</b> | <b>2 593 412</b> |

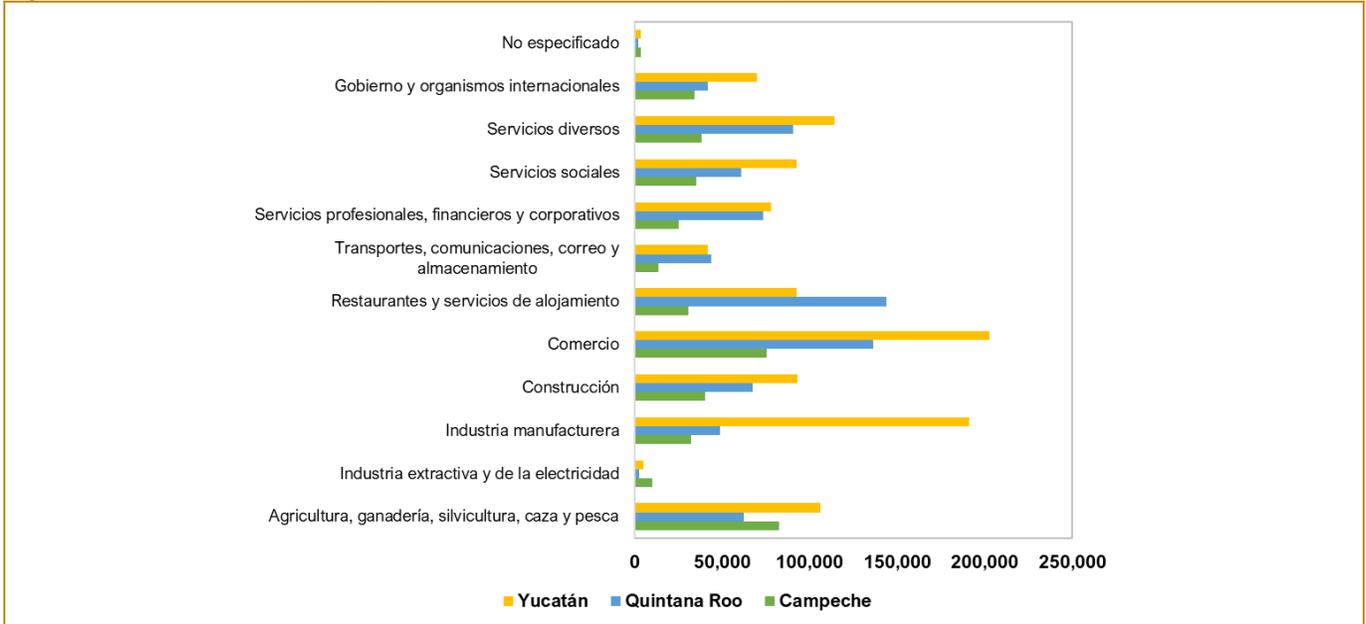
Fuente: INEGI (2020). <https://www.inegi.org.mx/app/scitel/Default?ev=9>

En la Península de Yucatán se distinguen tres grandes ejes de crecimiento que han impactado el desarrollo de la región. El primero, constituido por el crecimiento que, a lo largo de su historia, ha propiciado la concentración de las actividades comerciales, políticas y administrativas en las ciudades capitales, Mérida y Campeche desde el siglo XVI y Chetumal a partir del siglo XX.

El segundo es el impresionante desarrollo turístico de Cancún y del litoral caribeño quintanarroense, ahora promocionado como la Riviera Maya. Y el tercero lo constituye el impulso de la actividad petrolera que, en la porción suroeste del estado de Campeche, en Ciudad del Carmen, se lleva a cabo desde hace tres décadas.

En la Figura 28 se muestra que la población ocupada se encuentra en el sector servicios y comercio, seguido de la actividad industrial y la agricultura. Es decir, se trata de una población tercerizada en su actividad económica. Yucatán, tiene la población que más participa en el sector de servicios y comercio. Sin embargo, en materia de restaurantes y servicios de alojamiento, es Quintana Roo lleva la delantera. Campeche se distingue por el rubro industrial extractivo y agrícola.

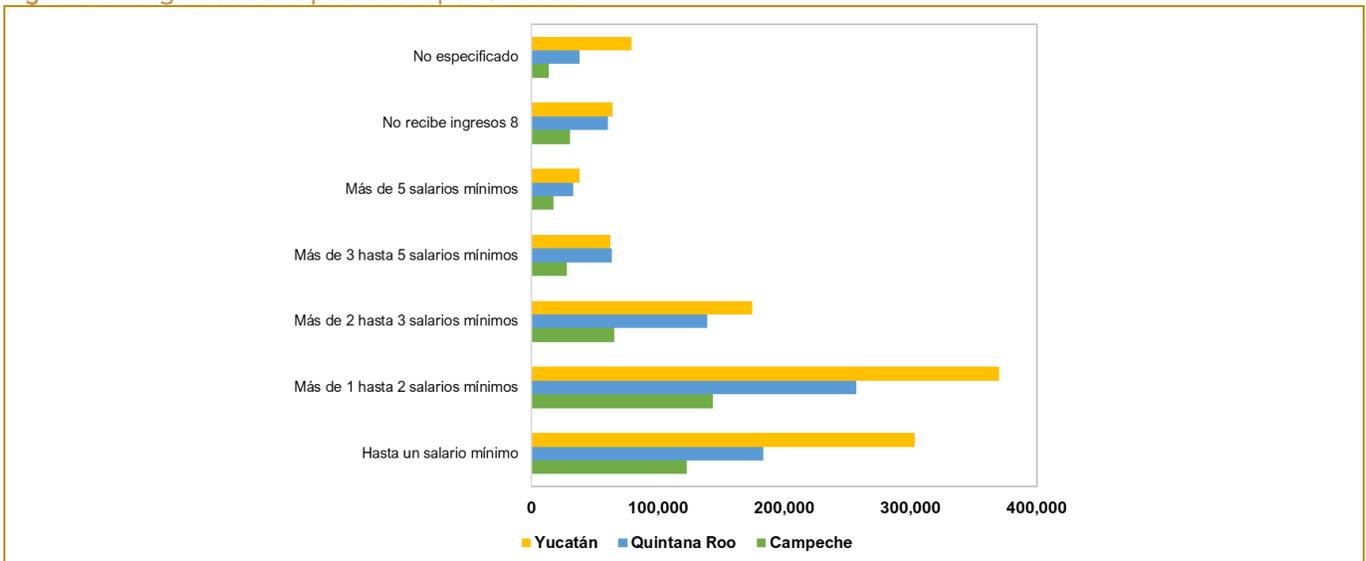
**Figura 28. Población ocupada por rama de actividad económica por entidad**



Fuente: INEGI (2020). [https://www.inegi.org.mx/sistemas/Infooe/Default\\_15mas.aspx](https://www.inegi.org.mx/sistemas/Infooe/Default_15mas.aspx)

En la Figura 29, se observa que los principales ingresos de la población en la PY son de 1 hasta 2 salarios mínimos en su mayor proporción, y esta condición caracteriza a Yucatán en gran medida.

**Figura 29. Ingresos de la población por entidad**

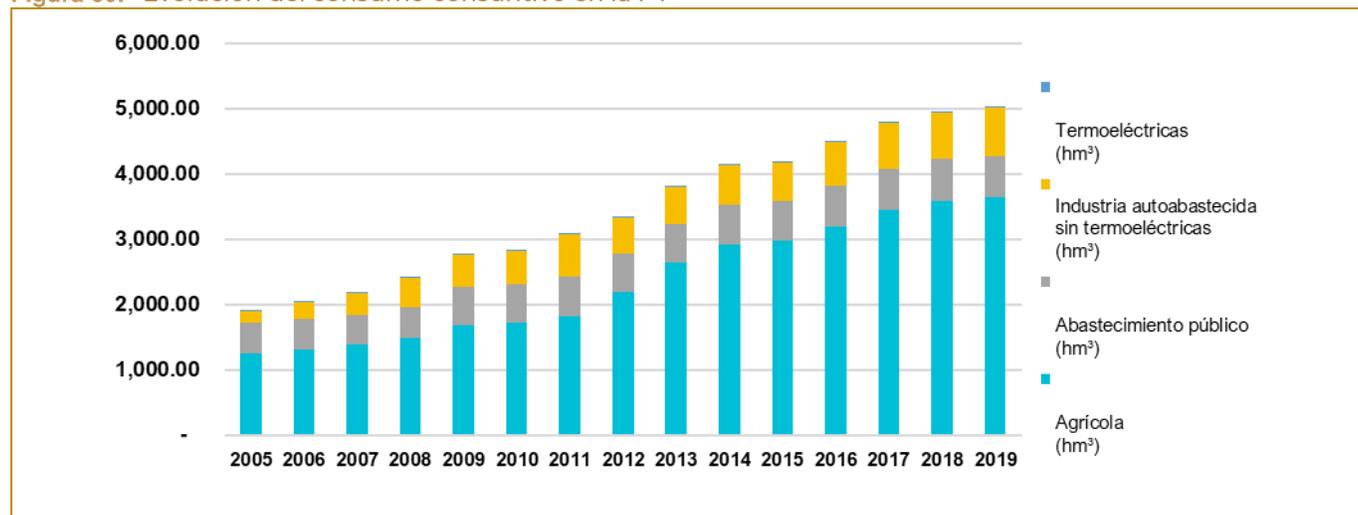


Fuente: INEGI (2020). [https://www.inegi.org.mx/sistemas/Infooe/Default\\_15mas.aspx](https://www.inegi.org.mx/sistemas/Infooe/Default_15mas.aspx)

### 1.4.3 Productividad del agua

La productividad del agua representa los beneficios económicos generados por el uso de ésta. Se considera como un indicador de rendimiento en el uso del agua y refleja la presión de las actividades económicas en los recursos hídricos. Sin embargo, lograr una mayor productividad económica del agua, principalmente en el sector primario, debería suponer una reducción de la presión de las fuentes de abastecimiento del vital líquido (Figura 30 y Figura 31).

**Figura 30.** Evolución del consumo consuntivo en la PY



**Nota:** Tasa Media de Crecimiento Anual (TMCA).

**Fuente:** CONAGUA (2020). Base de Datos del REPDA. Octubre 2020 de CONAGUA Sitio web: <https://app.conagua.gob.mx/ConsultaRepda.aspx>.

**Figura 31.** Productividad económica del agua en la PY



**Fuente:** CONAGUA (2020). Octubre 2020 de CONAGUA

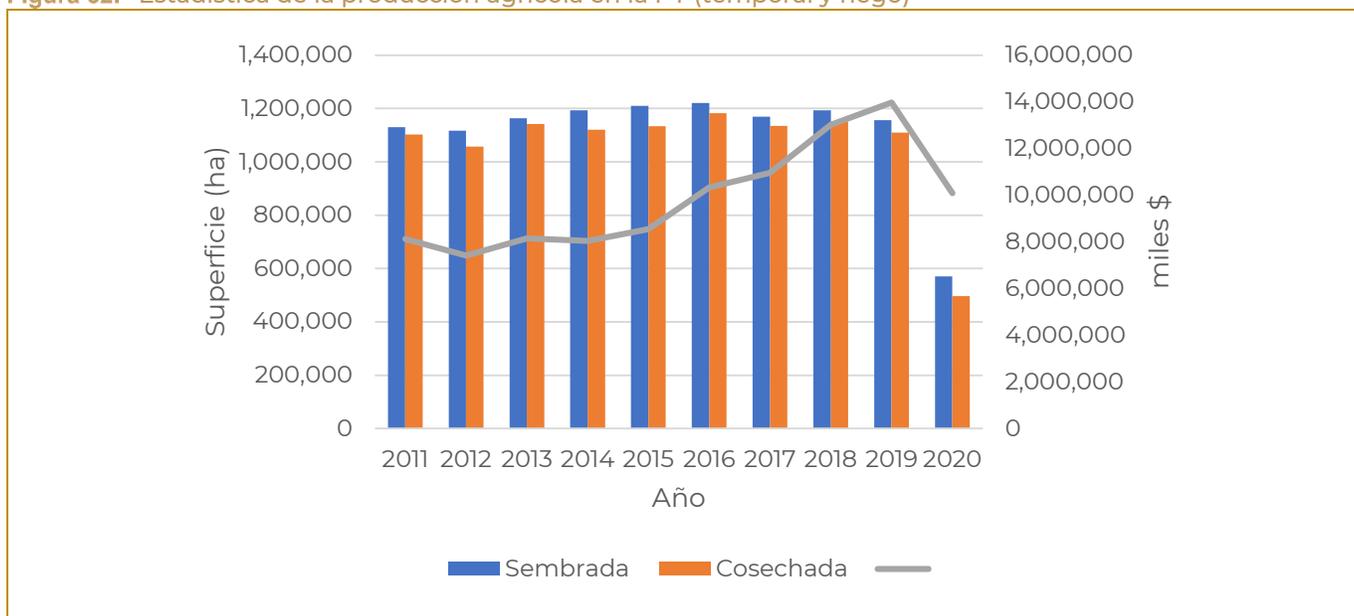
**Sitio web:** <https://app.conagua.gob.mx/ConsultaRepda.aspx>, e INEGI 2020. PIB por Entidad Federativa. Base 2013. Octubre 2020, de INEGI Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/programas/pibent/2013/>

### 1.4.4 Producción agrícola

La actividad agrícola en la Península de Yucatán, de manera global, es decir, incluyendo a todos los cultivos cíclicos y perennes, así como a las superficies de riego y temporal, tiene en promedio una superficie de 1,172,497 hectáreas sembrada y 1,125,842 hectáreas cosechadas, con un valor de producción de 9,838 millones de pesos (Anexo 5).

En los últimos 10 años muestra una tendencia creciente en siembras, cosechas y valor de producción (Figura 32), con excepción de la drástica caída en el año 2020 ocasionada por las extraordinarias lluvias que se presentaron en ese año.

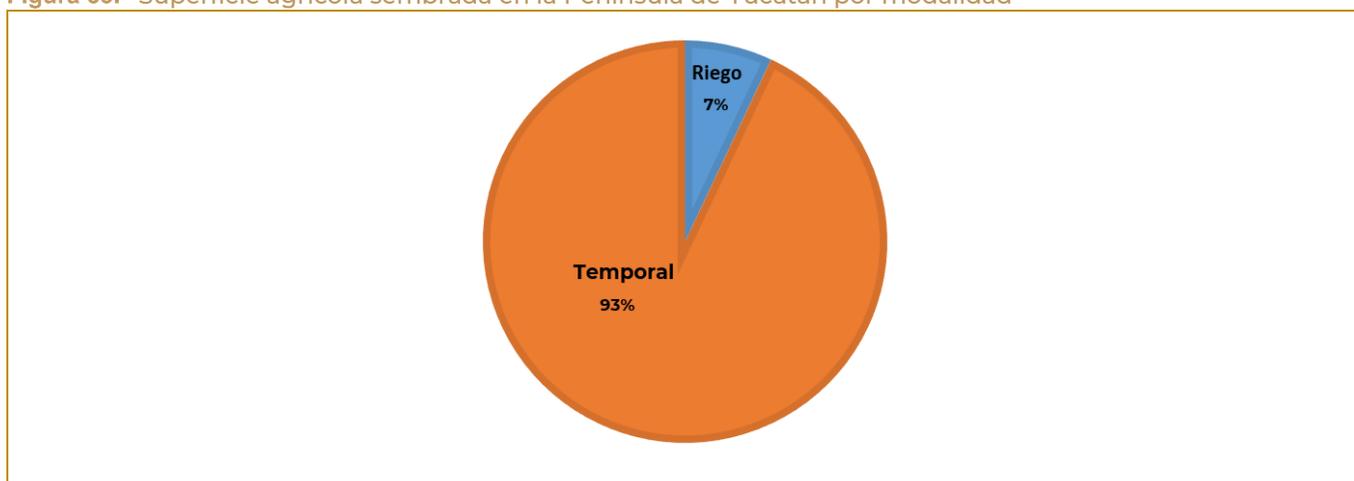
**Figura 32.** Estadística de la producción agrícola en la PY (temporal y riego)



Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SADER

La actividad agropecuaria en la PY es predominantemente temporal era (Figura 33), pues el 93% de la superficie sembrada (1,092,325 ha) y cosechada (1,087,044 ha) se desarrolla bajo esa modalidad y el restante 7% de la superficie sembrada (85,453 ha) y cosechada (80,172 ha) se desarrolla bajo riego.

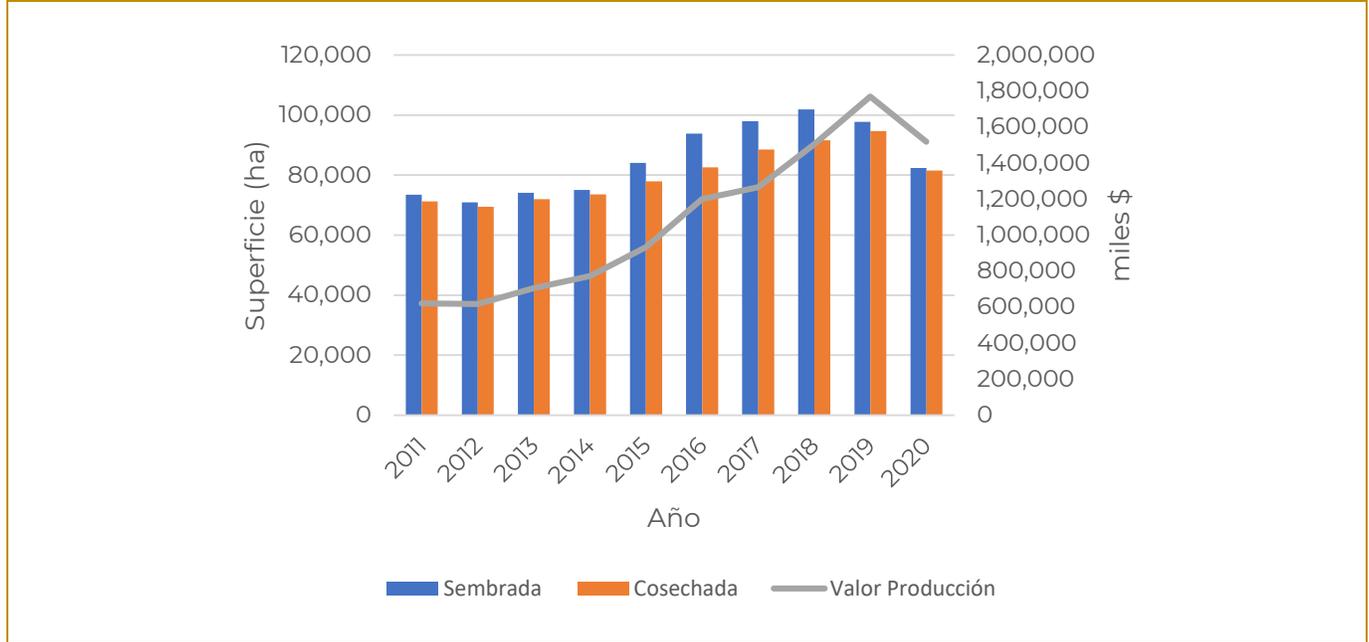
**Figura 33.** Superficie agrícola sembrada en la Península de Yucatán por modalidad



Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SADER

En particular las superficies bajo riego también muestran en los últimos 10 años una tendencia creciente en siembras, cosechas y valor de producción (Figura 34), con excepción de la drástica caída en el año 2020 ocasionada por las extraordinarias lluvias que se presentaron en ese año.

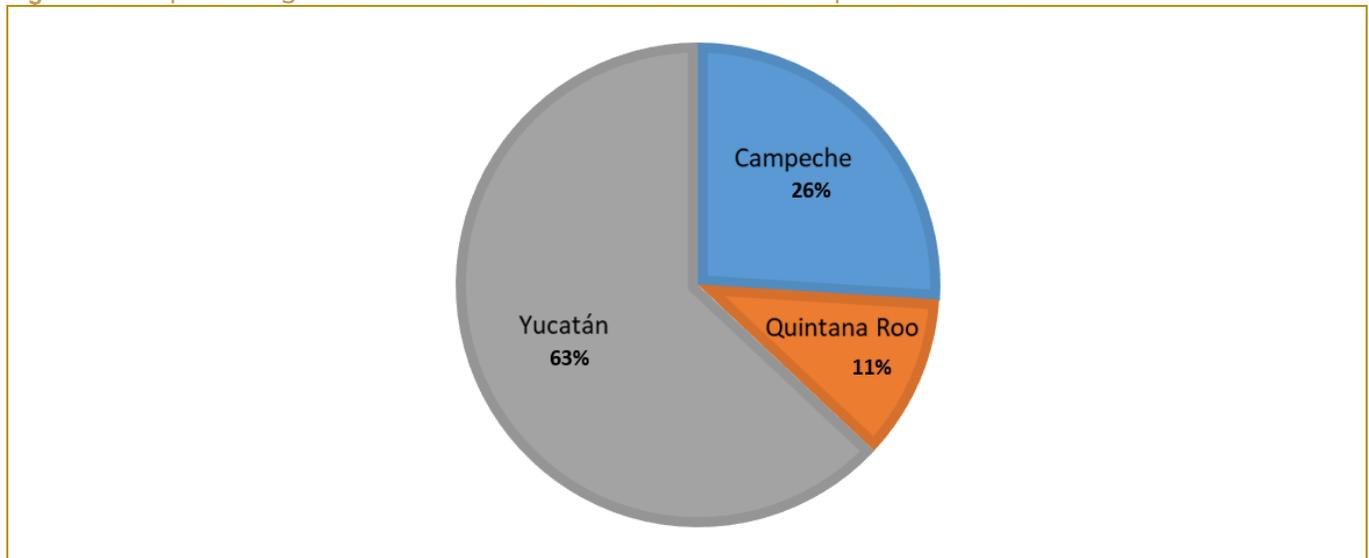
**Figura 34.** Estadística de la producción agrícola (riego) en la Península de Yucatán



**Fuente:** Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SADER

Dentro de la península de Yucatán, es en el estado de Yucatán en donde se desarrolla la mayor actividad agrícola (Figura 35), pues en términos de superficie sembrada es en ese estado en donde se da el 63% (739,094 ha), seguido por Campeche con el 26% (304,913 ha) y Quintana Roo con el 11% (128,490 ha). Sin embargo, en términos de valor de la producción resulta totalmente lo contrario, ya que a Campeche corresponde el 40% (3,894 mills \$), a Yucatán el 39% (3,845 mills \$) y a Quintana Roo el 21% (2,099 mills \$).

**Figura 35.** Superficie agrícola sembrada en la Península de Yucatán por modalidad



**Fuente:** Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SADER

Para contar con una mejor idea en cuanto a la producción agrícola a nivel de unidad de planeación (Tabla 22), se muestra a continuación el desglose para cada una de ellas en los tres últimos ciclos productivos:

**Tabla 22.** Producción agrícola por unidad de planeación 2018-2020, cultivos cíclicos y perennes (riego y temporal)

| Entidad / Unidad de Planeación | Superficie sembrada (ha) | Superficie cosechada (ha) | Valor producción (miles de pesos) | Superficie sembrada (ha) | Superficie cosechada (ha) | Valor producción (miles de pesos) | Superficie sembrada (ha) | Superficie cosechada (ha) | Valor producción (miles de pesos) |
|--------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
|                                | 2020                     | 2020                      | 2020                              | 2019                     | 2019                      | 2019                              | 2018                     | 2018                      | 2018                              |
| <b>Campeche</b>                | <b>311 325.20</b>        | <b>306 827.30</b>         | <b>5 557 769.05</b>               | <b>340 210.50</b>        | <b>322 555.00</b>         | <b>5 625 744.95</b>               | <b>357 582.50</b>        | <b>326 717.80</b>         | <b>5 214 079.38</b>               |
| CampN                          | 220 433.50               | 217 668.00                | 4 591 483.05                      | 219 730.50               | 212 966.50                | 4 131 557.82                      | 221 157.00               | 211 808.50                | 3 791 659.31                      |
| CampC                          | 67 572.70                | 65 959.30                 | 788 749.21                        | 100 164.00               | 94 304.50                 | 1 387 066.67                      | 110 346.50               | 93 337.80                 | 1 253 457.90                      |
| CampS                          | 23 319.00                | 23 200.00                 | 177 536.79                        | 20 316.00                | 15 284.00                 | 107 120.46                        | 26 079.00                | 21 571.50                 | 168 962.17                        |
| <b>Quintana Roo</b>            | <b>111 243.66</b>        | <b>88 124.38</b>          | <b>2 351 704.44</b>               | <b>117 653.19</b>        | <b>94 212.99</b>          | <b>2 946 162.81</b>               | <b>127 543.21</b>        | <b>121 958.56</b>         | <b>3 145 701.02</b>               |
| QRooN                          | 6 452.12                 | 6 438.12                  | 18 090.25                         | 6 731.00                 | 6 707.00                  | 39 556.85                         | 7 198.70                 | 7 126.45                  | 58 404.97                         |
| QRooC                          | 33 671.84                | 20 729.84                 | 627 900.74                        | 33 541.80                | 19 920.30                 | 717 555.14                        | 43 680.30                | 42 745.30                 | 810 209.20                        |
| QRooS                          | 71 119.70                | 60 956.42                 | 1 705 713.45                      | 77 380.39                | 67 585.69                 | 2 189 050.82                      | 76 664.21                | 72 086.81                 | 2 277 086.85                      |
| <b>Yucatán</b>                 | <b>147 908.63</b>        | <b>101 370.20</b>         | <b>2 297 606.79</b>               | <b>698 689.07</b>        | <b>692 962.73</b>         | <b>5 396 751.74</b>               | <b>708 374.41</b>        | <b>70 1247.73</b>         | <b>4 655 474.26</b>               |
| YucN                           | 14 771.89                | 11 989.78                 | 126 471.08                        | 148 781.51               | 146 011.87                | 1 286 109.35                      | 162 775.12               | 159 627.56                | 1 412 388.63                      |
| YucO                           | 65 690.97                | 32 555.24                 | 307 683.36                        | 440 618.35               | 440 369.85                | 1 506 722.39                      | 441 313.87               | 441 191.87                | 1 354 429.91                      |
| YucS                           | 67 445.77                | 56 825.18                 | 1 863 452.35                      | 109 289.21               | 106 581.01                | 2 603 920.00                      | 104 285.42               | 100 428.30                | 1 888 655.72                      |

**Fuente:** Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2020).  
<https://nube.siap.gob.mx/cierreaagricola/>

En términos de productividad económica agrícola bajo riego (Tabla 23), los niveles más altos se presentan en las UP QRooN y QRooC con plantaciones con buena conversión de valor del producto (ejemplo cítricos y hortalizas) por una alta demanda, con valores de casi \$20 pesos/m<sup>3</sup>. A diferencia de la UP YucO, en donde el valor es de \$0.37 pesos/m<sup>3</sup>, particularmente en el cultivo de pasto para forraje.

**Tabla 23.** Productividad económica agrícola con sistemas de riego por UP en la PY.

| Unidad de Planeación Campeche     | Producción económica agrícola promedio (pesos/m <sup>3</sup> ) |
|-----------------------------------|--|
| Norte                             | 1.39   |
| Candelaria                        | 5.69   |
| Sur                               | 0.93   |
| Promedio estatal                  | 2.91   |
| Unidad de Planeación Quintana Roo | Producción económica agrícola promedio (pesos/m <sup>3</sup> ) |
| Norte                             | 19.91  |
| Centro                            | 14.43  |
| Sur                               | 1.23   |
| Promedio estatal                  | 11.86  |
| Unidad de Planeación Yucatán      | Producción económica agrícola promedio (pesos/m <sup>3</sup> ) |
| Norte                             | 0.84   |
| Oriente                           | 0.37   |
| Sur                               | 3.21   |
| Promedio estatal                  | 1.20   |

**Fuente:** Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2019). Sistema Agroalimentario de Consulta. Octubre, 2020, de SIAP, SADER Sitio web: <https://www.gob.mx/siap/documentos/sistema-de-información-agroalimentaria-de-consulta-siacon-161506>

### 1.4.5 Infraestructura hidroagrícola

Para apoyar a la actividad agrícola la CONAGUA ha destinado importantes recursos federales para la construcción de infraestructura de riego y temporal tecnificado.

En la región se encuentran los Distritos de Riego 048 Ticul en el estado de Yucatán y el 102 Río Hondo en Quintana Roo. El primero, da atención a ocho municipios y beneficia a 4,749 usuarios. El distrito de riego Río Hondo atiende a un municipio y beneficia a 1,317 usuarios (Tabla 24).

La infraestructura hidroagrícola beneficia al 30% de la superficie en producción de la PY.

**Tabla 24.** Distritos de riego

| DR            | Estado       | Número de usuarios | Superficie total (ha) | Superficie regada (ha) | Volumen distribuido (hm <sup>3</sup> ) |
|---------------|--------------|--------------------|-----------------------|------------------------|--|
| 048 Ticul     | Yucatán      | 4 513              | 9 566                 | 9 013                  | 44.4                                   |
| 102 Río Hondo | Quintana Roo | 280                | 8 219                 | 5 599                  | 34.0                                   |
| Total         |              | 4 793              | 17 785                | 14 612                 | 78.4                                   |

Fuente: Estadísticas del agua en México 2018

En cuanto a los Distritos de Temporal Tecnificado (DTT), el 008 Oriente de Yucatán sobresale por presentar un área que supera por mucho a los demás distritos, aunque no así, el valor de su producción, por el contrario, el mayor rendimiento lo obtuvo el distrito 025 Río Verde que superó el millón de miles de pesos. La relación entre el valor de la producción y la superficie sembrada, colocan los mejores rendimientos por hectárea para los DTT 025 y 026 (Tabla 25).

También fue el 025 el que logró mayores ingresos en promedio por cada tonelada vendida. El más bajo valor de producción por hectárea y por volumen se registraron en el DTT 008 Oriente de Yucatán, a pesar de la cantidad de hectáreas disponibles, situación que fue similar a la del año agrícola anterior.

**Tabla 25.** Distritos de temporal tecnificado

| DTT   | Estado       | Número de usuarios | Superficie total (ha) | Superficie sembrada (ha) | Superficie cosechada (ha) | Producción (toneladas) | Valor de la producción (millones\$) |
|-------|--------------|--------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| 15    | Campeche     | 1 120              | 85 100                | 53 751                   | 56 751                    | 455 312                | 607                                 |
| 25    | Campeche     | 1 984              | 134 900               | 56 132                   | 56 132                    | 390 686                | 1 610                               |
| 26    | Quintana Roo | 1 739              | 104 800               | 22 553                   | 22 553                    | 570 856                | 427                                 |
| 8     | Yucatán      | 25 021             | 667 000               | 249 929                  | 244 068                   | 1 577 568              | 596                                 |
| 24    | Yucatán      | 880                | 26 100                | 15 652                   | 15 261                    | 51 847                 | 199                                 |
| Total |              | 30 744             | 1 017 900             | 398 017                  | 394 765                   | 3 046 269              | 3 438                               |

Fuente: Atlas del agua (2018), Estadísticas Agrícolas por distrito (2017).

[http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM\\_2018.pdf](http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf)

[https://files.conagua.gob.mx/conagua/generico/Estad%C3%ADsticas\\_Agricolas\\_DTT\\_2017.pdf](https://files.conagua.gob.mx/conagua/generico/Estad%C3%ADsticas_Agricolas_DTT_2017.pdf)

Por la superficie o ámbito geográfico que cubren los distritos de temporal tecnificado en la península de Yucatán, éstos se han constituido en un factor importante para el desarrollo agrícola. Por ello, resulta importante considerar

los resultados que la Federación Nacional de Usuarios de los Distritos de Temporal Tecnificado (FENAC) obtuvo en sus talleres anuales, en cuanto al diagnóstico de la problemática más relevante en los DTT, orientado a identificar las necesidades de infraestructura logística para impulsar la productividad agrícola en los distritos de temporal tecnificado. Entre las conclusiones principales se enlistan las siguientes:

| Taller 2009   | Taller 2019   |
|---|---|
| <p>Escasa planeación de las actividades productivas por parte de las asociaciones que están constituidas en los DTT.</p> <p>Bajo conocimiento del potencial productivo de las tierras actualmente asignadas a cultivos y a producción pecuaria en los DTT.</p> <p>Bajos niveles de producción y productividad en las parcelas.</p> <p>Falta de proyectos productivos integrales para agregación de valor a los productos agropecuarios de los DTT.</p> <p>Deficiente o nula infraestructura para acopio, almacenamiento y comercialización.</p> <p>Equipo y maquinaria en deterioro progresivo, contándose con una parte del parque de maquinaria descompuesto o inutilizado.</p> <p>Insuficiente asistencia técnica tanto del ámbito gubernamental como de prestadores de servicios profesionales.</p> | <p>La falta de capacidad de atención para cubrir las necesidades básicas de conservación normal de la infraestructura ha propiciado que parte importante de la infraestructura se encuentre en estado crítico</p> <p>Desafortunadamente en los últimos años se ha observado una tendencia a la baja en la participación de los productores para atender esta necesidad.</p> <p>Ante esta situación es importante fortalecer las acciones de concientización de los usuarios para el pago de la cuota y/o su participación directa en los programas de conservación normal de la infraestructura.</p> <p>Se recomienda seguir desarrollando el manejo del agua y la preservación de suelos.</p> <p>El principal problema que se tiene para cumplir con la conservación normal de la infraestructura en los Distritos de Temporal Tecnificado es la baja participación de los usuarios en el pago de la cuota.</p> <p>Los parques de maquinaria están incompletos ya que no se tienen los equipos necesarios (o adecuados) para atender las necesidades básicas de mantenimiento de la infraestructura.</p> <p>La gran mayoría de los equipos que se tienen están prácticamente obsoletos ya que cumplieron su vida útil y esto ocasiona que los costos de operación, mantenimiento y reparación sean muy elevados.</p> <p>Se requiere por parte de las ACUs mejores apoyos para complementar o renovar el parque de maquinaria para mantenimiento de la infraestructura; implementando una mayor asignación de recursos y esquemas de financiamiento más accesibles</p> <p>El insuficiente nivel de recaudación permite implementar el programa de trabajo en la red de caminos (rastreo y bacheo) y se deja en segunda prioridad la red de drenaje, se observa en la red de drenaje cada vez un mayor deterioro debido a la falta de atención, con lo que el 50% se encuentra en condiciones críticas.</p> <p>La asesoría técnica especializada ha jugado un papel importante para un mejor desempeño de las funciones de las asociaciones civiles de usuarios en la administración, operación y conservación de la infraestructura hidroagrícola, así como para buscar otras alternativas para alcanzar una mejor productividad.</p> |

## 1.5 Usos del agua

### 1.5.1 Tipos de uso del agua y su evolución

En la península, prácticamente toda el agua que se utiliza proviene del acuífero y de acuerdo con datos del REPDA al 15 de junio de 2020 se tiene un volumen comprometido (concesionado y asignado) de 4,762.3 millones de metros cúbicos. La Tabla 26 muestra los volúmenes comprometidos de aguas nacionales que se realizan en las diferentes

actividades económicas a nivel de la PY y por entidad federativa. Yucatán supera por mucho la extracción total, con 2,160.59 Mm<sup>3</sup>/año (el 46 %), seguido por Campeche con 28 % y Quintana Roo con el 26 %.

La infraestructura hidroagrícola muestra creciente deterioro por la baja participación de usuarios en pago de cuotas para mantenimiento.

Los tres principales usos del agua a nivel PY refieren al uso agrícola, público urbano y servicios, quienes conjuntan el 96 % del total concesionado para explotación. El sector agrícola es quien predomina en cuanto a volumen concesionado con el 68 % del total, y Campeche y Yucatán participan con la mayor proporción del 33.7 % y 55.2 % respectivamente. Además, el uso múltiple incluye a todos los títulos de concesión utilizados para más de un uso y en la península éstos son principalmente agrícolas y pecuarios, por lo que a las actividades agropecuarias se les destina más agua que la cuantificada únicamente en cada uso específico, alcanzando aproximadamente los 3,235 Mm<sup>3</sup>/año, que

corresponden a cerca del 69 por ciento del total concesionado.

En cuanto al uso acuícola, Campeche es quien consume el valor más alto a nivel peninsular, con 18.55 Mm<sup>3</sup>/año para el uso acuicultura (81.8% del total de esta actividad). Por otro lado, Yucatán sobresale en cuanto al uso industrial con el 60 % del total del agua utilizada en esta actividad, lo mismo que para el uso pecuario con el 78.8 % del total de esa actividad. Como se mencionó anteriormente, el uso para servicios, vinculados con el turismo, Quintana Roo utiliza el 95.5 % del total de la actividad. Estos últimos datos muestran ciertas especialidades económicas para cada entidad, y que suman al desarrollo regional.

Los grandes usos del agua son: 68% para uso agrícola, el 14% a servicios y el 13% al público urbano.

El uso del agua en la PY se disparó de una manera considerable en los últimos veinte años (Figura 36). Del 2000 (1,222.22 hm<sup>3</sup>) al 2010 (1,558.97) creció en un 27%, sin embargo, para el 2020 (4,663.24 hm<sup>3</sup>) se incrementó en un 281%, es decir, creció en cuatro tantos con respecto al 2000.

**Tabla 26.** Extracción y usos del agua en la Península de Yucatán y entidades federativas de Campeche, Yucatán y Quintana Roo.

| Actividad      | Campeche<br>Mm <sup>3</sup> /año | Yucatán<br>Mm <sup>3</sup> /año | Quintana Roo<br>Mm <sup>3</sup> /año | Total    | % del total. |
|----------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|----------|--------------|
| Acuicultura    | 18.54                            | 2.34                            | 1.32                                 | 22.20    | 0.4700       |
| Agrícola       | 1 068.14                         | 1 751.95                        | 347.94                               | 3 168.03 | 68.3000      |
| Agroindustrial | 0.18                             | 0.04                            | 0.05                                 | 0.27     | 0.0050       |
| Doméstico      | 0.11                             | 0.20                            |                                      | 0.31     | 0.0050       |
| Industrial     | 20.06                            | 51.74                           | 15.39                                | 87.19    | 1.8800       |
| Otros          | 0.02                             |                                 |                                      | 0.02     | 0.0005       |
| Pecuario       | 9.99                             | 41.73                           | 0.94                                 | 52.66    | 1.1300       |

| Actividad      | Campeche<br>Mm <sup>3</sup> /año | Yucatán<br>Mm <sup>3</sup> /año | Quintana Roo<br>Mm <sup>3</sup> /año | Total           | % del total.  |
|----------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------|---------------|
| Público Urbano | 173.09                           | 249.37                          | 211.18                               | 633.64          | 13.60         |
| Servicios      | 6.96                             | 22.26                           | 626.66                               | 655.88          | 14.10         |
| En blanco      | 1.39                             | 7.68                            | 5.02                                 | 14.09           | 0.30          |
| Múltiples.     |                                  | 2.50                            |                                      | 2.50            | 0.05          |
| <b>Total</b>   | <b>1 298.50</b>                  | <b>2 130.67</b>                 | <b>1 208.51</b>                      | <b>4 637.68</b> | <b>100.00</b> |
| % del total    | 28%                              | 46%                             | 26%                                  |                 |               |

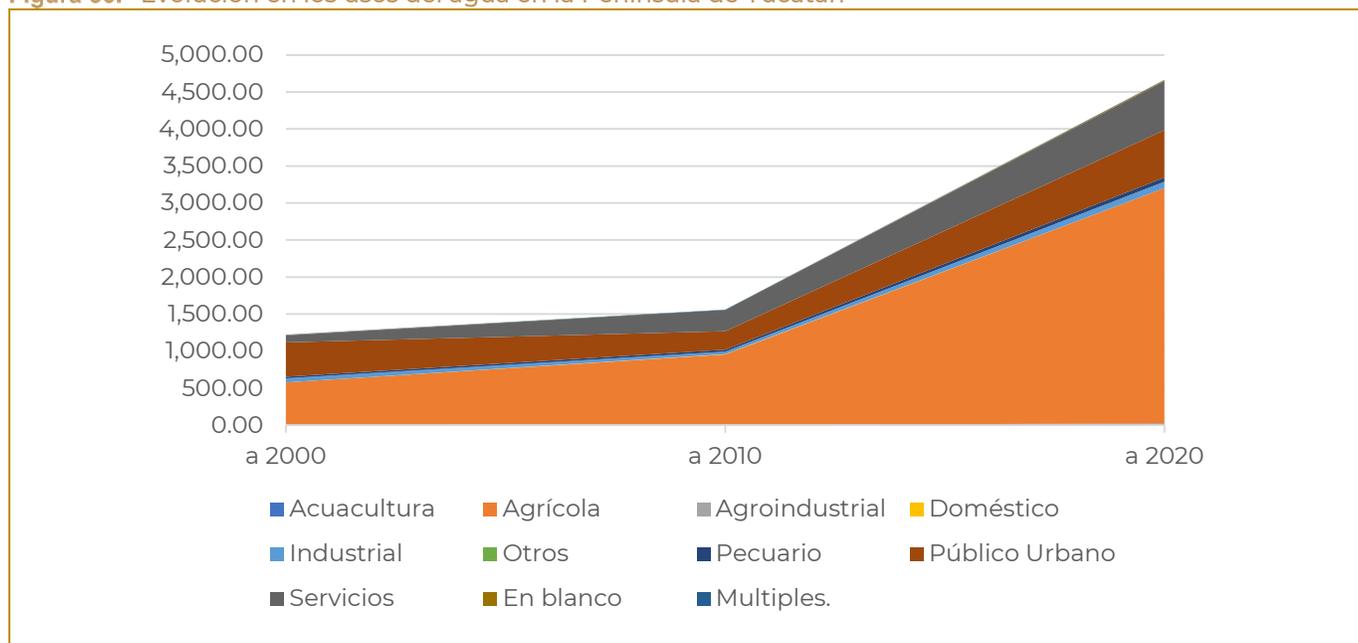
Fuente: REPDA (Junio 2020).

Se observa que la más alta extracción se presenta en las Unidades de Planeación con los principales centros urbanos y metropolitanos como se muestra en la Figura 37 (Campeche, Mérida y Cancún). Mientras que los valores más bajos se encuentran en la UP del CampS (Calakmul) y el QRooc (Felipe Carrillo Puerto).

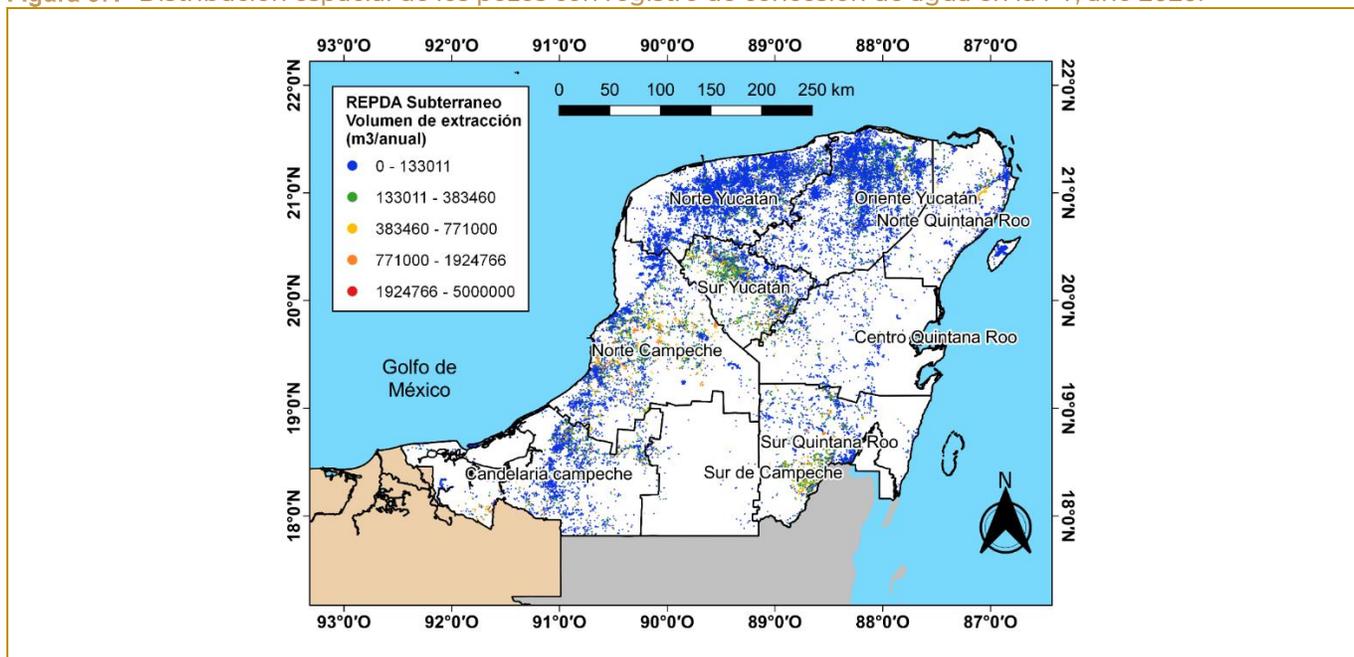
El número de pozos se ha incrementado enormemente hasta alcanzar la cifra de 48,610 concesiones otorgadas en la actualidad, y sobresale el Estado de Yucatán con el 46 % del agua extraída y el 66 % del total de los pozos registrados, mientras que los otros dos estados se reparten cerca del 25 % de la extracción cada uno y un poco más del 10 % del número de pozos. Esto da cuenta del peso específico de Yucatán en el contexto de aprovechamiento del recurso hídrico (Tabla 27).

El uso del agua se disparó en los últimos veinte años en cuatro tantos.

**Figura 36.** Evolución en los usos del agua en la Península de Yucatán



Fuente: REPDA a junio de 2020

**Figura 37.** Distribución espacial de los pozos con registro de concesión de agua en la PY, año 2020.


Fuente: Elaborado con datos del REPDA (2020).

**Tabla 27.** Número de Pozos y valores de extracción total de agua concesionada para el año 2020

| Entidad / Unidad de planeación | Superficie (km <sup>2</sup> ) | Volumen de extracción (m <sup>3</sup> /año) | Volumen de extracción (Mm <sup>3</sup> /año) | Número de pozos | Volumen de extracción anual (Mm <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------|-------------------------------|---|--|-----------------|---|
| <b>Campeche</b>                | <b>57 634.42</b>              | <b>1 298 507 478.14</b>                     | <b>1 298.51</b>                              | <b>10 262</b>   | <b>0.020</b>  |
| CampN                          | 22 349.62                     | 987 774 291.17                              | 987.77                                       | 6 715           | 0.044   |
| CampC                          | 21 280.82                     | 301 748 420.14                              | 301.75                                       | 3 444           | 0.014   |
| CampS                          | 14 003.98                     | 8 984 766.83                                | 8.98   | 103             | 0.001   |
| <b>Quintana Roo</b>            | <b>44 809.22</b>              | <b>1 208 501 624.88</b>                     | <b>1 208.50</b>                              | <b>6 210</b>    | <b>0.030</b>  |
| QRooN                          | 11 002.53                     | 907 712 597.72                              | 907.71                                       | 2 926           | 0.073   |
| QRooC                          | 17 792.14                     | 58 545 442.64                               | 58.55  | 1 030           | 0.003   |
| QRooS                          | 16 014.55                     | 342 243 584.52                              | 342.24                                       | 2 254           | 0.021   |
| <b>Yucatán</b>                 | <b>41 776.95</b>              | <b>2 130 670 261.45</b>                     | <b>2 130.67</b>                              | <b>32 138</b>   | <b>0.050</b>  |
| YucN                           | 16 638.43                     | 859 919 519.57                              | 859.92                                       | 19 445          | 0.059   |
| YucO                           | 16 783.68                     | 675 656 669.34                              | 675.66                                       | 9 194           | 0.040   |
| YucS                           | 8 354.84                      | 595 094 072.54                              | 595.09                                       | 3 499           | 0.071   |

**Fuente:** REPDA (2020).

Si hacemos el cálculo de presión sobre la disponibilidad total actual, a nivel Península de Yucatán, de los 7,974.06 Mm<sup>3</sup>/año de disponibilidad total y los valores de extracción concesionados (REPDA 2020) de 4,965.25 Mm<sup>3</sup>/año (este valor incluye los volúmenes de extracción de aguas consignado en estudios técnicos de 259.9 hm<sup>3</sup>), implica una presión del 62.26 %, por lo que quedarían todavía 3,008.91 Mm<sup>3</sup>/año, disponibles para otras actividades. Recordemos que en el año 2008 era poco mayor del 16% la presión sobre la disponibilidad. La disponibilidad media restante aún parecería aceptable, pues quedarían todavía casi 27.8 % de agua disponible, sin embargo, si acercamos el análisis a nivel de Unidad de Planeación, se pueden observar aspectos interesantes.

Tratando de contrastar la información que nos ofrece el DOF 2020 en cuanto a extracción y su efecto en la disponibilidad desde la perspectiva espacial, por unidad de planeación, se continua el análisis del trabajo de Bauer Gotweinn et al 2011, en donde la extracción de agua concesionada al año 2008, año de elaboración de ese estudio, sumo la cantidad de 2,120.30 Mm<sup>3</sup>/año. Se contaba entonces con 28,442 pozos registrados en la Península de Yucatán para ese año (Tabla 28 y Figura 38), siendo la UP YucN en donde se concentra el 46 % de del total de pozos, mientras el UP CampS solo cuenta con 50 pozos que extraían 1.07 Mm<sup>3</sup>/año. Las máximas extracciones se dan en el QRooN y YucN, con 486.79 y 497.65 Mm<sup>3</sup>/año.

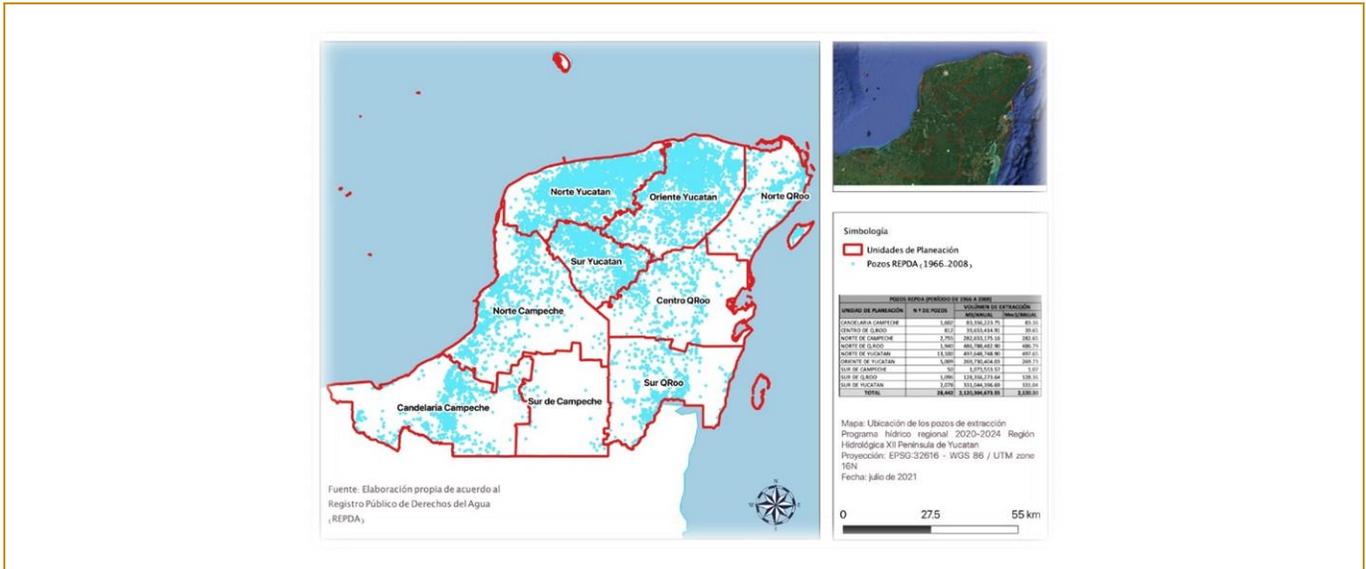
**Tabla 28.** Número de Pozos y valores de extracción total de agua concesionada para el año 2008

| Pozos REPDA (Período De 1966 A 2008) |               |                         |                        |
|--------------------------------------|---------------|-------------------------|------------------------|
| Unidad De Planeación                 | Pozos         | Volumen De Extracción   |                        |
|                                      |               | m <sup>3</sup> /Anual   | Mm <sup>3</sup> /Anual |
| CampN                                | 2 755         | 282 653 175.16          | 282.65                 |
| CampC                                | 1 602         | 83 356 223.75           | 83.36                  |
| CampS                                | 50            | 1 073 553.57            | 1.07                   |
| QRooN                                | 1 940         | 486 788 482.90          | 486.79                 |
| QRooC                                | 812           | 39 653 414.91           | 39.65                  |
| QRooS                                | 1 096         | 128 356 273.64          | 128.36                 |
| YucN                                 | 13 100        | 497 648 748.90          | 497.65                 |
| YucO                                 | 5 009         | 269 730 404.03          | 269.73                 |
| YucS                                 | 2 078         | 331 044 396.69          | 331.04                 |
| <b>Total</b>                         | <b>28 442</b> | <b>2 120 304 673.55</b> | <b>2 120.30</b>        |

**Fuente:** REPDA, 2020.

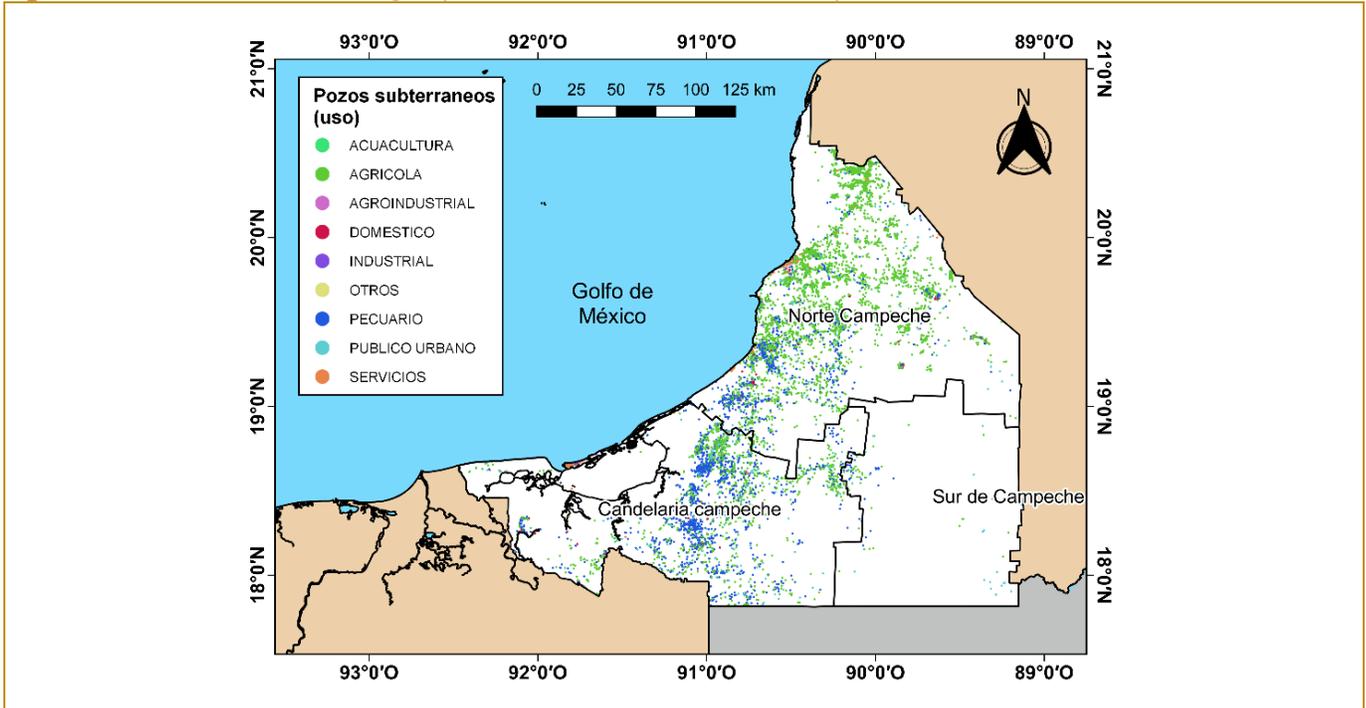
De la Figura 39 a la Figura 41 y de la Tabla 29 a la Tabla 31, se presentan los diferentes usos del agua por entidad federativa y unidades de planeación. En el caso de Campeche, se dan principalmente 7 usos del agua, siendo los predominantes el agrícola, en la UP CampN, y el pecuario, en la UP CampC. La UP CampS, en cambio, presenta un bajo uso del agua, dada su vocación forestal y la calidad de esta.

**Figura 38.** Distribución espacial de los pozos con registro de concesión de agua en la Península de Yucatán, año 2008



Fuente: Elaboración propia con datos del REPDA

**Figura 39.** Diferentes usos del agua para cada una de las UP de Campeche



Fuente: REPDA a junio de 2020

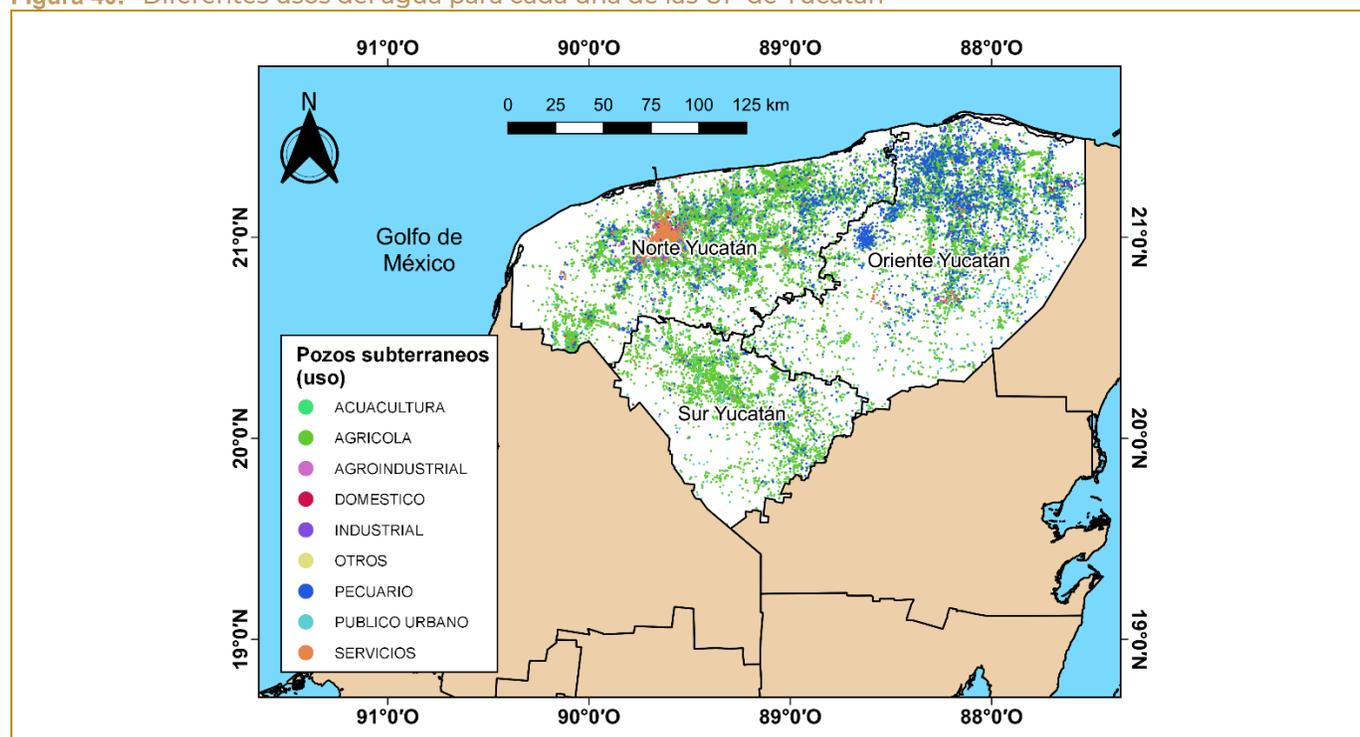
**Tabla 29.** Volumen de extracción por UP y uso en Campeche.

| Unidad de planeación / Uso | Volumen de extracción (m <sup>3</sup> /año) | Volumen de extracción (Mm <sup>3</sup> /año) |
|----------------------------|---|--|
| <b>CampN</b>               | 987 774 291.17                              | 987.77                                       |
| Acuacultura                | 12 774 913.49                               | 12.77  |
| Agrícola                   | 825 067 855.80                              | 825.07                                       |
| Agroindustrial             | 179 712.00                                  | 0.18   |
| Doméstico                  | 111 078.67                                  | 0.11   |
| Industrial                 | 15 067 011.48                               | 15.07  |
| Otros                      | 21 156.00                                   | 0.02   |
| Pecuario                   | 5 210 806.26                                | 5.21   |
| Público Urbano             | 122 526 299.13                              | 122.53                                       |
| Servicios                  | 5 520 376.34                                | 5.52   |
| No específica              | 1 295 082.00                                | 1.30   |
| <b>CampC</b>               | 301 748 240.14                              | 301.75                                       |
| Acuacultura                | 5 772 884.87                                | 5.77   |
| Agrícola                   | 235 272 462.66                              | 235.27                                       |
| Doméstico                  | 23 373.75                                   | 0.02   |
| Industrial                 | 4 994 517.24                                | 4.99   |
| Pecuario                   | 4 585 311.37                                | 4.59   |
| Público Urbano             | 49 567 480.34                               | 49.57  |
| Servicios                  | 1 437 697.91                                | 1.44   |
| No específica              | 94 692.00                                   | 0.09   |
| <b>CampS</b>               | 8 984 766.83                                | 8.98   |
| Agrícola                   | 7 804 622.91                                | 7.80   |
| Pecuario                   | 187 025.50                                  | 0.19   |
| Público Urbano             | 993 118.42                                  | 0.99   |

Fuente: REPDA a junio de 2020

En la Figura 40, se presentan los diferentes usos del agua para cada una de las UP del Estado de Yucatán. El uso del agua en la actividad agrícola sigue siendo preponderante, con más del 90 % en las UP YucS y YucO. Por su parte en la UP YucN el uso agrícola llega sólo al 65 %, pero con el uso público urbano más alto de la PY, seguido por el pecuario, industrial y de servicios.

Figura 40. Diferentes usos del agua para cada una de las UP de Yucatán



Fuente: REPDa a junio de 2020

Tabla 30. Volumen de extracción por UP y uso en Yucatán.

| Unidad de planeación / Uso | Volumen de extracción (m <sup>3</sup> /año) | Volumen de extracción (Mm <sup>3</sup> /año) |
|----------------------------|---|--|
| YucN                       | 859 919 519.57                              | 859.92                                       |
| Acuicultura                | 1 229 204.84                                | 1.23   |
| Acuícola                   | 5 200.00                                    | 0.01   |
| Agrícola                   | 565 296 197.51                              | 565.30                                       |
| Agroindustrial             | 39 762.60                                   | 0.04   |
| Doméstico                  | 173 226.55                                  | 0.17   |
| Industrial                 | 39 766 782.62                               | 39.77  |
| Múltiples                  | 1 713 120.00                                | 1.71   |
| Pecuario                   | 22 079 122.35                               | 22.02  |
| Público Urbano             | 204 004 849.08                              | 204.00                                       |
| Servicios                  | 21 299 019.52                               | 21.30  |
| No específica              | 4 313 034.50                                | 4.31   |

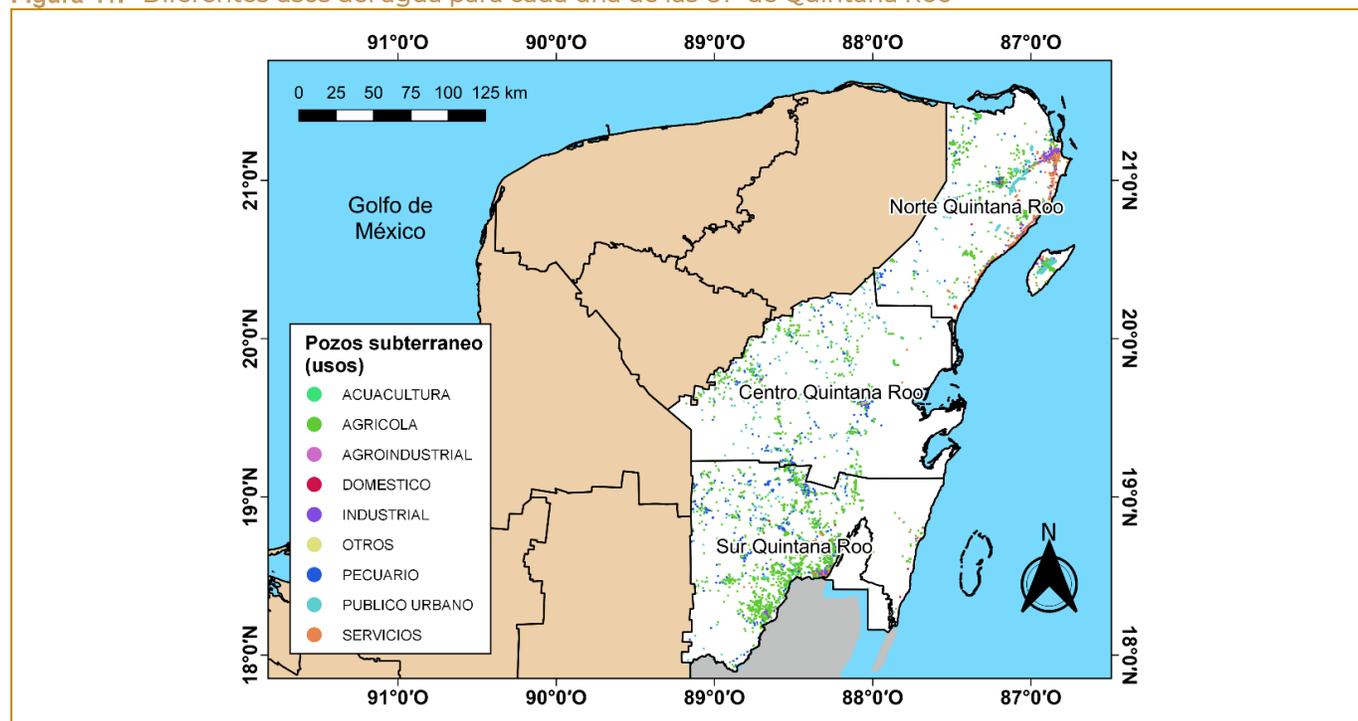
| Unidad de planeación / Uso | Volumen de extracción (m <sup>3</sup> /año) | Volumen de extracción (Mm <sup>3</sup> /año) |
|----------------------------|---|--|
| <b>YucO</b>                | 675 656 669.34                              | 675.66                                       |
| Acuacultura                | 1 109 232.92                                | 1.11   |
| Agrícola                   | 619 519 056.42                              | 619.52                                       |
| Domestico                  | 17 460.65                                   | 0.02   |
| Industrial                 | 11 426 813.11                               | 11.43  |
| Múltiples                  | 885 825.00                                  | 0.89   |
| Pecuario                   | 16 055 300.66                               | 16.06  |
| Público Urbano             | 25 299 414.90                               | 25.30  |
| Servicios                  | 738 570.68                                  | 0.74   |
| No específica              | 604 995.00                                  | 0.60   |
| <b>YucS</b>                | 595 094 072.54                              | 595.09                                       |
| Agrícola                   | 567 127 346.89                              | 567.13                                       |
| Domestico                  | 1 318.65                                    | 0.00   |
| Industrial                 | 536 654.95                                  | 0.54   |
| Múltiples                  | 790 289.00                                  | 0.79   |
| Pecuario                   | 3 588 042.06                                | 3.59   |
| Público Urbano             | 20 069 282.50                               | 20.07  |
| Servicios                  | 215 383.29                                  | 0.22   |
| No específica              | 2 765 755.20                                | 2.77   |

**Fuente:** REPGA a junio de 2020

En la Figura 41 se presentan los diferentes usos del agua para cada una de las UP de Quintana Roo. El uso del agua en la actividad agrícola sigue siendo preponderante, sin embargo, es el menor a nivel peninsular, entre un 65 a 85 % en las UP QrooC y QrooS. Para el caso particular de la UP QrooN, la actividad agrícola representa sólo el 1.74 %, la más baja a nivel peninsular. Sin embargo, en esta UP, el uso para servicios (hoteles y desarrollos turísticos, principalmente) representa más del 75 %, seguido, como en todos los demás, del uso público urbano.

### 1.5.2 Uso Público Urbano

La extracción de agua total per cápita (m<sup>3</sup>/hab/año) es mayor en Campeche, con 1,422.13 m<sup>3</sup>/hab/año, particularmente vinculado con el uso agrícola en las UP CampN y CampC (Tabla 32). El valor más bajo se presenta en Quintana Roo con 650.43 m<sup>3</sup>/hab/año, y particularmente en QrooN, dado que la actividad agrícola es muy baja. En el caso de Yucatán, la máxima extracción total se presenta en la UP YucS con 2,491.05 m<sup>3</sup>/hab/año, vinculado con la actividad citrícola.

**Figura 41.** Diferentes usos del agua para cada una de las UP de Quintana Roo


Fuente: Elaborado con datos del REPDA (S/D).

**Tabla 31.** Volumen de extracción por UP y uso en Quintana Roo

| Unidad de planeación / Uso | Volumen de extracción (m <sup>3</sup> /año) | Volumen de extracción (Mm <sup>3</sup> /año) |
|----------------------------|---|--|
| <b>QRooN</b>               | 907 712 597.72                              | 907.71                                       |
| Acuicultura                | 9 343.76                                    | 0.01   |
| Acuícola                   | 14 223 402.70                               | 14.22  |
| Doméstico                  | 37 810.24                                   | 0.04   |
| Industrial                 | 13 081 967.97                               | 13.08  |
| Pecuario                   | 380 626.87                                  | 0.38   |
| Público Urbano             | 152 842 461.62                              | 152.84                                       |
| Servicios                  | 625 471 555.28                              | 625.47                                       |
| No específica              | 1 665 429.28                                | 1.67   |
| <b>QRooC</b>               | 58 545 442.64                               | 58.55  |
| Acuicultura                | 11 826.00                                   | 0.01   |
| Agrícola                   | 38 716 370.94                               | 38.72  |

| Unidad de planeación / Uso | Volumen de extracción (m <sup>3</sup> /año) | Volumen de extracción (Mm <sup>3</sup> /año) |
|----------------------------|---|--|
| Domestico                  | 100.00                                      | 0.00   |
| Industrial                 | 23 361.00                                   | 0.02   |
| Pecuario                   | 151 475.30                                  | 0.15   |
| Público Urbano             | 19 372 041.30                               | 19.37  |
| Servicios                  | 3 604.10                                    | 0.00   |
| No específica              | 266 664.00                                  | 0.27   |
| <b>QRooS</b>               | <b>342 243 584.52</b>                       | <b>342.24</b>                                |
| Acuacultura                | 1 301 592.00                                | 1.30   |
| Agrícola                   | 295 003 388.46                              | 295.00                                       |
| Domestico                  | 5 929.16                                    | 0.01   |
| Industrial                 | 2 288 889.24                                | 2.29   |
| Pecuario                   | 410 783.07                                  | 0.41   |
| Público Urbano             | 38 968 530.65                               | 38.97  |
| Servicios                  | 1 185 061.44                                | 1.19   |
| No específica              | 3 079 410.50                                | 3.08   |

Fuente: REPDA (S/D).

**Tabla 32.** Extracción de agua para uso público urbano, por habitante a nivel peninsular y por UP.

| Unidad de Planeación | Superficie total (km <sup>2</sup> ) | Disponibilidad total (Mm <sup>3</sup> /año) | Volumen de extracción (Mm <sup>3</sup> /año) | Población 2020 | Extracción de agua per cápita m <sup>3</sup> /hab/año | Extracción Público Urbano Mm <sup>3</sup> /año | Extracción de agua uso público urbano m <sup>3</sup> /hab/año | Extracción per cápita Litros/hab/día |
|----------------------|-------------------------------------|---|--|----------------|---|--|---|--------------------------------------|
| <b>Campeche</b>      | 57 634.42                           |   | 1 298.50                                     | 913 066        | 1 422.13  | 173.09   | 189.57  | 519.36                               |
| CampN                | 22 349.62                           | 1 129.20                                    | 987.77                                       | 516 988        | 1 910.62  | 122.53   | 237.01  | 649.34                               |
| CampC                | 21 280.82                           | 1 685.27                                    | 301.75                                       | 364 364        | 828.15  | 49.57  | 136.04  | 372.71                               |
| CampS                | 14 003.98                           | 532.76                                      | 8.98   | 31 714         | 283.15  | 0.99   | 31.21   | 85.50                                |
| <b>Quintana Roo</b>  | 44 809.22                           |   | 1 208.50                                     | 1 857 985      | 650.43  | 211.13   | 113.63  | 311.31                               |
| QRooN                | 11 002.53                           | 345.02                                      | 807.71                                       | 1 459 428      | 553.44  | 152.84   | 104.72  | 286.90                               |
| QRooC                | 17 792.14                           | 719.77                                      | 58.55  | 123 155        | 475.41  | 19.37  | 157.28  | 430.90                               |
| QRooS                | 16 014.55                           | 755.06                                      | 342.24                                       | 275 402        | 1 242.69  | 38.97  | 141.50  | 387.67                               |
| <b>Yucatán</b>       | 41 776.95                           |   | 2 130.67                                     | 2 320 898      | 918.03  | 249.37   | 107.44  | 294.35                               |
| YucN                 | 16 638.43                           | 720.86                                      | 859.92                                       | 1 725 548      | 498.34  | 204.00   | 118.22  | 323.89                               |
| YucO                 | 16 783.68                           | 1 601.03                                    | 675.66                                       | 356 459        | 1 895.47  | 25.30  | 70.97   | 194.43                               |
| YucS                 | 8 354.84                            | 531.04                                      | 595.09                                       | 238 891        | 2 491.05  | 20.07  | 84.01   | 230.16                               |
| Total Península      | 144 220.59                          | 7 974.06                                    | 4 637.67                                     | 5 091,949      | 910.78  | 633.64   | 124.43  | 340.90                               |

Fuente: Elaboración propia mediante datos del DOF (2020) y REPDA (2020), INEGI (2020).

Sin embargo, si sólo se considera el agua extraída para el consumo público urbano (como agua de consumo para la población), se observa que Campeche presenta los principales contrastes, al pasar de 649.34 lt/hab/día en la UP CampN, a 85.5 lt/hab/día. Para Yucatán, las dotaciones de agua para uso público urbano van de 323.89 lt/hab/día en la UP YucN, a 194.43 lt/hab/día en la UP YucO. Mientras que para Quintana Roo, las dotaciones van de 430.9 lt/hab/día en QRooC a 286.9 lt/hab/día en QRooN.

### 1.5.2 Retorno de descargas de aguas residuales

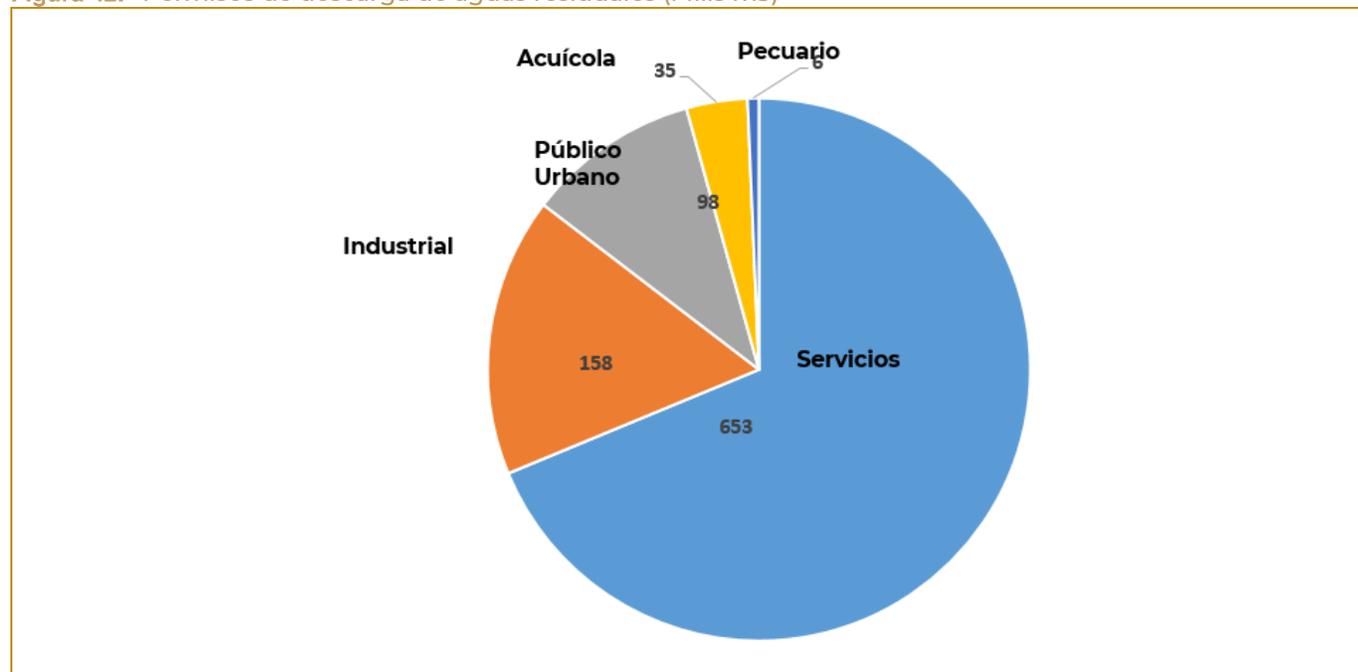
El marco jurídico establece para todo aquel usuario de aguas nacionales la obligación de contar con el "Permiso de descarga de aguas residuales" y se señala como casos de excepción para contar con dicho permiso a aquellas descargas que no formen parte de un sistema municipal de alcantarillado y que provengan, ya sea de uso doméstico o bien aquellas que, siendo suministradas por el sistema de agua potable, así como no contengan metales pesados, cianuros o tóxicos y que su volumen no exceda a 300 metros cúbicos mensuales. Se establece que aquellas descargas que correspondan a estos casos de excepción podrán llevarse a cabo con sujeción a las Normas Oficiales Mexicanas que al efecto se expidan y mediante un aviso por escrito a la "Autoridad del Agua".

A continuación, se hará referencia a los retornos de aguas residuales al acuífero en dos sentidos: a) los correspondientes a los Permisos de Descargas de Aguas Residuales otorgados por la CONAGUA y b) el total de los retornos de aguas residuales.

#### a) Permisos de Descargas de Aguas Residuales

De acuerdo con el REPDA (Tabla 33) para junio del 2020 en la península de Yucatán se tienen 6,756 permisos de descarga de aguas residuales emitidos por la CONAGUA para un volumen total de 956.25 millones de metros cúbicos (que corresponden a 3,684 títulos de concesión y 51 títulos de asignación de agua). El 68% de este volumen corresponde a aguas residuales provenientes de uso servicios, otro 16.5% son aguas que provienen de uso industrial, un 10% son descargas de uso público urbano, un 3.6% al uso acuícola y un 0.67% al uso pecuario (Figura 42).

**Figura 42.** Permisos de descarga de aguas residuales (Mills m3)



**Fuente:** REPDA, CONAGUA, junio 2020 (En esta figura no se incluye las descargas de tipo: Múltiple, agroindustrial, agrícola y domestico)

**Tabla 33.** Volúmenes concesionados (Mm<sup>3</sup>) de descarga de aguas residuales por unidad de planeación y uso del agua

| UP / uso agua       | Acuacultura | Agrícola | Agroindustrial | Doméstico | Industrial | Pecuario | Público Urbano | Servicios | Múltiples | Total  |
|---------------------|-------------|----------|----------------|-----------|------------|----------|----------------|-----------|-----------|--------|
| <b>Campeche</b>     | 33.37       | 0.00     | 0.02           | 0         | 125.00     | 0.09     | 0.43           | 17.23     | 1.66      | 177.81 |
| CampN               | 26.94       |          | 0.02           |           | 36.00      | 0.08     | 0.02           | 8.22      | 0.72      | 72.02  |
| CampC               | 6.43        |          |                |           | 89.00      | 0.01     | 0.41           | 8.98      | 0.94      | 105.76 |
| CampS               |             |          |                |           |            |          |                | 0.03      |           | 0.03   |
| <b>Quintana Roo</b> | 1.08        | 0.00     |                | 0.11      | 8.45       | 0.11     | 90.96          | 624.07    | 0.47      | 725.26 |
| QRooN               |             |          |                | 0.07      | 6.83       | 0.10     | 82.40          | 623.21    | 0.47      | 713.09 |
| QRooC               | 0.02        |          |                |           | 0.01       | 0.01     | 0.37           | 0.02      |           | 0.43   |
| QRooS               | 1.06        |          |                | 0.03      | 1.62       | 0.00     | 8.20           | 0.83      |           | 11.75  |
| <b>Yucatán</b>      | 0.09        | 0.01     |                | 0.14      | 24.63      | 6.22     | 6.36           | 11.76     | 3.96      | 53.17  |
| YucN                | 0.09        |          |                | 0.14      | 19.54      | 3.96     | 6.36           | 11.30     | 3.36      | 44.75  |
| YucO                |             |          |                |           | 4.90       | 1.11     |                | 0.30      | 0.25      | 6.56   |
| YucS                |             | 0.01     |                |           | 0.20       | 1.15     |                | 0.16      | 0.36      | 1.86   |
| <b>Total</b>        | 34.54       | 0.01     | 0.02           | 0.25      | 158.09     | 6.42     | 97.76          | 653.06    | 6.09      | 956.24 |

Fuente: REPDA (junio 2020).

Importante resaltar que las descargas de aguas residuales derivadas del servicio Público Urbano (Tabla 34) que forman parte del REPDA provienen de 163 pozos de inyección vinculados a plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (Figura 43), con una descarga total de 97.76 Mm<sup>3</sup>/año. Dichos pozos se encuentran principalmente en la UP QRooN, con descargas de 82.39 Mm<sup>3</sup> anuales (el 83.31% del total por la actividad asociada al turismo), seguido por la UPQRooS y YucN con 8.202 y 6.3618 Mm<sup>3</sup>/año respectivamente.

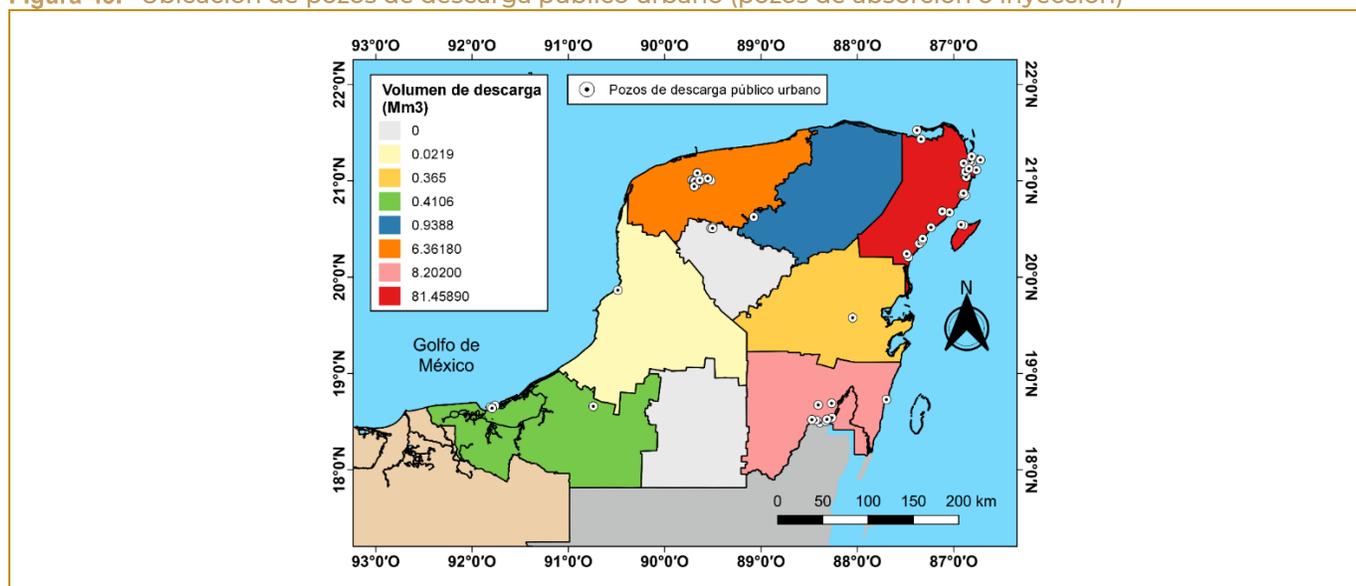
**Tabla 34.** Volumen de descarga anual y ubicación de los pozos concesionados para descarga de uso público urbano en la PY, vinculados a Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

| Unidad de planeación | Municipio       | Numero de Pozos | Volumen de descarga anual |                 |                                  |
|----------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|-----------------|----------------------------------|
|                      |                 |                 | m <sup>3</sup>            | Mm <sup>3</sup> | Mm <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> |
| CampN                | Campeche        | 1               | 21 900.00                 | 0.0219          | 0.000000979                      |
| Total CampN          |                 | 1               | 21 900.00                 | 0.0219          | 0.000000979                      |
| CampC                | Carmen          | 3               | 373 010.00                | 0.3730          | 0.000017500                      |
|                      | Escárcega       | 1               | 37 595.00                 | 0.0376          | 0.000001760                      |
| Total CampC          |                 | 4               | 410 605.00                | 0.4106          | 0.000019200                      |
| QRooN                | Benito Juárez   | 56              | 54 258 875.39             | 54.2589         | 0.004930000                      |
|                      | Cozumel         | 5               | 7 104 240.30              | 7.1042          | 0.000645000                      |
|                      | Isla mujeres    | 3               | 1 892 160.00              | 1.8922          | 0.000171000                      |
|                      | Lázaro Cárdenas | 2               | 285 795.00                | 0.2858          | 0.000025000                      |
|                      | Solidaridad     | 15              | 13 182 809.25             | 13.1828         | 0.001190000                      |
|                      | Tulum           | 5               | 4 735 008.00              | 4.7350          | 0.000430000                      |

| Unidad de planeación | Municipio              | Numero de Pozos | Volumen de descarga anual |                 |                                  |
|----------------------|------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|----------------------------------|
|                      |                        |                 | m <sup>3</sup>            | Mm <sup>3</sup> | Mm <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> |
| Total QRoosN         |                        | 86              | 82 397 667.90             | 82.3970         | 0.007400000                      |
| QRooC                | Felipe Carrillo Puerto | 1               | 365 000.00                | 0.3650          | 0.000020510                      |
| Total QRooC          |                        | 1               | 365 000.00                | 0.3650          | 0.000020510                      |
| QRooS                | Bacalar                | 2               | 954 720.32                | 0.9547          | 0.000059000                      |
|                      | Othón P. Blanco        | 10              | 7 247 235.60              | 7.2472          | 0.000450000                      |
| Total QRooS          |                        | 12              | 8 201 955.92              | 8.2020          | 0.000510000                      |
| YucN                 | Mérida                 | 52              | 6 361 848.78              | 6.3618          | 0.000430000                      |
|                      | Progreso               | 1               | -                         | -               | -                                |
| Total YucN           |                        | 53              | 6 361 848.78              | 6.3618          | 0.000430000                      |
| YucO                 | Solidaridad            | 1               | 938 780.00                | 0.9388          | 0.000055000                      |
| Total YucO           |                        | 1               | 938 780.00                | 0.9388          | 0.000055000                      |
| YucS                 | Mérida                 | 4               | -                         | -               | -                                |
|                      | Umán                   | 1               | -                         | -               | -                                |
| Total YucS           |                        | 5               | -                         | -               | -                                |
| Total General        |                        | 163             | 97 758 977.64             | 97.7590         | 0.008447100                      |

Fuente: REPDA (S/D).

**Figura 43.** Ubicación de pozos de descarga público urbano (pozos de absorción o inyección)



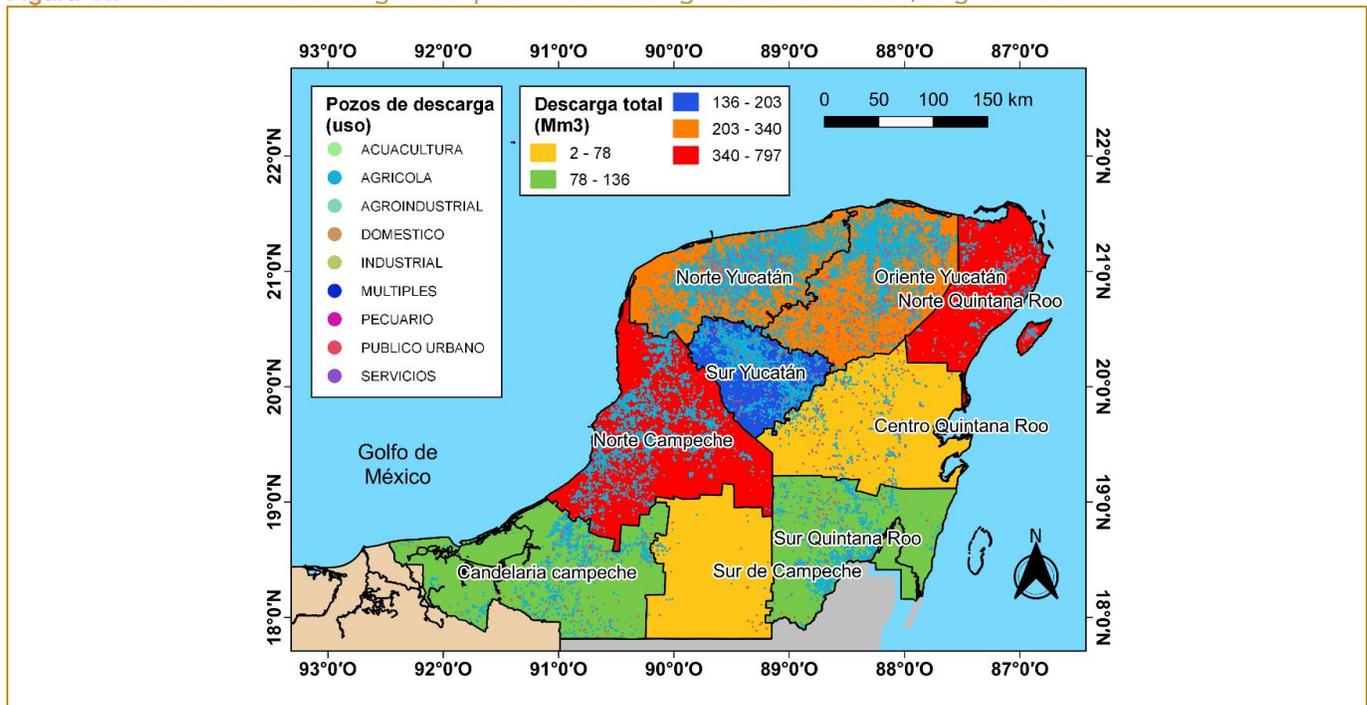
Fuente: Elaborado con datos del REPDA.

**b) Total de los retornos de aguas residuales**

El volumen total de los retornos al acuífero por las descargas de aguas residuales correspondientes a todos los aprovechamientos de aguas (concesiones y asignaciones según el REPDA al 15 de junio de 2020) es de 2,136.60 Mm<sup>3</sup>/año a nivel Peninsular (Figura 44 y Tabla 35). Esto representa que el 45.81 % del agua extraída es descargada nuevamente al acuífero mediante pozos de absorción o de inyección. El resto se pierde en evapotranspiración o se incorpora a la cría de animales o a los productos procesados tecnológicamente. También se incorpora como recarga por retorno agrícola, y público urbano en sitios donde no hay alcantarillado y plantas de tratamiento. Nuevamente, las mayores descargas están en las áreas más urbanizadas (Mérida, Cancún, Campeche) y las menores en la UP CampS, la UP YucS, y la UP QRooC. La Tabla 35 resume las principales características de extracción y descarga por UP (detalles en Anexo 6).

2,136.60 Mm<sup>3</sup>/año (casi la mitad del agua extraída) se retorna al acuífero sin un debido tratamiento.

**Figura 44.** Volumen de descarga total proveniente de aguas concesionada/asignada en la PY



Fuente: Elaborado con datos del OCPY (2020) y REPDA (S/D).

En la PY se tiene un 16.70 % de relación entre la inyección de aguas tratadas mediante pozo profundo con respecto al total extraído para el uso público urbano. Sin embargo, la relación en el tratamiento de aguas residuales y vertidas en pozos de inyección con respecto a la extracción total representan 2.92% para Yucatán, 46.62 % para Quintana Roo, y del 0.35 % para Campeche (Tabla 36).

**Tabla 35.** Volumen de descarga total proveniente de aguas concesionada/asignada en la PY.

| Entidad / Unidad de Planeación | Superficie en km <sup>2</sup> | Número de pozos de descarga | Volumen de descarga anual |                 |                                  |
|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------|----------------------------------|
|                                |                               |                             | m <sup>3</sup>            | Mm <sup>3</sup> | Mm <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> |
| <b>Campeche</b>                | 57 634.42                     | 7 962                       | 163 132 125.97            | 463.13          | 0.0210                           |
| CampN                          | 22 349.62                     | 5 675                       | 2 965 362.93              | 345.23          | 0.0002                           |
| CampC                          | 21 280.82                     | 2 213                       | 114 929 241.18            | 114.92          | 0.0050                           |
| CampS                          | 14 003.98                     | 74                          | 345 237 521.86            | 2.96            | 0.0150                           |
| <b>Quintana Roo</b>            | 44 809.22                     | 5 462                       | 944 084 539.82            | 944.08          | 0.0810                           |
| QRooN                          | 11 002.53                     | 2 657                       | 796 795 776.83            | 796.79          | 0.0720                           |
| QRooC                          | 17 792.14                     | 873                         | 23 661 617.81             | 23.66           | 0.0013                           |
| QRooS                          | 16 014.55                     | 1 932                       | 123 627 145.18            | 123.62          | 0.0077                           |
| <b>Yucatán</b>                 | 41 776.95                     | 28 711                      | 729 397 981.35            | 729.39          | 0.0570                           |
| YucN                           | 16 638.43                     | 18 617                      | 337 284 717.02            | 337.28          | 0.0230                           |
| YucO                           | 16 783.68                     | 6 724                       | 208 245 555.95            | 208.24          | 0.0120                           |
| YucS                           | 8 354.84                      | 3 370                       | 183 867 708.38            | 183.86          | 0.0220                           |
| <b>Total</b>                   | <b>144 220.59</b>             | <b>42 135</b>               | <b>1 836 614 647.14</b>   | <b>2 136.60</b> |                                  |

**Nota:** Se incluyen los pozos de retorno agrícola y las aguas residuales público urbanas que no cuentan con plantas de tratamiento.

**Fuente:** OCPY (2020) y REPDA (S/D).

**Tabla 36.** Relación entre el tratamiento de aguas residuales y vertidas en pozos de inyección con respecto al volumen total extraído para el uso Público Urbano.

| Unidad de Planeación /Estado | Extracción Uso Público Urbano (Mm <sup>3</sup> /año) | Descarga Uso Público Urbano (Mm <sup>3</sup> /año) | Extracción/Descarga (%) |
|------------------------------|--|--|-------------------------|
| <b>Campeche</b>              | 173.09   | 0.432  | 0.350                   |
| CampN                        | 49.57  | 0.410  | 0.827                   |
| CampC                        | 122.53   | 0.022  | 0.018                   |
| CampS                        | 0.99   |  |                         |
| <b>Quintana Roo</b>          | 211.18   | 90.010   | 42.620                  |
| QRooN                        | 152.84   | 81.450   | 53.300                  |
| QRooC                        | 19.37  | 0.365  | 1.880                   |
| QRooS                        | 38.97  | 8.200  | 21.040                  |
| <b>Yucatán</b>               | 249.37   | 7.298  | 2.920                   |
| YucN                         | 204.00   | 6.360  | 3.110                   |
| YucO                         | 25.30  | 0.938  | 3.700                   |
| YucS                         | 20.07  |  |                         |
| <b>Total</b>                 | <b>633.64</b>  | <b>97.760</b>                                      | <b>16.700</b>           |

**Fuente:** REPDA 2020.

Una gran proporción del agua extraída para uso público urbano no recibe un tratamiento derivado de plantas que cuentan con concesiones para descargas en aguas nacionales. Los tratamientos de agua en la PY son en su mayoría individuales, asociados a la vivienda. Pueden ser desde sumideros, fosas sépticas y biodigestores. Sin embargo, también se da el fecalismo al aire libre, generando un grave problema de contaminación a las aguas subterráneas. Es reconocido por la CONAGUA, como por los Organismos Operadores de Agua Potable, que las descargas en estas situaciones representan alrededor del 60 %.

### c) Aguas que provienen de la precipitación pluvial y que percolan hasta el manto freático

Adicionalmente, en relación con las aguas que provienen de la precipitación pluvial y que percolan hasta el manto freático, incorporándose como recarga al acuífero, que como se mencionó anteriormente, varios autores mencionan que la recarga efectiva al manto freático equivale a un 14 o 17 % (Bauer et al., 2011) de la precipitación a nivel peninsular (Lesser 1976; Hanshaw and Back 1980; Back 1985, y Gondwe et al. 2010). Al respecto, se citarán los siguientes dos casos:

- a) En primer término se puede considerar que las áreas urbanas cubren una superficie de 1,688.83 km<sup>2</sup> (1,688,830,000 m<sup>2</sup>) y si se estima que en ellas el 17% de la precipitación pluvial se infiltra directo al acuífero, entonces resulta que esto equivale a un volumen de 344.5 Hm<sup>3</sup> de agua que arrastra y transporta directo al acuífero un conjunto de contaminantes, que incluyen grasas, aceites y múltiples compuestos químicos (que provienen de los tiraderos clandestinos de basura, residuos de la construcción, desgaste de llantas automotrices, etc.), lo cual representa una verdadera y aún incuantificable fuente de contaminación del acuífero.

Se estima que 2,136.60  
 Mm<sup>3</sup>/año (casi la mitad  
 del agua extraída)  
 provenientes de lluvias  
 ingresan al acuífero con  
 carga de contaminantes.

- b) Del agua total utilizada para riego agrícola, parte se evapotranspira, otra parte se infiltra en el suelo y otra logra percolar a las aguas subterráneas. CONAGUA estima que el 30 % de la extracción total de este uso se retorna al acuífero incorporando en este caso mucho de los contaminantes utilizados como plaguicidas y herbicidas, incluyendo fertilizantes químicos. Por lo tanto, las superficies dedicadas a la actividad agrícola en los DDR son un promedio de 1,100,000 hectáreas y si se considera como retorno el 30% de la precipitación promedio anual de 1200 mm que se infiltra directo al acuífero, equivale a un volumen de agua de 396,000 m<sup>3</sup> que arrastra y transporta al acuífero todos los residuos que provienen de las actividades agropecuarias en esos DDR.

Ejemplo de ello son los resultados del estudio "Presencia de plaguicidas en el acuífero cárstico entre los municipios de Mérida a Progreso, Yucatán, México" (Gíacomán, et al, 2017), en el que se indica que: "la presencia de residuos y metabolitos de plaguicidas organoclorados en el agua subterránea en el transecto de la ciudad de Mérida a Progreso durante los diferentes muestreos implica la lixiviación de los contaminantes desde el suelo, un proceso que está influenciado por la cantidad de precipitación que se presenta en la zona en temporada de lluvias y nortes o por riego en época de secas. El uso de insecticidas para controlar plagas tanto en áreas agrícolas, domésticas, en jardinería, sin un adecuado control en cuanto a la cantidad aplicada, así como la inadecuada disposición de sus residuos constituyen fuentes de contaminación. En particular, la detección de compuestos asociados con el DDT e isómeros, lindano, ensosulfán, sulfato de endosulfán entre otros, en el transecto entre la ciudad de Mérida a Progreso se asociaría con campañas sanitarias implementadas en el pasado contra mosquitos y otras plagas; sin embargo, la aplicación reciente del plaguicida de manera ilegal no resulta imposible".

### 1.5.3 Derechos del agua

Los ingresos en la Tesorería de la Federación por concepto del pago de los "Derechos del Agua" derivados del cumplimiento de recaudación que opera desde el año 2014 hasta el año 2019 (tabla 37), siempre ha sido ascendente en sus metas, pasando de 70 millones en el año 2014, hasta 207 millones en el año 2019. Sin embargo, ha logrado recaudar desde 96 millones hasta 287 millones con un cumplimiento medio anual del casi 134 %. Un superávit de más de 80 millones de pesos en el año 2019.

**Tabla 37.** Cumplimiento en la Recaudación del OCPY 2014 -2019.

| Ejercicio Fiscal | Meta        | Recaudación | Cumplimiento |
|------------------|-------------|-------------|--------------|
| 2014             | 70 434 734  | 96 804 032  | 137.44%      |
| 2015             | 89 531 445  | 116 970 754 | 130.65%      |
| 2016             | 94 738 634  | 121 466 913 | 128.21%      |
| 2017             | 133 743 219 | 192 374 177 | 143.84%      |
| 2018             | 146 761 095 | 207 431 081 | 141.34%      |
| 2019             | 207 496 856 | 287 495 291 | 138.55%      |

Fuente: CONAGUA (2020).

## 1.6 Caracterización de los servicios de agua potable, drenaje y saneamiento

### 1.6.1 Según los informes de la “Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento”

A continuación, se presentan cifras reportadas por los informes de la “Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento” para el período del 2002 al 2019.

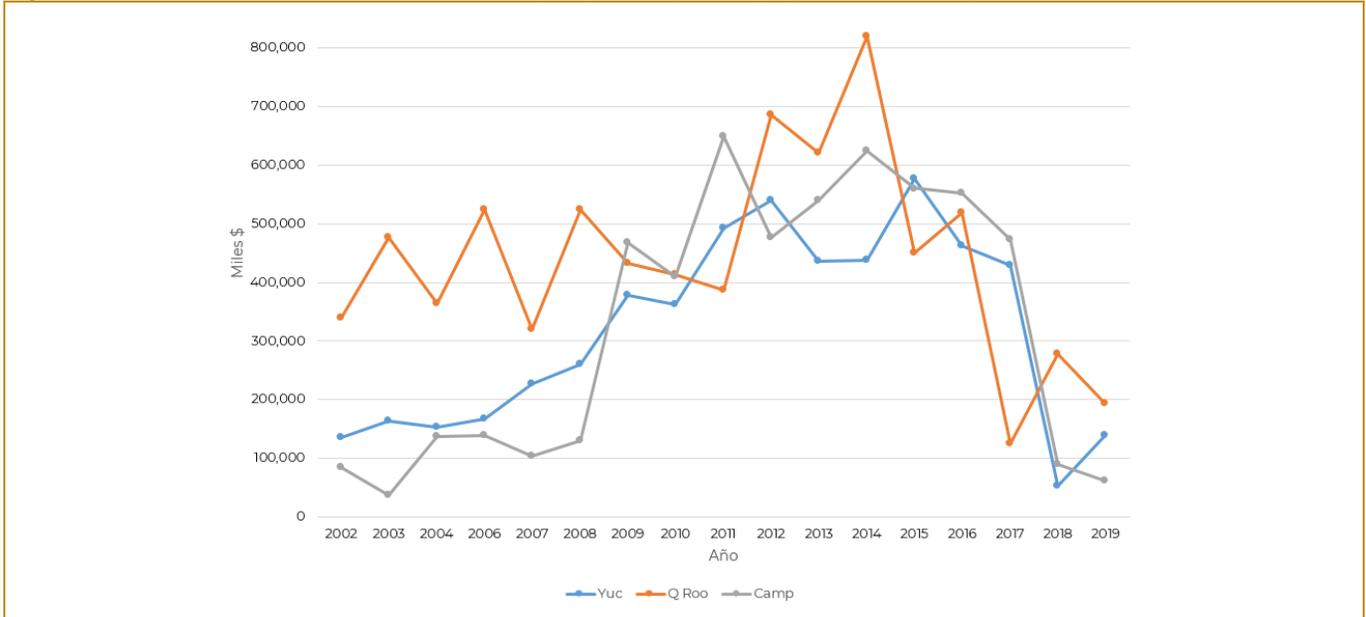
#### 1.6.1.1 Inversión en infraestructura

La inversión en infraestructura de agua potable, drenaje y saneamiento a nivel peninsular alcanzó un monto acumulado de 18.4 mil millones de pesos, con aportaciones principalmente de la CONAGUA, estados y municipios. De este monto, el 30% corresponde a Campeche, un 41% a Quintana Roo y un 29% a Yucatán (Figura 45). Es notorio que en los últimos seis años hay una tendencia a la baja en las inversiones que se destinan a este sector. Cabe resaltar el caso de Quintana Roo, la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo (CAPA), ante el crecimiento explosivo de la población y el consecuente rezago en los servicios de agua potable, tal como puede observarse en la figura 44, durante el período de 2016 a 2020 debió buscar fuentes de financiamiento alternativas. Ello le permitió destinar un monto total de 1,887 millones de pesos, en el período referido, de los que un 52% corresponden a recursos de programas normados por la CONAGUA, un 45% a otros programas (FAFEF, FIFONMETRO-R23, FISE, FONSUR, FORTAFIN -R23, PDR-R23 y PEI) y un 4% a recursos propios. El 46% de esta inversión la dedicó a acciones de drenaje sanitario, un 7% a drenaje pluvial y el 47% a obras de agua potable, con lo cual logró, en particular, revertir la caída en la cobertura en el servicio de agua potable y acercarse así al nivel con que previamente contaba en el año 2003.

#### 1.6.1.2 Coberturas de agua potable

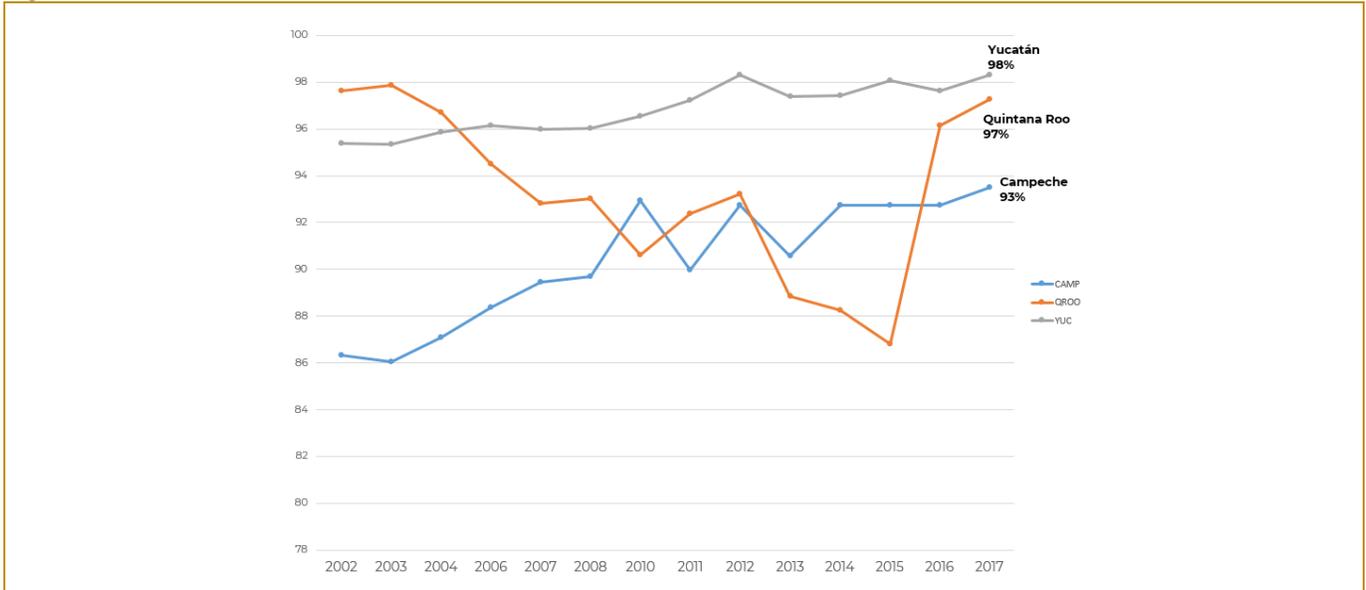
La cobertura de agua potable en la región al año 2002 (Figura 46) era en promedio de un 93 por ciento, mostrando tanto Campeche, como Yucatán, no así Quintana Roo, tendencias crecientes para alcanzar al 2017 un 96% de cobertura. Yucatán el estado que ha mostrado un mayor crecimiento, para alcanzar la mayor cobertura con un 98 por ciento.

**Figura 45.** Inversión en infraestructura de agua potable, drenaje y saneamiento, 2002 a 2019



Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, edición 2002 a 2020

**Figura 46.** Evolución en la cobertura de agua potable



Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, edición 2002 a 2017

### 1.6.1.3 Cobertura de saneamiento

En términos de cobertura de saneamiento, en el período de 2002 a 2017 (Figura 47), el estado de Quintana Roo se ha mantenido por arriba del promedio nacional, llegando actualmente a una cobertura del 96%. En tanto que los estados de Campeche y Yucatán iniciaron con coberturas del 59 y 54% respectivamente y lograron llegar a coberturas del 92 y 87% respectivamente.

**Figura 47. Evolución en la cobertura de saneamiento**


Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, edición 2002 a 2017

Aquí habría que señalar que las cifras antes citadas y que como se mencionó son reportadas por los informes de la “Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento”, guardan congruencia con los datos del Censo 2020 (Tabla 38), en cuanto a la cobertura de drenaje a nivel general, es decir, englobando a red pública y fosa/tanque séptico.

**Tabla 38. Cobertura de alcantarillado y drenaje, 2020**

| Estado       | Total de viviendas | Disponen de drenaje | Red pública | Fosa o tanque séptico |
|--------------|--------------------|---------------------|-------------|-----------------------|
| Campeche     | 260 221            | 94%                 | 9%          | 90%                   |
| Quintana Roo | 574 124            | 97%                 | 74%         | 24%                   |
| Yucatán      | 656 907            | 92%                 | 13%         | 85%                   |

Fuente: INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020. Cuestionario Básico.

### 1.6.1.4 Potabilización de agua

A diciembre de 2019 solo en el estado de Campeche se cuenta con una planta potabilizadora municipal en operación, con una capacidad instalada de 5 litros por segundo y un caudal potabilizado de 5 litros por segundo (Tabla 39).

**Tabla 39. Plantas potabilizadoras de agua por entidad federativa, 2019**

| Entidad      | En operación      |                           |                           |
|--------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|
|              | Número de plantas | Capacidad instalada (l/s) | Caudal Potabilizado (l/s) |
| Campeche     | 1                 | 5                         | 5                         |
| Quintana Roo | 0                 | 0                         | 0                         |
| Yucatán      | 0                 | 0                         | 0                         |
| Nacional     | 979               | 157 267                   | 115 636                   |

Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, edición 2020

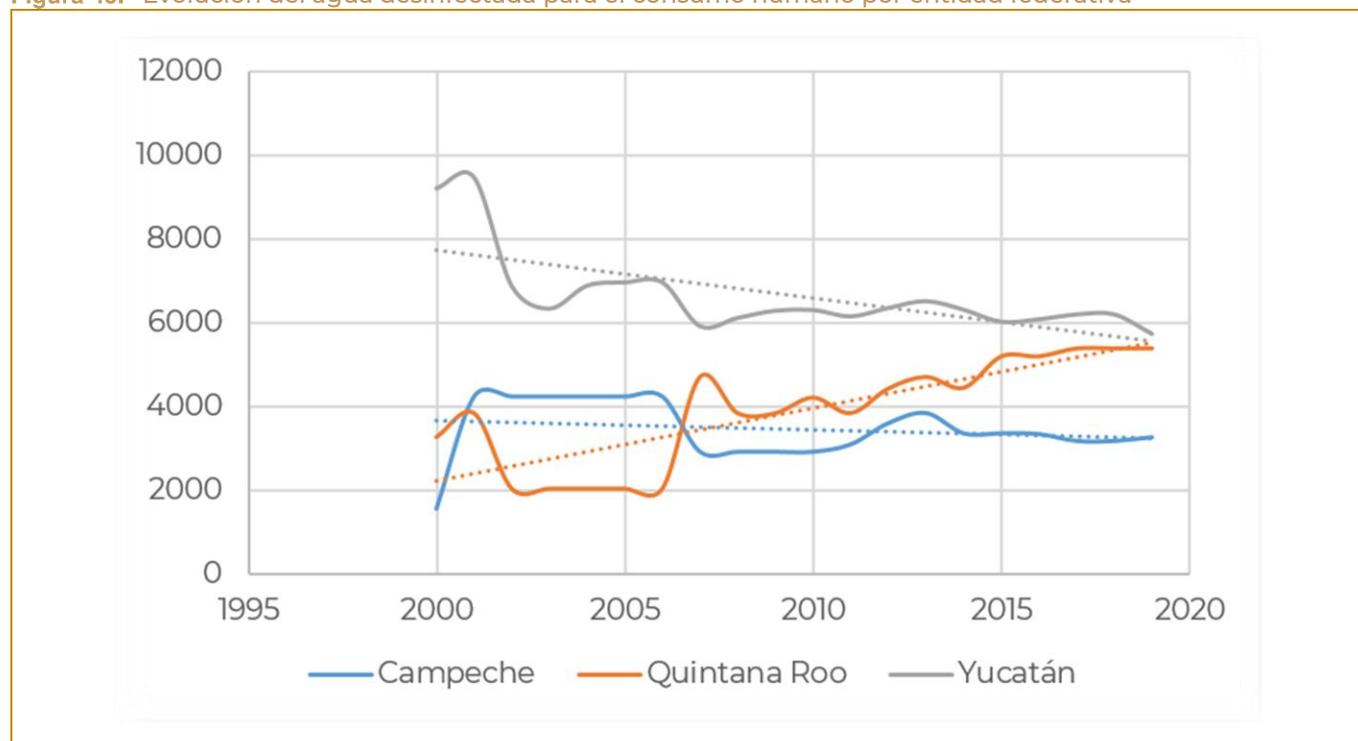
### 1.6.1.5 Desinfección del agua

Mediante el Apartado Agua Limpia, del PROAGUA, se apoyó a las autoridades estatales y municipales en la desinfección del agua suministrada para uso y consumo humano para prevenir padecimientos de origen hídrico, mediante acciones que propiciaron mejorar su calidad a fin de elevar el bienestar y la salud de la población.

En cuanto a la evolución de los volúmenes de desinfección de agua suministrada (Figura 48), tal como se ve reflejado en la siguiente imagen, Quintana Roo muestra una tendencia creciente en la desinfección, en Campeche prácticamente se ha mantenido el ritmo, mientras que en Yucatán hay una tendencia a la baja.

No hay potabilización del agua y su desinfección muestra una tendencia a la baja.

**Figura 48.** Evolución del agua desinfectada para el consumo humano por entidad federativa



Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, edición 2020

### 1.6.1.6 Tratamiento de aguas residuales

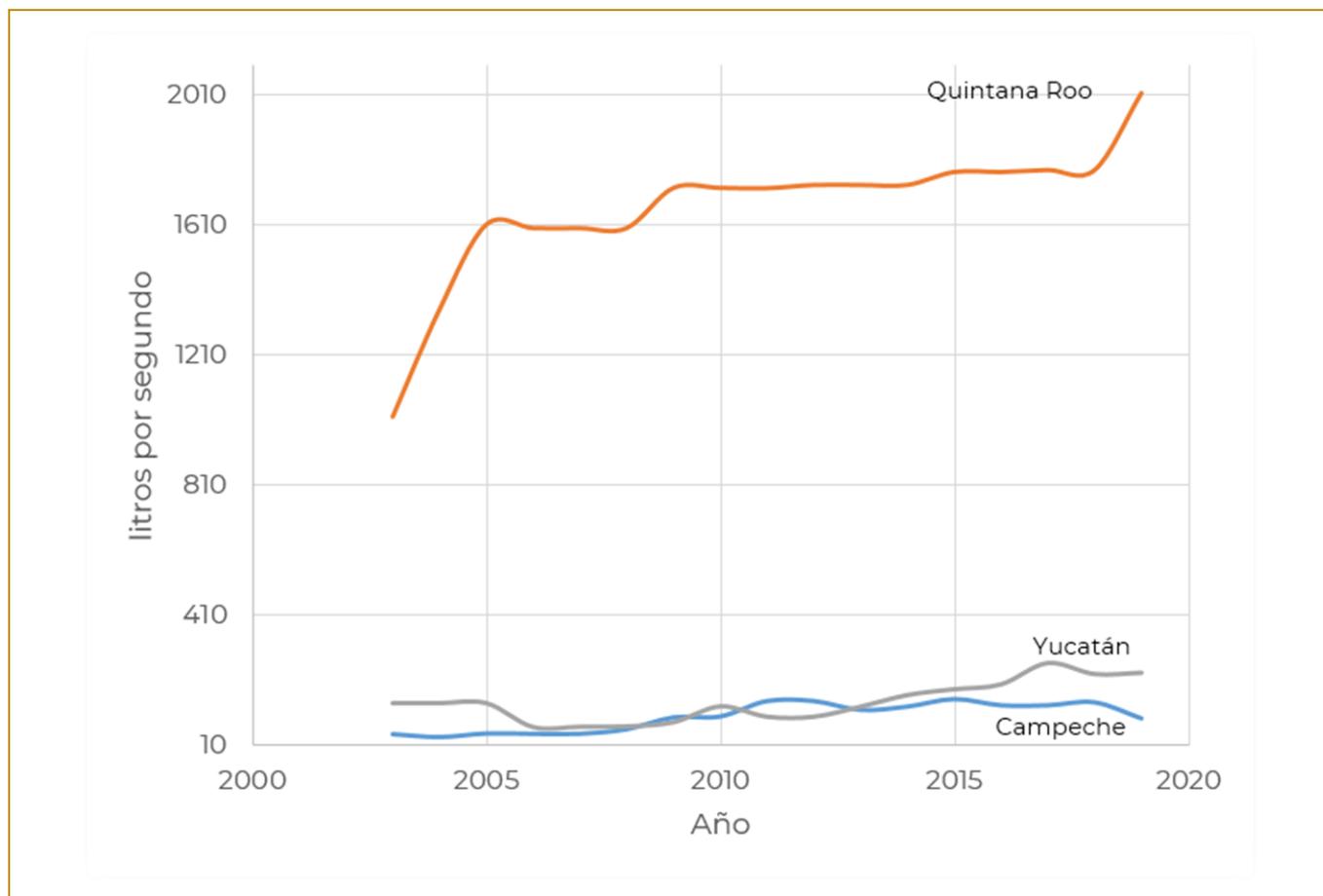
De acuerdo con el último inventario a diciembre de 2019, se cuenta con 77 plantas en operación, con una capacidad instalada de 3,672 litros por segundo y un caudal tratado de 2,346 litros por segundo. Los niveles de cobertura de tratamiento regional se encuentran por debajo del nivel nacional (Tabla 40), sin embargo, es Campeche quien en el ámbito regional presenta la mayor cobertura (67%), seguido por Quintana Roo (57.2%) y muy por debajo Yucatán con un 5.3%. En el período 2002 a 2018 es Quintana Roo quien muestra una tendencia creciente en la cobertura de tratamiento, mientras que Campeche y Yucatán han permanecido sin un cambio significativo (Figura 49).

**Tabla 40.** Caudal de aguas residuales municipales tratadas, en plantas de tratamiento por entidad federativa, 2019

| Entidad      | En operación      |                           |                      |                              |
|--------------|-------------------|---------------------------|----------------------|------------------------------|
|              | Número de plantas | Capacidad instalada (l/s) | Caudal tratado (l/s) | Cobertura de tratamiento (%) |
| Campeche     | 19                | 515                       | 94                   | 67.0                         |
| Quintana Roo | 29                | 3 012                     | 2 017                | 57.2                         |
| Yucatán      | 29                | 509                       | 235                  | 5.3                          |
| Regional     | 77                | 3 672                     | 2 346                |                              |
| Nacional     | 2 642             | 194 715                   | 141 479              | 65.7                         |

Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, edición 2020

**Figura 49.** Evolución en el caudal tratado en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, 2003 a 2019



Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, edición 2020

## 1.6.2 Indicadores de Gestión de Organismos Operadores

Se presenta a continuación una síntesis del trabajo realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) para la evaluación de Organismo Operadores, denominado “Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (PIGOO)”. Se muestran diversos indicadores para el período de 2002 al 2018 y tiene como propósito el identificar y promover acciones para mejorar su desempeño a fin de permitirles proporcionar un servicio confiable a los usuarios, garantizar su capacidad operativa, aumentar su rentabilidad y ayudar a conservar el recurso agua.

En Yucatán han logrado constituirse como organismo operador diez municipios (Valladolid, Ticul, Dzemul, Sucila, Seye, Progreso, Kanasin, Kantunil, Motul, Tixkokob y Uman), sin embargo, solo operan como tal los municipios de Valladolid, Ticul, Progreso y Uman, además de la Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán (JAPAY) que opera el servicio para la ciudad de Mérida; bajo esta figura de organismo operador se da servicio al 56% de la población yucateca. En Quintana Roo la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado opera mediante gerencias en cada uno de los municipios, por lo que el 100% de la población quintanarroense se encuentra servida bajo esta figura. Mientras que en Campeche se cuenta con los organismos operadores municipales para las ciudades de San Francisco de Campeche y El Carmen, correspondiendo en este caso el 58% de los campechanos. A nivel regional significa que el 86% de la población es servida mediante la figura de organismo operador, el restante 14% de la población recibe el agua a través de sistemas locales o comunitarios.

### 1.6.2.1 Cobertura de agua potable

El indicador de cobertura de agua potable (%) mide el porcentaje de la población que cuenta con servicio de agua potable, es decir, cuantifica las tomas registradas y los habitantes servidos. En este rubro los sistemas de la PY con una cobertura promedio regional del 93.74%, que se ubica por arriba del promedio nacional de 92.06% (Figura 50). De manera general, todos los sistemas evaluados, es decir, Chetumal, Valladolid, Mérida, Playa del Carmen, Felipe Carrillo Puerto, Cozumel, Jose María Morelos, Bacalar, Kantunilkin, Campeche, Tulum, Progreso y Cancún presentan coberturas del 96%, no siendo el caso de Cd. del Carmen, con una cobertura del 69%. Como puede observarse existe una total congruencia entre estos datos ofrecidos por el IMTA con los citados anteriormente por parte de los informes de la “Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento” para el período del 2002 al 2017.

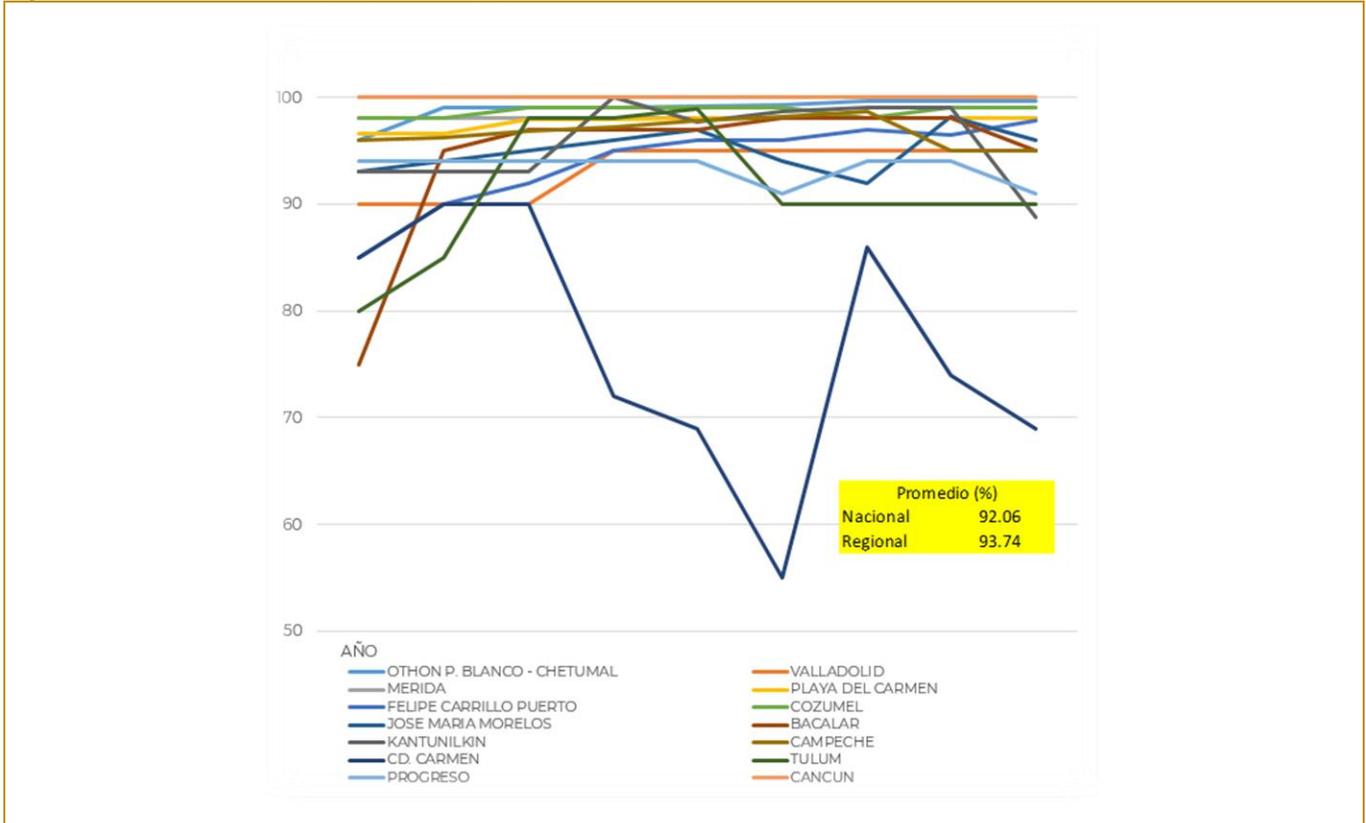
El 86% de la población es servida mediante la figura de organismos operadores, el restante 14% de la población recibe el agua a través de sistemas locales o comunitarios.

### 1.6.2.2 Cobertura de alcantarillado

El indicador de cobertura de alcantarillado (%) mide el porcentaje de la población que cuenta con servicio de alcantarillado sanitario.

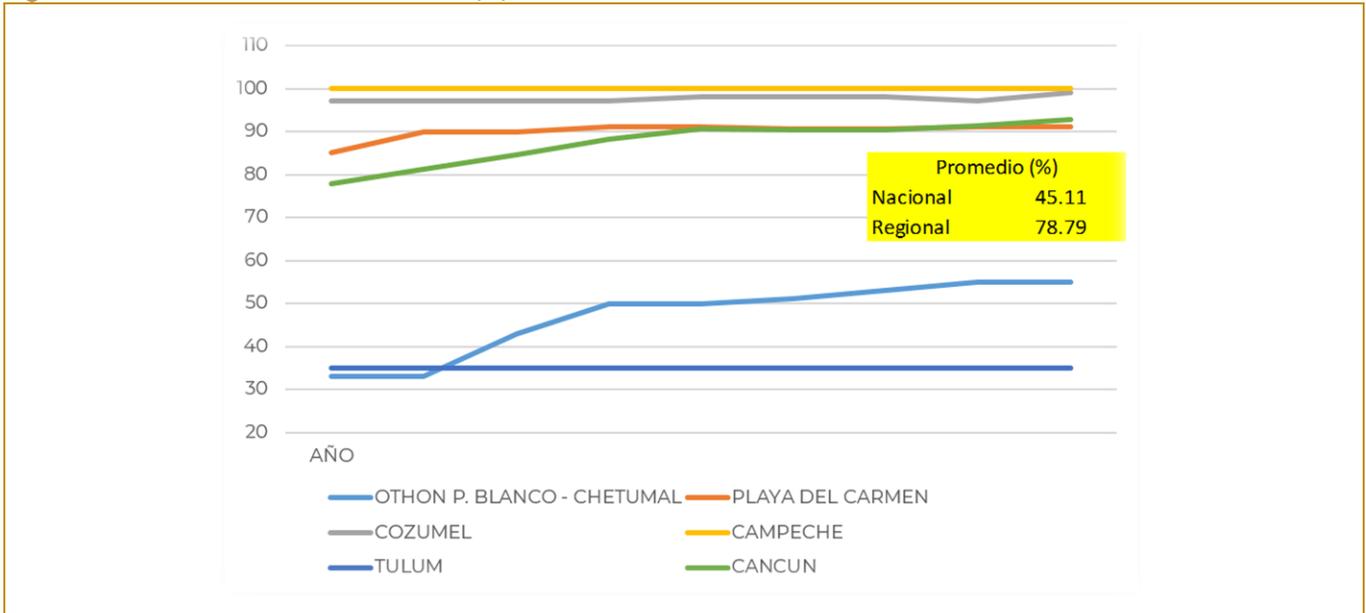
En este rubro el IMTA evaluó solamente los sistemas de Playa del Carmen, Cozumel, Campeche, Cancún, Tulum y Chetumal (Figura 51). Entre ellos la cobertura promedio regional es del 78.79%, que se ubica por arriba del promedio nacional de 45.11%. Destacan los sistemas de Playa del Carmen, Cozumel, Campeche y Cancún con coberturas por arriba del 90%, mientras que Tulum y Chetumal tienen un 35 y 55% respectivamente.

**Figura 50.** Cobertura de agua potable (%), 2012 a 2017



Fuente: IMTA, Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (PIGOO), 2002 – 2017

**Figura 51.** Cobertura de alcantarillado (%), 2012 a 2017



Fuente: IMTA, Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (PIGOO), 2002 - 2017

Aquí habría que señalar que de acuerdo con los datos del Censo 2020, quien cuantifica la cantidad de viviendas conectadas a red pública de drenaje, el estado de Campeche cuenta con una cobertura del 9%, Quintana Roo alcanza el 74% y Yucatán un 13%.

Mientras que las viviendas con fosa o tanque séptico alcanzan el 90% en Campeche, 24% en Quintana Roo y 85% en Yucatán.

**Tabla 41.** Total de viviendas que disponen de drenaje, red pública y tanque séptico

| Estado       | Total de viviendas | Disponen de drenaje | Red pública | Fosa o tanque séptico |
|--------------|--------------------|---------------------|-------------|-----------------------|
| Campeche     | 260 221            | 94%                 | 9%          | 90%                   |
| Quintana Roo | 574 124            | 97%                 | 74%         | 24%                   |
| Yucatán      | 656 907            | 92%                 | 13%         | 85%                   |

Fuente: INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020. Cuestionario Básico

### 1.6.2.3 Eficiencia física

La eficiencia física (%) evalúa la eficiencia entre el agua consumida y la producida, es decir, es el volumen de agua consumido ( $m^3$ ) entre el volumen anual de agua potable producido ( $m^3$ ).

En este rubro los sistemas de la PY con una eficiencia promedio regional de 51.33% se encuentran por debajo del promedio nacional de 57.04% (Figura 52). Destacan con las mejores eficiencias (mayores al 60%) los sistemas de Mérida, Yucatán, Kantunilkin, Quintana Roo y Cozumel, Quintana Roo; mientras que con las más bajas eficiencias (menores al 35%) se encuentran los sistemas de Chetumal, Quintana Roo, Valladolid, Yucatán y Jose Maria Morelos, Quintana Roo.

### 1.6.2.4 Consumo

El Consumo (l/h/d) mide el volumen de agua consumido ( $m^3/año$ ) entre habitantes, estima el consumo real de agua sin tomar en cuenta las pérdidas por fugas en la red y tomas domiciliarias.

En este rubro los sistemas de la PY con un consumo promedio regional de 118.55 l/hab/día resulta superior al promedio nacional de 103.22 l/hab/día (Figura 53). Los sistemas con mayor consumo (mayor a 150 l/hab/día) son Campeche, Campeche, Mérida, Yucatán y Playa del Carmen, Quintana Roo; mientras que los más bajos consumos (inferiores a 85 l/hab/día) se tienen en los sistemas de Chetumal, Quintana Roo, Valladolid, Yucatán, Jose María Morelos, Quintana Roo y Kantunilkin, Quintana Roo.

### 1.6.2.5 Costos entre volumen producido

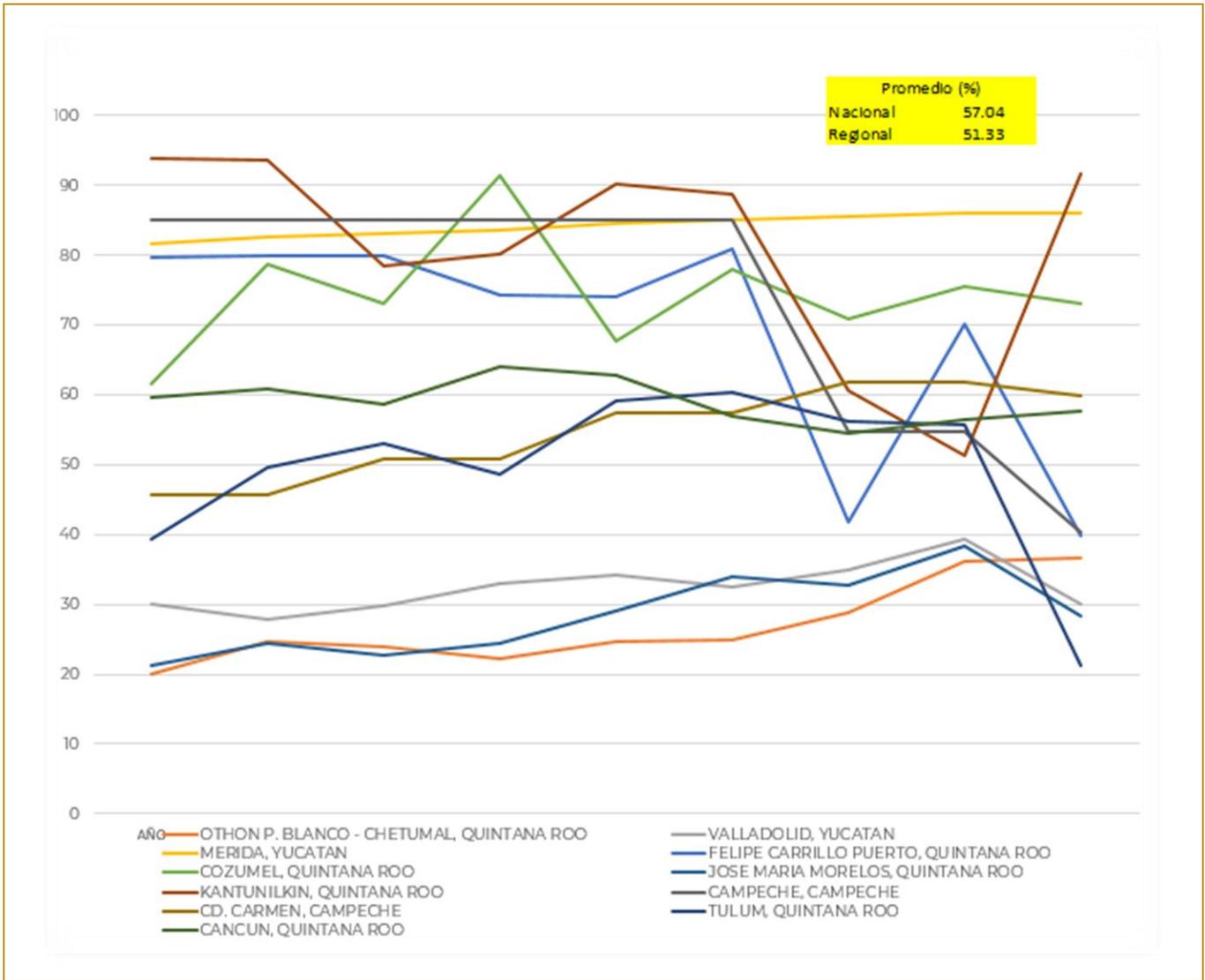
Este indicador tiene el propósito de evaluar los costos generales a través de la relación entre el costo y volumen producido ( $\$/m^3$ ). Mide los costos (Operación, Mantenimiento y Administración) entre el volumen anual de agua potable producido ( $m^3$ ). En este rubro los sistemas de la PY con un costo promedio regional de 5.64  $\$/m^3$  resulta inferior al promedio nacional de 6.8  $\$/m^3$  (Figura 54). Los sistemas con costos más altos (mayores a 8.1  $\$/m^3$ ) resultan ser Cozumel, Tulum y Cancún; mientras que con los costos más bajos (menores a 3.3  $\$/m^3$ ) se encuentran Chetumal, Mérida, Playa del Carmen, Campeche y Progreso.

### Micromedición

La micromedición (%) expresa la capacidad de medir el agua consumida por los usuarios y se mide como la cantidad de micromedidores funcionando entre la cantidad total de tomas registradas.

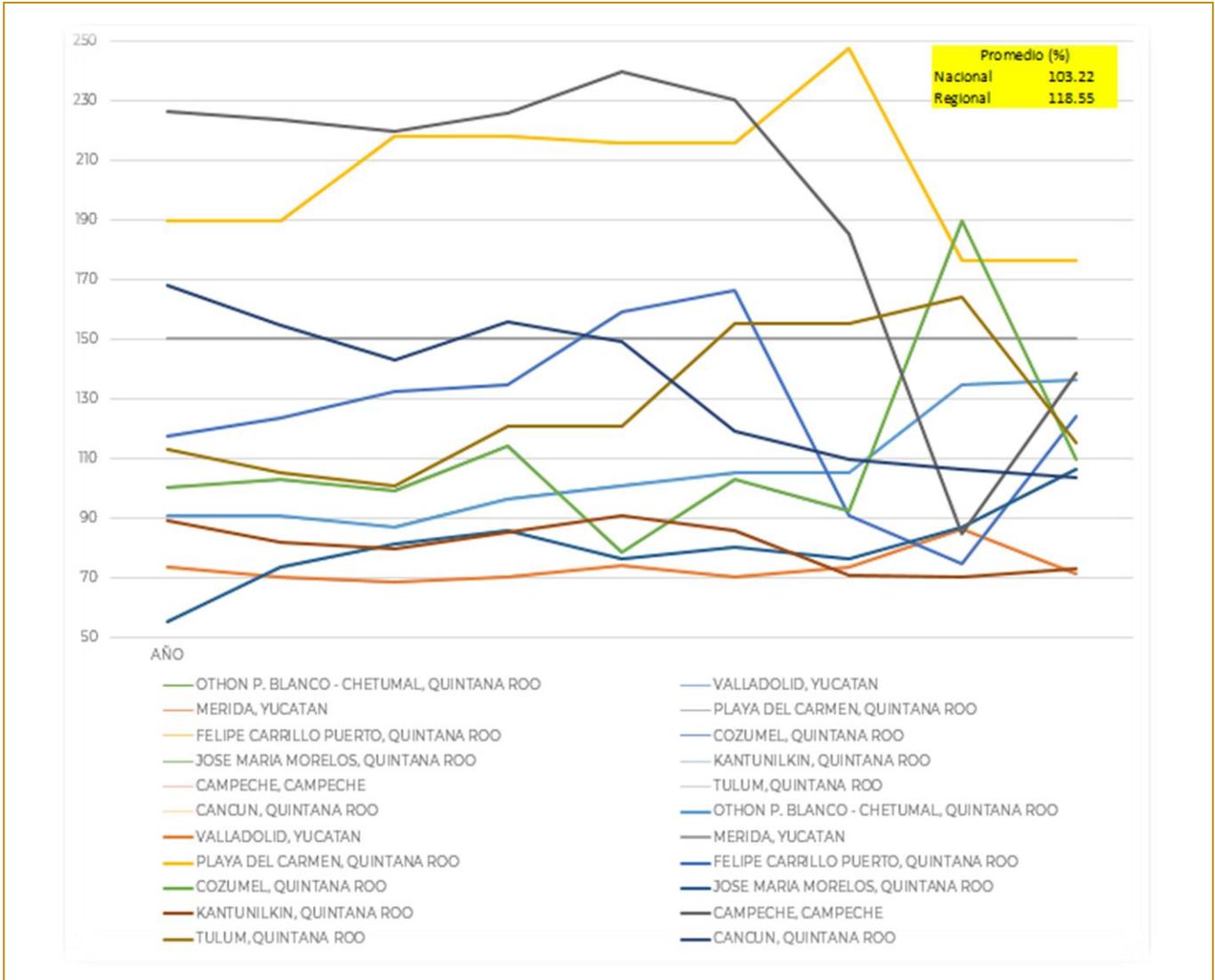
En este rubro los sistemas de la PY tienen un nivel promedio regional de micromedición del 50.77%, que resulta por debajo del promedio nacional del 61.73% (Figura 55). Los sistemas de la PY que cuentan con la mayor micromedición (por arriba del 87%) son Mérida, Playa del Carmen, Cozumel, Tulum y Cancún. En tanto que los sistemas con menores índices de micromedición (por abajo del 7%) son Felipe Carrillo Puerto, Jose María Morelos, Bacalar, Campeche y Progreso.

**Figura 52.** Eficiencia física (%), 2012 a 2017



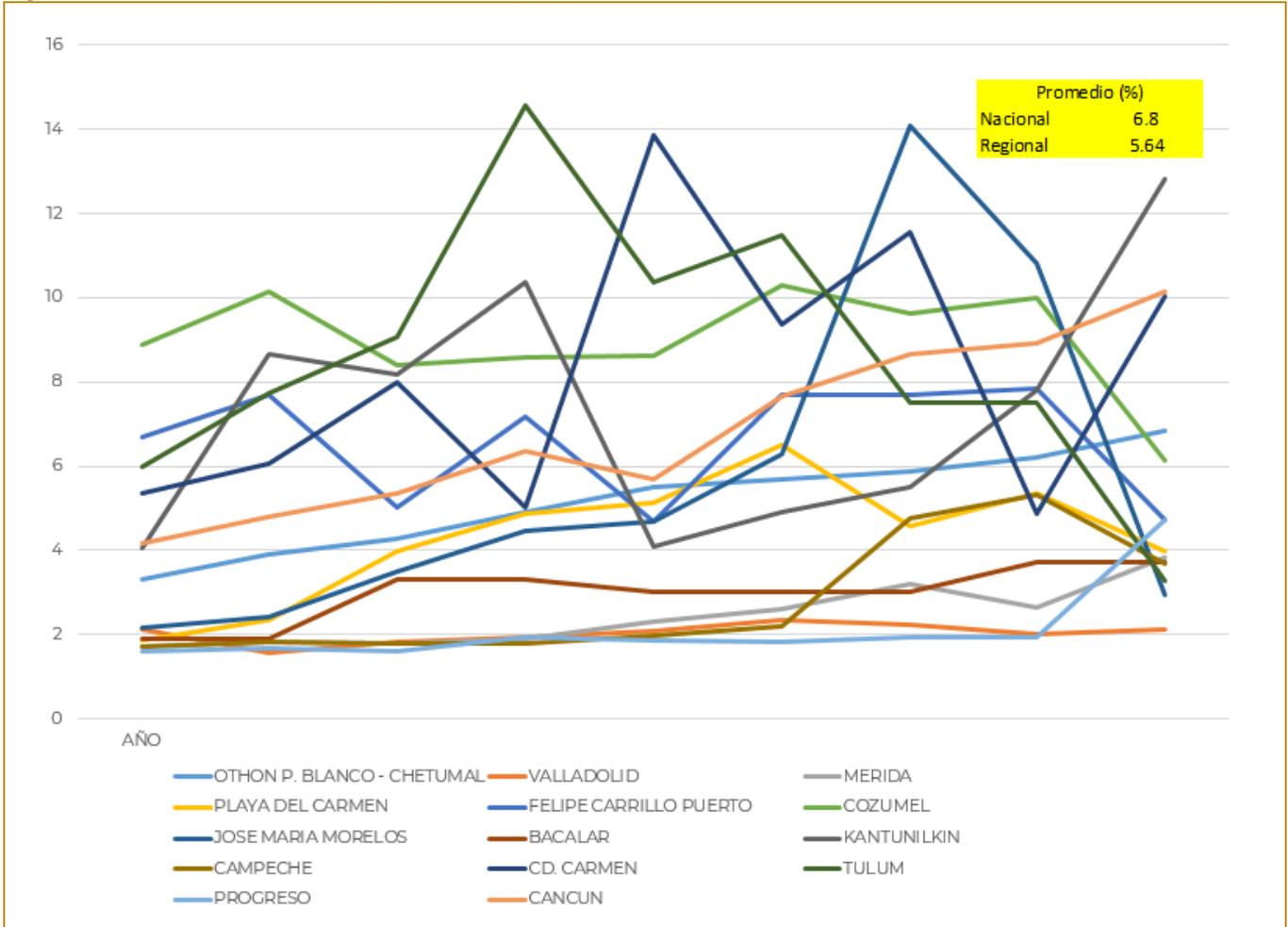
Fuente: IMTA, Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (PIGOO), 2002 - 2017

Figura 53. Consumo (l/hab/día), 2012 a 2017



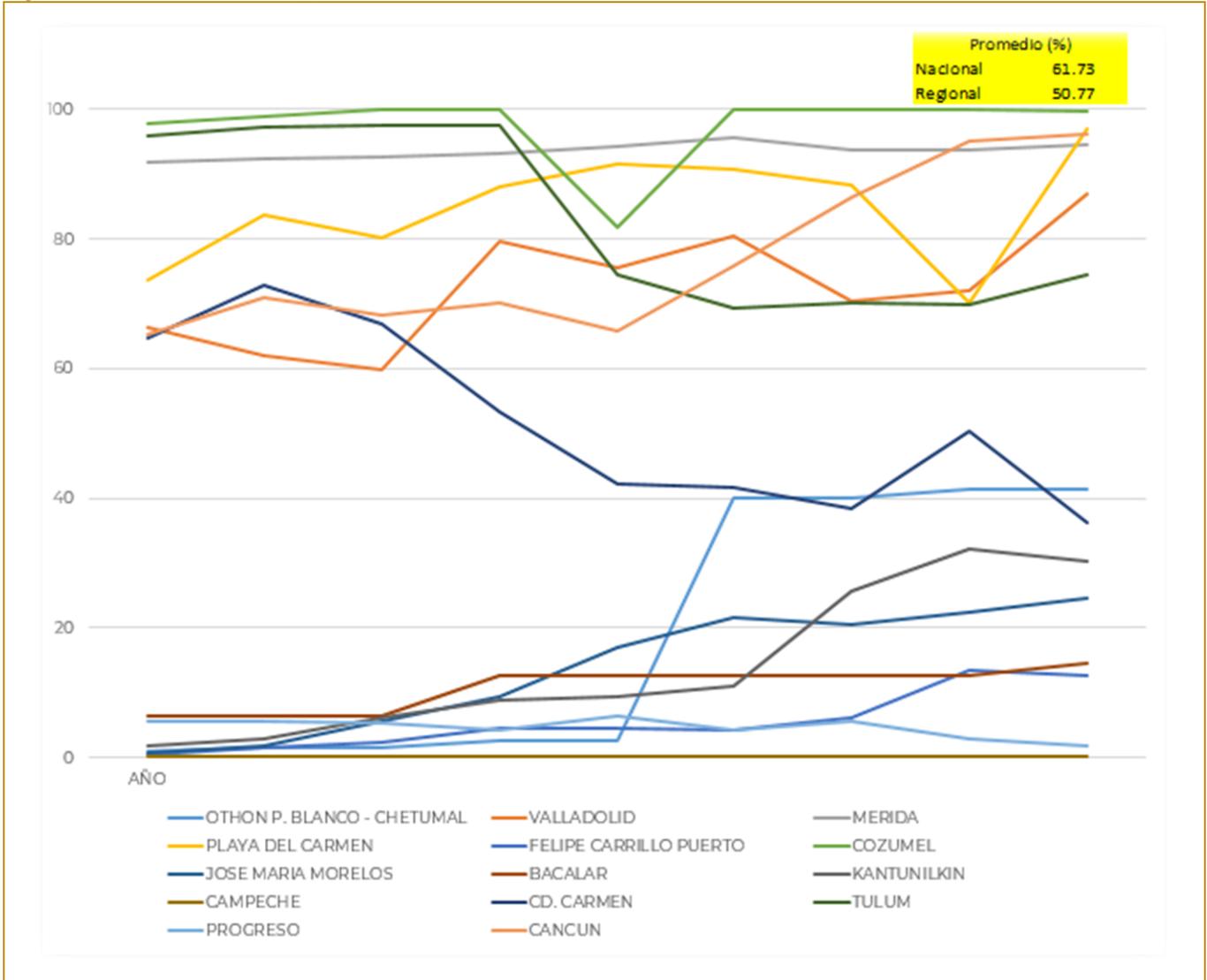
Fuente: IMTA, Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (PIGOO), 2002 - 2017

Figura 54. Costos entre volumen producido (\$/m<sup>3</sup>), 2012 a 2017



Fuente: IMTA, Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (PIGOO), 2002 - 2017

Figura 55. Micromedición (%), 2012 a 2017



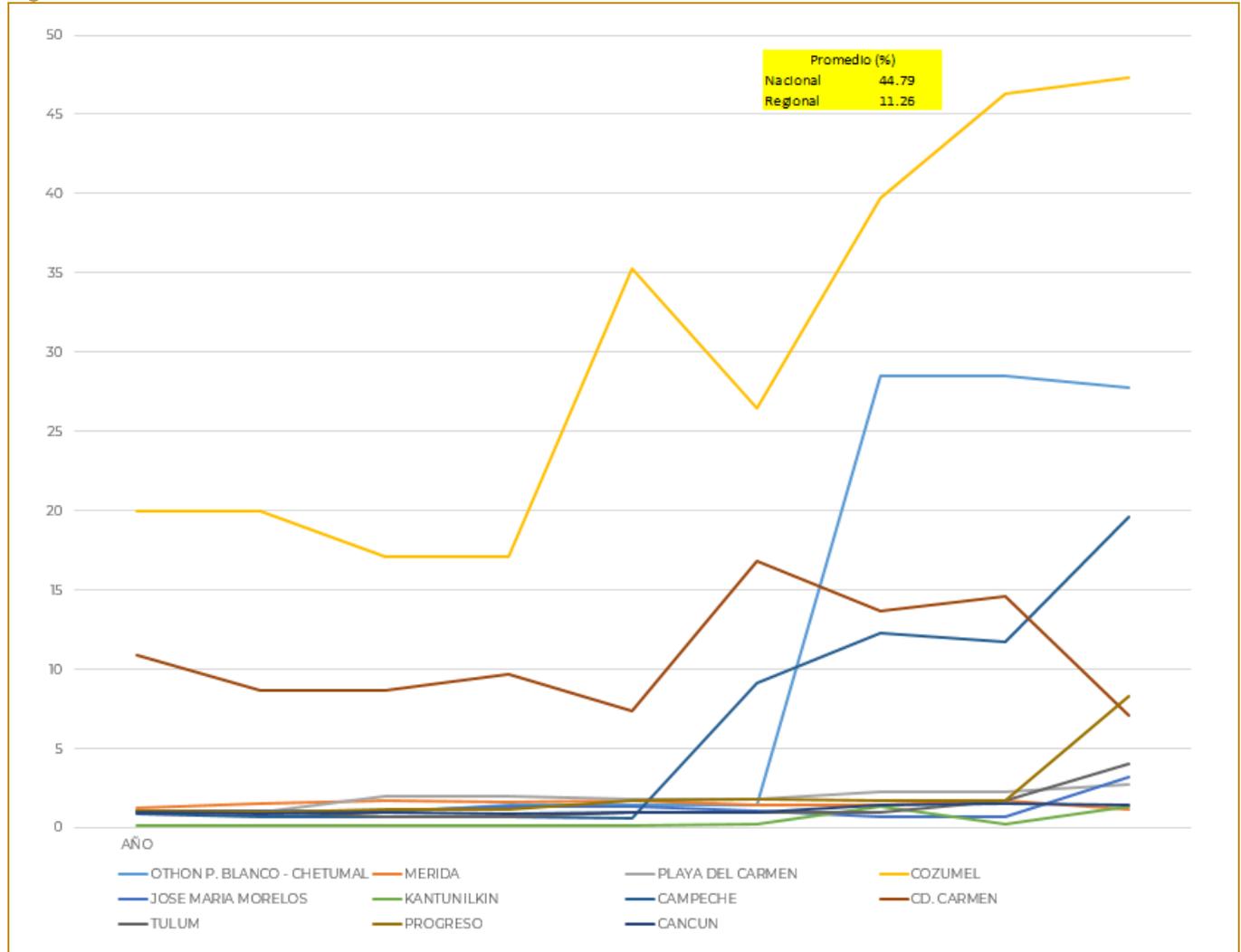
Fuente: IMTA, Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (PIGOO), 2002 - 2017

### 1.6.2.6 Relación Costo- Tarifa

Este indicador mide la relación entre la tarifa media domiciliar y el costo por volumen producido. Así se busca conocer cuál es la relación entre la venta del agua y el costo de producción.

En este rubro los sistemas de la PY cuentan con un promedio regional en la relación costo-tarifa de 11.26, muy por debajo del promedio nacional que se ubica en 44.79 (Figura 56). Los sistemas con la mejor relación (mayores a 15.1) resultan ser Cozumel, Chetumal y Campeche; mientras que el resto presentan relación costo-tarifa de 2.5.

**Figura 56.** Relación costo-tarifa, 2012 a 2017



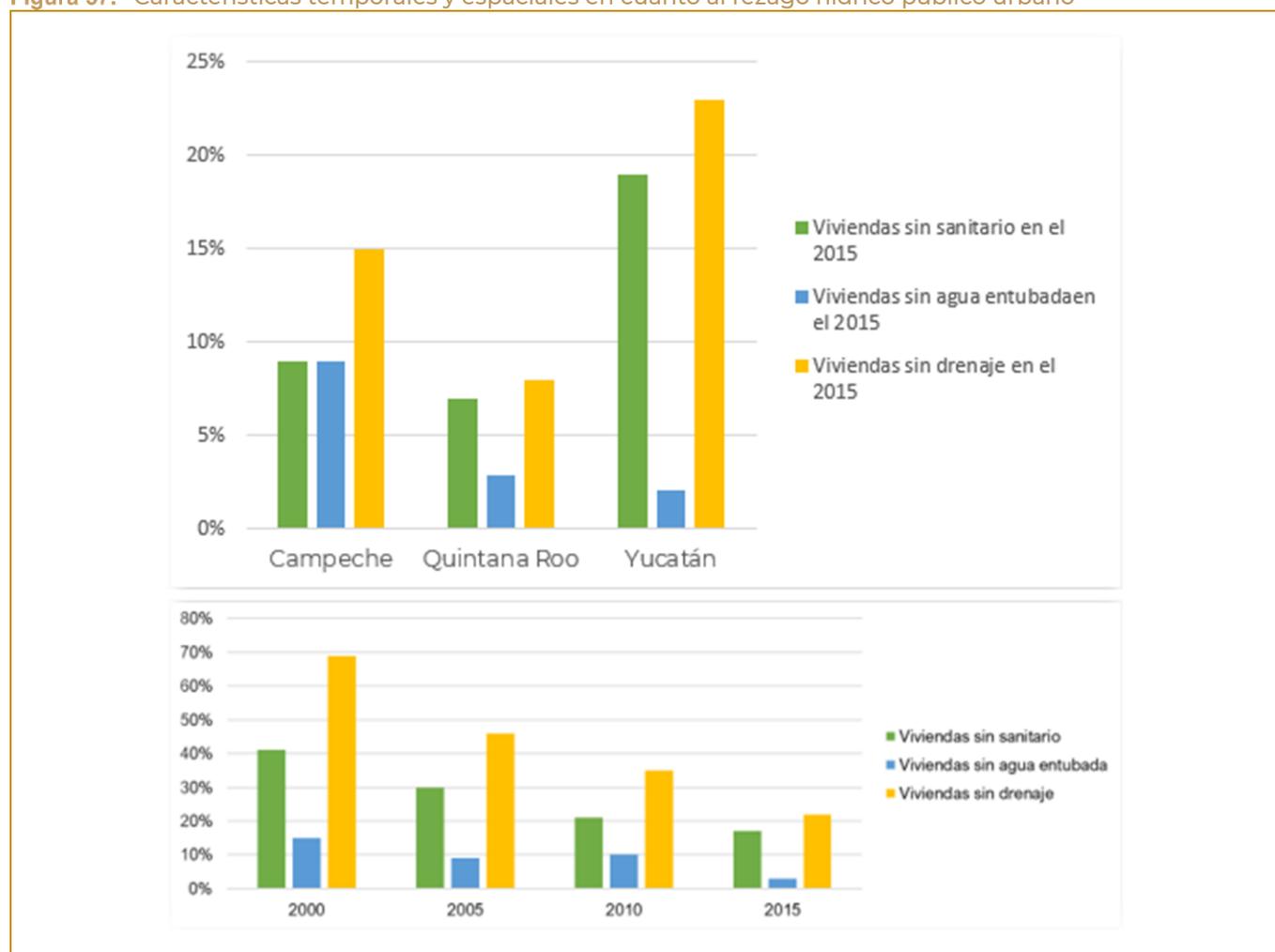
Fuente: IMTA, Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (PIGOO), 2002 - 2017

### 1.6.3 Rezago en los servicios de agua

Los principales rezagos sociales en materia de agua presentan una gradual disminución entre el 2000 y 2015: La proporción de viviendas sin drenaje pasó del 69% al 22%, siendo donde se presenta el mayor rezago en esta materia en 2015 (Figura 57). Otra disminución se presenta en el rubro de viviendas sin escusado, que van de 41% en 2000 al 17% en 2015. Nuevamente, Yucatán presenta el mayor rezago en 2015 con 19%. Por último, el número de viviendas sin agua entubada pasó del 15% en 2000 a 3% en 2015. En este caso, es Campeche el que mantiene el mayor rezago en esta materia.

Los organismos operadores muestran niveles de eficiencia inferiores al promedio nacional y consumos de agua superiores al nacional.

Figura 57. Características temporales y espaciales en cuanto al rezago hídrico público urbano



Nota: Gráfico superior datos para Campeche, Quintana Roo y Yucatán; Gráfico inferior datos para la PY.

Fuente: INEGI, Censo de Población (2000), Censo de Población (2005), Censo de Población (2010) y Encuesta Intercensal (2015); CONEVAL (2016).

En la Tabla 42 se observan los principales rezagos sociales en materia de condiciones sanitarias en la vivienda para cada una de las UP. En Campeche se observa que es en la UP CampN donde persiste un número importante de viviendas que no disponen de escusado o sanitario, seguido por la UP CampS, que además presenta los principales rezagos en materia de agua entubada de la red pública y de drenaje. En Quintana Roo, los principales rezagos se encuentran en la UP QRooC, en donde se presenta falta de escusados o sanitarios, agua potable entubada y drenaje. Resalta el que la UP QRooN presenta rezagos en materia de agua potable en red pública.

Para Yucatán, en las tres UP YucN, YucO y YucS, los rezagos en materia de sanitario o escusado y drenaje son las más altas a nivel peninsular. Sin embargo, en materia de agua entubada en red pública y drenaje es la UP YucO quien presenta el mayor rezago.

**Tabla 42.** Rezago social en materia de condiciones sanitarias en la vivienda en Campeche, Quintana Roo y Yucatán.

| Entidad / Unidad de Planeación | Promedio de viviendas que no disponen de escusado o sanitario |      |      |      | Promedio de viviendas que no disponen de agua entubada de la red pública |      |      |      | Promedio de viviendas que no disponen de drenaje |      |      |      |
|--------------------------------|---|------|------|------|--|------|------|------|--|------|------|------|
|                                | 2000  | 2005 | 2010 | 2015 | 2000   | 2005 | 2010 | 2015 | 2000   | 2005 | 2010 | 2015 |
| <b>Campeche</b>                |   |      |      |      |  |      |      |      |  |      |      |      |
| CampN                          | 38.8  | 27.7 | 18.0 | 12.6 | 16.6   | 12.0 | 12.2 | 2.9  | 56.9   | 40.4 | 28.5 | 17.9 |
| CampC                          | 18.5  | 11.3 | 8.8  | 4.7  | 30.8   | 21.2 | 23.7 | 12.8 | 50.2   | 19.4 | 19.4 | 8.3  |
| CampS                          | 28.0  | 14.8 | 11.1 | 6.3  | 78.5   | 69.7 | 49.5 | 32.1 | 86.2   | 64.4 | 50.4 | 26.3 |
| <b>Quintana Roo</b>            |   |      |      |      |  |      |      |      |  |      |      |      |
| QRooN                          | 17.4  | 17.9 | 6.5  | 3.9  | 16.4   | 6.2  | 10.7 | 3.6  | 20.2   | 9.4  | 7.1  | 4.5  |
| QRooC                          | 47.7  | 37.9 | 27.7 | 17.7 | 15.0   | 8.0  | 8.6  | 3.1  | 67.2   | 47.2 | 34.3 | 20.8 |
| QRooS                          | 10.6  | 8.8  | 3.4  | 3.4  | 7.7  | 4.6  | 5.1  | 2.1  | 24.9   | 8.1  | 5.6  | 3.9  |
| <b>Yucatán</b>                 |   |      |      |      |  |      |      |      |  |      |      |      |
| YucN                           | 44.7  | 30.9 | 19.7 | 17.9 | 15.0   | 9.6  | 10.9 | 1.9  | 71.9   | 46.3 | 35.7 | 22.2 |
| YucO                           | 35.5  | 32.2 | 26.4 | 22.8 | 12.8   | 6.6  | 6.5  | 2.3  | 77.2   | 58.0 | 41.8 | 27.9 |
| YucS                           | 52.5  | 33.1 | 24.6 | 18.4 | 10.2   | 5.7  | 6.0  | 2.1  | 70.1   | 47.2 | 35.6 | 21.2 |

**Fuente:** INEGI, Censo de Población (2000), Conteo de Población (2005), Censo de Población (2010) y Encuesta Intercensal (2015); CONEVAL (2016).

En 2020, el número total de viviendas en la PY fue de 1,865,581, de las cuales 1,393,096 están habitadas, es decir el 74.67%, quedando un 25.32% como un pasivo urbano (INEGI, 2020).

Sobresale que es en Campeche en donde se presenta la mayor cantidad de viviendas que no disponen de agua entubada, particularmente en la UP CampC con 6,276 viviendas. Una situación similar se presenta en la UP QRooN con 6,647 viviendas, seguido por la UP YucN, con 5,059 viviendas (Tabla 43).

En este punto sobresale que la UP con el mayor rezago en materia de agua entubada es la UP CampS, con más del 16% de las viviendas, seguido por la UP CampC y la UP QRooC.

**Tabla 43.** Total de viviendas con servicio de agua entubada y abastecimiento de agua del servicio público por UP.

| Entidad / Unidad de Planeación | Total de viviendas | Total de viviendas habitadas | Viviendas que disponen de agua entubada | Viviendas que disponen de agua entubada y se abastecen del servicio público de agua | Viviendas que no disponen de agua entubada |
|--------------------------------|--------------------|------------------------------|---|---|--|
| <b>Campeche</b>                | 316 525            | 247 703                      | 244 634                                 | 219 644   | 10 069                                     |
| CampN                          | 174 348            | 139 961                      | 141 210                                 | 133 636   | 2 042                                      |
| CampC                          | 131 834            | 99 717                       | 97 155                                  | 81 884  | 6 276                                      |
| CampS                          | 10 343             | 8 025                        | 6 269                                   | 4 124   | 1 751                                      |
| <b>Quintana Roo</b>            | 711 722            | 512 195                      | 558 100                                 | 514 593   | 9 234                                      |
| QRooN                          | 568 472            | 400 547                      | 447 672                                 | 410 770   | 6 647                                      |
| QRooC                          | 41 256             | 31 214                       | 30 750                                  | 29 499  | 971  |
| QRooS                          | 101 994            | 80 434                       | 79 678                                  | 74 324  | 1 616                                      |
| <b>Yucatán</b>                 | 837 334            | 633 198                      | 647 947                                 | 618 065   | 7 800                                      |
| YucN                           | 638 521            | 482 335                      | 499 549                                 | 474 241   | 5 059                                      |
| YucO                           | 121 585            | 90 700                       | 89 055                                  | 86 015  | 1 679                                      |
| YucS                           | 77 228             | 60 163                       | 59 343                                  | 57 809  | 1 062                                      |

Fuente: INEGI (2020).

<https://www.inegi.org.mx/app/scitel/Default?ev=9>

En la Tabla 44 se muestra el número de viviendas por UP que cuentan con sistemas de almacenaje de agua (tinacos y cisternas) y modo de disposición del agua residual. Es notorio como se concentran las viviendas con estos servicios en las UP vinculadas a las capitales o principales centros urbanos de la Península (Mérida, Cancún, Campeche).

**Tabla 44.** Total de viviendas que cuentan con tinaco, cisterna, sanitario y letrina por UP.

| Entidad / Unidad de Planeación | Viviendas con tinaco | Viviendas con cisterna | Viviendas con sanitario o escusado | Viviendas con letrina |
|--------------------------------|----------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| <b>Campeche</b>                | 185 402              | 52 719                 | 241 171                            | 5 590                 |
| CampN                          | 108 256              | 16 485                 | 135 140                            | 2 987                 |
| CampC                          | 70 907               | 32 067                 | 99 574                             | 1 449                 |
| CampS                          | 6 239                | 4 167                  | 6 457                              | 1 154                 |
| <b>Quintana Roo</b>            | 520 178              | 143 258                | 557 821                            | 2 387                 |
| QRooN                          | 425 308              | 115 235                | 451 394                            | 734                   |
| QRooC                          | 25 400               | 2 815                  | 27 606                             | 415                   |
| QRooS                          | 69 470               | 25 208                 | 78 821                             | 1 238                 |
| <b>Yucatán</b>                 | 521 874              | 110 476                | 609 779                            | 4 584                 |
| YucN                           | 419 008              | 97 189                 | 481 055                            | 2 733                 |
| YucO                           | 61 415               | 6 497                  | 76 234                             | 944                   |
| YucS                           | 41 451               | 6 790                  | 52 490                             | 907                   |

Fuente: INEGI (2020).

<https://www.inegi.org.mx/app/scitel/Default?ev=9>

En la Tabla 45 se observa que para el 2020 las viviendas con drenaje ascienden a 1,403,546, de los cuales Yucatán y Quintana Roo tienen la mayor concentración de viviendas con drenaje, particularmente en la UP QRooN, con 449,511 viviendas. En el caso de Yucatán, el valor es el más alto a nivel peninsular, siendo la UP YucN la que concentra 477,906 viviendas. En este punto es importante mencionar que las UP YucO y YucS, seguido por QRooC y CampS son quienes presentan los principales rezagos en materia de drenaje, con más del 10 % de las viviendas totales.

**Tabla 45.** Total de viviendas que cuentan con drenaje y energía eléctrica por UP.

| Entidad / Unidad de planeación | Viviendas con drenaje | Viviendas que no cuentan con drenaje | Viviendas con energía eléctrica, agua entubada y drenaje | Viviendas que no cuentan con energía eléctrica, agua entubada ni drenaje | Viviendas particulares que disponen de drenaje y sanitario con admisión de agua |
|--------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|--|--|---|
| <b>Campeche</b>                | 241 625               | 13 046                               | 232 724  | 882  | 239 048   |
| CampN                          | 135 587               | 7 656                                | 133 622  | 225  | 134 018   |
| CampC                          | 99 268                | 4 140                                | 93 698   | 593  | 98 696  |
| CampS                          | 6 770                 | 1 250                                | 5 404  | 64   | 6 334   |
| <b>Quintana Roo</b>            | 556 294               | 10 860                               | 546 945  | 973  | 554 645   |
| QRooN                          | 449 511               | 4 630                                | 442 545  | 462  | 448 915   |
| QRooC                          | 27 408                | 4 313                                | 26 846   | 278  | 27 086  |
| QRooS                          | 79 375                | 1 917                                | 77 554   | 233  | 78 644  |
| <b>Yucatán</b>                 | 605 627               | 50 040                               | 600 074  | 1,323  | 602 312   |
| YucN                           | 477 906               | 26 625                               | 474 281  | 625  | 476 024   |
| YucO                           | 75 225                | 15 507                               | 74 007   | 473  | 74 411  |
| YucS                           | 52 496                | 7 908                                | 51 786   | 225  | 51 877  |

Fuente: INEGI (2020).

En Campeche el rezago social en infraestructura es alto en el Municipio de Candelaria (UP CampC) y el Municipio de Calakmul (UP CampS), solamente el caso de la Ciudad Capital Campeche (CampN) es quien presenta un rezago social muy bajo, con el 55 % de la población en la UP CampN (Tabla 46).

**Tabla 46.** Rezago social en Campeche por Unidad de Planeación.

| Grado de rezago social | Población al 2015 | % respecto al total de la Unidad de Planeación |
|------------------------|-------------------|--|
| <b>CampC</b>           |                   |  |
| <b>Alto</b>            | <b>43 879</b>     | <b>12%</b>                                     |
| Candelaria             | 43 879            |  |
| <b>Bajo</b>            | <b>315 827</b>    | <b>88%</b>                                     |
| Carmen                 | 248 303           |  |
| Escárcega              | 58 553            |  |
| Palizada               | 8 971             |  |
| <b>Total CampC</b>     | <b>359 706</b>    |  |
| <b>CampN</b>           |                   |  |
| <b>Medio</b>           | <b>40 100</b>     | <b>8%</b>                                      |
| Hopelchén              | 40 100            |  |
| <b>Bajo</b>            | <b>188 676</b>    | <b>37%</b>                                     |
| Calkiní                | 56 537            |  |
| Champotón              | 90 244            |  |
| Hecelchakán            | 31 230            |  |
| Tenabo                 | 10 665            |  |
| <b>Muy bajo</b>        | <b>283 025</b>    | <b>55%</b>                                     |
| Campeche               | 283 025           |  |
| <b>Total CampN</b>     | <b>511 801</b>    |  |
| <b>CampS</b>           |                   |  |
| <b>Alto</b>            | <b>284 24</b>     |  |
| Calakmul               | 28 424            |  |
| <b>Total general</b>   | <b>28 424</b>     |  |

Fuente: INEGI (2020).

<https://www.inegi.org.mx/app/scitel/Default?ev=9>

En el caso de Quintana Roo, son 4 los Municipios que presentan rezagos medios, Lázaro Cárdenas (UP QRooN), Felipe Carrillo Puerto, José María Morelos (UP QRooC) y Bacalar (UP QRooS). Los más bajos rezagos están en los Municipios de Benito Juárez, Cozumel, Solidaridad (UP QRooN), y Othón P. Blanco (QRooS), los cuales tienen la mayor proporción de población por cada UP (Tabla 47).

**Tabla 47.** Rezago social en Quintana Roo por Unidad de Planeación.

| Grado de rezago social | Población al 2015 | % respecto al total de la Unidad de Planeación |
|------------------------|-------------------|--|
| <b>QRooN</b>           |                   |  |
| <b>Medio</b>           | <b>27 243</b>     | <b>0.02</b>                                    |
| Lázaro Cárdenas        | 27 243            |  |
| <b>Bajo</b>            | <b>52 209</b>     | <b>0.05</b>                                    |
| Isla Mujeres           | 19 495            |  |
| Tulum                  | 32 714            |  |
| <b>Muy bajo</b>        | <b>1 039 675</b>  | <b>0.93</b>                                    |
| Benito Juárez          | 743 626           |  |
| Cozumel                | 86 415            |  |
| Solidaridad            | 209 634           |  |
| <b>Total QRooN</b>     | <b>1 119 127</b>  |  |
| <b>QRooC</b>           |                   |  |
| <b>Medio</b>           | <b>119 244</b>    |  |
| Felipe Carrillo Puerto | 81 742            |  |
| José María Morelos     | 37 502            |  |
| <b>Total QRooC</b>     | <b>119 244</b>    |  |
| <b>QRooS</b>           |                   |  |
| <b>Medio</b>           | <b>39 111</b>     | <b>0.15</b>                                    |
| Bacalar                | 39 111            |  |
| <b>Muy bajo</b>        | <b>224 080</b>    | <b>0.85</b>                                    |
| Othón P. Blanco        | 224 080           |  |
| <b>Total QRooS</b>     | <b>263 191</b>    |  |

Fuente: INEGI (2020).

Por último, en Yucatán, el grado de rezago social se presenta como muy bajo en la UP YucO con 210,758 y en YucN con 962,626 habitantes, relacionado principalmente con el municipio de Mérida (Tabla 48).

**Tabla 48.** Rezago social en Yucatán por Unidad de Planeación.

| Grado de rezago social       | Población al 2015 | % respecto al total de la Unidad de Planeación |
|------------------------------|-------------------|--|
| <b>Norte Yucatán</b>         |                   |  |
| Medio                        | 188 558           | 12%  |
| Bajo                         | 380 887           | 25%  |
| Muy bajo                     | 962 626           | 63%  |
| <b>Total Norte Yucatán</b>   | <b>1 532 071</b>  |  |
| <b>Oriente Yucatán</b>       |                   |  |
| Bajo                         | 121 993           | 36%  |
| Medio                        | 5 447             | 2%   |
| Muy bajo                     | 210 758           | 62%  |
| <b>Total Oriente Yucatán</b> | <b>338 198</b>    |  |
| <b>Sur Yucatán</b>           |                   |  |
| Medio                        | 58 240            | 26%  |
| Bajo                         | 16 475            | 7%   |
| Muy bajo                     | 152 191           | 67%  |
| <b>Total Sur Yucatán</b>     | <b>226 906</b>    |  |

Fuente: INEGI (2020).

#### 1.6.4 Fondo de Aportaciones a la Infraestructura Social

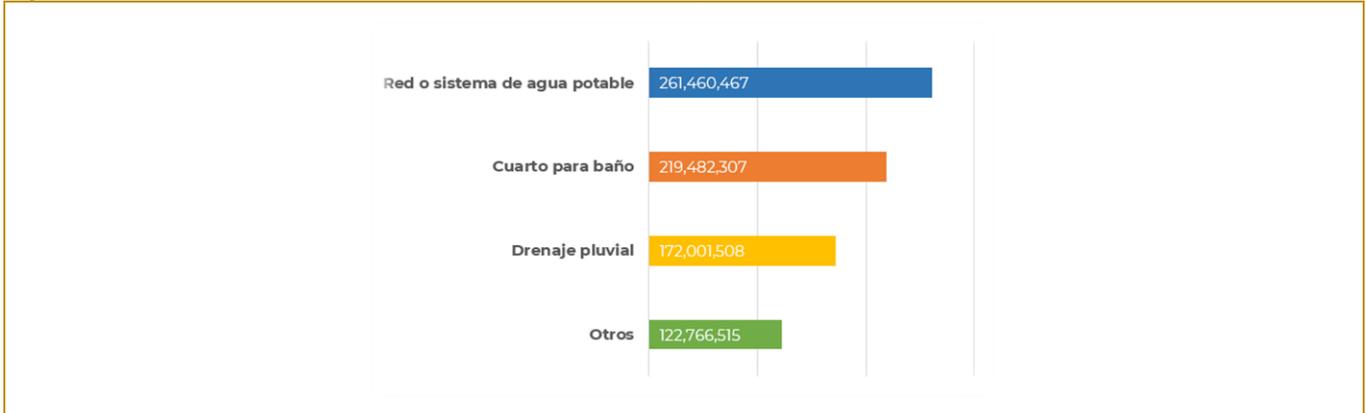
El Fondo de Aportaciones a la Infraestructura Social (FAIS) ha destinado en la PY cerca de 4 mil 887 millones de pesos de 2014 a 2019 en rubros relacionados con Agua y Saneamiento y obras para la provisión y preservación de la calidad del agua. A continuación, se presentan las cifras por cada una de las unidades de planeación.

El 49.5% de la inversión en obras para la provisión y protección de la calidad de agua se realiza en la UP CampN (Tabla 49, Figura 58, Figura 59 y Figura 60).

**Tabla 49.** Inversión FAIS en obras referentes a materia de agua en Campeche.

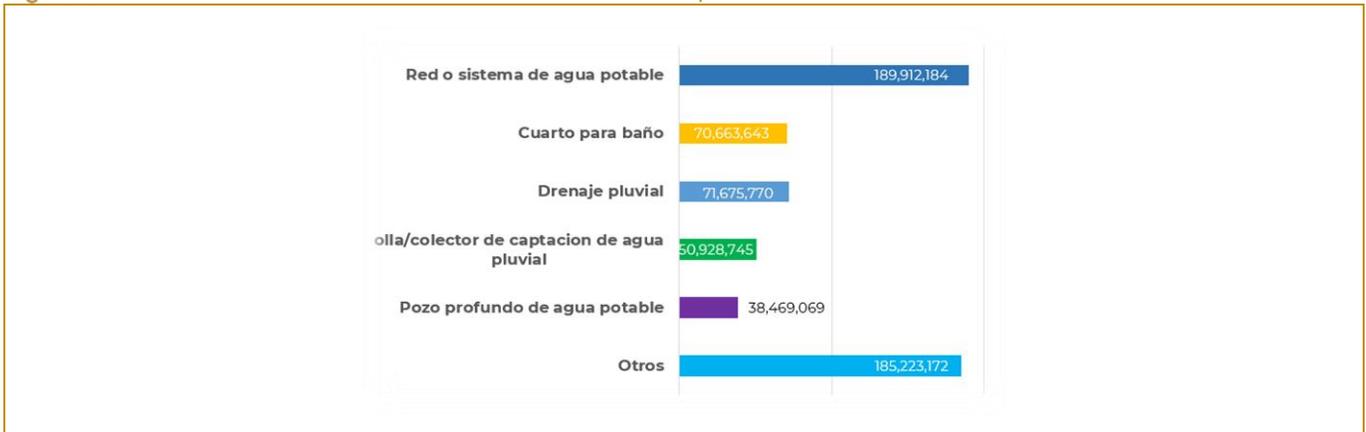
| Unidad de planeación | Monto (\$)           | %    |
|----------------------|----------------------|------|
| CampN                | 775 710 797          | 49.5 |
| CampC                | 606 872 583          | 38.7 |
| CampS                | 184 046 487          | 11.7 |
| <b>Total</b>         | <b>1 566 629 867</b> |      |

Fuente: Secretaría del Bienestar, información de las matrices de inversión social (MIDS) (2004-2019).

**Figura 58.** Distribución de la inversión FAIS en la UP CampN


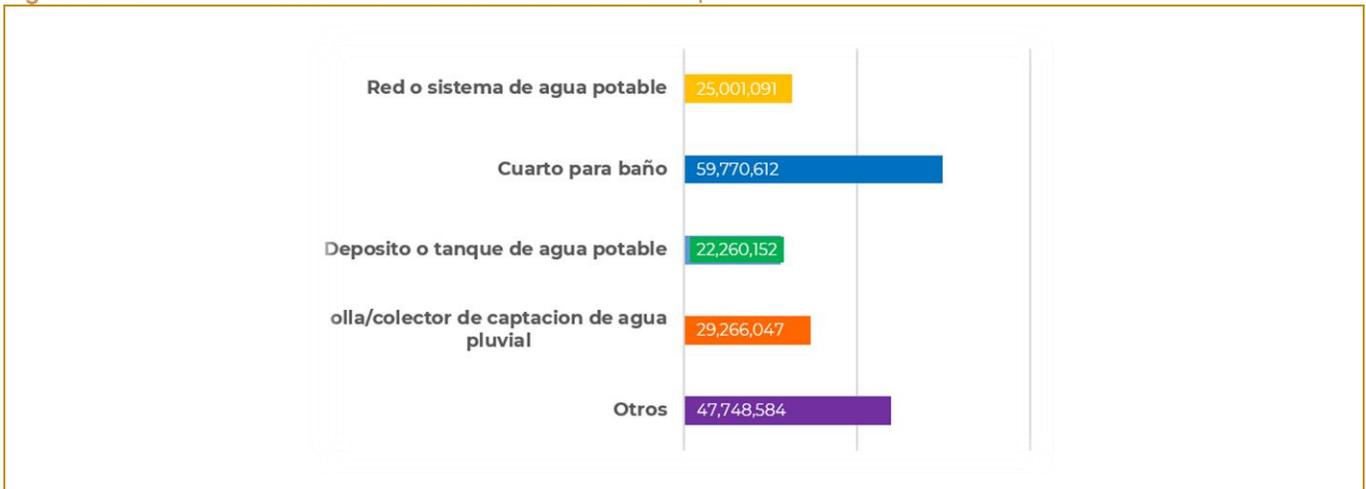
**Nota:** Otros: se refiere a líneas de conducción, sanitarios secos, letrinas, infraestructura de riego, etc.

**Fuente:** Secretaría del Bienestar, información de las matrices de inversión social (MIDS) 2004-2019.

**Figura 59.** Distribución de la inversión FAIS en la UP CampC


**Nota:** Otros: se refiere a líneas de conducción, sanitarios secos, letrinas, infraestructura de riego, etc.

**Fuente:** Secretaría del Bienestar, información de las matrices de inversión social (MIDS) 2004-2019.

**Figura 60.** Distribución de la inversión FAIS en la UP CampS


**Nota:** Otros: se refiere a líneas de conducción, sanitarios secos, letrinas, infraestructura de riego, etc.

**Fuente:** Secretaría del Bienestar, información de las matrices de inversión social (MIDS) 2004-2019.

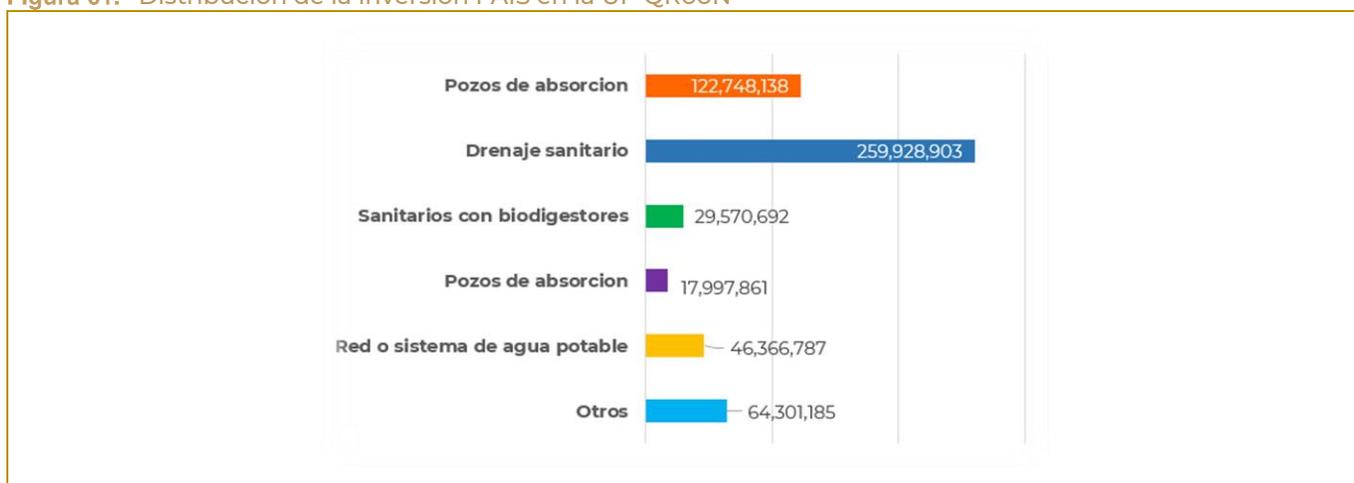
La UP QRo0N concentra el 45 % de los recursos en materia de agua y saneamiento (Tabla 50, Figura 61, Figura 62 y Figura 63).

**Tabla 50.** Inversión FAIS en obras referentes a materia de agua en Quintana Roo.

| Unidad de planeación | Monto (\$)           | %  |
|----------------------|----------------------|----|
| QR00N                | 540 913 566          | 45 |
| QR00C                | 417 201 631          | 34 |
| QR00S                | 252 678 726          | 21 |
| <b>Total</b>         | <b>1 210 793 923</b> |    |

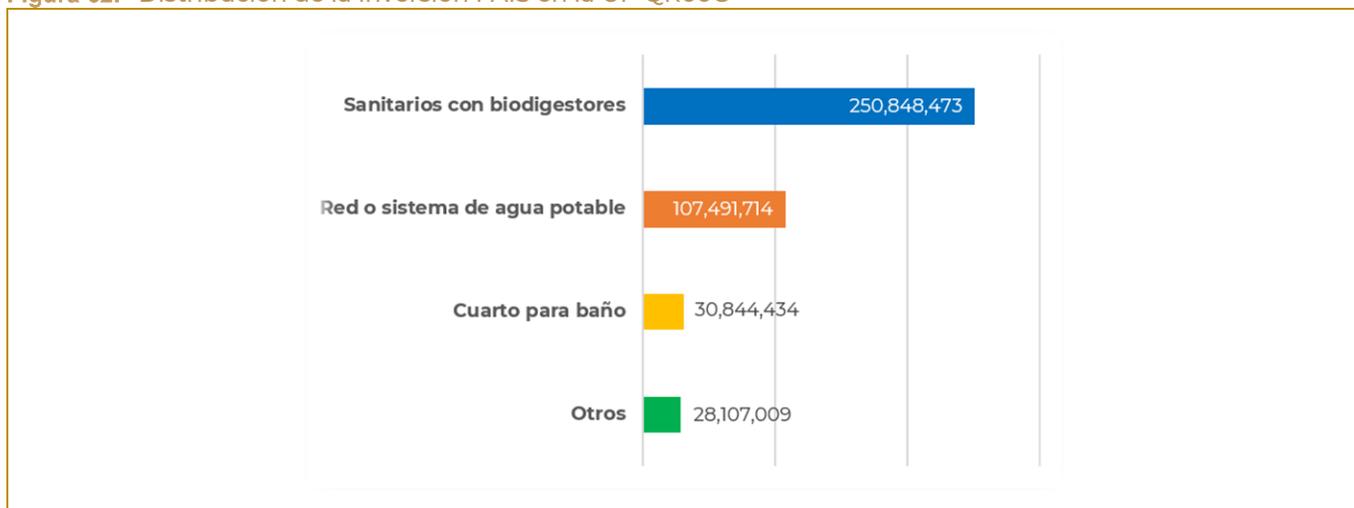
Fuente: Secretaría del Bienestar, información de las matrices de inversión social (MIDS) (2004-2019).

**Figura 61.** Distribución de la inversión FAIS en la UP QR00N

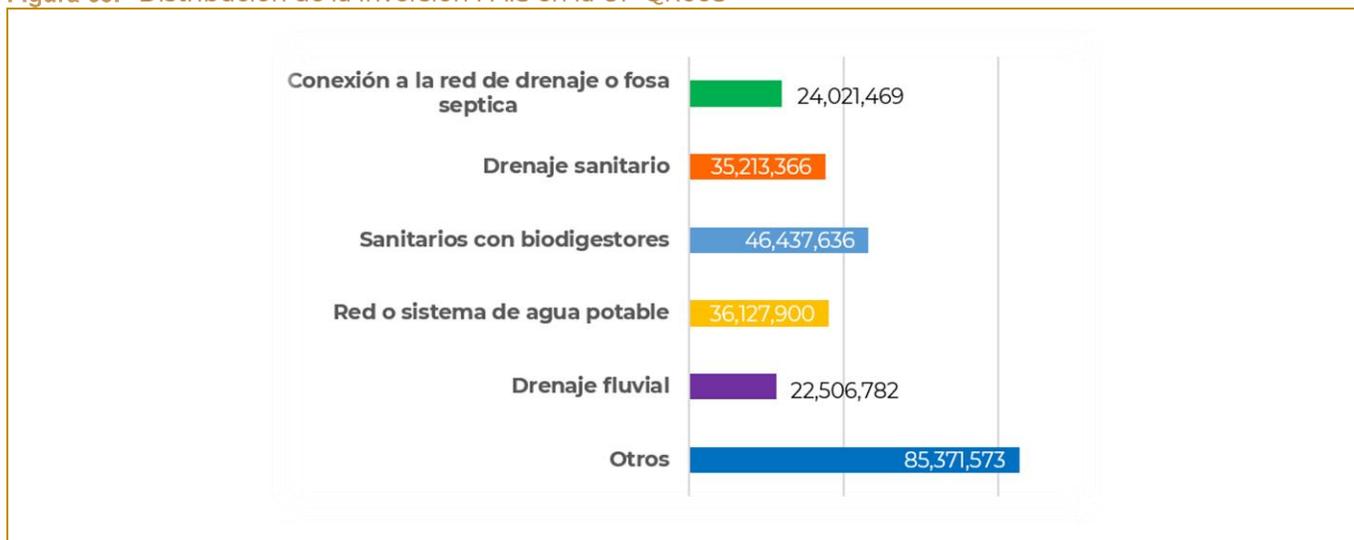


Nota: Otros: se refiere a líneas de conducción, sanitarios secos, letrinas, infraestructura de riego, etc.  
 Fuente: Secretaría del Bienestar, información de las matrices de inversión social (MIDS) (2004-2019).

**Figura 62.** Distribución de la inversión FAIS en la UP QR00C



Nota: Otros: se refiere a líneas de conducción, sanitarios secos, letrinas, infraestructura de riego, etc.  
 Fuente: Secretaría del Bienestar, información de las matrices de inversión social (MIDS) (2004-2019).

**Figura 63.** Distribución de la inversión FAIS en la UP QRooS


**Nota:** Otros: se refiere a líneas de conducción, sanitarios secos, letrinas, infraestructura de riego, etc.

**Fuente:** Secretaría del Bienestar, información de las matrices de inversión social (MIDS) (2004-2019).

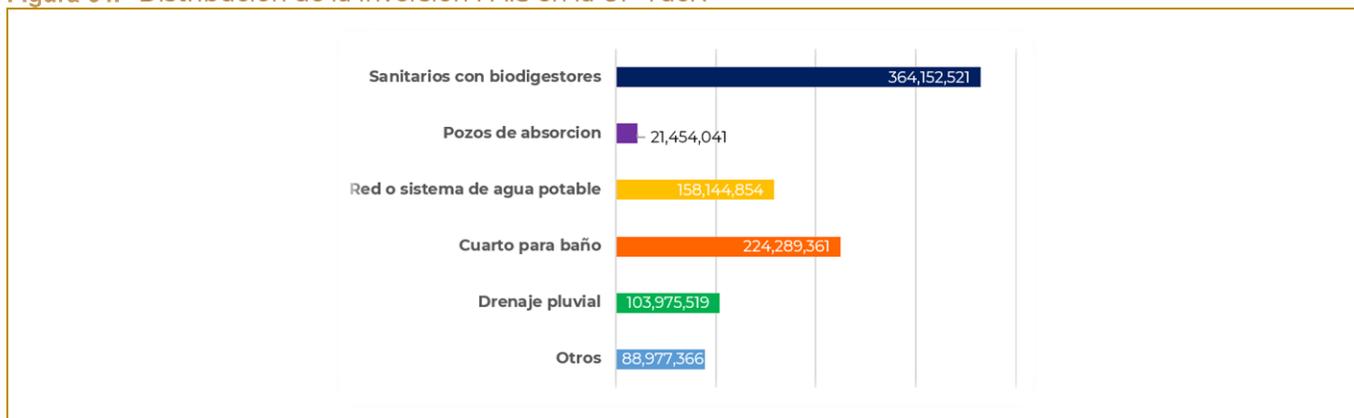
En Yucatán, la inversión en agua y saneamiento se ha realizado en un 46% en la UP YucN (Tabla 51, Figura 64, Figura 65 y Figura 66).

**Tabla 51.** Inversión FAIS en obras referentes a materia de agua en Yucatán.

| Unidad de planeación | Monto (\$)           | %  |
|----------------------|----------------------|----|
| YucN                 | 960 993 662          | 46 |
| YucO                 | 732 746 420          | 36 |
| YucS                 | 416 026 496          | 20 |
| <b>Total general</b> | <b>2 109 766 577</b> |    |

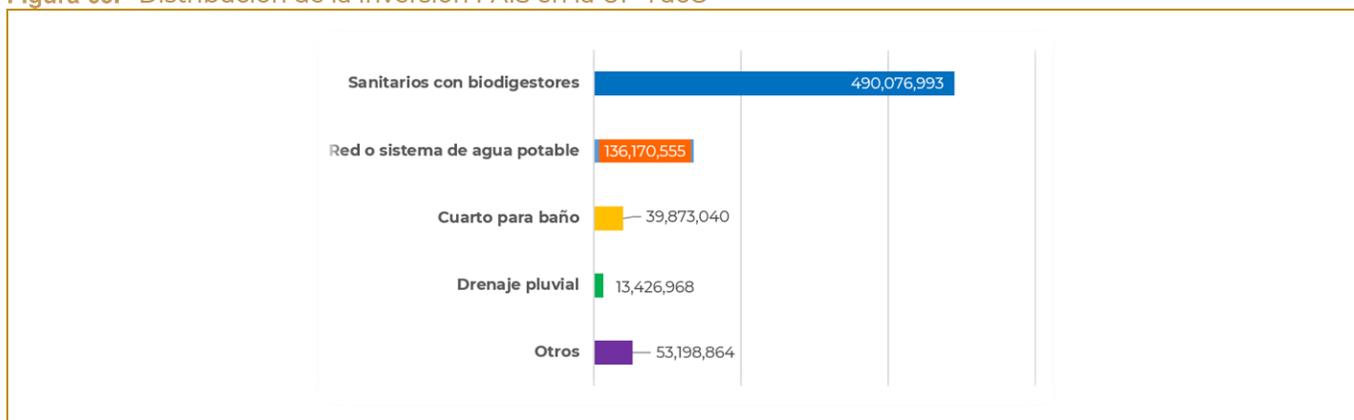
**Fuente:** Secretaría del Bienestar, información de las matrices de inversión social (MIDS) (2004-2019).

Como se observa, existen inversiones importantes en abatir el rezago en saneamiento y redes de agua potable en los últimos años, seguido por cuartos para baños y “otros”, que se refieren a líneas de conducción, sanitarios secos, letrinas, infraestructura de riego, entre otros. Es notorio que en el caso de Quintana Roo grandes esfuerzos se realizan en drenaje sanitario y los pozos de absorción para la UP QRooN y sanitarios con biodigestores también en el Estado de Yucatán principalmente.

**Figura 64.** Distribución de la inversión FAIS en la UP YucN


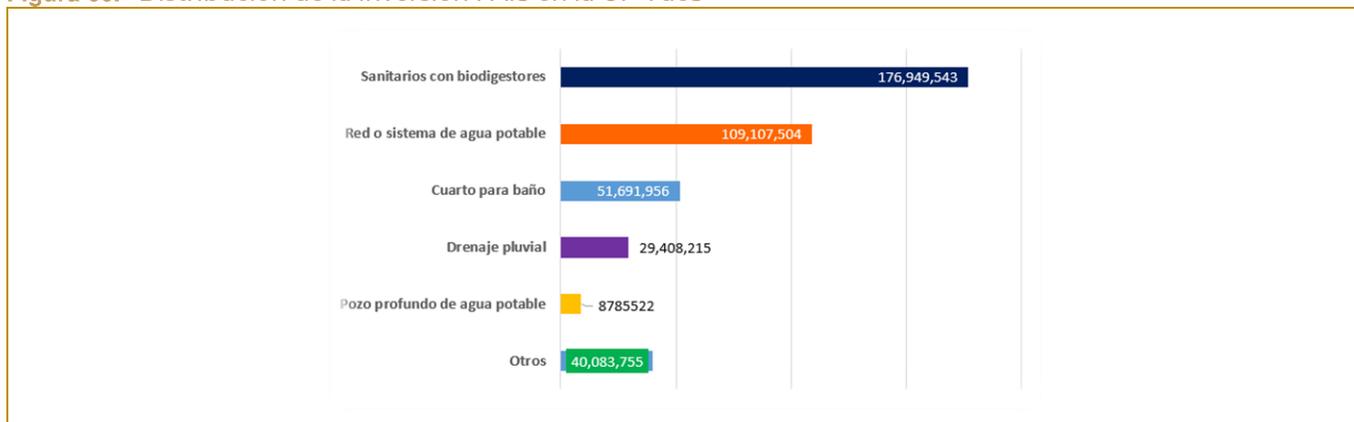
**Nota:** Otros: se refiere a líneas de conducción, sanitarios secos, letrinas, infraestructura de riego, etc.

**Fuente:** Secretaría del Bienestar, información de las matrices de inversión social (MIDS) (2004-2019).

**Figura 65.** Distribución de la inversión FAIS en la UP YucO


**Nota:** Otros: se refiere a líneas de conducción, sanitarios secos, letrinas, infraestructura de riego, etc.

**Fuente:** Secretaría del Bienestar, información de las matrices de inversión social (MIDS) (2004-2019).

**Figura 66.** Distribución de la inversión FAIS en la UP YucS


**Nota:** Otros: se refiere a líneas de conducción, sanitarios secos, letrinas, infraestructura de riego, etc.

**Fuente:** Secretaría del Bienestar, información de las matrices de inversión social (MIDS) (2004-2019).

### 1.6.5 Presupuesto de Egresos de la Federación

Otros ingresos en materia de agua provienen del Presupuesto de Egresos de la Federación (PEF), en la Tabla 52, se muestran las aportaciones anuales a los Estados asignados en los ciclos del 2019 al 2021. En este último PEF del 2021 se asignó un presupuesto para la PY de 511,435,182.00 pesos, de los cuales 245 millones corresponde al Estado de Yucatán (48 % del total), 126 millones para Campeche (24.6 %) y 139 millones para Quintana Roo (27.2 %).

Sin embargo, es notorio que entre lo asignado en el presupuesto y lo realmente pagado en los dos ciclos anteriores del 2019 y 2020, el Estado de Quintana Roo supera por mucho lo pagado al pasar de 161 millones a 203 millones en el año 2019 y de 152 millones a 213 millones en al ciclo 2020, lo que representa el mayor porcentaje a nivel peninsular. Esto quiere decir que Quintana Roo genera recursos mediante el cumplimiento de sus adeudos con CONAGUA y recibe el beneficio de mayor presupuesto, dirigido al drenaje y alcantarillado seguido de abastecimiento de agua.

En contraparte, el Estado de Campeche es el que menos recursos pagados de su presupuesto presenta, con disminuciones drásticas en abastecimiento de agua, ordenación de aguas residuales, drenaje y alcantarillado y seguido por el sector hidroagrícola. Sin embargo, se observa que solo en el rubro de Administración del Agua se mantuvo el pago de lo presupuestado.

**Tabla 52.** Tabla de Presupuesto de Egresos de la Federación para los periodos 2019 – 2021

| Entidad / Función  | Ciclo 2019         |                    | Ciclo 2020         |                    | Ciclo 2021         |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|  | Aprobado           | Pagado             | Aprobado           | Pagado             | Aprobado           |
| <b>Campeche</b>  | <b>134 285 512</b> | <b>111 708 937</b> | <b>165 372 475</b> | <b>80 238 326</b>  | <b>126 002 419</b> |
| Abastecimiento de Agua                                   | 30 473 564         | 24 182 360         | 33 709 437         | 12 950 584         | 26 967 550         |
| Administración del Agua                                  | 40 714 009         | 42 037 477         | 44 763 566         | 42 121 556         | 45 154 993         |
| Hidroagrícola  | 37 202 463         | 31 676 589         | 67 608 557         | 21 436 347         | 37 973 895         |
| Ordenación de Aguas Residuales, Drenaje y Alcantarillado | 25 895 476         | 13 812 512         | 19 290 915         | 3 729 838          | 15 905 981         |
| <b>Quintana Roo</b>                                      | <b>161 851 867</b> | <b>203 962 256</b> | <b>152 646 121</b> | <b>213 507 403</b> | <b>139 851 846</b> |
| Abastecimiento de Agua                                   | 35 054 444         | 57 294 929         | 28 663 105         | 50 707 195         | 22 930 484         |
| Administración del Agua                                  | 41 131 316         | 37 755 618         | 43 666 051         | 39 875 156         | 43 643 090         |
| Hidroagrícola  | 52 045 163         | 41 242 119         | 59 997 877         | 54 530 941         | 56 520 206         |
| Ordenación de Aguas Residuales, Drenaje y Alcantarillado | 33 620 944         | 67 669 590         | 20 319 088         | 68 394 111         | 16 758 066         |
| <b>Yucatán</b>   | <b>219 403 669</b> | <b>211 526 236</b> | <b>284 890 468</b> | <b>275 591 454</b> | <b>245 580 917</b> |
| Abastecimiento de Agua                                   | 42 982 762         | 45 787 722         | 40 860 739         | 24 254 902         | 32 688 591         |
| Administración del Agua                                  | 74 423 459         | 77 158 754         | 84 048 432         | 78 018 713         | 84 679 335         |
| Hidroagrícola  | 58 966 664         | 54 792 873         | 134 110 388        | 123 704 934        | 106 145 887        |
| Ordenación de Aguas Residuales, Drenaje y Alcantarillado | 43 030 784         | 33 786 888         | 25 870 909         | 49 612 906         | 22 067 104         |

Fuente: Secretaría de Hacienda y Crédito Público (2021).

## 1.7 Calidad del agua

La calidad del agua en corrientes, acuíferos y esteros está determinada de manera natural por la presencia y la cantidad de factores físico-químicos en su composición integrados a ella por la disolución de rocas, agregación de materiales minerales, contacto con la atmósfera (gases), metabolismo de la biota que en ella habita o con la que tiene relación y otros procesos intrínsecos.

No obstante, las actividades socioeconómicas tienen una gran influencia en el tema, ya que son éstas las que se encargan de añadir residuos y variadas clases de sustancias, en ocasiones sobrepasando la capacidad del ecosistema para asimilarlas.

En la región es particularmente importante la contaminación provocada por la ausencia de sistemas de alcantarillado en los centros urbanos, el uso de pesticidas y la generalizada disposición de residuos en fosas sépticas sin mantenimiento, lo limitado de los tratamientos de aguas residuales municipales e industriales y la infiltración de compuestos orgánicos y biológicos derivados de las actividades pecuarias, particularmente la de cerdos.

### 1.7.1 Red Nacional de Medición de Calidad del Agua (RENAMECA)

La CONAGUA opera la Red Nacional de Medición de Calidad del Agua (RENAMECA) (<https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua>), quien tiene el objetivo de proveer a la Autoridad del Agua, a los usuarios, al sector ambiental y al público en general, de resultados confiables, legalmente defendibles y oportunos que puedan transformarse en información para la toma de decisiones sobre el manejo del recurso hídrico. A partir de 2012 se inicia la operación de una nueva RENAMECA, que realiza el monitoreo sistemático en los cuerpos de agua nacionales más importantes.

A continuación, se presentan las estaciones activas de medición de la calidad de aguas subterránea y superficial (Tabla 53 y Tabla 54), por medio de la Red de Monitoreo de la Calidad de Agua (RENAMECA), de la Comisión Nacional del Agua. Cubren diferentes sitios de acuerdo con su ubicación hidrográfica. En el caso de Campeche y Quintana Roo, predominan los puntos de muestreo en sistemas lóticos (ríos) y otros humedales costeros.

En Yucatán y Campeche predominan también los pozos para la medición de agua subterránea, incluidos los humedales costeros. También se observa que hay una gran cantidad de puntos de monitoreo en la zona costera, bordeando toda la Península de Yucatán. En total, actualmente hay poco más de 330 puntos de monitoreo de agua, tanto superficial como subterránea.

Se observan (Tabla 53 y Tabla 54) los diversos parámetros que esta red de monitoreo contempla, tanto de tipo sanitario, como de metales pesados como de calidad de agua y contenido de sales.

**Tabla 53.** Número de estaciones activas de medición de calidad de agua subterránea por entidad en la PY

| Agua subterránea - Parámetro | Número de estaciones |              |         |
|------------------------------|----------------------|--------------|---------|
|                              | Campeche             | Quintana Roo | Yucatán |
| ALC_mg/L                     | 25                   | 15           | 85      |
| FLUORUROS_mg/L               | 25                   | 15           | 85      |
| CONDUCT_mS/cm                | 25                   | 15           | 85      |
| SDT_mg/L                     |                      |              |         |
| N_NO3_mg/L                   | 25                   | 15           | 85      |
| SDT_M_mg/L                   | 25                   | 15           | 85      |
| COLI_FEC_NMP/100_mL          | 25                   | 15           | 85      |
| PB_TOT_mg/L                  | 25                   | 15           | 85      |
| CR_TOT_mg/L                  | 25                   | 15           | 85      |
| AS_TOT_mg/L                  | 25                   | 15           | 85      |

| Agua subterránea - Parámetro | Número de estaciones |              |         |
|------------------------------|----------------------|--------------|---------|
|                              | Campeche             | Quintana Roo | Yucatán |
| FE_TOT_mg/L                  | 25                   | 15           | 85      |
| MN_TOT_mg/L                  | 25                   | 15           | 85      |
| CD_TOT_mg/L                  | 25                   | 15           | 85      |
| HG_TOT_mg/L                  | 25                   | 15           | 85      |
| DUR_mg/L                     | 25                   | 15           | 85      |

Fuente: CONAGUA (2020)

 Página web: <https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua>
**Tabla 54.** Número de estaciones activas de medición de calidad de agua superficial por entidad en la PY

| Agua Superficial - Parámetro | Número de estaciones |              |         |
|------------------------------|----------------------|--------------|---------|
|                              | Campeche             | Quintana Roo | Yucatán |
| DQO_mg/L                     | 23                   | 21           | 1       |
| TOX_FIS_FON_15_UT            |                      |              |         |
| TOX_V_15_UT                  | 17                   | 13           |         |
| TOX_D_48_UT                  | 17                   | 13           |         |
| OD_PORC                      | 17                   | 13           |         |
| DBO_mg/L                     | 23                   | 21           | 1       |
| TOX_D_48_FON_UT              |                      |              |         |
| TOX_D_48_SUP_UT              | 5                    | 8            | 1       |
| SST_mg/L                     | 53                   | 117          | 24      |
| E_COLI_NMP_100mL             | 23                   | 21           | 1       |
| TOX_FIS_SUP_15_UT            | 36                   | 104          | 24      |
| ENTEROC_NMP_100mL            | 30                   | 96           | 23      |
| COLI_FEC_NMP_100mL           | 23                   | 21           | 1       |
| OD_PORC_SUP                  | 36                   | 104          | 22      |
| OD_PORC_MED                  | 1                    | 2            |         |
| OD_PORC_FON                  | 21                   | 44           | 7       |

Fuente: CONAGUA (2020)

 Página web: <https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua>

La RENAMECA brinda también información sobre el índice de calidad del agua en forma de semáforo, el cual califica el grado de cumplimiento de los diversos parámetros estudiados con las normativas aplicables y límites de tolerancia permitidos. Dicho semáforo se construyó a partir de los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 y la Norma Oficial Mexicana NOM-001- SEMARNAT -1996. Para el caso de las aguas subterráneas el semáforo se muestra en la Figura 67.

De esta manera, en las figuras siguientes se muestran de manera general las condiciones en que se presentan las aguas subterráneas en los diversos puntos observados, pero también es posible obtener información geo temática sobre las condiciones sanitarias de la entidad.

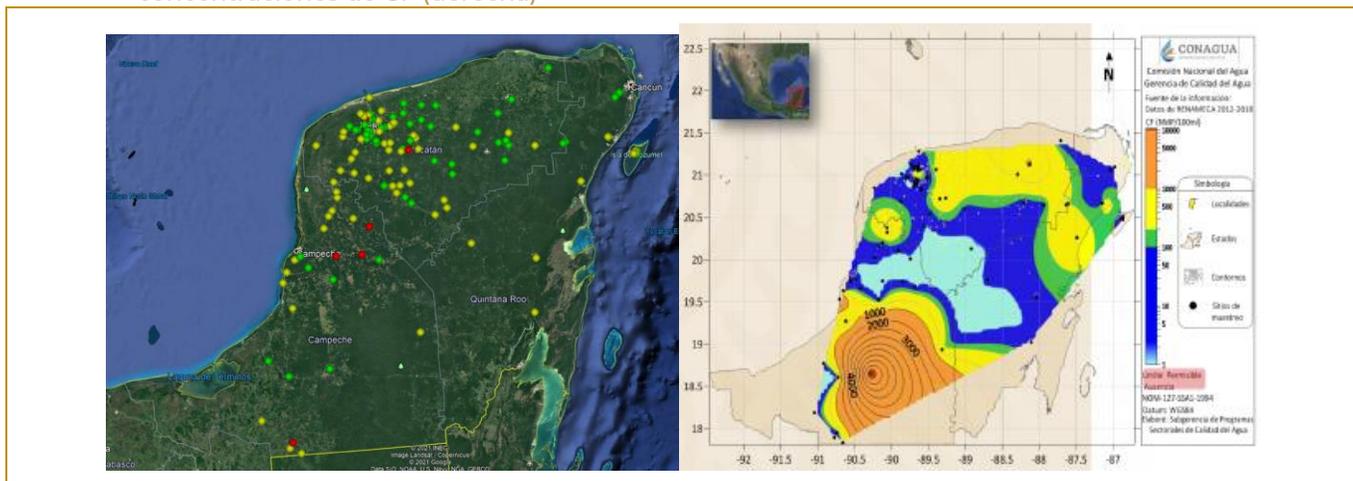
**Figura 67. Semáforo para evaluar el índice de calidad del agua subterránea**

| Indicador  | Unidades           | Cumplimiento   |  |   | Incumplimiento                                    |                         | Color del semáforo en caso de incumplimiento del indicador |
|--|--------------------|--|--|---|---|-------------------------|--|
| <b>Fluoruros (F-)</b>                            | mg/L               | 0.7<=FLUO<1.5<br>Potable - Óptima  | 0.4<=FLUO<0.7<br>Media                 | FLUO>=1.5<br>Alta                                 |   | <b>Rojo</b>             |  |
| <b>Coliformes Fecales</b>                        | NMP/100mL          | CF<1.1   | 1.1<=CF<=200                           | 200<=CF<=1000                                     | 1000<CF<=10000                                    | CF>10000                | <b>Rojo</b>  |
|  |                    | Potable - Excelente  | Buena calidad                          | Buena calidad                                     | Contaminada                                       | Fuertemente contaminada |  |
| <b>Nitrógeno de Nitratos (N-NO3)</b>             | mg/L               | N_NO3<=5<br>Potable - Excelente  | 5<N_NO3<=11<br>Potable - Buena calidad | N_NO3>11<br>No apta como FAAP                     |   | <b>Rojo</b>             |  |
| <b>Arsenico Total</b>                            | mg/L               | AS<=0.01   | 0.01<AS<=0.025                         | AS>0.025  |   | <b>Rojo</b>             |  |
|  |                    | Potable - Excelente  | Apta como FAAP                         | No apta como FAAP                                 |   |                         |  |
| <b>Cadmio Total</b>                              | mg/L               | CD<=0.003  | 0.003<AS<=0.005                        | CD>0.005  |   | <b>Rojo</b>             |  |
|  |                    | Potable - Excelente  | Apta como FAAP                         | No apta como FAAP                                 |   |                         |  |
| <b>Cromo Total</b>                               | mg/L               | CR<=0.05   |  | CR>0.005  |   | <b>Rojo</b>             |  |
|  |                    | Potable - Excelente  |  | No apta como FAAP                                 |   |                         |  |
| <b>Mercurio Total</b>                            | mg/L               | HG<=0.006  |  | HG>0.006  |   | <b>Rojo</b>             |  |
|  |                    | Potable - Excelente  |  | No apta como FAAP                                 |   |                         |  |
| <b>Plomo Total</b>                               | mg/L               | PB<=0.01   |  | PB>0.01   |   | <b>Rojo</b>             |  |
|  |                    | Potable - Excelente  |  | No apta como FAAP                                 |   |                         |  |
| <b>Alcalinidad (CaCO3)</b>                       | mg/L               | 20>=ALC<75   | 75>=ALC<=150                           | 150>ALC<=400                                      | ALC<20  | ALC>400                 | <b>Amarillo</b>  |
|  |                    | Baja   | Media                                  | Alta  | Indeseable  | Indeseable como FAPP    |  |
| <b>Conductividad</b>                             | mS/cm <sup>2</sup> | CONDUC<=250  | 250<CONDUC<=750                        | 750<CONDUC<=2000                                  | 2000<CONDUC<=3000                                 | CONDUC>3000             | <b>Amarillo</b>  |
|  |                    | Excelente para riego   | Buena para riego                       | Permisible para riego                             | Dudosa para riego                                 | Indeseable para riego   |  |
| <b>Dureza (CaCO3)</b>                            | mg/L               | DUR<=60  | 60<DUR<=120                            | 120<DUR<=500                                      | DUR>500   |                         | <b>Amarillo</b>  |
|  |                    | Potable - Suave  | Potable - Moderadamente                | Potable - Dura                                    | Muy dura e indeseable usos industrial y domestico |                         |  |
| <b>Solido Disueltos Totales - Riego Agricola</b> | mg/L               | SDT<=500   | 500<SDT<=1000                          | 1000<SDT<=2000                                    | 2000>SDT<=5000 Cultivos tolerantes                |                         | <b>Amarillo</b>  |
|  |                    | Excelente para riego   | Cultivos sensibles                     | Cultivos con manejo especial                      |   |                         |  |
| <b>Solidos Disueltos Totales - Salinización</b>  | mg/L               | SDT<=1000 Potable - Dulce  | 1000<SDT<=2000 Ligeramente salobres    | 2000>SDT<=10000 Salobres                          | SDT>10000 Salinas                                 |                         | <b>Amarillo</b>  |
|  |                    |  |  |   |   |                         |  |
| <b>Manganeso Total</b>                           | mg/L               | MN<=0.15   |  | 0.15>MN<=0.4                                      | MN>0.4  |                         | <b>Amarillo</b>  |
|  |                    | Potable - Excelente  |  | Sin efectos en la salud - Puede dar color al agua | Puede afectar a la salud                          |                         |  |
| <b>Hierro Total</b>                              | mg/L               | FE<=0.3  |  | FE>0.3  |   | <b>Amarillo</b>         |  |
|  |                    | Potable - Excelente  |  | Sin efectos en la salud - Puede dar color al agua |   |                         |  |
| <b>Todos los indicadores</b>                     |                    | En caso de cumplimiento de todos los indicadores, el color del semáforo es verde |  |   |   |                         | <b>Verde</b>   |

Fuente: CONAGUA – Red de Monitoreo RENAMECA (2021)

En la Figura 68 A). Índices de cumplimiento de calidad de agua. Semáforo verde: 60 sitios. Semáforo amarillo: 64. Semáforo rojo: 7. B). Iso concentraciones de Coliformes fecales (2012, 2018), durante el estiaje. Como indicador de presencia de aguas residuales (materia fecal) A). Índice de cumplimiento de calidad de agua. B). Iso concentraciones de CF.

**Figura 68.** Semáforo de calidad del agua: Índice de cumplimiento de calidad de agua (izquierda) e Iso concentraciones de CF (derecha)



Fuente: CONAGUA – Red de Monitoreo RENAMECA (2021)

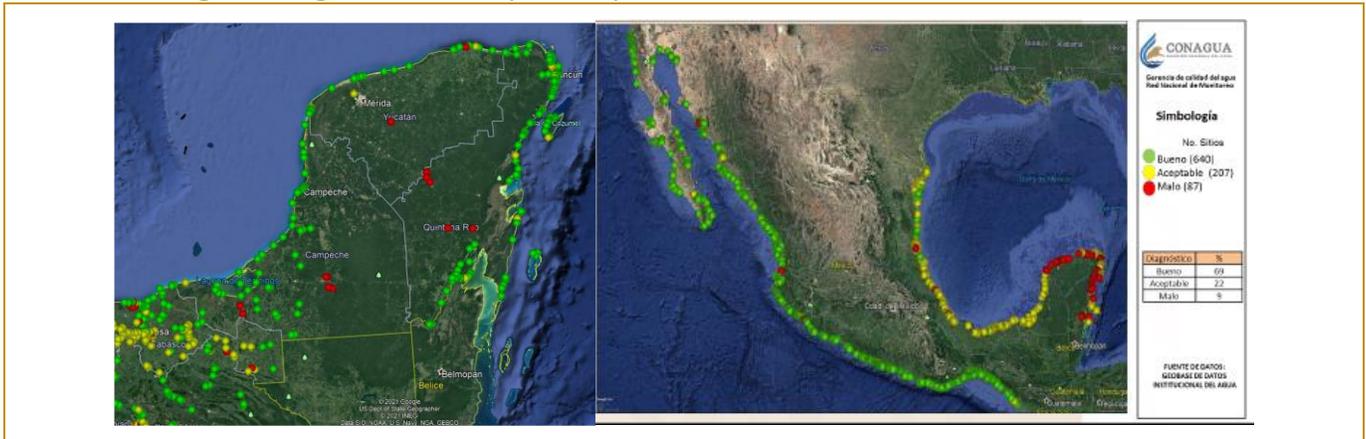
Del mismo modo, el RENAMECA brinda también información sobre el índice de calidad de las aguas superficiales (Figura 69), el cual también califica el grado de cumplimiento de los diversos parámetros estudiados con las normativas aplicables y límites de tolerancia permitidos, como se muestra en la siguiente Figura 70 A). Índices de cumplimiento de calidad de agua superficial. El color del indicador se refiere al incumplimiento de la norma aplicable. B). Nitrógeno inorgánico disuelto.

**Figura 69.** Semáforo para evaluar el índice de calidad del agua superficial

| Calidad de agua de cuerpos lóticos           |  |             |                       |   |                         |                         |                         |                         |  |
|--|--|-------------|-----------------------|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--|
| Indicadores de calidad del agua              |  |             |                       | Calificación, código de colores y escala de calidad de agua del indicador |                         |                         |                         |                         | Semáforo   |
| Indicador                                    | Campos de la base de datos   | Abreviación | Unidades              | Cumplimiento  |                         |                         | Incumplimiento          |                         | Color del semáforo en caso de incumplimiento del indicador |
|  |  |             |                       | Excelente   | Buena calidad           | Aceptable               | Constancia              | Fuertemente contaminada |  |
| <b>Demanda bioquímica de oxígeno, 5 días</b> | DBO_TOT  | DBO         | mg/L                  | DBO<=3  | 3<DBO<=6                | 6<DBO<=30               | 30<DBO<=120             | DBO>120                 | <b>Rojo</b>  |
| Demanda química de oxígeno                   | DQO_TOT  | DQO         | mg/L                  | DQO<=10   | 10<DQO<=20              | 20<DQO<=40              | 40<DQO<=200             | DQO>200                 | <b>Rojo</b>  |
| <b>Sólido suspendidos totales</b>            | SST  | SST         | mg/L                  | SST<=25   | 25<SST<=75              | 75<SST<=150             | 150<SST<=400            | SST>400                 | <b>Amarillo</b>  |
| Coliformes fecales                           | COLI_FEC   | CF          | NMP/100 mL            | CF<=100   | 100<CF<=200             | 200<CF<=1000            | 1000<CF<=10000          | CF>10000                | <b>Amarillo</b>  |
| <b>Escherichia Coli</b>                      | E_COLI   | EC          | NMP/100 mL            | EC<=250   | 250<EC<=500             | 500<EC<=1000            | 1000<EC<=10000          | EC>10000                | <b>Amarillo</b>  |
| Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto | OD_%   | OD          | %                     | 70<OD<=110  | 50<OD<=70 y 110<OD<=120 | 30<OD<=50 y 120<OD<=130 | 10<OD<=30 y 130<OD<=150 | OD<=10 y OD>150         | <b>Amarillo</b>  |
| Indicador                                    | Campos de la base de datos   | Abreviación | Unidades              | Cumplimiento  |                         |                         | Incumplimiento          |                         | Color del semáforo en caso de incumplimiento del indicador |
|  |  |             |                       | No tóxico   | Toxicidad baja          | Toxicidad moderada      | Toxicidad alta          |                         |  |
| <b>Toxicidad Daphnia Magna, 48 h</b>         | TOX_D_48_UT  | TA          | Unidades de Toxicidad | TA<1  | 1<=TA<=1.33             | 1.33<TA<5               | TA >= 5                 |                         | <b>Rojo</b>  |
| Toxicidad Vidrio Fisher, 15 min              | TOX_V_15_UT  | TA          | Unidades de Toxicidad | TA<1  | 1<=TA<=1.33             | 1.33<TA<5               | TA >= 5                 |                         | <b>Rojo</b>  |
| Todos los indicadores                        | En caso de cumplimiento de todos los indicadores, el color del semáforo es verde |             |                       |   |                         |                         |                         |                         | <b>Verde</b>   |

Fuente: CONAGUA – Red de Monitoreo RENAMECA (2021)

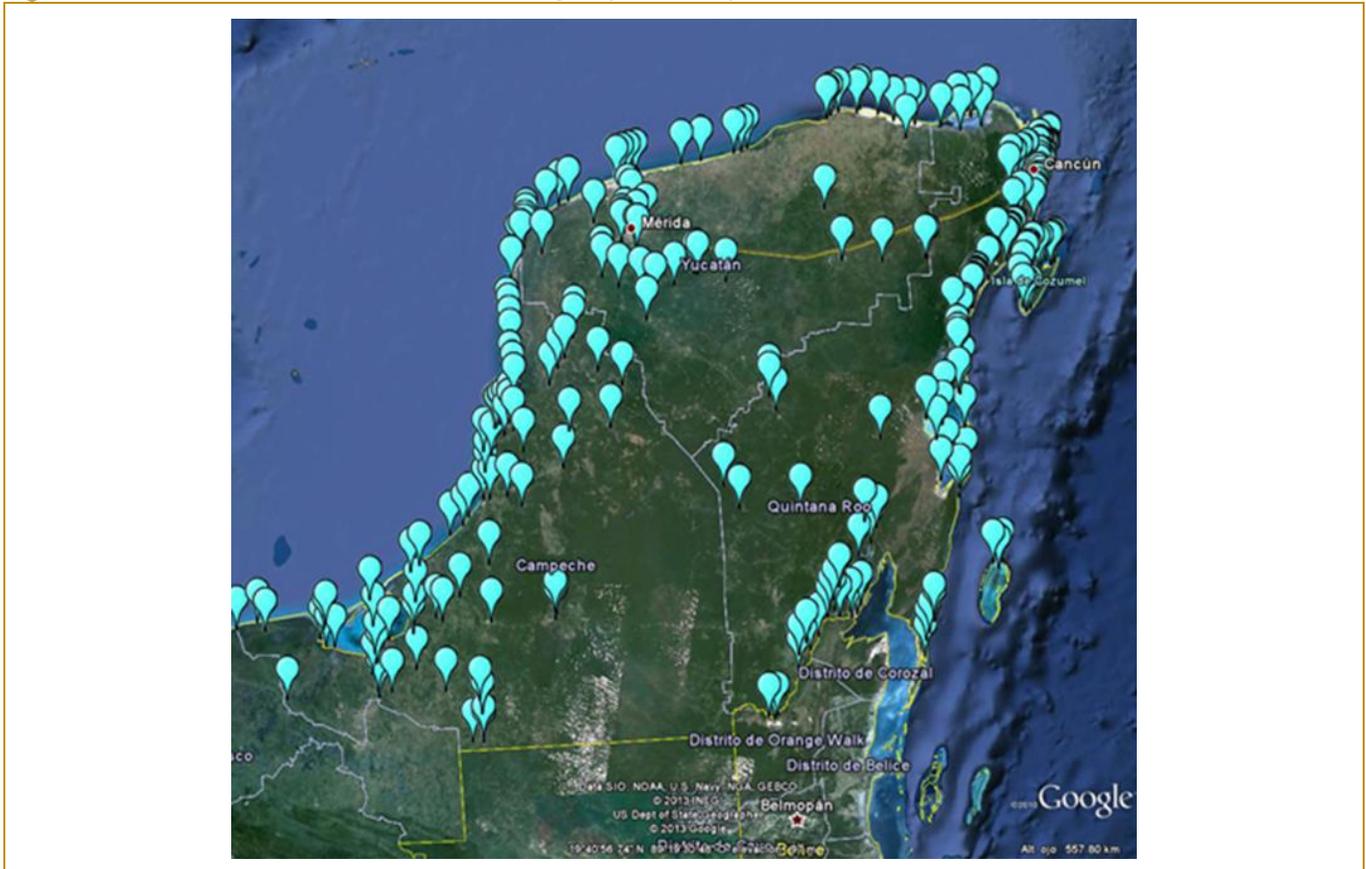
**Figura 70.** Índices de cumplimiento: índice de cumplimiento de calidad de agua superficial (izquierda) y Nitrógeno inorgánico disuelto (derecha)



Fuente: CONAGUA – Red de Monitoreo RENAMECA (2021)

En la península de Yucatán, el RENAMECA consta de 331 sitios de monitoreo, 78 de ellos se ubican en Campeche, 138 en Quintana Roo y 115 sitios en Yucatán (Figura 71). Como se puede apreciar en esta imagen, el mayor monitoreo se enfoca en el ámbito de las unidades de planeación de QRoom, YucN, CampN y CampC.

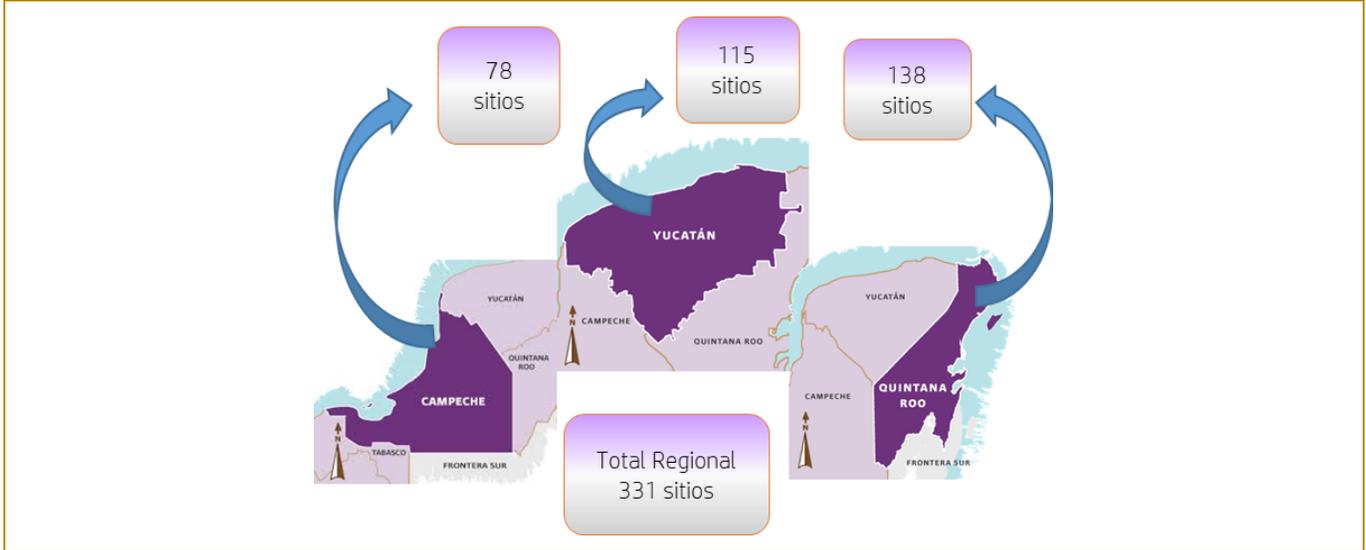
**Figura 71.** Red de monitoreo de calidad del agua (RENAMECA)



Fuente: <https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua>

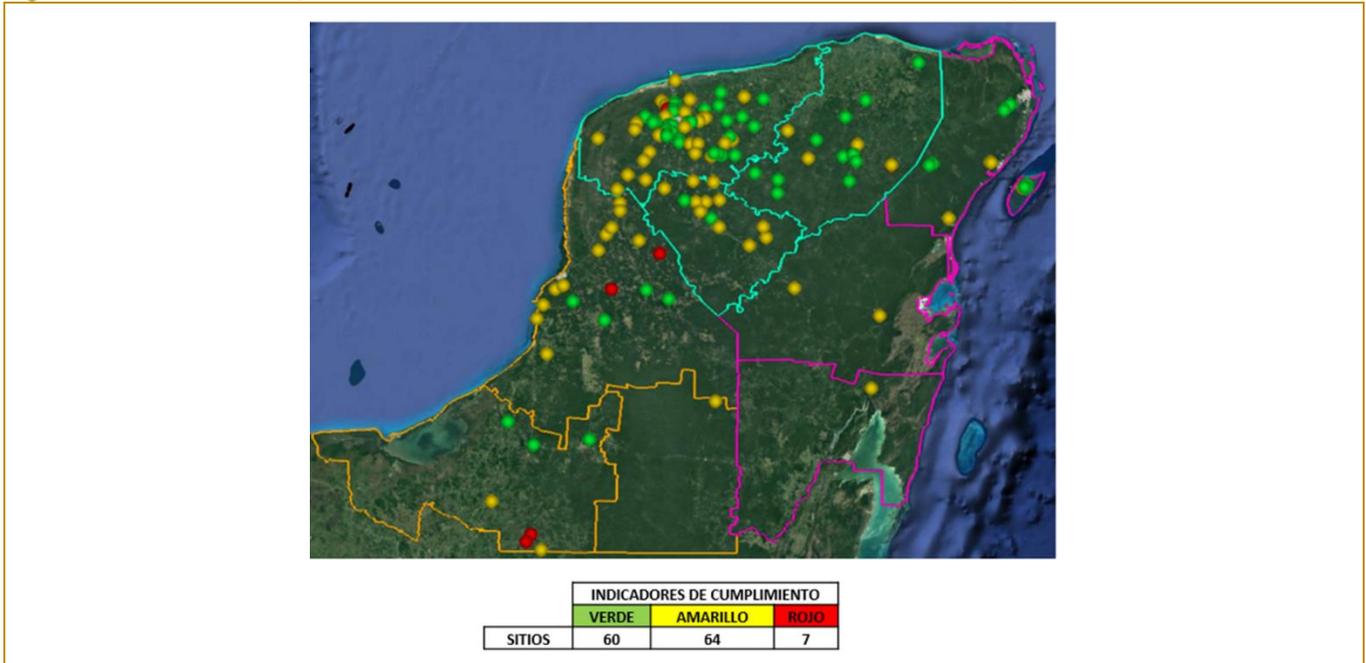
Para el acuífero de la Península de Yucatán, se tiene como promedio del periodo 2012-2019, los siguientes resultados (Figura 72 y Figura 73): del total de 331 sitios, 60 (46%) presentan una calidad excelente, 64 sitios (49%) presentan una calidad aceptable, prestándose valores significativos en los parámetros de SDT, Conductividad y Dureza, que son producto de las condiciones geohidrológicas y que limitarían algunos usos, por último 7 sitios (5%) presentan una calidad limitada, ya que se presentan valores significativos de Nitritos, Dureza, Arsénico, Hierro, Coliformes Fecales y Plomo (Derivado de descargas de aguas residuales, actividades industriales y agropecuarias).

**Figura 72.** Total de sitios de monitoreo de calidad del agua subterránea



Fuente: RENAMECA, <https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua>

**Figura 73.** Calidad del agua subterránea en la Península de Yucatán. Promedio del período 2012-2019

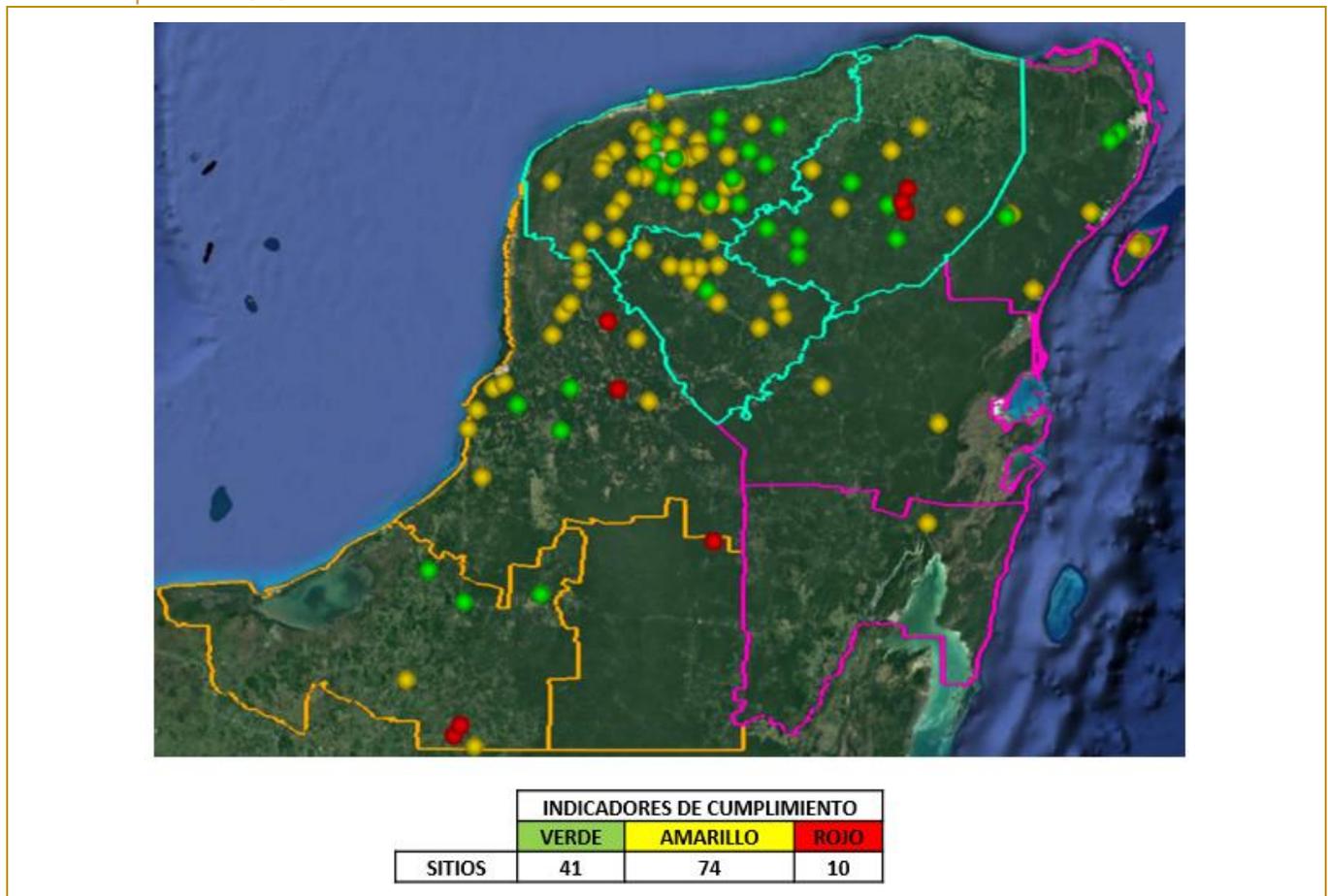


Fuente: RENAMECA, <https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua>

Para el 2020, el monitoreo de calidad del agua ofrece los siguientes resultados (Figura 74): Del total de 125 sitios, 41 (46%) presentan una calidad excelente, 74 sitios (49%) presentan una calidad aceptable, prestándose valores significativos en los parámetros de SDT, Conductividad y Dureza, que son producto de las condiciones geohidrológicas y que limitarían algunos usos, así como por Hierro; , por último 10 sitios (5%) presentan una calidad limitada, ya que se presentan valores significativos de Fluoruros, Cromo. Conductividad, Solidos Disueltos Totales y Hierro (Derivado de descargas de aguas residuales, actividades industriales y agropecuarias).

Solo en un 7% de los sitios de monitoreo se presenta incumplimiento a los estándares de calidad del agua, ocasionado por actividades antropogénicas.

**Figura 74.** Calidad del agua subterránea en la Península de Yucatán. Promedio del período 2020



Fuente: RENAMECA, <https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua>

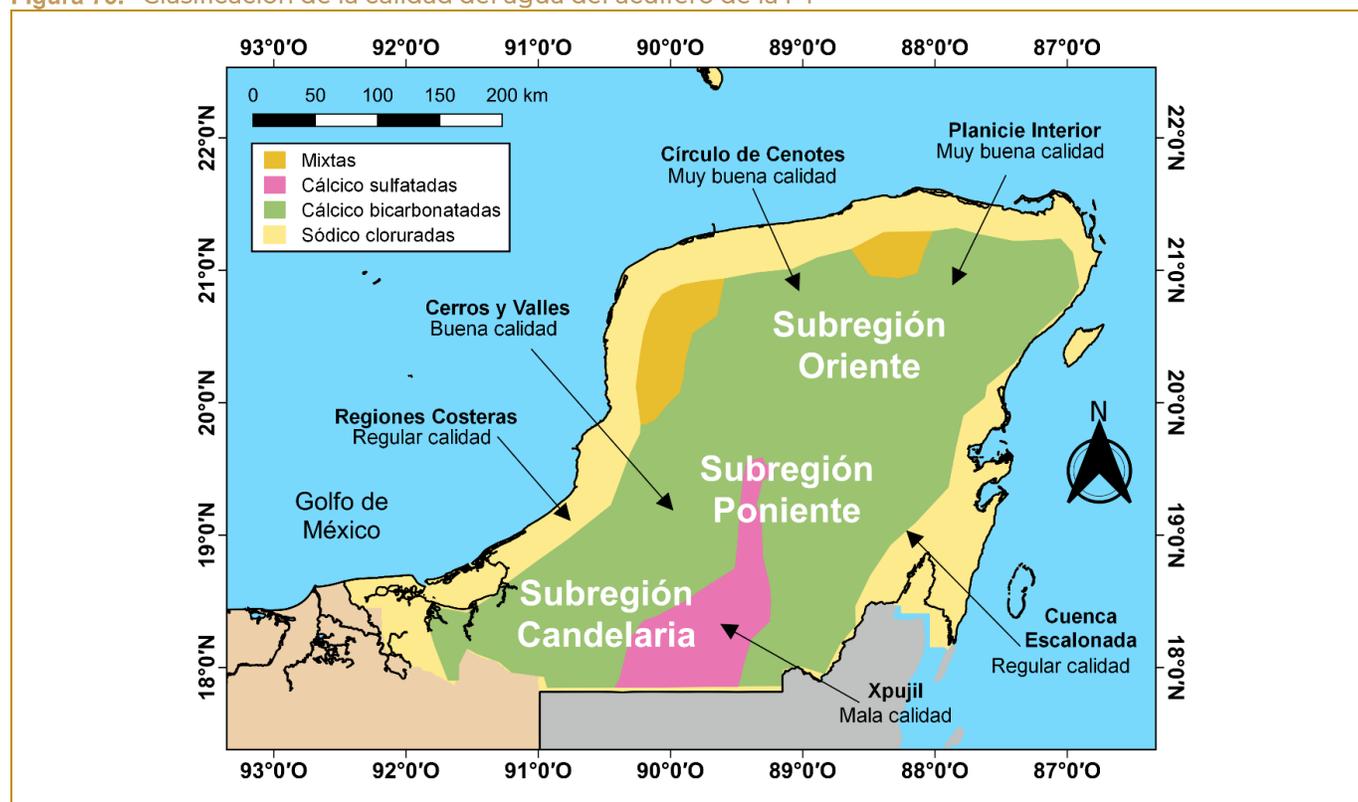
### 1.7.2 Calidad del agua subterránea en el acuífero kárstico de Yucatán

La cantidad de material sólido en disolución define las características de aceptación para los diversos usos del agua. Con esta base se pueden distinguir niveles de calidad de acuerdo con la profundidad y a las zonas geológicas donde

es extraída otorgándole al agua del acuífero. Por lo que existen tres grandes familias de agua, con calidad diferenciada que se pueden encontrar en la PY:

- Agua cálcico-bicarbonatada, ubicada en zonas preferencialmente calcáreas (color verde en Figura 75),
- Agua sulfatada donde la presencia de evaporitas y yesos es dominante (color rosa en Figura 75), y
- Agua sódico - clorurada, cercana a la costa (color crema en Figura 75).

**Figura 75. Clasificación de la calidad del agua del acuífero de la PY**



Fuente: CONAGUA (2008).

En general, el tipo de agua que predomina en el acuífero corresponde a la clase cálcico-bicarbonatada (color verde Figura 75) que proviene de la disolución de los carbonatos constituyentes de las rocas calcáreas. Sigue en orden de importancia la clase sulfatada (color rosa Figura 75), que se localiza en la zona geohidrológica del Sur Campeche y Quintana Roo, principalmente. En general, el contenido de sulfato es menor de 250 ppm (partes por millón), sin embargo, en la parte sur se han registrado niveles de hasta 450 ppm.

Finalmente, la clase de agua clorurada (color crema y naranja en figura 69) se localiza a lo largo de la zona costera, debido a la influencia del agua marina provocando una zona de mezcla entre ésta y el agua subterránea. La salinidad del agua subterránea varía en un intervalo de 600 a 2,000 ppm, en la parte superior del acuífero, decreciendo gradualmente de la costa hacia el sur del territorio. En una franja, entre 10 y 30 km a partir del litoral es mayor que 1,000 ppm y en el resto de la región es menor de 1,000 ppm (OCPY 2008).

Delgado et al. (2010) llevó a cabo un estudio sobre la calidad del agua, particularmente para su uso agrícola en Yucatán, cubriendo las UP YucN, YucO y YucS. Lamentablemente no se ha registrado un trabajo similar para Quintana Roo y Campeche. Se colectaron muestras de agua de pozos abastecedores de agua a una profundidad de 20 metros por debajo del nivel freático, durante los meses de julio a noviembre del año 2003. Se determinaron los valores de la concentración iónica de  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ ,  $Na^{+}$ ,  $K^{+}$ ,  $HCO_3^{-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^{-}$ , y  $Cl^{-}$  y la conductividad eléctrica (EC).

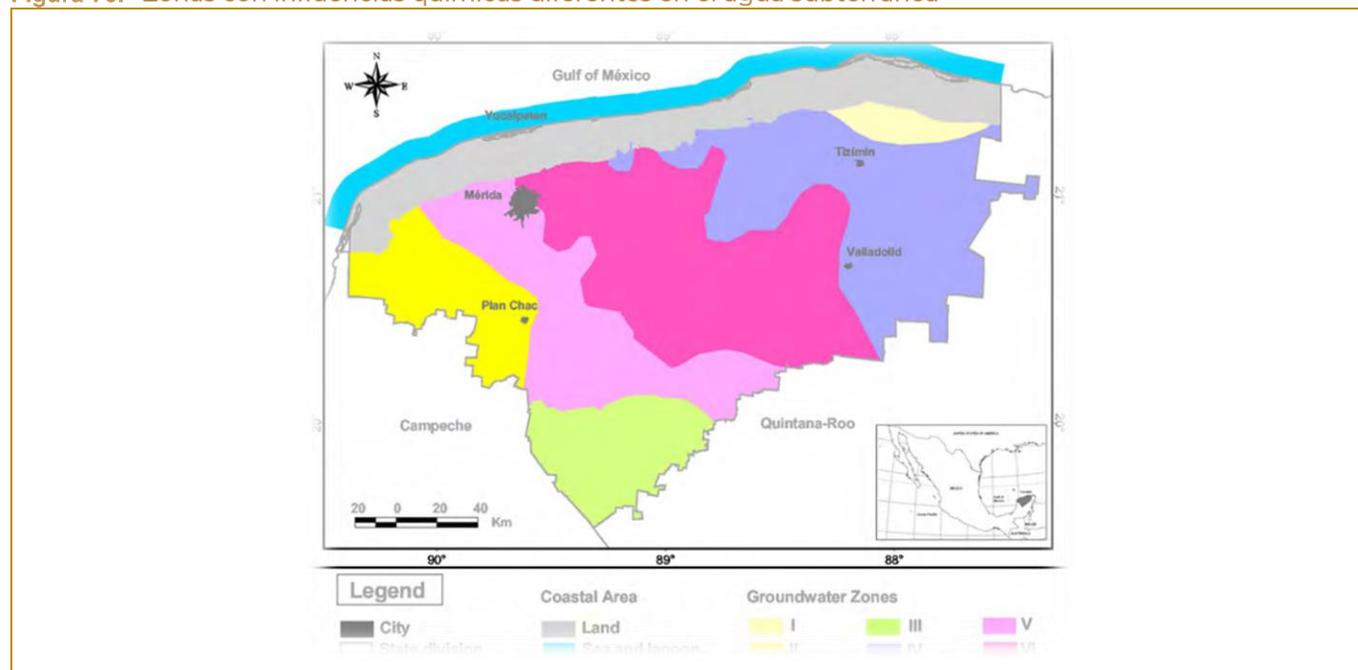
Una herramienta útil para tomar decisiones en relación con la calidad de agua es el uso de índices que utilizan muchos agrónomos, entre los que destacan, la conductividad eléctrica (EC), la relación de adsorción de sodio (SAR), salinidad potencial (PS), presencia de cloro (Cl) y salinidad efectiva (ES). El agua puede entonces caracterizarse de acuerdo con el diagrama de clasificación de aguas para irrigación basado en los valores de EC y SAR. La conductividad eléctrica (EC) es una medida indirecta del contenido de sales disueltas en el agua. La concentración total de sales solubles se expresa como dSm<sup>-1</sup> a 250 C. Basado en la conductividad eléctrica (EC), las aguas para propósitos agrícolas con altas salinidades no son apropiados para la irrigación y no puede utilizarse en áreas con drenaje insuficiente, lo cual hace necesario seleccionar los cultivos que son considerablemente tolerantes a las sales, aún bajo condiciones de buen drenaje.

La relación de adsorción de sodio (expresada en (mmol/L), toma en cuenta la concentración relativa del sodio (Na<sup>+</sup>) en relación con la concentración de calcio y magnesio (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>), por arriba de los 10 mmol/L. Lo cual puede representar un problema cuando los suelos no se pueden drenar o enjuagar, así como en suelos de textura fina que no contengan yeso y posean una elevada capacidad de intercambio catiónico. Cuando es muy alta (arriba de 18 mmol/L, los suelos irrigados pueden alcanzar el límite de toxicidad por sodio intercambiable, por lo tanto, se hace necesario un buen drenaje, enjuagues intensos y la adición de materia orgánica (en suelos con alto contenido de yeso el riesgo es menor). Cuando los valores de conductividad eléctrica (EC) son mayores a 0.250 dSm<sup>-1</sup>, los índices de salinidad potencial (SP) y de salinidad efectiva (ES) pueden ser utilizados debido a que algunas sales pueden precipitarse y otras pueden incrementar su concentración relativa debido a la evaporación. El índice de salinidad potencial (PS) estima el riesgo de concentraciones de sal altas debida a la presencia de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y Cl<sup>-</sup>, los cuales pueden incrementar el potencial osmótico de la solución en el suelo cuando la humedad aprovechable del suelo es menor al 50 %.

El índice de salinidad efectiva (ES), provee una estimación más precisa del riesgo de incremento de la presión osmótica en la solución del suelo en casos cuando el agua contenga grandes cantidades de carbonatos y bicarbonatos. Bajo esta situación, los carbonatos de calcio y magnesio y el sulfato de calcio se precipitan, por lo cual dejan de participar en el incremento de la presión osmótica en la solución. El cloro puede ser un elemento tóxico para las plantas, aún en pequeñas cantidades.

De esta manera, para el caso de Yucatán, se constituyen 6 zonas con influencias químicas diferentes en el agua subterránea (Figura 76). Se incluye también un análisis de la zona costera, constituyendo entonces 7 zonas.

**Figura 76. Zonas con influencias químicas diferentes en el agua subterránea**



Fuente: Delgado et al. (2011).

### 1.7.2.1 Zona Costera

El agua subterránea de la zona costera no es adecuada para la irrigación agrícola debido a dos importantes factores:

- El agua subterránea se encuentra a poca distancia de la superficie y es intermitente, con un alto riesgo de salinización con cloruro de sodio;
- Los suelos pueden ser delgados, del tipo leptosoles, arenosoles y salinos como el solonchak, o inundables como el gleysol o el histosol.

Sin embargo, la conservación biológica y ecológica, así como de sus servicios ambientales son muy importantes para el turismo. La zona costera ocupa 588 km<sup>2</sup>, representando el 16 % del total de Yucatán. Incluye las UP YucN y YucO.

## Zona I

En la zona I, la calidad del agua no es recomendable para la irrigación agrícola, debido a los valores de EC y ES. El intervalo de valores de cloro es de 4 – 18 mmol/l, y el de PS es de 6 – 22 mmol/l. Esta zona tiene altos niveles de sodio, pero la concentración de sulfatos es muy baja, de sólo 0 – 2.5 mmol/l. El agua subterránea presenta un riesgo de toxicidad debido al cloro y a la salinidad presente. Esta zona cubre una extensión de 274 km<sup>2</sup> y corresponde al 7.4 % del total de Yucatán.

El efecto en los suelos puede variar, por ejemplo, en los arenosoles el efecto de modicidad puede ser bajo debido a la estructura granular del suelo. Estos suelos tienen una baja capacidad de intercambio catiónico, debido al contenido de arenas, donde el 90 % de las partículas de arena es principalmente carbonato de calcio. Sin embargo, los suelos tipo cambisol y leptosol son susceptibles a la degradación por modicidad, debido a que el sodio puede disolver la materia orgánica con el subsecuente lixiviado de la misma. En estos últimos tipos de suelo, muchos campesinos practican la agricultura en su forma de roza, tumba y quema y también son utilizados para pastizales extensivos por la ganadería. Sin embargo, en años recientes el suelo agrícola se ha intensificado por lo que el volumen de extracción de agua por bombeo para la irrigación de pastizales o de cítricos en la porción nororiental han contribuido a la intrusión salina. Esta zona está representada en la UP YucO.

## Zona II.

En la zona II, la calidad del agua subterránea no es recomendable debido a la presencia de cloro, SAR, ES y PS. El agua presenta un alto riesgo de toxicidad para las plantas debido al alto contenido de cloro y sales. El intervalo de concentración de sulfatos es de 0 – 5 mmol/l. Por estas razones la calidad del agua en la porción suroccidental es clasificada como no apta para el uso agrícola. Esta zona cubre 399 km<sup>2</sup> y corresponde al 10.8% del total de Yucatán.

En la porción norte de esta zona II, el cultivo agrícola principal fue el henequén, pero en años recientes se ha promovido el cultivo de cítricos por irrigación. En estas circunstancias, es necesario monitorear la calidad de suelo, del agua y del cultivo para evaluar su desempeño.

En la porción sur de la zona II, el riesgo de salinización puede ser muy alto y rápido en los suelos tipo luvisol y nitosol, más que en los cambisoles y leptosoles. Esta área puede ser usada en proyectos de temporal debido a que los suelos tipo cambisol y leptosol húmico y rendzico son fértiles y tienen un buen drenaje. La lluvia se da en una temporada de al menos 5 meses con 800 – 1000 mm por año. Sin embargo, el agua subterránea debe ser utilizada con cuidado para propósitos agrícolas y sólo puede ser recomendada para cultivos con plantas tolerantes a la sal. La salinidad debe ser monitoreada. Esta zona se presenta en la UP YucS, así como en la porción occidental de la UP YucN.

## Zona III

En la zona III, el agua subterránea para usos agrícolas no es recomendada debido al EC y ES. Los valores de cloro son de 4 – 18 mmol/l y la concentración de sulfatos es de 5 a 14 mmol/l. Particularmente esta zona III el agua subterránea presenta los valores más altos de sulfatos y su uso puede resultar en un incremento del sulfato de sodio en el suelo, considerando su capacidad para precipitar el calcio y el magnesio. La zona III cubre una extensión de 320.8 km<sup>2</sup> representando el 8.7 % del total de Yucatán.

El uso excesivo de esta agua para propósitos agrícolas puede afectar en diversas formas:

- En la estructura del suelo y en la conductividad hidráulica;

- En la formación de un horizonte subsuperficial con yeso y problemas para el crecimiento de las raíces de las plantas.

Esta zona tiene los mejores suelos para la actividad agrícola, como los vertisoles, luvisoles y cambisoles. Considerando las propiedades del suelo y todos los perfiles del suelo, es posible afirmar que el riesgo de sodicidad y salinidad se ajusta a la secuencia: Vertisol > Luvisol > Cambisol, debido a la cantidad de arcilla.

Hacia el sur de esta zona III las actividades se han incrementado principalmente hacia el cultivo de cítricos y pastizales con irrigación ocasional debido a la alta precipitación que alcanza 800 a 1200 mm al año (la cual es mayor que la evapotranspiración). Por esta razón el riesgo de salinización de los suelos es bajo. Sin embargo, es importante mencionar que el cloro es tóxico para los cítricos. En el caso del riego en suelos tipo vertisol para cultivos hortícolas o de maíz, el riesgo se incrementa por salinización y sodicidad. Esta zona se encuentra en la UP YucS.

## Zona IV

En la zona IV, la calidad del agua subterránea para uso agrícola no es recomendable debido al SAR y al EC, está condicionado por ES y de ligero a moderado por cloro y de medio a bueno por PS. La concentración de sulfatos es de 0.12 a 4 mmol/l. Esta zona se extiende por 961 km<sup>2</sup> y corresponde al 26.1 % del total del estado.

Los suelos tipo leptosol y cambisol son los más representativos en la parte continental, con un periodo de lluvia de 6 a 8 meses y una precipitación de 800 a 1200 mm por año. Ambos tipos de suelo tienen una buena capacidad de drenaje, por lo que el riesgo de salinización es limitado, aunque estos suelos pueden degradarse por el sodio (por la disolución y pérdida de materia orgánica por lixiviado con el tiempo). Se encuentra en la UP YucO y al extremo nororiental de la UP YucN.

## Zona V

En la zona V la calidad del agua subterránea para uso agrícola no es recomendada por el EC y el SAR, ligero a moderado por el cloro, y medio por PS y ES. Los sulfatos varían de 0.12 a 4 mmol/l y los valores de SAR van de 0.69 a 6.9 mmol/l. Esta zona V cubre una extensión de 671 km<sup>2</sup> y corresponde al 18.2 % del total de Yucatán.

En la porción sur de la zona V, el riesgo para la salinización y sodicidad del suelo es alto para los vertisoles, gleysoles y luvisoles. En la porción central, los suelos predominantes son los leptosoles y cambisoles, y ambos con un buen drenaje y saturados con calcio. En la porción más norte, los suelos líticos y leptosoles no se utilizan para riego agrícola. Esta zona se encuentra en las UP YucN y YucO.

## Zona VI

En la zona VI, el agua subterránea se clasifica como de buena calidad para el uso agrícola, debido a los bajos valores de cloro, PS y ES, sin embargo, se recomienda el monitoreo de la salinidad en el suelo. Esta zona se extiende por 1066.8 km<sup>2</sup>, lo que representa el 28.7 % del total de Yucatán.

Esta zona VI tiene la mejor calidad de agua subterránea para la irrigación en la agricultura, pero también es la zona donde mayor desarrollo urbano hay (y por ende la generación de residuos sólidos), así como industrial y porcícola, por lo que puede contaminarse con plomo, cromo, cadmio, arsénico, cobre, zinc, nitratos, pesticidas y patógenos fecales que ponen en riesgo la salud humana. En esta zona es donde se ha propuesto la creación de reservas hidráulicas para el consumo humano. Esta zona se encuentra en las UP YucN y YucO.

Los sulfatos en el sur siguen también una trayectoria. Las aguas subterráneas reciben iones de dos fuentes naturales: el enriquecimiento por disolución de los minerales de la roca por el cual el agua fluye, siendo presente principalmente en el sur, o acuífero eocénico, y por agua de reciente infiltración y mezcla con la intrusión de agua marina en el acuífero miocénico – pliocénico. Esto implica un manejo adecuado en el uso de fertilizantes y pesticidas, para evitar la contaminación en la zona costera.

En la porción norte de la PY, existe el riesgo de la intrusión de una cuña marina hacia el interior. Cercano a la costa el acuífero se confina por la presencia de un acuitardo costero que influye en el gradiente hidráulico descrito anteriormente. El anillo de cenotes funciona como un vertedero de agua subterránea y conforma ríos subterráneos que vierten hacia el mar. La fractura de la Sierrita de Ticul trabaja como una barrera que mueve el agua subterránea hacia la costa noroccidental de Yucatán.

De acuerdo con Bauer Gottwein et al. (2019), gran parte de la PY se ve afectada por esta intrusión de agua de mar en el acuífero de agua dulce. Debido a la alta conductividad hidráulica efectiva de las llanuras costeras del Plioceno, las elevaciones del nivel freático del acuífero de agua dulce son bajas. Según el principio de Ghyben-Herzberg (Ghyben 1888; Herzberg 1901; Hubbert 1940), la elevación de la interfaz salina se puede calcular como  $s = -40 \cdot h$ , donde  $h$  es el nivel del agua. Tanto  $h$  y  $s$  están en metros sobre el nivel medio del mar. Esta fórmula es válida bajo los supuestos de un medio geológico homogéneo, una interfaz aguda y condiciones de estado estacionario tanto en el dominio del agua dulce como del agua salada. Por tanto, las bajas cabezas de agua dulce permiten la intrusión de agua salada del océano tierra adentro. Beddows (2004) planteó la hipótesis de que la circulación de agua subterránea salina profunda puede ocurrir en una capa continua de agua salada desde la costa del Caribe hasta la costa del Golfo de México de la PY. La profundidad de la interfaz salina en la PY se ha medido in situ en cenotes, pozos y cuevas, así como de forma no invasiva, utilizando técnicas geofísicas. Si bien algunos autores confirman la validez del principio de Ghyben-Herzberg para el acuífero kárstico PY, otros encuentran significantes desviaciones.

Bauer Gottwein et al. (2019) menciona los trabajos de Perry et al. (1989) que informan de observaciones de la interfaz salina del noroeste de la PY y encontraron una buena concordancia con el principio de Ghyben-Herzberg. Moore et al. (1992) midieron las profundidades de la interfaz salina en pozos a lo largo de un transecto de 70 km paralelo a la costa noreste de ellos. Descubrieron que el principio de Ghyben-Herzberg generalmente sobrestimaba el grosor real de la lente de agua dulce. Beddows (2004) midió perfiles verticales de conductividad eléctrica en numerosos cenotes y sistemas de cuevas en la Riviera Maya a lo largo de la costa caribeña de la PY. Las interfaces medidas variaron en forma desde transiciones nítidas a suaves. Marín et al. (2004) informaron las profundidades de la interfaz del noroeste de la PY y encontraron una buena concordancia entre los valores medidos y las predicciones utilizando el principio de Ghyben-Herzberg. Charvet (2009) informa sobre una serie de observaciones de interfaz de la PY nororiental suministradas por la empresa de suministro de agua de Cancún Aguakan. Beddows et al. (2007) reportan resultados detallados en la configuración de la interfaz dentro de la zona cavernosa del acuífero y encontraron que la morfología del conducto era el control dominante en la interfaz dentro de los conductos. Steinich y Marín (1996) utilizaron técnicas de resistividad para determinar la profundidad de la interfaz en el noroeste de la PY. Las profundidades de la interfaz variaron de 18 a 110 m bajo tierra y mostraron una buena correlación con las mediciones y predicciones in situ utilizando el principio de Ghyben-Herzberg. Gondwe et al. (2010b) realizaron un registro geofísico de pozos en 17 pozos y 21 sondeos puntuales electromagnéticos en el dominio del tiempo (TDEM) que cubren una distancia de ~ 35.000 km<sup>2</sup> en el sur de Quintana Roo. Las profundidades de la interfaz inferida confirmaron la validez del principio de Ghyben-Herzberg a escala regional. Supper et al. (2009) utilizaron imágenes geoeléctricas para determinar la profundidad de la haloclina en varios lugares del sur de Quintana Roo.

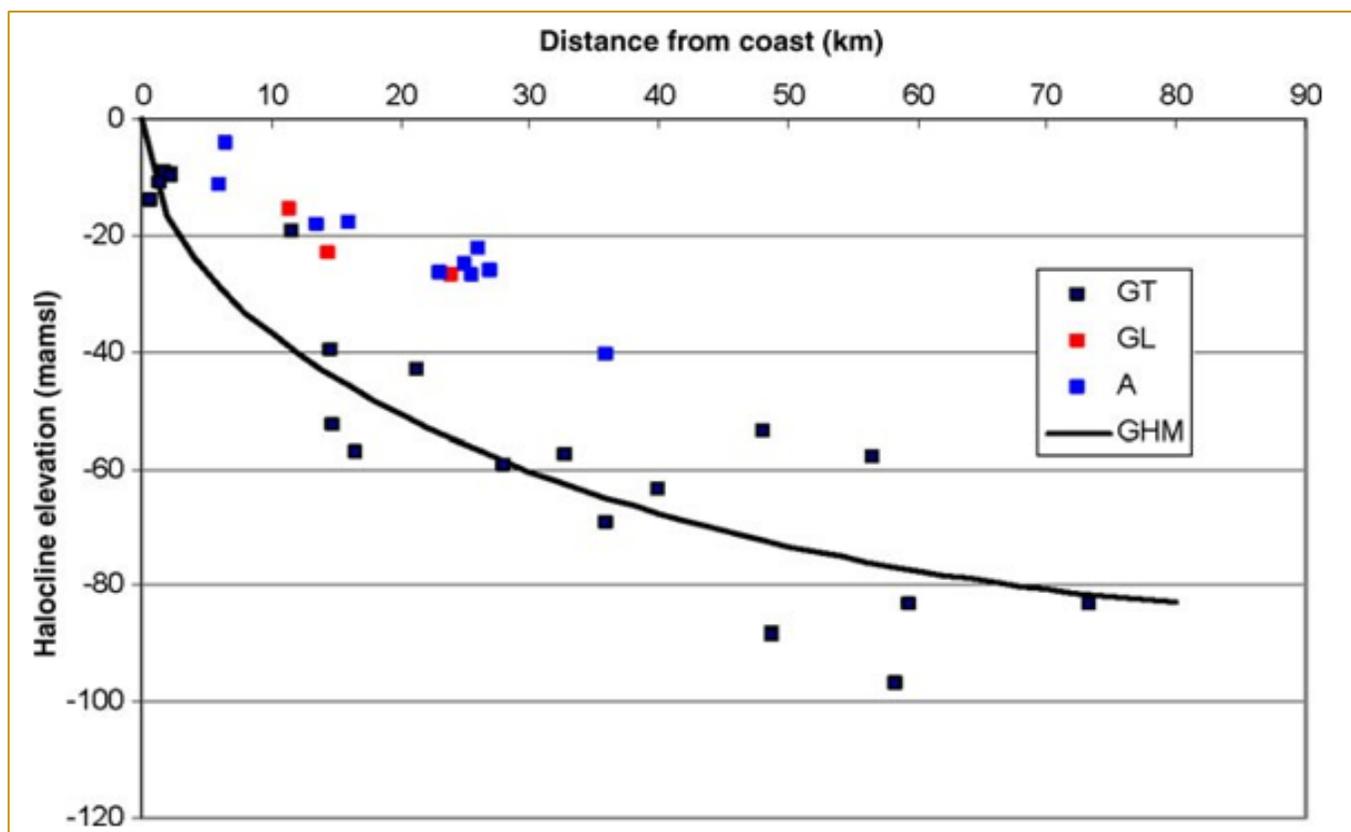
La Figura 77 sintetiza el estado actual del conocimiento sobre el agua dulce de la interfaz de la PY. Los datos de elevación de la interfaz se trazan junto con un modelo Ghyben-Herzberg unidimensional simple del acuífero costero (Beddows, 2004), no estacionario, verticalmente heterogéneo. Los campos alrededor de los conductos violan los supuestos de la interfaz Ghyben-Herzberg. Por tanto, es probable que las desviaciones del principio de Ghyben-Herzberg se deban a presencia de sistemas de conductos. En ausencia de un mapa de conductos confiable para el acuífero kárstico de la PY y de datos detallados de carga hidráulica resueltos espacialmente, esta hipótesis no puede ser validada en la etapa actual.

Pocos estudios han abordado la dinámica de la interfaz del agua dulce-salada en la PY. Beddows (2004) informa observaciones multi temporales de localidades en la Riviera Maya y encontró una interfaz estable y dinámica. Escolero et al. (2007) informan sobre observaciones de la interfaz después del huracán Isidoro (22-24 de septiembre de 2002). Observaron fluctuaciones cíclicas en la posición de la interfaz después de este evento de recarga anormal.

La firma geoquímica del agua subterránea se ha utilizado para inferir rutas de flujo y mecanismos de recarga en la PY. Back y Hanshaw (1970) compararon la hidrogeoquímica de la PY y la Península de Florida (EE. UU.). Ellos caracterizaron la geoquímica del agua subterránea de la PY como dominada por una mezcla de agua dulce y salada y la ausencia de gradientes geoquímicos aguas abajo.

Resultados más recientes de Perry et al. (2009); (2002) y Gondwe et al. (2010b) muestran que esto es válido para las áreas con geología del Plioceno, pero no necesariamente para las porciones de la PY con carbonatos más antiguos. Perry et al. (2009) encontraron una firma geoquímica distintiva del agua subterránea que ha estado en contacto con la capa de eyección.

Figura 77. Elevación de la haloclina en función de la distancia a la costa



**Nota:** Los colores indican diferentes conjuntos de datos; Estimaciones de GT basadas en datos TDEM del sur de Quintana Roo recopilados por Gondwe et al. (2010b); La relación de pozos GL en el sur de Quintana Roo por Gondwe et al. (2010b); El registro de un pozo en el norte de Quintana Roo por Aguakan SA de CV (2009); Predicciones GHM del modelo unidimensional de Ghyben-Herzberg con conductividad hidráulica ( $K$ ) = 0.3 ms<sup>-1</sup> y recarga de agua subterránea equivalente al 17% de la precipitación.

**Fuente:** (Beddows, 2004)

Esta firma geoquímica se puede utilizar para rastrear los flujos de agua subterránea escala regional en la PY (Gondwe et al. 2010b; Perry et al. 2009; E. Perry, Northern Illinois University, datos no publicados, 2010). Hanshaw y Back (1980) analizaron el fenómeno de la pérdida de masa química en el norte de la PY.

La mezcla de agua dulce saturada de calcita y agua salada produce salmueras, que están sub-saturadas en calcita. El estudio concluyó que este fenómeno podría causar altas tasas de disolución en la zona de mezcla entre agua dulce y agua salina en la PY. La correlación observada entre la profundidad de la cueva y la profundidad de la haloclina confirma la importancia de este proceso para la geomorfología de la PY. Back et al. (1986) reportaron fenómenos similares del sistema de cuevas de Xcaret en la Riviera Maya. Se han informado procesos de sedimentación y cementación en partes de la PY. Perry et al. (1989) observaron una capa cementada a lo largo de la costa norte de la PY, que actúa como unidad para el acuífero.

La presencia de <sup>14</sup>C en la capa cementada confirma que la cementación es un proceso continuo en esta localidad. Los autores sugirieron que la capa cementada se forma en la interfaz entre el acuífero y un humedal costero y se desencadena por la desgasificación del dióxido de carbono del agua subterránea emergente. Los autores predijeron significantes cambios en la distribución del agua dulce y la distribución de agua salada en el acuífero costero como consecuencia de posibles brechas debido al desarrollo urbano regional.

## 1.8 Fuentes de contaminación

El acuífero de la PY es muy vulnerable a la contaminación debido a que presenta un suelo tipo cárstico con una estructura geológica fracturada y de gran permeabilidad con un sistema de cavernas conectadas que permiten el flujo del agua subterránea de tierra adentro hacia la costa, lo cual, facilita la rápida infiltración y transporte de contaminantes.

Las principales fuentes de contaminación se derivan del uso público urbano, doméstico y servicios, de sitios de disposición a cielo abierto de residuos sólidos urbanos, de la disposición de lodos de fosas sépticas, del proceso de nixtamalización del maíz, de la actividad industrial, de la actividad porcícola, de nitratos, de medicamentos y del uso de agroquímicos. Cada una se detalla en las siguientes subsecciones junto con los efectos en la salud derivadas de la contaminación del agua. Esta presencia de contaminantes en el recurso hídrico es un problema de gran importancia regional, ya que compromete la salud pública y la seguridad alimenticia. Las actividades antropogénicas mencionadas anteriormente, ocasionan desequilibrios al ambiente si sus aguas no son tratadas adecuadamente.

Saneamiento del  
acuífero: El reto  
principal para la  
Península de  
Yucatán

Por ello, a continuación, se presentan para fines ilustrativos los resultados de diversas investigaciones sobre los temas antes referidos, mismos que en opinión de la CONAGUA deberán tomarse con la debida reserva, en virtud de que dichos resultados obedecen a objetivos académicos muy concretos y de ninguna forma son indicativos de la calidad del agua de todo el acuífero, sobre todo cuando se hace referencia al agua potable, ya que para dicho uso, los organismos operadores deberán someter el recurso a un proceso de potabilización cuando sea detectado un problema de contaminación, a fin de cumplir la NOM- 127-SSA- 1994 y distribuir a las redes agua de buena calidad. *Por otra parte, resulta necesario estandarizar y/o certificar la metodología analítica para todos los estudios, a fin de no obtener resultados tan diferentes y así homologar los criterios generales.*

### 1.8.1 Contaminación derivada del Uso Público Urbano

En la PY, la mayor parte del agua residual está siendo dispuesta directamente al subsuelo a través de sumideros, sólo en las Ciudades más grandes, como la Ciudad de Mérida, Campeche o Cancún, y algunas otras ciudades donde se impulsa el desarrollo inmobiliario y turístico donde se utilizan tanques sépticos, letrinas, biodigestores y en algunos nuevos fraccionamientos, particularmente en Mérida, existen redes de alcantarillado sanitario conectadas a plantas de tratamiento y pozos profundos a través de los cuales se inyecta el agua residual al manto salino, que subyace al agua dulce, al igual que en la Riviera Maya y Cancún. En el caso de Mérida vale la pena mencionar que, en la actualidad, aquellas viviendas que están conectadas a sistemas colectivos de tratamiento de aguas residuales deben pagar un 50 % del costo del agua potable suministrada. Es decir, si el consumo de agua en una vivienda es de 16 a 20 m<sup>3</sup> bimestrales, el pago por agua potable sería de \$72.00 bimestrales, y si estuviera conectada a una planta colectiva de tratamiento de agua debe pagar \$36.00 por bimestre para disponer de un agua que cumple con las normas oficiales para su disposición en los cuerpos receptores. En total, aquellas viviendas con un vertido responsable pagan \$108.00 por bimestre. Sin embargo, aquellas viviendas que tienen sumideros y/o fosas sépticas para el tratamiento individual de las aguas residuales que consuman la misma cantidad, sólo pagan \$72.00 en total por bimestre, contaminando las aguas subterráneas. Esto representa un problema de equidad y es una señal equivocada en donde se premia al que contamina y se castiga al que hace un uso responsable del agua.

Marín (1990), reporta la presencia de un domo de agua subterránea al norte de Mérida basado en la construcción de mapas de tabla de agua y Morris (1994) sugiere que es el resultado del agua que se importa de la periferia de Mérida en las plantas potabilizadoras. Asimismo, Steinich y Marín (1997) han reportado la presencia de una zona de alta variabilidad hidráulica al sureste de Mérida, donde comúnmente existe una rápida reversión de los gradientes hidráulicos. El resultado de encuestas efectuadas por DAICOS SA de CV (2011), registra que, en la ciudad de Mérida, el 40 % de la vivienda dispone sus aguas residuales mediante fosas sépticas, pero más del 50 % lo dispone a través de sumideros. Esta práctica se comparte de forma dominante por las diferentes localidades de la PY, por lo que es una fuente muy importante de contaminación al manto freático (Tabla 55).

**Tabla 55. Caracterización de los lodos de las fosas sépticas, bio-digestores y plantas de tratamiento**

| Fecha     | Lugar                 | Tipo        | Ph   | Temp | Mat. Flotante | Dbo      | % De remoción | Dqo       | Grasas y aceites | SST       | % De remoción | (N) total | (P) total |
|-----------|-----------------------|-------------|------|------|---------------|----------|---------------|-----------|------------------|-----------|---------------|-----------|-----------|
| 12-abr-11 | Serapio rondon        | Fosa        | 7.09 | 29   | Presente      | 247.00   |               | 669.00    | 103.00           | 345.00    |               | 63.00     | 14.54     |
| 12-abr-11 | Serapio rondon 2      | Fosa        | 7.11 | 30   | Presente      | 185.00   |               | 327.00    | 60.58            | 228.15    |               | 48.45     | 17.30     |
| 12-abr-11 | Serapio rondon 3      | Fosa        | 7.33 | 30   | Presente      | 263.22   |               | 457.20    | 84.10            | 256.00    |               | 74.20     | 12.50     |
| 14-mar-11 | Azcorra               | Fosa        | 6.85 | Nd   | Ausente       | 254.00   |               | 512.56    | 40.00            | 215.00    |               | 45.00     | 14.54     |
| 14-mar-11 | Azcorra 1             | Pozo        | 6.94 | Nd   | Presente      | 168.70   | 33.58         | 340.09    | 28.39            | 153.31    | 28.69         | 98.17     | 10.26     |
| 16-mar-11 | Azcorra 2             | Sumidero    | 7.55 | 24   | Ausente       | 1 574.18 |               | 23 544.84 | 2 175.41         | 24 400.00 |               | 777.12    | 441.98    |
| 16-mar-11 | Fco. De montejo 1     | Fosa        | 7.05 | 28   | Presente      | 260.00   |               | 744.00    | 120.00           | 273.00    |               | 63.00     | 8.49      |
| 16-mar-11 | Fco. De montejo 1     | Pozo        | 7.58 | 29   | Ausente       | 33.50    | 87.12         | 115.54    | 3.98             | 32.00     | 88.28         | 89.16     | 9.12      |
| 22-mar-11 | Ptar com megabalcones | Inf ptar    | 6.82 | 26   | Presente      | 1 199.71 |               | 3 681.33  | 461.30           | 1 860.00  |               | 161.43    | 9.90      |
| 22-mar-11 | Ptar com megabalcones | Eflu ptar   | 8.23 | 25   | Ausente       | 6.51     | 99.46         | 47.04     | 3.98             | 26.00     | 98.60         | 2.17      | 4.00      |
| 17-mar-11 | Fco. De montejo 2     | Fosa        | 7.06 | 28   | Presente      | 267.90   |               | 559.26    | 77.13            | 231.57    |               | 76.00     | 17.26     |
| 17-mar-11 | Fco. De montejo 2     | Pozo        | 7.14 | 24   | Ausente       | 216.33   | 19.25         | 558.72    | 36.06            | 221.15    | 4.50          | 156.56    | 14.23     |
| 17-mar-11 | Juan pablo ii         | Fosa        | 7.74 | 28   | Presente      | 140.00   |               | 502.00    | 27.74            | 332.67    |               | 44.80     | 8.47      |
| 17-mar-11 | Juan pablo ii 1       | Pozo        | 8.06 | 28   | Ausente       | 137.68   | 1.66          | 317.53    | 19.46            | 156.82    | 52.86         | 137.67    | 10.29     |
| 17-mar-11 | Juan pablo magisterio | Fosa        | 7.25 | 28   | Presente      | 154.00   |               | 306.00    | 40.00            | 115.00    |               | 63.00     | 14.54     |
| 17-mar-11 | Juan pablo magisterio | Pozo        | 7.58 | 28   | Ausente       | 101.96   | 33.79         | 336.99    | 4.51             | 43.00     | 62.61         | 227.22    | 14.14     |
| 25-feb-11 | Tixcacal-opichen      | Biodigestor | 7.28 | Nd   | Presente      | 670.14   |               | 2 028.61  | 334.80           | 2 190.00  |               | 292.87    | 23.76     |

Fuente: DAICOS SA de CV (2011).

Graniel et al. (1999), reporta los cambios que han sufrido algunos constituyentes del agua subterránea de la ciudad de Mérida, comparando datos de los años 1970 y 1991, los resultados revelan ya desde entonces una contaminación extensiva de la parte superior del acuífero. Las concentraciones de cloro y sólidos totales disueltos se han incrementado significativamente en áreas que subyacen distritos fuertemente urbanizados.

La estrategia urbana para el desalojo de las aguas pluviales y evitar los encharcamientos en las calles y banquetas incluye la construcción de una diversidad de pozos de infiltración de este tipo de aguas, que de acuerdo a su modelo filtra o induce al agua directamente al manto freático, arrastrando con ellas, los contaminantes que están en las calles y que incluyen grasas, aceites, metales pesados y heces fecales (perros, gatos, entre otros) de los más de 80,000 pozos de absorción de aguas pluviales.

Las mediciones realizadas en pozos someros confirman que las concentraciones de oxígeno se han reducido también significativamente. Se observan valores muy elevados de sales de nitratos que se extienden ampliamente en la zona central de la ciudad, así como los valores de coliformes fecales, indicador de escaso saneamiento. Estos pozos y areneros del sistema pluvial se convierten en áreas de reproducción de diversas variedades de mosquitos, entre ellas el mosco transmisor del dengue, como se muestra en la siguiente Tabla 56.

Por otro lado, otra de las ciudades con un gran crecimiento es sin duda Cancún. El proceso de urbanización en Cancún ha dado como resultado una estructura que tiene como característica fundamental una marcada fragmentación y segregación urbana, evidenciada por aspectos tales como: la ubicación geográfica de los diferentes grupos económicos de la población, el patrón de incorporación de tierra a la mancha urbana, el tipo de infraestructura disponible y la densidad promedio de población (Domínguez Aguilar 2004).

La estructura urbana de Cancún por usos del suelo y niveles económicos, así como por el acceso y uso de las infraestructuras de agua potable y tratamiento y desalojo de aguas servidas confirma el modelo de "ciudad gemela", pues nos muestra la segregación funcional de la Zona Hotelera y la Ciudad propiamente dicha; la existencia de un centro poli-funcional (ciudad original) creado que desconoció los asentamientos autóctonos previos (aunque posteriormente se han conurbado).

**Tabla 56.** Registros de mosquitos en el sistema de drenaje pluvial de la Ciudad de Mérida.

| Especies <i>Aedes aegypti</i> y <i>Culex sp.</i> registradas en los sistemas de drenaje pluvial de la colonia Fidel Velázquez. Mérida, noviembre 2011 |                      |                      |                  |
|---|----------------------|----------------------|------------------|
| Tipo de sistema de drenaje pluvial  | Positivo a mosquitos | <i>Aedes aegypti</i> | <i>Culex sp.</i> |
| Zanja colectora   | 100.00%              | 80.00%               | 90.00%           |
|   | 10-oct               | 08-oct               | 09-oct           |
| Zanja colectora con pozo de absorción   | 17.90%               | 10.20%               | 10.30%           |
|   | jul-39               | abr-39               | abr-39           |
| Pozo arenoso  | 45.00%               | 28.30%               | 35.00%           |
|   | 27/60                | 17/60                | 21/60            |
| Total   | 40.30%               | 26.60%               | 31.20%           |
|   | 44/109               | 29/109               | 34/109           |

**Nota:** Depósitos revisados = 264, con agua en el momento de inspección =109, muestreados = 109.

**Fuente:** *Aedes aegypti* y *Culex sp.* En el drenaje pluvial de una colonia de Mérida. Estudio realizado por el Departamento de Zoología, del Campus de Ciencias Biológicas y agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán y por el gobierno del estado a través de Servicios de Salud de Yucatán.

La ubicación geográfica de la población sigue un patrón semicircular, que va de la población de niveles económicos altos al centro, niveles económicos medios en torno a éste y niveles económicos bajos en la periferia; también nos muestra cómo la calidad de la infraestructura urbana sigue este mismo patrón.

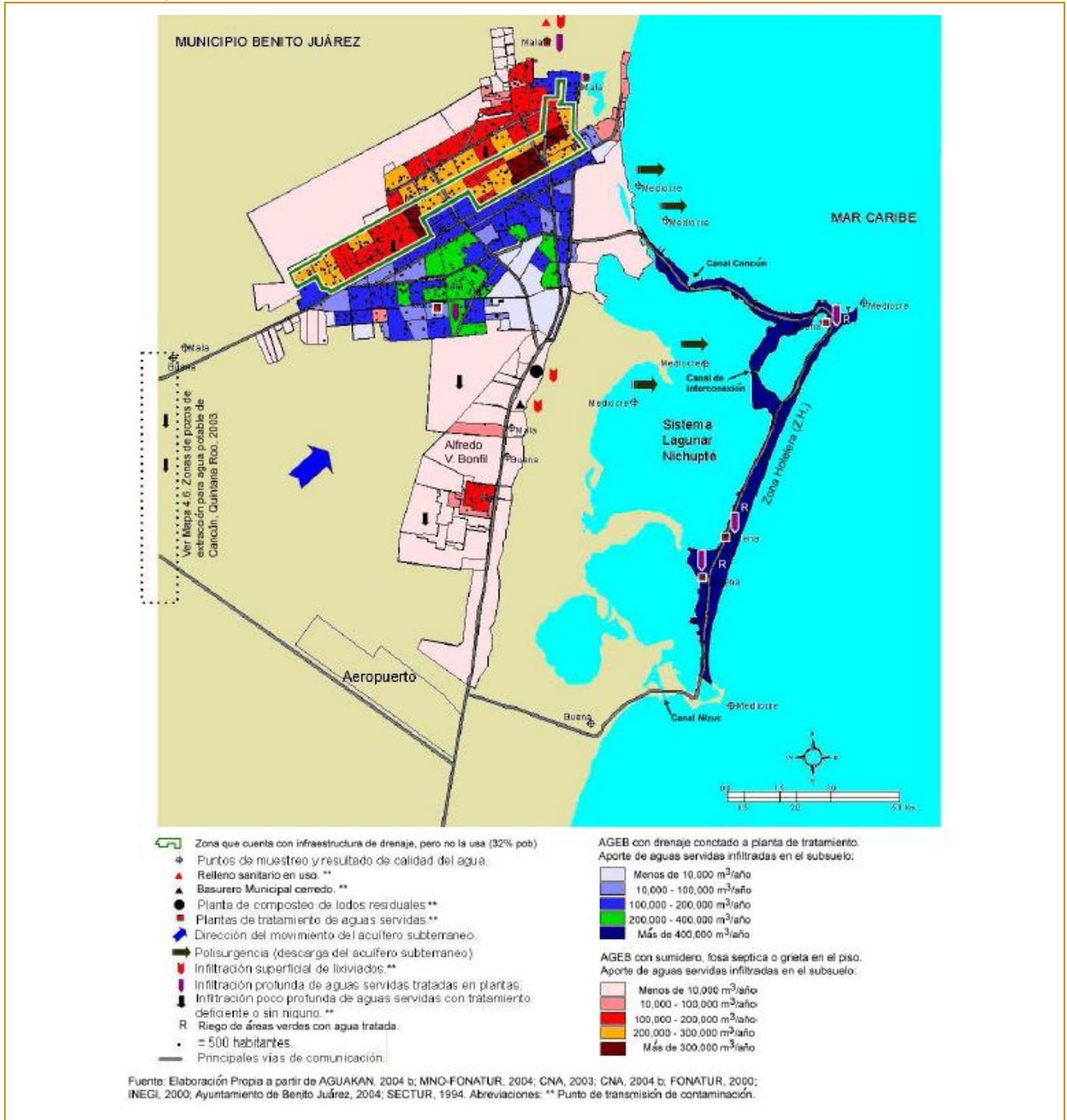
La zona con uso del suelo habitacional de nivel económico bajo es la que más contamina el manto freático, pues no cuenta con sistemas de drenaje adecuados; sin embargo, la causa de esta situación es compleja y se encuentra tanto en el proceso de urbanización progresivo experimentado en ella, como en las políticas urbanas.

Adicional a lo anterior, la contaminación del manto freático provocada por el 32% de la población que cuenta con infraestructura de drenaje, pero no la usa, es explicada por la falta de una cultura en el cuidado por el agua y el incumplimiento de las leyes en la materia. Las zonas con uso del suelo habitacional de nivel económico alto y muy alto, así como con uso del suelo turístico son responsables de altos patrones de consumo de agua.

Todo lo anterior genera impactos y modificaciones en el funcionamiento del sistema lagunar Nichupté, aunado a la localización de tiraderos oficiales y clandestinos de residuos sólidos urbanos y la antigua planta de composteo de BMO- FONATUR. Por último, la expansión directa de la infraestructura y servicios turísticos en la Zona Hotelera y los rellenos a los que fue sujeta la laguna para expansión urbana (Figura 78).

AyMA Ingeniería y Consultoría, en abril del 2021 desarrollo el “Estudio de la Calidad del agua en el corredor turístico de Cancún” para el municipio de Benito Juárez. La metodología consistió en la selección de parámetros por tipo de cuerpo de agua, después se asignó un puntaje acorde al nivel de incumplimiento, se realizó una sumatoria del puntaje final y finalmente se clasificó de acuerdo con el mismo. Se llegaron a unas conclusiones descritas en la Tabla 57. Por otro lado, también se muestra en la Figura 79, los sitios de monitoreo generales identificados con el semáforo general en la zona urbana y turística de Cancún (AyMA, 2021).

Figura 78. Zona Hotelera y los rellenos a los que fue sujeta la laguna para expansión urbana en sistema lagunar Nichupté



**Nota:** Si bien el mapa es del 2004 y la ciudad de Cancún ha crecido desde entonces, el propósito de este mapa es presentar los datos de las plantas de tratamientos de aguas servidas infiltradas al subsuelo, y el número de fosas sépticas en esta zona, del cual no se cuenta con otro antecedente y de otras características de infraestructura.

**Fuente:** Domínguez-Aguilar (2004).

**Tabla 57.** Resultados generales del semáforo de calidad de agua

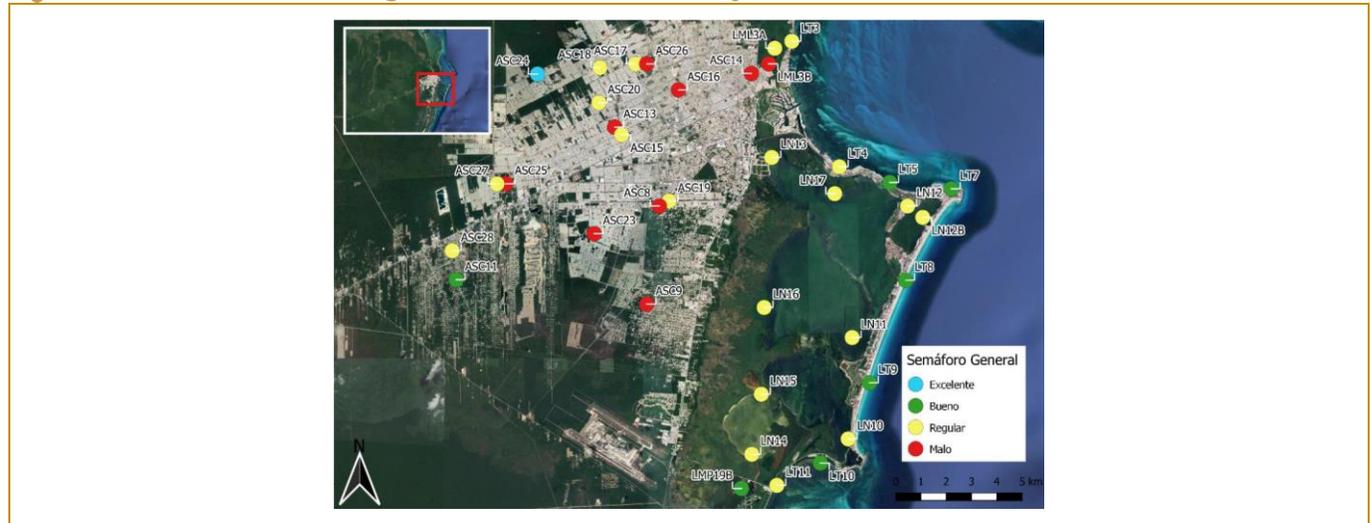
| Sitio de monitoreo          | Semáforo        | Conclusión   |
|-----------------------------|-----------------|--|
| Sistema Lagunar Nichupté    | Regular         | Presenta condiciones mesotróficas a eutrófica  |
| Sistema Lagunar Chacmochuch | Regular         | Se presenta un estado eutrófico  |
| Zona Litoral                | Regular a buena |  |
| Pozos en Zonas de Captación | Excelente       | Se requiere de un sistema de desinfección para reducir microorganismos patógenos               |
| Cenotes                     | Regular a mala  | 14 de 19 cenotes presentan concentraciones de coliformes fecales                               |
| Lixiviados                  | Mala            | Relleno Sanitario Norte y Celda Emergente son importante fuente de aportación de contaminación |

Fuente: (AyMA,2021)

Se identificaron algunas fuentes de contaminación, descritas a continuación:

- Extensas zonas con asentamientos habitacionales regulares e irregulares (aproximadamente 3,150 ha) que carecen del servicio de alcantarillado; además del Ejido Bonfil con superficie de 4,000 ha.
- Población estimada de 320,000; caudal del agua residual infiltrado de aproximadamente 400 a 450 litros por segundo.
- Existen zonas habitacionales con cobertura en que los usuarios no han conectado sus descargas de agua residual al alcantarillado.
- Carecen de alcantarillado corredores con desarrollos turísticos, servicios y usos mixtos: Puerto Juárez – Punta Sam (4.5 km) y carretera 307 de Parque Cancún – Aeropuerto (10 km). Por ubicación y cercanía a cuerpos receptores prioritario introducir el servicio.
- La contaminación por el agua residual infiltrada en la zona urbana se manifiesta en el SLN a través de los “ojos de agua” frente a Tajamar, la Laguna del Amor y la franja norte por la carretera del aeropuerto a ZH.
- Grave problema de disposición de basura y residuos solidos y de manejo especial, en la periferia de la ciudad, en terrenos desocupados, en la cercanía a cenotes urbanos y de los sistemas lagunares, con impacto directo en la calidad de agua de las lagunas por lavado y lixiviación por la lluvia.

**Figura 79.** Sitios de monitoreo generales en la zona urbana y turística de Cancún



Fuente: (AyMA,2021)

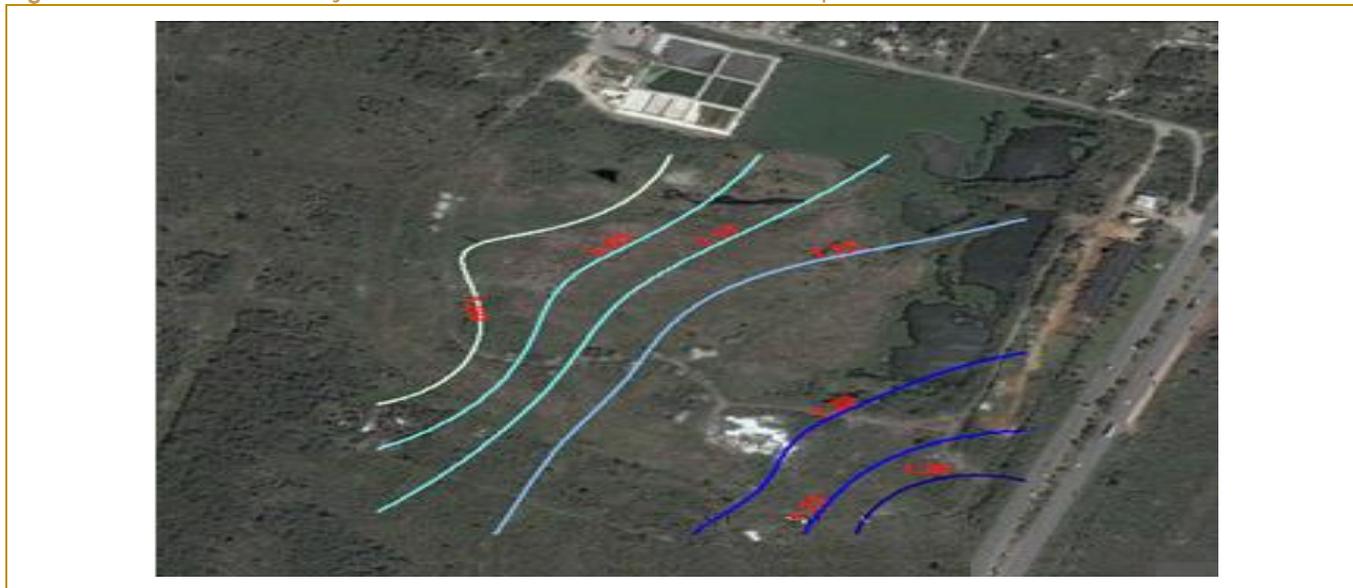
Por lo anterior, es necesario desarrollar más investigación para lograr un mejor diagnóstico de las aguas subterráneas de la Ciudad de Cancún y zona conurbada asociada a la laguna Nichupté analizando los niveles de variables físico-químicas y sanitarias presentes y caracterizando la presencia de aguas residuales antropogénicas mediante, por ejemplo, isotopía de nitrógeno, para con ello generar mapas temáticos de fácil apropiación por sociedad o Gobierno que abonen al mejorar el entendimiento que hasta ahora se tienen con los estudios desarrollados por las autoridades locales.

### 1.8.2 Contaminación derivada de los sitios de disposición a cielo abierto de residuos sólidos urbanos

La contaminación derivada de sitios de disposición de residuos sólidos urbanos a cielo abierto en la PY y, particularmente en Yucatán se evidenció a través del estudio que realizó la Facultad de Ingeniería de la UADY en el año 2008 sobre un vertedero a cielo abierto, que al inicio de la década de 1980 dispuso el Ayuntamiento de la ciudad de Mérida, en el cual los desechos sólidos de la ciudad fueron depositados sin contar con ningún sistema de protección que evitara la lixiviación hacia el agua del subsuelo, propiciando que funcione como un generador puntual de contaminación al ambiente.

En el sitio, igual que se realiza en la mayoría de los municipios de la Península, se practicó la pepena y la quema, y los desechos sólidos eran dispuestos totalmente en forma anárquica. La zona del ex basurero se localiza en un terreno geológico de tipo cárstico, caracterizado por la presencia de cavernas y conductos de disolución. El acuífero subyacente presenta bajo gradiente hidráulico, alta permeabilidad y diferentes grados de evolución cárstica; por las características del subsuelo, los contaminantes que se generen en la superficie tienden a infiltrarse rápidamente y a contaminar el acuífero de la zona (Figura 80).

**Figura 80.** Dirección del flujo subterráneo en la zona del sitio de disposición de basura en la ciudad de Mérida



Fuente: Facultad de Ingeniería de la UADY (2008).

Dentro del predio de 30 ha se localiza una zona de acumulación de basura (cerro de basura) y alrededor existen algunas lagunas de agua; en la parte noroeste se ubican las lagunas de oxidación donde se depositan los lodos provenientes de la limpieza de fosas sépticas y de las nixtamaleras. Como consecuencia de la descomposición de los desechos sólidos, se producen líquidos percolados o lixiviados y gases que después de atravesar las celdas de basura pasan a los suelos afectándolos de manera nociva (Trejo 1996) o se dispersan en la atmósfera.

Los lixiviados son líquidos que se han percolado a través de los desechos sólidos y son altamente contaminantes. La infiltración del lixiviado al acuífero provoca el desarrollo de una pluma contaminante en el sentido del flujo de agua subterránea.

En este caso, el agua subterránea se mueve (Figura 80) de sureste a noroeste con un gradiente de 8 mm/km (González et al. 2004) y que esta pluma de contaminación se caracteriza por su elevado contenido de cloruros y sulfatos principalmente, que se encuentran por encima de la concentración de fondo del agua subterránea que fue de 19 mg/l de cloruro.

Los parámetros analizados (Tabla 58) en el laboratorio fueron: metales (hierro, zinc, cobre, mercurio, arsénico, cadmio, plomo, cromo), físicoquímicos (sodio, potasio, magnesio, calcio, cloruro, sulfatos, bicarbonatos, carbonatos, sólidos disueltos totales), sanitarios (nitratos, nitrógeno total Kjendhal, nitritos, nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico), demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y coliformes totales y fecales.

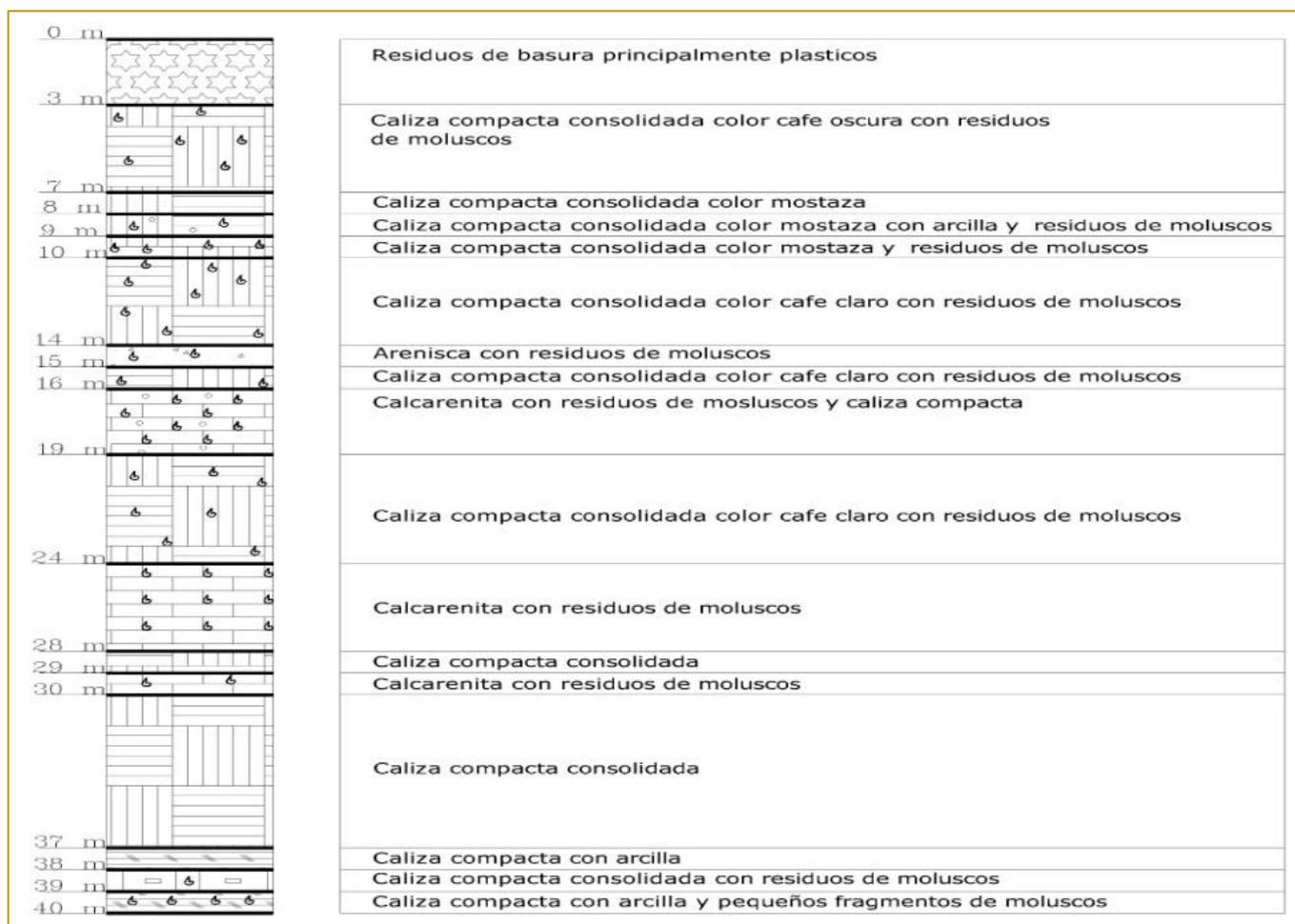
En general, los pozos perforados presentaron casi las mismas características litológicas: calizas compactas, calcarenita con fragmentos de moluscos y roca caliza con textura porosa, en algunos casos se presentaron secciones de caliza con arcilla (Figura 81 y Figura 82); a excepción del pozo 2 donde se encontró 3 metros de basura en la parte superior, ninguno de los pozos perforados presentó caverna. Esto permite señalar que debido a la geología del terreno se puede presentar infiltración de los lixiviados generados por la basura acumulada en el terreno; ocasionando así contaminación al agua subterránea en esa área.

**Figura 81.** Ubicación de los pozos de muestreo de agua



Fuente: Facultad de Ingeniería de la UADY (2008).

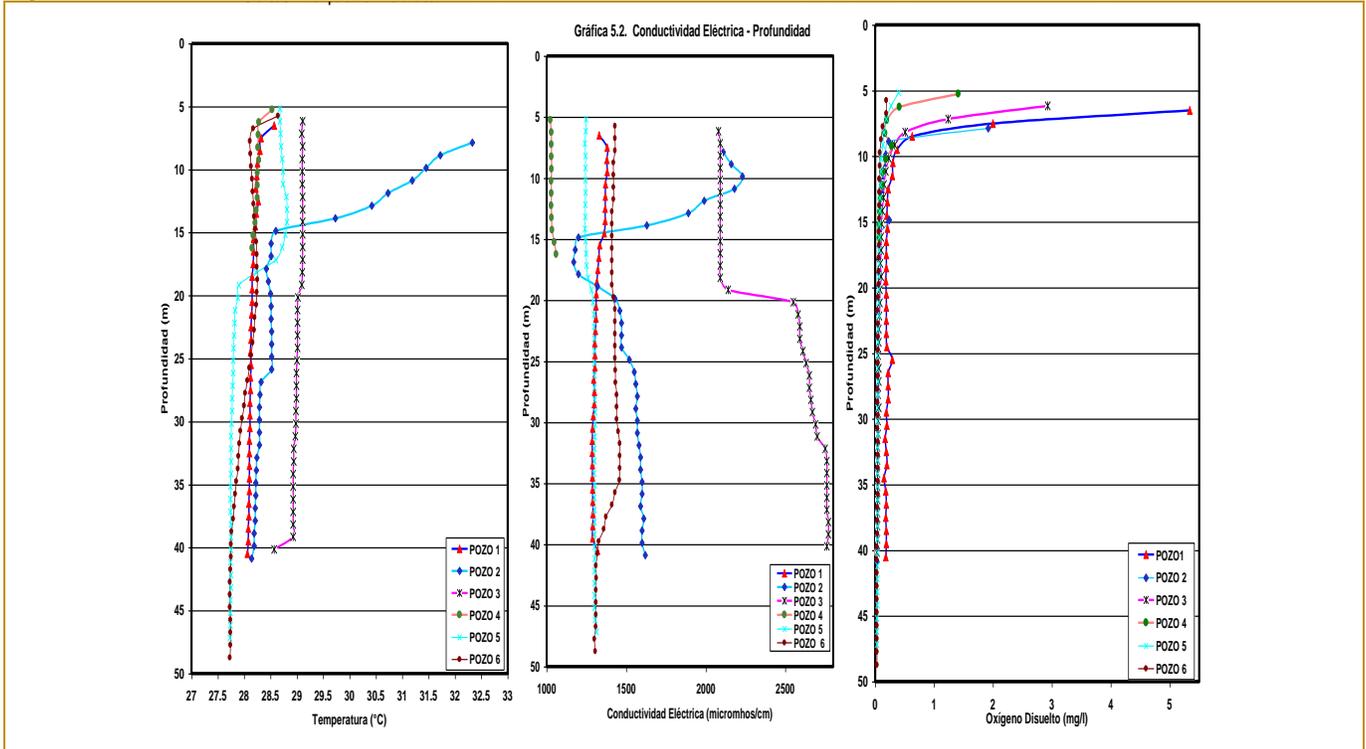
Los registros de calidad de agua (Figura 83 y Figura 84) permitieron determinar que en el Pozo 1 y en el Pozo 2 toda la columna de agua es dulce y en la parte superior del acuífero se presentan condiciones reductoras (anaerobias). Se detectó un olor a ácido sulfhídrico en el Pozo 2, debido a la infiltración del agua superficial o de la precipitación. En el Pozo 3 la temperatura del agua es mayor que la del ambiente, toda la columna de agua es dulce y presentó condiciones reductoras, teniendo olor a ácido sulfhídrico; esto debido al lixiviado de la basura que se infiltra al subsuelo. La columna de agua del Pozo 4 es dulce y presenta condiciones reductoras debido a las condiciones anaerobias existentes; por lo que se presenta contaminación bacteriológica en el agua debido al lixiviado de la basura que se infiltra al subsuelo. En los Pozos 5 y 6 la columna de agua es dulce y presentan condiciones reductoras debido a las condiciones anaerobias existentes por los lixiviados de la basura.

**Figura 82.** Corte litológico del Pozo 2 del ex basurero de Mérida, Yucatán


Fuente: Facultad de Ingeniería de la UADY (2008).

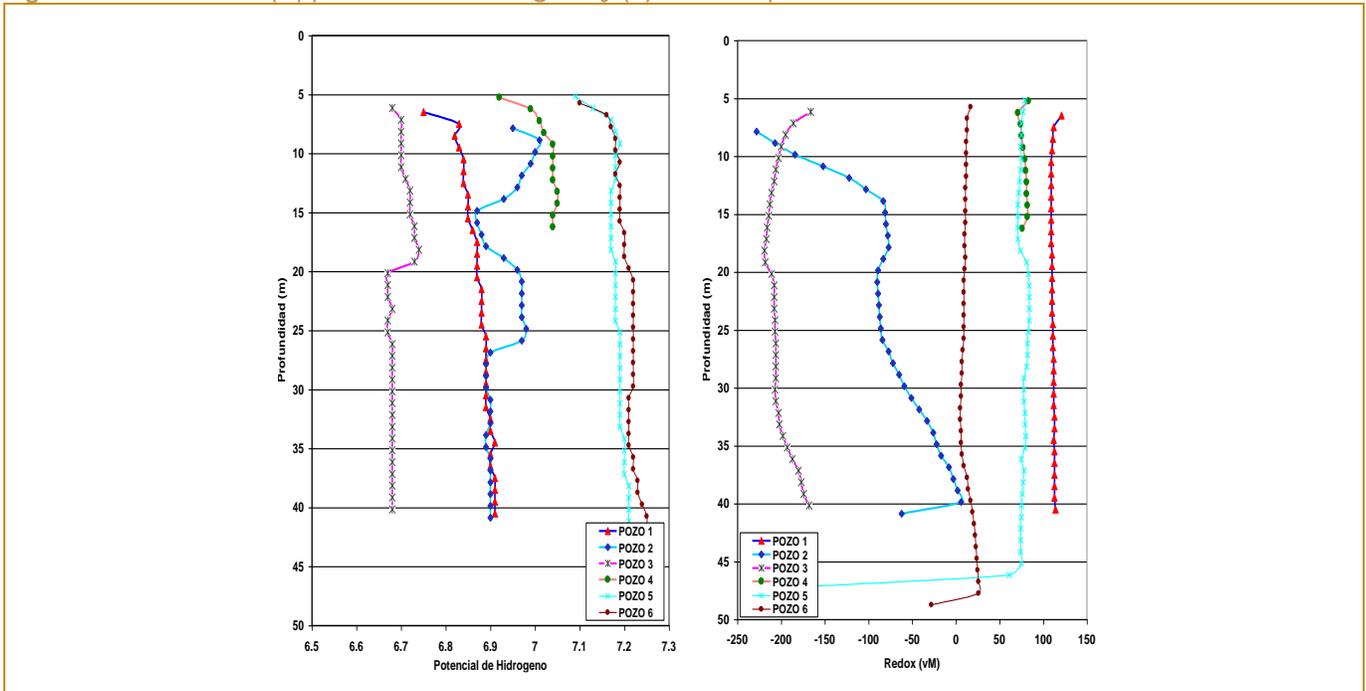
Comparando el comportamiento de cada parámetro en los pozos, se observa que la conductividad eléctrica y la temperatura presentaron aumento de acuerdo con la dirección de flujo para disminuir al pasar por la zona de la basura; indicando así el efecto de la infiltración de los lixiviados generados por la basura que se encuentra acumulada en esa zona. El potencial redox presenta una disminución de sus valores en la dirección de flujo y después de pasar por la basura aumentan sus valores, lo que indica la existencia de condiciones reductoras en la zona de la basura. El potencial de hidrógeno no tiene mucha variación entre sus valores y el oxígeno disuelto presentó valores muy bajos en todos los pozos, indicando contaminación bacteriológica.

Figura 83. Perfiles de (A) temperatura (B) conductividad eléctrica y (C) oxígeno disuelto vs profundidad



Fuente: Facultad de Ingeniería de la UADY (2008).

Figura 84. Perfiles de (D) potencial de hidrógeno y (E) redox vs profundidad



Fuente: Facultad de Ingeniería de la UADY (2008).

**Tabla 58.** Resultado de los análisis de agua de los pozos del ex basurero de Mérida.

| Pozo/P<br>rof   | Ca<br>(mg/L) | Mg<br>(mg/L) | Na<br>(mg/L) | K<br>(mg/L) | HCO <sub>3</sub><br>(mg/L) | Cl<br>(mg/L) | SO <sub>4</sub><br>(mg/L) | NO <sub>3</sub><br>(mg/L) | NKT<br>(mg/L) | NH <sub>4</sub><br>(mg/L) | N. Org<br>(mg/L) | NO <sub>2</sub><br>(mg/L) | Col. tot.<br>NMP/100<br>mL | Col. fec.<br>NMP/100<br>mL |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|-------------|----------------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------|---------------------------|------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| POZO 1/<br>NF   | 109.12       | 58.81        | 89.84        | 8.98        | 532.53                     | 152.76       | 40.28                     | 21.51                     | 0.33          | 0                         | 0.33             | 0.039                     | 17                         | 8                          |
| POZO 1/<br>10 m | 93.28        | 65.22        | 87.16        | 5.22        | 549.00                     | 152.76       | 31.25                     | 19.33                     | 0.56          | 0                         | 0.56             | 0.017                     | 17                         | 8                          |
| POZO 1/<br>20 m | 86.24        | 65.22        | 88.17        | 4.14        | 543.51                     | 152.76       | 25.96                     | 16.29                     | 0.33          | 0                         | 0.33             | 0                         | 220                        | 34                         |
| POZO 1/<br>30 m | 93.28        | 66.29        | 88.90        | 4.20        | 549.00                     | 152.76       | 24.44                     | 17.90                     | 0.56          | 0                         | 0.56             | 0                         | 220                        | 34                         |
| POZO 2/<br>NF   | 72.16        | 59.88        | 147.05       | 61.95       | 631.35                     | 226.31       | 57.38                     | 0.47                      | 45.13         | 41.55                     | 3.58             | 0.147                     | 8 000                      | 8 000                      |
| POZO 2/<br>10 m | 79.20        | 59.88        | 103.80       | 24.35       | 549.00                     | 162.19       | 35.81                     | 1.36                      | 7.61          | 6.00                      | 1.61             | 0.046                     | 8 000                      | 8 000                      |
| POZO 2/<br>20 m | 84.48        | 55.60        | 141.97       | 53.25       | 625.86                     | 209.34       | 33.38                     | 1.05                      | 9.85          | 9.00                      | 0.85             | 0.103                     | 8 000                      | 8 000                      |
| POZO 2/<br>30 m | 84.48        | 55.60        | 140.48       | 53.25       | 625.86                     | 213.11       | 37.23                     | 0.54                      | 10.75         | 9.12                      | 1.63             | 0.130                     | 8 000                      | 8 000                      |
| POZO 3/<br>NF   | 80.96        | 65.22        | 201.37       | 56.75       | 697.23                     | 333.81       | 38.99                     | 0.58                      | 27.77         | 27.00                     | 0.77             | 0.173                     | <2                         | <2                         |
| POZO 3/<br>10 m | 75.68        | 49.18        | 207.90       | 57.00       | 631.35                     | 335.70       | 31.58                     | 0.39                      | 28.33         | 26.71                     | 1.62             | 7.000                     | <2                         | <2                         |
| POZO 3/<br>20 m | 93.28        | 55.60        | 208.50       | 59.25       | 713.70                     | 348.90       | 42.75                     | 0.33                      | 28.89         | 26.26                     | 2.63             | 0.047                     | 13                         | <2                         |
| POZO 3/<br>30 m | 89.76        | 63.08        | 256.60       | 72.00       | 730.17                     | 405.48       | 114.65                    | 0.45                      | 26.65         | 24.19                     | 2.46             | 0.021                     | 13                         | <2                         |
| POZO 4/<br>NF   | 99.12        | 60.22        | 80.86        | 4.90        | 411.75                     | 167.85       | 26.82                     | 20.18                     | 0.78          | 0                         | 0.78             | 0.040                     | 300                        | 27                         |
| POZO 4/<br>10 m | 102.48       | 47.97        | 82.98        | 6.28        | 411.75                     | 128.24       | 34.55                     | 22.08                     | 0.89          | 0.16                      | 0.72             | 0.070                     | 17                         | 11                         |
| POZO 5/<br>NF   | 79.20        | 64.15        | 106.66       | 19.05       | 510.57                     | 173.51       | 34.37                     | 4.90                      | 4.25          | 3.47                      | 0.78             | 2.120                     | 500                        | 33                         |
| POZO 5/<br>10 m | 79.20        | 58.81        | 105.02       | 19.00       | 532.53                     | 169.73       | 35.53                     | 5.47                      | 5.37          | 4.60                      | 0.77             | 0.660                     | 500                        | 33                         |
| POZO 5/<br>20 m | 75.68        | 52.39        | 107.05       | 18.75       | 494.10                     | 169.73       | 35.07                     | 6.29                      | 5.37          | 4.60                      | 0.77             | 0.300                     | 400                        | 22                         |
| POZO 5/<br>30 m | 84.48        | 50.25        | 103.46       | 18.30       | 494.10                     | 169.73       | 30.32                     | 7.17                      | 1.23          | 1.12                      | 0.11             | 0.035                     | 400                        | 22                         |
| POZO 5/<br>40 m | 72.16        | 59.88        | 108.82       | 9.55        | 499.59                     | 184.82       | 32.61                     | 7.07                      | 3.69          | 3.20                      | 0.49             | 0.440                     | 400                        | 22                         |
| POZO 6/<br>NF   | 84.48        | 66.29        | 117.06       | 13.45       | 516.06                     | 192.37       | 73.16                     | 23.63                     | 0.33          | 0                         | 0.33             | 7.030                     | 500                        | <2                         |
| POZO 6/<br>10 m | 77.44        | 69.50        | 121.61       | 14.10       | 532.53                     | 199.91       | 60.20                     | 20.00                     | 2.24          | 1.51                      | 0.73             | 2.150                     | 500                        | <3                         |
| POZO 6/<br>20 m | 133.76       | 34.21        | 124.42       | 15.50       | 532.53                     | 205.57       | 45.91                     | 16.10                     | 3.47          | 2.63                      | 0.84             | 2.920                     | 4                          | <4                         |
| POZO 6/<br>30 m | 140.80       | 21.38        | 125.16       | 16.70       | 527.04                     | 209.34       | 47.34                     | 19.33                     | 1.45          | 0.56                      | 0.89             | 4.860                     | 4                          | <5                         |
| POZO 6/<br>40 m | 140.80       | 28.87        | 136.03       | 17.15       | 543.51                     | 213.11       | 44.78                     | 17.53                     | 2.12          | 1.68                      | 0.44             | 3.560                     | 4                          | <2                         |

...continuación de tabla por la derecha

| Pozo/P<br>rof   | STD<br>(mg/L) | DQO<br>(mg/L) | DBO<br>(mg/L) | C.<br>Org.<br>(mg/L) | Mn<br>(mg/L) | Ni<br>(mg/L) | Zn<br>(mg/L) | Pb<br>(mg/L) | Cd<br>(mg/L) | Cr<br>(mg/L) | Cu<br>(mg/L) | Fe<br>(mg/L) | Hg<br>(µg/L) | As<br>(µg/L) |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| POZO 1/<br>NF   | 86 405.0      | 5.90          | 2.18          | 77.00                | 0.020        | 0.130        | 0.045        | N.D.         | N.D.         | 0.149        | N.D.         | 0.818        | 1.884        | 1.284        |
| POZO 1/<br>10 m | 863.2         | 6.31          | 2.94          | 77.07                | 0.014        | 0.097        | 0.012        | N.D.         | N.D.         | 0.118        | N.D.         | 0.603        | 1.658        | 1.294        |
| POZO 1/<br>20 m | 841.8         | 3.44          | 2.59          | 77.64                | 0.015        | 0.108        | 0.029        | N.D.         | N.D.         | 0.118        | N.D.         | 0.609        | 2.000        | 1.214        |
| POZO 1/<br>30 m | 838.5         | 4.67          | 1.65          | 75.48                | 0.010        | 0.072        | 0.056        | N.D.         | N.D.         | 0.078        | N.D.         | 0.426        | 1.566        | 1.326        |

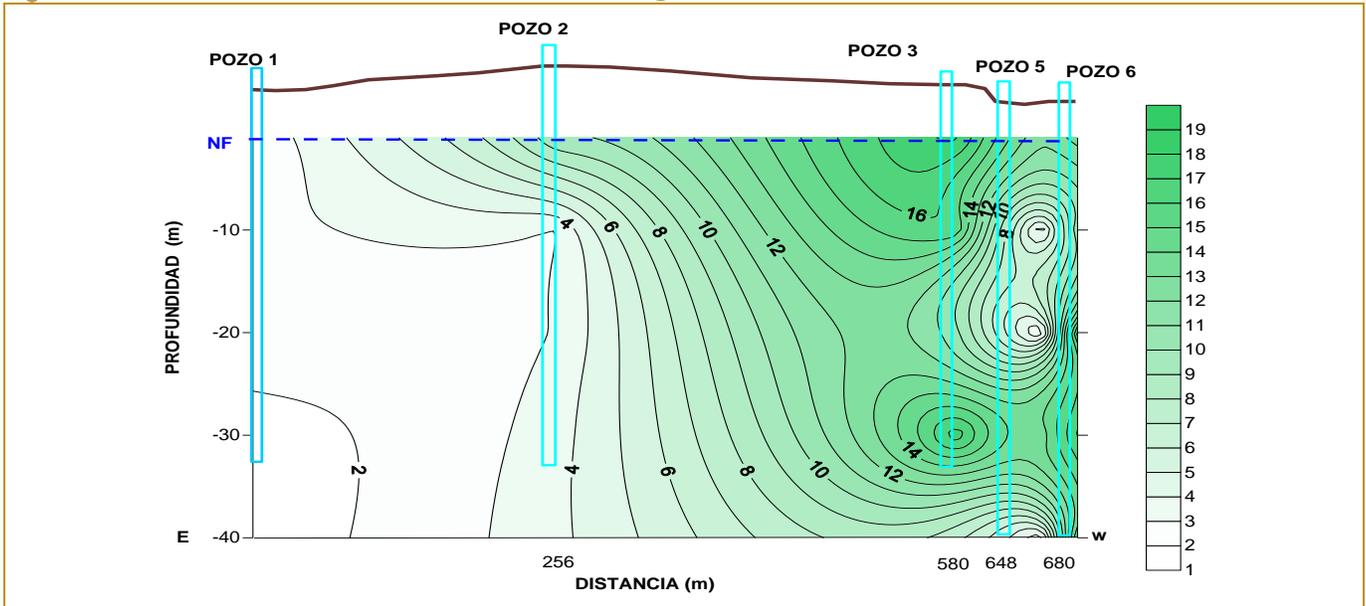
|             |         |        |       |        |       |       |       |      |      |       |      |       |        |        |
|-------------|---------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|--------|--------|
| POZO 2/ NF  | 1 371.5 | 379.91 | 9.85  | 167.20 | 0.043 | 0.112 | 0.175 | N.D. | N.D. | 0.076 | N.D. | 1.958 | 23.68  | 4.688  |
| POZO 2/10 m | 780.0   | 40.32  | 2.94  | 95.77  | 0.031 | 0.168 | 0.043 | N.D. | N.D. | 0.149 | N.D. | 0.978 | 2.000  | 3.484  |
| POZO 2/20 m | 1 020.5 | 37.05  | 3.12  | 111.10 | 0.033 | 0.183 | 0.049 | N.D. | N.D. | 0.148 | N.D. | 1.257 | 51.250 | 6.884  |
| POZO 2/30 m | 1 046.5 | 26.41  | 3.65  | 109.20 | 0.028 | 0.133 | 0.025 | N.D. | N.D. | 0.106 | N.D. | 0.961 | 11.710 | 7.410  |
| POZO 3/ NF  | 1 352.0 | 52.25  | 18.21 | 132.40 | 0.034 | 0.132 | 0.065 | N.D. | N.D. | 0.092 | N.D. | 0.912 | 0.650  | 10.063 |
| POZO 3/10 m | 1 358.0 | 52.67  | 15.73 | 129.50 | 0.030 | 0.110 | 0.067 | N.D. | N.D. | 0.053 | N.D. | 0.577 | 0.696  | 10.093 |
| POZO 3/20 m | 1 722.5 | 49.75  | 10.24 | 148.70 | 0.030 | 0.110 | 0.038 | N.D. | N.D. | 0.061 | N.D. | 0.655 | 7.000  | 10.336 |
| POZO 3/30 m | 1794.0  | 52.25  | 17.67 | 140.80 | 0.037 | 0.169 | 0.056 | N.D. | N.D. | 0.114 | N.D. | 1.065 | 1.038  | 13.202 |
| POZO 4/ NF  | 665.6   | 8.36   | 6.65  | 59.95  | 0.016 | 0.127 | 0.021 | N.D. | N.D. | 0.132 | N.D. | 0.679 | 2.2040 | 1.628  |
| POZO 4/10 m | 681.2   | 8.78   | 2.35  | 67.86  | 0.020 | 0.108 | 0.030 | N.D. | N.D. | 0.118 | N.D. | 0.723 | 3.058  | 1.734  |
| POZO 5/ NF  | 811.2   | 30.58  | 12.15 | 93.06  | 0.026 | 0.132 | 0.008 | N.D. | N.D. | 0.119 | N.D. | 0.658 | 7.536  | 2.880  |
| POZO 5/10 m | 809.3   | 9.75   | 3.21  | 88.02  | 0.037 | 0.212 | 0.018 | N.D. | N.D. | 0.149 | N.D. | 0.809 | 39.420 | 3.212  |
| POZO 5/20 m | 845.0   | 10.58  | 2.82  | 85.99  | 0.042 | 0.272 | 0.006 | N.D. | N.D. | 0.239 | N.D. | 1.117 | 4.428  | 2.694  |
| POZO 5/30 m | 846.3   | 53.44  | 13.48 | 86.26  | 0.036 | 0.179 | 0.014 | N.D. | N.D. | 0.118 | N.D. | 0.790 | 83.000 | 3.690  |
| POZO 5/40 m | 846.0   | 16.83  | 3.18  | 80.38  | 0.033 | 0.195 | 0.009 | N.D. | N.D. | 0.104 | N.D. | 0.774 | 2.362  | 3.432  |
| POZO 6/ NF  | 929.5   | 13.92  | 13.48 | 85.96  | 0.029 | 0.171 | 0.012 | N.D. | N.D. | 0.118 | N.D. | 0.961 | 0.778  | 6.586  |
| POZO 6/10 m | 916.5   | 11.83  | 10.88 | 86.04  | 0.026 | 0.086 | 0.009 | N.D. | N.D. | 0.026 | N.D. | 1.489 | 2.26   | 20.025 |
| POZO 6/20 m | 930.8   | 19.75  | 18.67 | 88.57  | 0.023 | 0.102 | 0.004 | N.D. | N.D. | 0.033 | N.D. | 0.545 | 0.688  | 5.620  |
| POZO 6/30 m | 929.5   | 19.33  | 17.18 | 89.75  | 0.017 | 0.062 | 0.007 | N.D. | N.D. | 0.057 | N.D. | 0.637 | 1.692  | 5.332  |
| POZO 6/40 m | 851.5   | 17.67  | 16.29 | 90.85  | 0.023 | 0.121 | 0.006 | N.D. | N.D. | 0.087 | N.D. | 0.813 | 0.894  | 6.192  |

N.D.: No detectable; NF: nivel freático; Col. tot.: coliformes totales; Col. fec.: coliformes fecales; C. org.: carbón orgánico total; N. org.: nitrógeno orgánico; STD: sólidos totales disueltos; Prof.: profundidad.

Fuente: Facultad de Ingeniería de la UADY (2008).

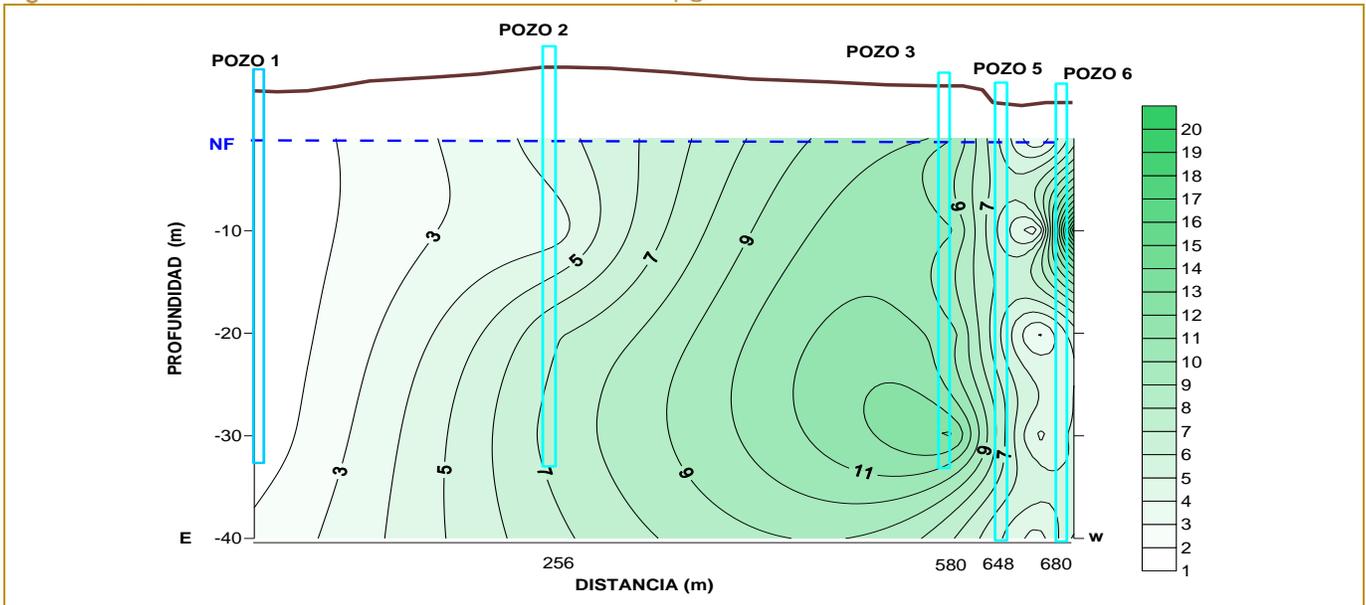
En general se observa el efecto de la infiltración de los lixiviados de la basura acumulada en el área, ocasionando así contaminación del acuífero en esa zona. En general, se observó el efecto que causó en la calidad de agua subterránea la infiltración de los lixiviados de la basura acumulada en la parte central del terreno en estudio, desplazándose dicha contaminación en dirección del flujo subterráneo hacia el noroeste del ex basurero y verticalmente hacia el fondo de los pozos (Figura 85 y Figura 86). Esta contaminación fue bacteriológica y de metales pesados contenidos en la basura depositada en esa zona sin el manejo técnico-ambiental adecuado.

Figura 85. Sección de isoconcentración de DBO en mg/L



Fuente: Facultad de Ingeniería de la UADY (2008).

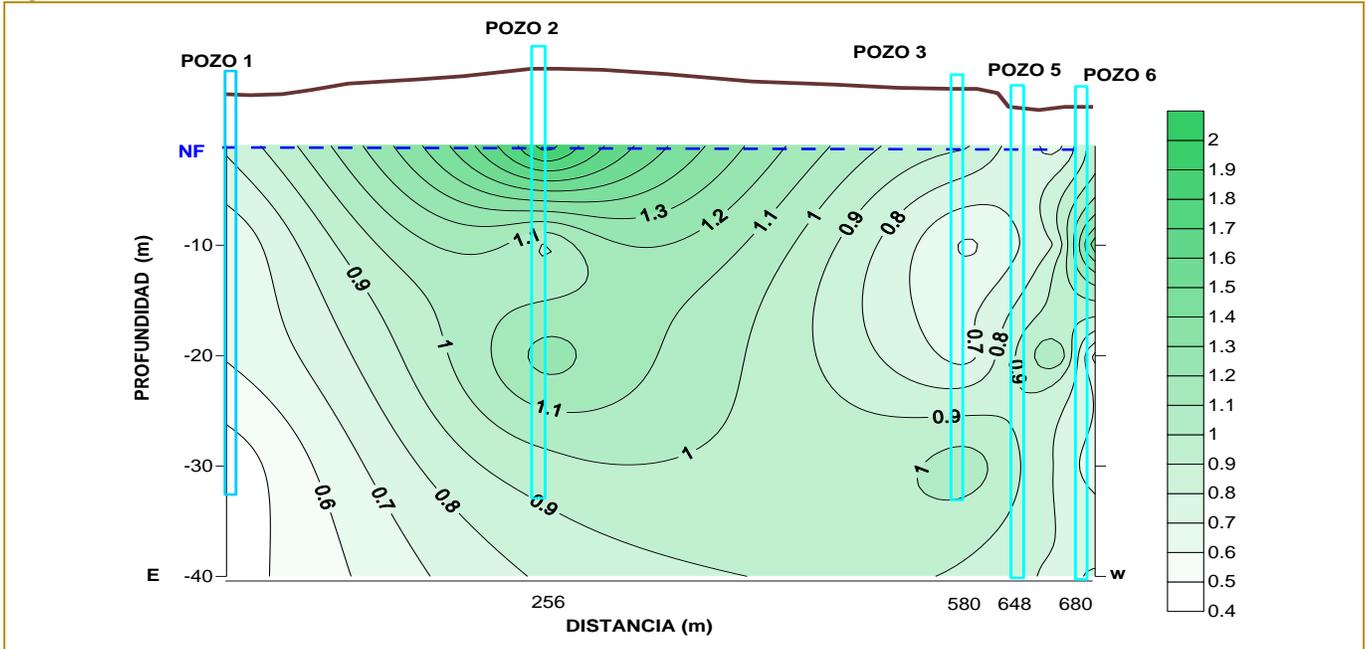
Figura 86. Sección de isoconcentración de arsénico en µg/L



Fuente: Facultad de Ingeniería de la UADY (2008).

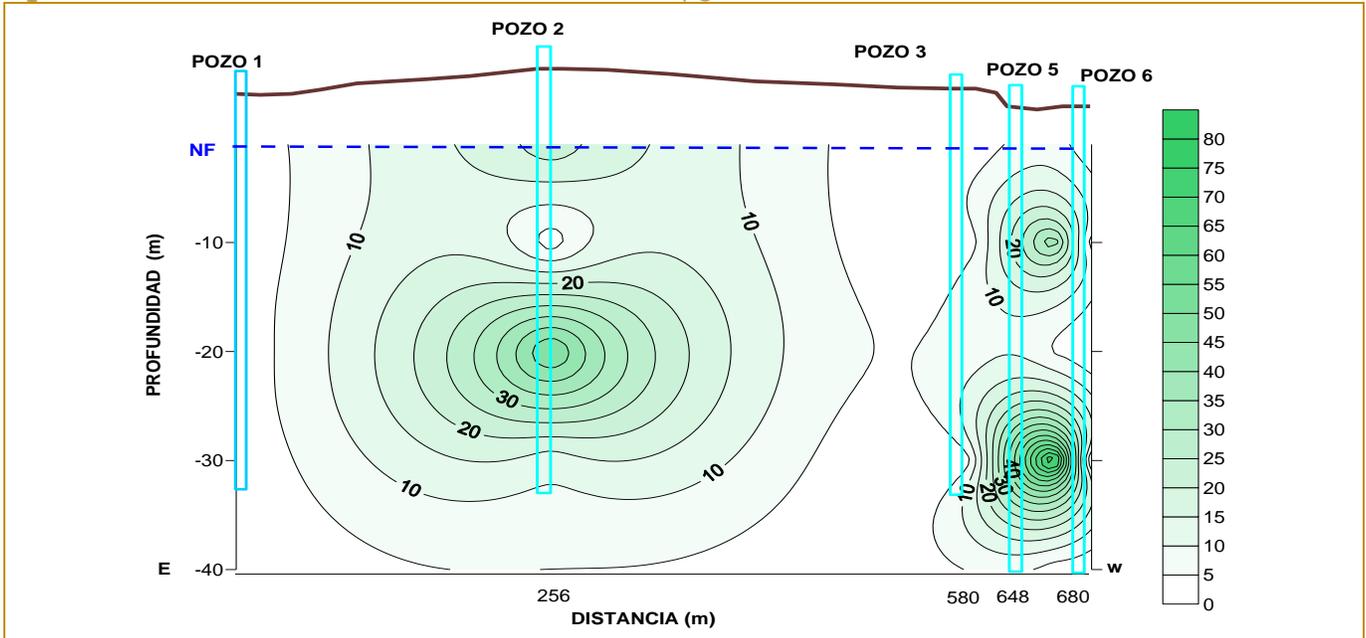
La concentración de hierro varió entre 0.436 y 1.958 mg/L. Se presentó la mayor concentración a nivel freático en el pozo 2 disminuyendo horizontal y verticalmente en forma radial (Figura 87). La alta concentración en el pozo 2 es debido a la infiltración del lixiviado de la basura acumulada en esa zona, que se encuentra con mucho desperdicio de hierro. Todas las muestras de agua rebasaron la NOM-127-SSA1-1994. El mercurio (Hg) varió entre 0.650 y 83.00 µg/L. La mayor concentración se presentó en el pozo 2 a 20 m de profundidad, disminuyendo en forma radial hacia los extremos del terreno (Figura 88). Esta contaminación es debida a la infiltración del lixiviado de la basura que se encuentra en el área.

**Figura 87.** Sección de isoconcentración de hierro en mg/L



Fuente: Facultad de Ingeniería de la UADY (2008).

**Figura 88.** Sección de isoconcentración de mercurio en  $\mu\text{g/L}$

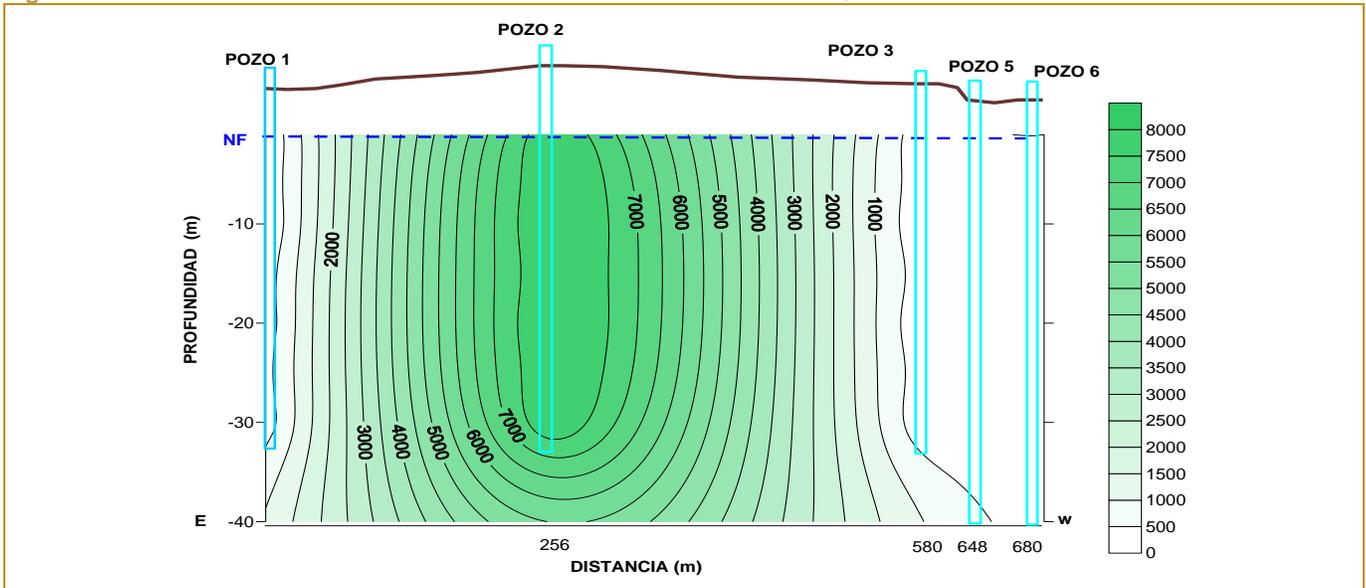


Fuente: Facultad de Ingeniería de la UADY (2008).

Los coliformes totales variaron entre  $< 2$  y  $8000$  NMP/100 mL. La mayor concentración se presentó en el pozo 2, disminuyendo en forma radial horizontal y verticalmente (Figura 89). Esta alta concentración se debió a la infiltración

del lixiviado de la basura acumulada en el área, que contiene o contenía desechos orgánicos. Las muestras rebasaron los límites de la NOM-127-SSA1-1994.

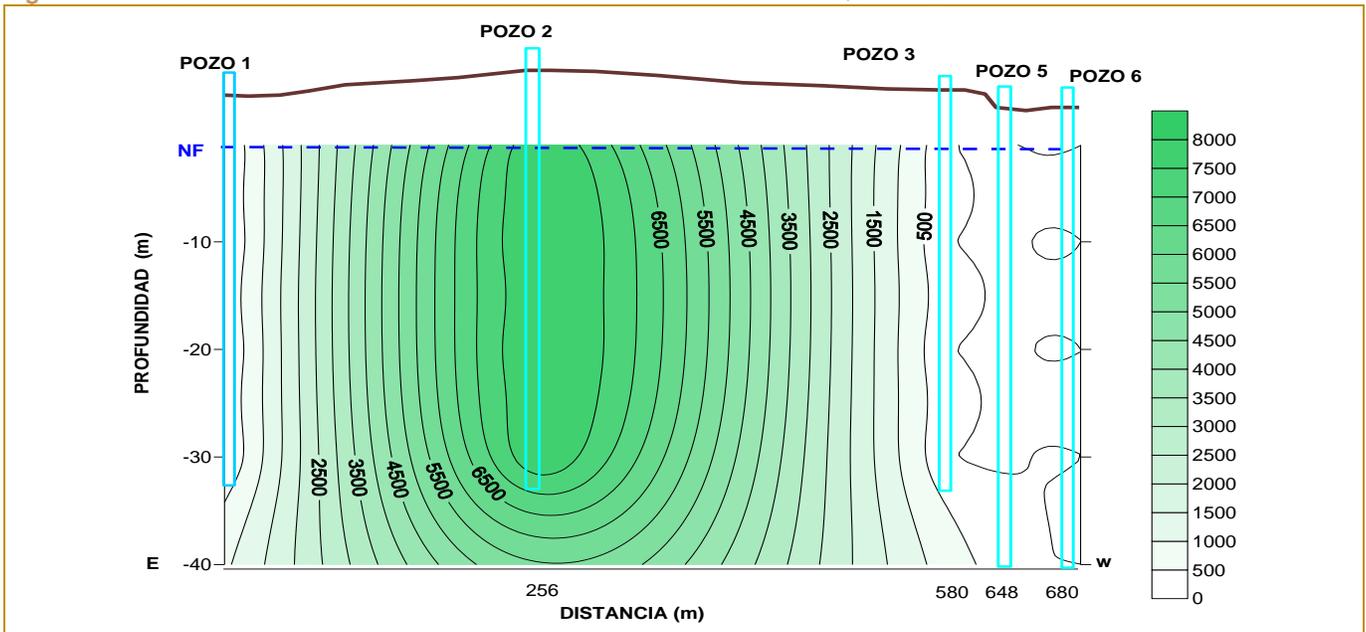
**Figura 89.** Sección de isoconcentración de coliformes totales en NMP/100 mL



Fuente: Facultad de Ingeniería de la UADY (2008).

Los coliformes fecales variaron entre < 2 y 8000 NMP/100 mL presentándose la mayor concentración en el pozo 2, disminuyendo en forma radial horizontal y verticalmente (Figura 90). Esta alta concentración se debió a la infiltración del lixiviado de la basura acumulada en el área, que contiene o contenía desechos orgánicos. Estos valores se encontraron por encima de los límites de la NOM-127-SSA1-1994.

**Figura 90.** Sección de isoconcentración de coliformes fecales en NMP/100 mL



Fuente: Facultad de Ingeniería de la UADY (2008).

En general, se observó el efecto que causó en la calidad de agua subterránea la infiltración de los lixiviados de la basura acumulada en la parte central del terreno en estudio, desplazándose dicha contaminación en dirección del flujo subterráneo hacia el noroeste del ex basurero y verticalmente hacia el fondo de los pozos.

La calidad del agua subterránea muestreada en los pozos de observación en el área del ex-basurero municipal sobrepasan los valores de los criterios considerados en la norma NOM-127-SSA1-1994 en la cual se hace referencia a los parámetros que debe cumplir el agua para uso y consumo humano; por lo tanto, en forma general no se recomienda la extracción del agua subterránea de área para el abastecimiento público.

Esto es un ejemplo de lo que sucede en los tiraderos a cielo abierto y en muchos rellenos sanitarios a nivel peninsular que han rebasado su capacidad de carga y se desbordan por su mal manejo o su falta de recursos para su ampliación y mantenimiento. Sólo en las grandes ciudades como Cancún, Mérida y Campeche mantienen un sistema de recolección y disposición más eficiente.

Con base en el análisis de geohidrología presentado a lo largo de este análisis, a continuación, se resumen algunos de los criterios recomendables para definir la ubicación de nuevos rellenos sanitarios, mismos que contribuyen a cumplir algunas de las especificaciones previstas en la NOM-083- SEMARNAT -2003 y las recomendaciones del "Manual de especificaciones técnicas para la construcción de rellenos sanitarios para residuos sólidos urbanos y residuos de manejo especial (SEMARNAT 2009). Sin embargo, es necesario resaltar que la decisión final sobre la ubicación, diseño y construcción del relleno sanitario deberá basarse en un análisis más profundo de la normatividad vigente, aplicable. Además, deberá de contar con una manifestación de impacto ambiental regional (Merediz et al. 2019):

- Evitar zonas donde la haloclina es relativamente somera, es decir, en las cercanías de la costa.
- Dar prioridad a sitios en el interior del municipio donde la haloclina es más profunda y, por lo tanto, el espesor de la lente de agua dulce es menos vulnerable o presenta una mayor capacidad de amortiguamiento a la contaminación.
- Evitar construir rellenos sanitarios en la zona de mayor densidad de cuevas inundables, más vulnerables, con conectividad más directa a otros ecosistemas y con mayores velocidades de flujo de agua. Esto significa que es mejor utilizar terrenos al occidente de la Fractura de Holbox, en tierra adentro.
- Es necesario evitar la instalación del relleno sanitario sobre zonas fracturadas, especialmente la Fractura de Holbox, para evitar la multiplicación de sus impactos ambientales a nivel regional y los riesgos derivados de la potencial sismicidad en dichas estructuras sobre el relleno.
- No instalar rellenos sanitarios en el sur del municipio para evitar los riesgos de contaminación de los humedales y ecosistemas marinos de la RBSK, Sitio Patrimonio de la Humanidad.
- Evitar los terrenos de selvas primarias, humedales y manglares, procurando usar terrenos con vegetación secundaria o desmontados, no ligados a zonas fracturadas.
- Presencia de carreteras y caminos existentes para reducir el impacto de la apertura de nuevos accesos, con los impactos que ello representa.
- Considerar la presencia de carreteras que comunican con una mayor proporción de la población y facilite la logística de transporte de los residuos sólidos.
- Tener en cuenta la tenencia de la tierra.

### **1.8.3 Contaminación derivada de la disposición de lodos de fosas sépticas y de aquellas del proceso de nixtamalización del maíz**

Por otra parte, en la Ciudad de Mérida y su Zona Conurbada, como en otras áreas de la PY y el resto del país, la industria de la nixtamalización es una de las más importantes, ya que las tortillas constituyen un alimento básico. El proceso conocido como "nixtamalización" consiste en someter al grano de 15 min. a 1 hora, a un cocimiento con agua e hidróxido de calcio; dejarlo reposar a temperatura ambiente durante 8 - 19 horas y posteriormente lavarlo con grandes cantidades de agua, obteniéndose el grano de maíz blando y sin cascarilla conocido como "nixtamal" y las aguas residuales como "nejayote", las cuales se encuentran en una proporción, en peso, de 3 a 5 partes de agua por 1 parte de maíz. Por lo que por cada tonelada de maíz nixtamalizado se producen al menos 3 toneladas de nejayote con un pH muy alcalino (10-12). A las aguas residuales generadas durante la nixtamalización se les ha concedido poca importancia ya que son consideradas aguas de desecho y generalmente son arrojadas al drenaje o directamente al entorno, contribuyendo así al problema de contaminación ambiental, ya que poseen una demanda bioquímica de oxígeno del orden de 2700 mg O<sub>2</sub>/l (Rivera 1994, citado por DAICOS, SA de CV 2011). Esta cantidad de aguas residuales que no reciben el tratamiento adecuado coloca a la industria del maíz nixtamalizado para consumo humano dentro

de las cinco principales fuentes de contaminantes líquidos que se producen en México. Otro tipo de aguas residuales, que no representan un gran porcentaje en volumen, pero son representativas por el alto grado de contaminantes, son las que contienen sustancias altamente alcalinas y grasas, como las generadas por las industrias hotelera, restaurantera, de elaboración de alimentos, procesamiento de carnes y de los baños portátiles.

Ante la problemática de salud y contaminación ambiental que se generó por la falta de un tratamiento adecuado de las aguas residuales mencionadas, el Ayuntamiento de Mérida construyó hace más de 15 años un sistema de lagunas de oxidación, para recibir estas aguas y lodos recolectadas por empresas particulares, a través de pipas. En su momento las lagunas de oxidación ubicadas al costado norponiente del Anillo Periférico junto al exbasurero y actualmente el CRIT-Teletón Mérida, funcionan como un decantador artificial que no cumple con las normas en materia de salud, por no contar con los tiempos de retención y degradación adecuados; por lo que, como sistema de tratamiento de aguas residuales ha dejado de ser efectivo y se convirtió en un grave foco de infección, además de generar contaminación por dispersión y malos olores que afectan a los ciudadanos que viven por la zona poniente de la ciudad.

Desafortunadamente estas instalaciones solamente funcionan como lagunas de evaporación y por lo general a esa fecha se encontraban azolvadas debido a los residuos sólidos, de tal manera que durante períodos de altas precipitaciones rebozaban y era común que se formaran encharcamientos en los alrededores que contenían desechos contaminados. No se encontró ninguna referencia sobre el destino que se daría a estos lodos secos, tampoco se evidenció un manejo coordinado de estos sólidos; sin embargo, se observó la presencia de montículos de sólidos cubiertos de vegetación.

En febrero de 2008, la Facultad de Ingeniería de la UADY observaron en el área del exbasurero la existencia de 4 lagunas de oxidación adicionales, las que aparentemente tienen una capacidad similar a las anteriores y sus efluentes también descargan directamente al terreno aledaño, con lo que contribuyen a que el pantano y los dos cuerpos de agua superficiales (en los que habita una gran variedad de fauna, principalmente aves) se mantengan.

Los parámetros que se analizaron en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la UADY (2008) para las aguas de la laguna fueron, metales (Tabla 59): manganeso (Mn), hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu), mercurio (Hg), arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb), cromo (Cr), físicoquímicos: sodio (Na), potasio (K), magnesio (Mg), calcio (Ca), cloro (Cl), sulfatos (SO<sub>4</sub>), bicarbonatos (HCO<sub>3</sub>), carbonatos (CO<sub>3</sub>), sólidos disueltos (SD), sanitarios: nitratos (NO<sub>3</sub>), nitrógeno Kjeldhal total (NKT), amonio (NH<sub>4</sub>), nitritos (NO<sub>2</sub>), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), así como el de coliformes fecales (Tabla 59).

Entre otras conclusiones se puede resaltar que las concentraciones encontradas de coliformes, tanto totales como fecales, hacen ver que las lagunas de oxidación no contribuyen a la eliminación de estos patógenos por lo que, con base en estos resultados, es recomendable que se estudie nuevas formas de tratamiento para este tipo de residuos que son vertidos en las denominadas lagunas de oxidación.

Los parámetros de calidad del agua determinados tanto para los efluentes de las lagunas de oxidación así como para las aguas superficiales de la laguna adyacente a la misma, presentaron condiciones que sobrepasan la norma NOM-001-ECOL-1996, por lo que estas aguas tienen características de agua residual, lo que constituye un riesgo para el manto acuífero, por lo que es importante realizar monitoreo periódico a las lagunas artificiales adyacentes a plantas de tratamiento de aguas y lodos residuales así como de vertederos de basura.

La concentración de carbón orgánico medido (Figura 91) en la laguna muestra valores entre 296.00 y 406.60 mg/L, con un valor promedio de 335.51 mg/L. Este parámetro permite corroborar la aún elevada presencia de materia orgánica susceptible de oxidación como contenido de las aguas superficiales. Este parámetro tampoco se encuentra registrada en la NOM-001-ECOL-1996, pero si se encuentra en Normas de países industrializados.

Las concentraciones de la demanda química oxígeno (DQO) total encontrada en la laguna aledaña a las lagunas de oxidación varían en valores de 392 a 630 mg/L, con un valor promedio de este parámetro de 470 mg/L (Figura 92). La componente soluble de materia orgánica que contribuye a que se de esta demanda en oxígeno registra valores de DQO que varía de 245 a 496 mg/L y una concentración promedio de 239 mg/L. Si bien este parámetro no forma parte de los valores límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales, descritos en la NOM-001-ECOL-1996; sin embargo, es uno de los parámetros empleados en otros países para referirse a la contaminación.

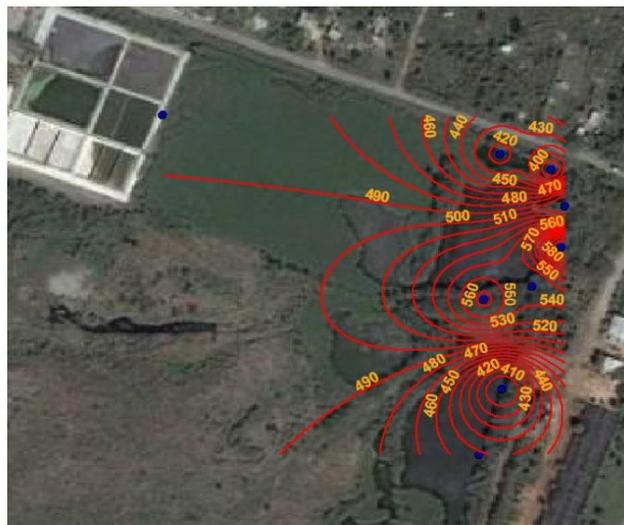
**Figura 91.** Isoconcentraciones para el carbol orgánico total (mh/L)



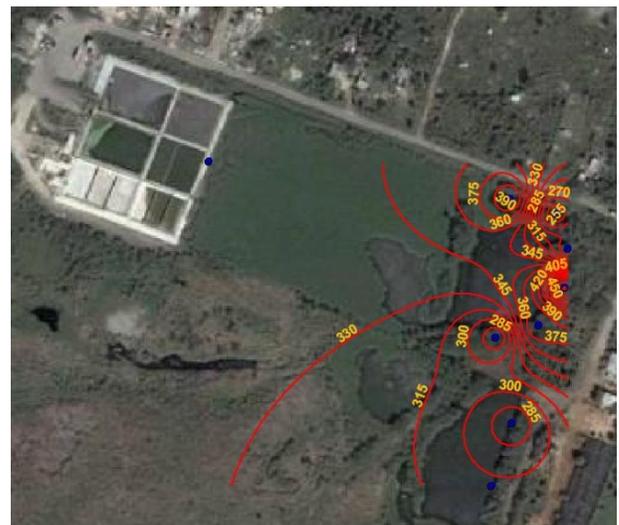
Fuente: Facultad de Ingeniería de la UADY (2008).

Por lo que comparándolas con ellas estos valores sobrepasan los límites permisibles para descargas directas. La variación de concentración observada en la DBO5 se presentó entre los 67.69 y los 176.27 mg/L (0), con una concentración promedio de 103.87 mg/L. Estos valores se encuentran todavía por encima de los valores permisibles para descarga de aguas domiciliarias, como se especifica en la NOM-001-ECOL-1996. Es también importante mencionar que existen valores de DBO en la laguna que están por arriba de las concentraciones que emanan de las lagunas de oxidación, lo cual implica que existen otras contribuciones a esta laguna. De ahí que existen probablemente aportaciones por lixiviación proveniente del ex basurero.

**Figura 92.** Isoconcentraciones para la DQO total y soluble (mg/L)



DQO Total



DQO Soluble

Fuente: Facultad de Ingeniería de la UADY (2008).

**Figura 93.** Isoconcentraciones para la DBO5 (mg/L)



Fuente: Facultad de Ingeniería de la UADY (2008).

La cantidad de coliformes totales presentes en las aguas de la laguna variaron entre  $1.8 \cdot 10^5$  NMP/100 mL hasta  $5.0 \cdot 10^6$  NMP/100 mL, con un valor promedio de  $1.12 \cdot 10^5$  NMP/100 mL, presentándose la mayor concentración en el efluente de las lagunas de oxidación y mostrando una distribución prácticamente igual en el resto de la laguna del orden de 105 NMP/100 mL. Estas altas concentraciones sobrepasan los límites permisibles de coliformes para descargas de aguas residuales por lo que representan un alto riesgo de contaminación para las aguas subterráneas.

La cantidad de coliformes fecales detectadas en la laguna variaron entre  $2 \cdot 10^4$  NMP/100 mL hasta  $1 \cdot 10^6$  NMP/100 mL, con un valor promedio de  $2.69 \cdot 10^5$  NMP/100mL. En el caso de los coliformes fecales se da una mayor variación que en el caso de los coliformes totales pero el orden de presencia se sitúa en 105 NMP/100 mL; de donde las concentraciones encontradas sobrepasan los límites permisibles por las normas mexicanas, de ahí que representan un alto riesgo de contaminación para las aguas subterráneas, por lo que sería importante tomar en consideración el saneamiento del área de la laguna. Se puede resaltar que las concentraciones encontradas de coliformes tanto totales como fecales hacen ver que las lagunas de oxidación no contribuyen a la eliminación de estos patógenos por lo que con base en estos resultados es recomendable que se estudie nuevas formas de tratamiento para este tipo de residuos que son vertidos en las denominadas lagunas de oxidación. Los parámetros de calidad del agua determinados tanto para los efluentes de las lagunas de oxidación así como para las aguas superficiales de la laguna adyacente a la misma, presentaron condiciones que sobrepasan la norma NOM-001-ECOL-1996, por lo que estas aguas tienen características de agua residual, lo que constituye un riesgo para el manto acuífero, por lo que es importante realizar monitoreo periódico a las lagunas artificiales adyacentes a plantas de tratamiento de aguas y lodos residuales así como de vertederos de basura, en algunas localidades el agua de nixtamal o de lodos se vierten sobre el terreno, ya que no hay forma de tratarlo o transportarlo. En cuanto a metales pesados (Tabla 60) el plomo, el mercurio y el hierro presentaron valores que sobrepasan la NOM-127-SSA1-1994 lo cual indica que la infiltración de esta agua representa un riesgo ambiental. El plomo, el mercurio y el hierro encontrados en las aguas superficiales de la laguna provienen también de los depósitos de basura, ya que las concentraciones registradas en la laguna son mucho mayores a la de los efluentes de la laguna de oxidación.

**Tabla 59.** Datos fisicoquímicos, sanitarios y biológicos para las aguas de la laguna derivada de las aguas de nixtamal.

| Muestra | Nitrógeno | Nitrógeno | Nitrógeno | NO <sub>2</sub> -- | NO <sub>3</sub> - | DQO     | DQO   | DBO    | PO <sub>43</sub> - | Na+    | K+    |
|---------|-----------|-----------|-----------|--------------------|-------------------|---------|-------|--------|--------------------|--------|-------|
|         | Kjendhal  | amoniacal | orgánico  |                    |                   | soluble | total | 5 días |                    |        |       |
|         | mg/L      | mg/L      | mg/L      | mg/L               | mg/L              | mg/L    | mg/L  | mg/L   | mg/L               | mg/L   | mg/L  |
| ME1     | 31.92     | 21.84     | 10.08     | 6.04               | 0.04              | 402     | 417   | 67.69  | 0,01               | 80.86  | 4.90  |
| ME2     | 42.00     | 22.68     | 19.32     | 4.32               | 0.02              | 245     | 392   | 76.88  | 0.01               | 82.98  | 6.28  |
| ME3     | 50.96     | 20.44     | 30.52     | 6.97               | 0.56              | 275     | 496   | 88.55  | 0.01               | 89.84  | 8.98  |
| ME4     | 44.80     | 22.96     | 21.84     | 7.39               | 0.02              | 496     | 630   | 98.25  | 0.01               | 87.16  | 5.22  |
| ME5     | 45.58     | 18.76     | 26.82     | 6.82               | 0.07              | 385     | 541   | 135.79 | 0.01               | 88.17  | 4.14  |
| ME6     | 35.50     | 18.48     | 17.02     | 3.98               | 0.13              | 276     | 562   | 176.27 | 0.01               | 88.90  | 4.20  |
| ME7     | 87.36     | 76.16     | 11.20     | 11.51              | 0.10              | 278     | 401   | 108.33 | 0.02               | 147.05 | 61.95 |
| ME8     | 66.08     | 49.00     | 17.08     | 8.09               | 0.11              | 369     | 392   | 76.60  | 0.02               | 103.80 | 24.35 |
| EF-Lag  | 88.70     | 72.80     | 15.90     | 5.02               | 0.25              | 325     | 401   | 106.46 | 0.02               | 141.97 | 53.25 |

... continuación de tabla por la derecha

| Muestra | Carbón   | Sólidos | Sólidos | Sólidos   | Col.              | Col.              | SO <sub>42</sub> - | Cl-    | HCO <sub>3</sub> - | Ca <sup>2+</sup> | Mn <sup>2+</sup> |
|---------|----------|---------|---------|-----------|-------------------|-------------------|--------------------|--------|--------------------|------------------|------------------|
|         | orgánico | totales | fijos   | volátiles | totales           | fecales           |                    |        |                    |                  |                  |
|         | mg/L     | mg/L    | mg/L    | mg/L      | NMP/<br>100<br>mL | NMP/<br>100<br>mL | mg/L               | mg/L   | mg/L               | mg/L             | mg/L             |
| ME1     | 374.2    | 2 745   | 2 206   | 539       | 1.9*105           | 6.0*104           | 142                | 810.95 | 1 164.98           | 135.24           | 86.75            |
| ME2     | 313.2    | 2 830   | 2 185   | 645       | 4.1*105           | 1.0*105           | 133                | 848.67 | 1 125.45           | 119.28           | 95.94            |
| ME3     | 334.3    | 2 975   | 2 620   | 355       | 1.8*105           | 2.0*104           | 148                | 839.24 | 1 081.53           | 114.40           | 99.44            |
| ME4     | 313.7    | 2 807   | 2 187   | 620       | 2.7*105           | 8.0*104           | 120                | 810.95 | 1 152.90           | 123.20           | 100.50           |
| ME5     | 311.7    | 2 829   | 2 124   | 705       | 3.5*105           | 4.0*104           | 128                | 848.67 | 1 108.98           | 107.36           | 106.92           |
| ME6     | 314.4    | 2 660   | 2 096   | 564       | 4.3*105           | 2.8*105           | 147                | 858.10 | 1 081.53           | 109.12           | 99.97            |
| ME7     | 296.0    | 2 308   | 1 864   | 444       | 2.3*105           | 1.2*105           | 195                | 669.51 | 1 443.87           | 165.44           | 93.02            |
| ME8     | 406.6    | 2 449   | 1 970   | 479       | 3.0*106           | 1.0*106           | 126                | 754.38 | 1 238.00           | 146.08           | 89.81            |
| EF-Lag  | 356.4    | 2 511   | 2 052   | 459       | 5.0*106           | 7.2*105           | 178                | 678.94 | 1 677.20           | 235.84           | 92.40            |

Fuente: Facultad de Ingeniería de la UADY (2008).

**Tabla 60.** Datos de metales traza en la laguna adyacente a las lagunas de oxidación.

| Mn   | Ni   | Zn   | Pb     | Cd   | Cr   | Cu   | Fe   | Hg   | As   |
|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|
| mg/L | mg/L | mg/L | µg/L   | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | µg/L | µg/L |
| 0.04 | 0.14 | 0.44 | 6.90   | N.D. | N.D. | N.D. | 0.86 | 3.38 | 1.28 |
| 0.06 | 0.20 | 0.91 | 3.03   | N.D. | N.D. | N.D. | 0.92 | 1.34 | 1.31 |
| 0.04 | 0.12 | 0.82 | 2.59   | N.D. | N.D. | N.D. | 0.95 | 1.42 | 1.75 |
| 0.05 | 0.20 | 0.58 | 2.26   | N.D. | N.D. | N.D. | 0.82 | 1.98 | 1.38 |
| 0.05 | 0.14 | 0.64 | 198.40 | N.D. | N.D. | N.D. | 0.94 | 2.98 | 1.82 |
| 0.04 | 0.12 | 0.66 | 6.67   | N.D. | N.D. | N.D. | 0.58 | 5.12 | 1.70 |

| Mn   | Ni   | Zn   | Pb     | Cd   | Cr   | Cu   | Fe   | Hg   | As   |
|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|
| 0.04 | 0.06 | 0.94 | 141.06 | N.D. | N.D. | N.D. | 1.19 | 2.92 | 1.96 |
| 0.04 | 0.06 | 0.69 | 53.33  | N.D. | N.D. | N.D. | 1.07 | 2.80 | 1.41 |
| 0.09 | 0.19 | 0.46 | 34.02  | N.D. | N.D. | N.D. | 2.52 | 1.84 | 2.41 |

N.D.: = No detectado

**Nota:** Fracción (peso/volumen) = (masa analito)/(Volumen de muestra de agua).

**Fuente:** Facultad de Ingeniería de la UADY (2008).

En este sentido, y conforme a los resultados obtenidos en el censo correspondiente a las descargas de aguas residuales en las lagunas de oxidación del año 2008, previo a su clausura permanente, se obtuvieron los volúmenes diarios de acuerdo con el tipo de agua residual (Tabla 61), quedando de la siguiente manera:

**Tabla 61. Censo de descargas residuales**

|   |                          |
|---|--------------------------|
| Fosas sépticas domésticas, mercados y comercios | 516 m <sup>3</sup>       |
| Aguas de desecho de nixtamal                    | 180 m <sup>3</sup>       |
| Servicios públicos municipales                  | 22 m <sup>3</sup>        |
| Otros servicios (industriales de proceso)       | 30 m <sup>3</sup>        |
| <b>Total</b>                                    | <b>748 m<sup>3</sup></b> |

**Fuente:** S.DAICOS (2011)

Si al total de entrada a las lagunas de oxidación le agregamos el volumen de las fosas que actualmente no se les ha dado mantenimiento o limpieza, nos dará un total de:

$$(748 + 230): 978 \text{ m}^3$$

### 1.8.4 Contaminación derivada de la Actividad Industrial

Vázquez et al. (1997), identificaron compuestos orgánicos disueltos en el acuífero por debajo de la Ciudad de Mérida, en concentraciones superiores en algunos casos a 10 microgramos por litro de 1,1,1 – tricloroetano, tricloroeteno y tetracloruro de carbono, en donde las mayores concentraciones se presentaron en pozos someros y profundos de la zona sureste de la ciudad de Mérida, en la UP YucN, donde la mayor parte de la industria se ubica. Las concentraciones de solventes se incrementan durante la temporada de lluvias y puede ser un indicador de que la mayor parte de los solventes residuales se encuentran en la zona insaturada del acuífero (zona vadosa) y los cuales son lavados por la recarga del acuífero debido a la lluvia. El carbón orgánico es altamente variable, sin embargo, alcanza valores superiores a los 40 mg/litro y los solventes clorinados se encuentran ampliamente distribuidos contaminando los pozos en la zona industrial.

Del mismo modo, Marín et al. (2000) mencionan que, en 12 pozos seleccionados al sur de Mérida, de los cuales 2 son de JAPAY (pozos 36 y 58) y 2 más corresponden a compañías embotelladoras (pozos 23 y 24), 4 más de la extinta empresa cervecera y otros más ubicados en varias industrias, presentan concentraciones significativas de metales como Arsénico, Cadmio, Plomo y Cromo, como se observa en la Tabla 62.

**Tabla 62.** Concentraciones de elementos potencialmente peligrosas de algunos pozos localizados al sureste de Mérida.

| Pozo # | Plomo  |        | Cromo  |        | Cadmio |        | Hierro |        | Arsénico |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|
|        | dic-91 | mar-92 | dic-91 | mar-92 | dic-91 | mar-92 | dic-91 | mar-92 | dic-91   | mar-92 |
| 61     | 0.51   |        | 0.37   |        | 0.04   |        | Nd     |        | 12.80    |        |
| 18     | 0.34   | 0.21   | 0.19   | 0.20   | 0.01   | 0.04   | 3.26   | 2.88   | 0.67     | 6.75   |
| 15     | 0.26   | 0.16   | 0.09   | 0.26   | Nd     | 0.02   | 0.69   | 0.55   | 2.36     | 1.68   |
| 23     | 0.34   | 0.30   | 0.26   | 0.11   | 0.02   | 0.03   | 4.24   | 3.02   | 1.68     | 2.03   |
| 24     | 0.26   | 0.01   | 0.19   | 0.24   | 0.01   | 0.03   | 0.98   | 0.78   | 9.12     | 11.40  |
| 1      | 0.34   | 0.10   | 0.10   | 0.11   | 0.01   | 0.02   | 0.88   | 0.64   | 1.01     | 1.35   |
| 4      | 0.34   | 0.26   | 0.01   | 0.10   | 0.03   | 0.05   | 1.03   | 0.92   | 2.70     | 2.30   |
| 7      | 0.34   | 0.10   | 0.10   | 0.11   | 0.03   | 0.05   | 3.02   | 2.99   | 1.35     | 1.97   |
| 11     |        | 0.51   |        | 0.10   |        | 0.02   |        | 0.89   | Nd       |        |
| 36     | 0.42   | 0.20   | 0.19   | 0.20   | 0.01   | 0.10   | 3.57   | 2.99   | 2.36     | 1.66   |
| 58     |        | 0.10   |        | 0.18   |        | 0.06   |        | 3.00   |          | 4.00   |

Fuente: Marín et al. (2000).

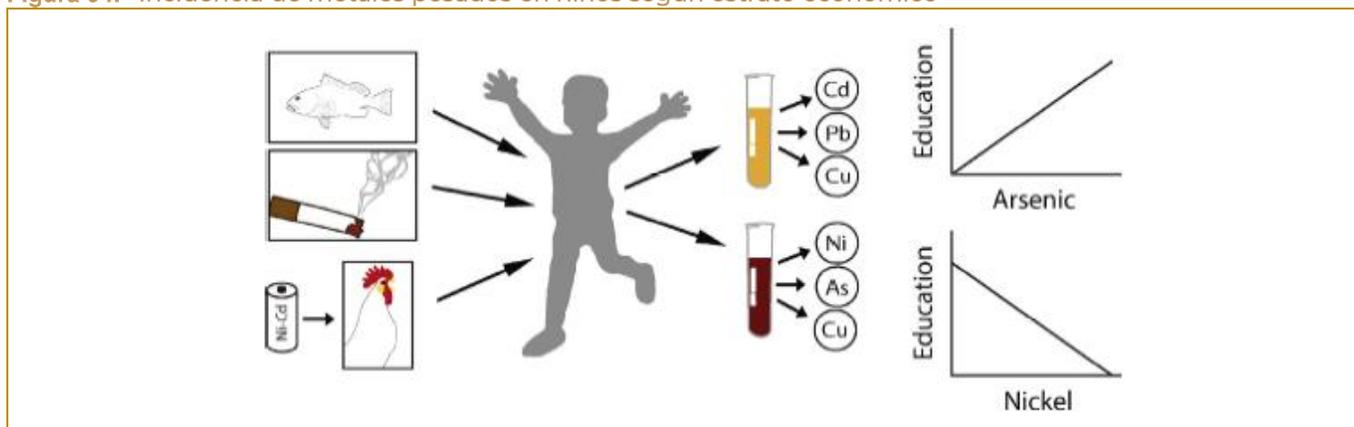
Los resultados mostraron que todos los pozos contenían plomo, cromo (excepto el pozo 4) y cadmio por encima de 0.05 mg/litro, que es el valor máximo permisible de acuerdo con las normas emitidas por el sector salud. En al menos 2 casos las concentraciones de plomo superaron valores de 1 mg/l, el cual es 100 veces más que el valor máximo permisible para el consumo humano. Los valores de cromo superaron 2 a 7 veces el límite permisible, así como el cadmio supero por arriba de 10 veces la norma. Las concentraciones de arsénico por su lado siempre se presentaron por debajo de los límites permisibles de 50 microgramos/litro. Todos estos metales en el acuífero representan un problema de salud y no se conoce ninguna fuente natural de estos elementos en Yucatán. De igual forma, Castillo et al. (1995), también reportó en las aguas subterráneas de la Ciudad de Mérida en la zona industrial concentraciones de cadmio (17.6 microgramos/litro), plomo (87.5 microgramos/litro), y zinc (6,690 microgramos/litro).

Los trabajos de Arcega-Cabrera et al. (2017), en la zona metropolitana (Mérida y Progreso, dentro de la UP YucN), mostraron la correlación que existe entre las concentraciones de metales, como arsénico, cromo, y mercurio y las concentraciones en el agua para beber y cocinar y en la sangre y orina de más de 100 niños en condiciones de pobreza y no pobres o de clase media.

El mercurio se observó en concentraciones que rebasan los valores recomendados por la OMS para agua de consumo humano, tanto para beber como para cocinar, así como en la orina y en la sangre, más del 25 % de los niños presentaron mercurio en las muestras de orina con valores por encima de lo recomendado por la OMS. Si bien el mercurio puede tener un proceso de desintoxicación por medio de la orina, el caso del arsénico muestra una exposición crónica.

Arcega-Cabrera y Lane F. Fargher (2016), mencionan que las familias están expuestas a estos peligrosos metales y resultan en niveles detectables en sangre y orina en niños. Sin embargo, la naturaleza de la exposición y su distribución espacial se correlaciona con los niveles de ingresos económicos de las familias y de sus prácticas socioculturales (Figura 94). Aquellas que se encuentran en condiciones de pobreza tienden a cocinar con leña, utilizan agua de pozo y tienen animales de traspatio para el consumo doméstico. Al parecer, todas estas actividades generan exposición a los miembros de la familia, incluyendo a los niños, a ciertas formas de cobre, plomo y níquel. Mientras que, aquellas familias que no se encuentran en condiciones de pobreza, incluyendo sus niños, están más expuestos al cadmio, arsénico y a cobre inorgánico (más parecido al sulfato de cobre). Todos estos metales y el arsénico se encuentran en diversos productos que estas familias consumen, incluyendo cigarrillos, pescado fresco comprado en supermercado y carnes blancas (como pollo y huevo) engordados con alimento balanceado.

**Figura 94. Incidencia de metales pesados en niños según estrato económico**



Fuente: Arcega-Cabrera y Lane F. Fargher (2016).

En la industria maquiladora de textiles, por lo regular se utilizan colorantes para el teñido de la tela. Para el tipo poliéster se utilizan colorantes azoicos, los cuales forman parte de una familia de sustancias químicas orgánicas caracterizadas por la presencia de un grupo peculiar que contiene nitrógeno unido a anillos aromáticos. Los colorantes azoicos constituyen el grupo más extenso de todos los colorantes orgánicos disponibles en el mercado. La estructura química de este tipo de colorantes se caracteriza por la presencia del grupo azo  $-N=N$  como cromóforo, asociados a grupos auxocromo de tipo amino o hidroxilo.

La fabricación de los colorantes azo tiene lugar mediante la diazotación de una arilamina primaria, obteniéndose la sal de diazonio. Para la diazotación, se emplea ácido nitroso, que se obtiene por disolución de nitrito sódico en agua y posterior adición de ácido clorhídrico. Esta se hace reaccionar con una amina aromática o un compuesto alcohólico, con objeto de formar el colorante. Esta reacción denominada de “acoplamiento” o “copulación”, se realiza en medio ácido en el caso de las aminas y en medio básico en el caso de alcoholes.

El grupo azo característico de los colorantes azoicos, es susceptible de reducirse, dando lugar a la formación de aminas aromáticas. Algunas de estas arilaminas aromáticas, tienen un potencial cancerígeno demostrable. En el caso de producirse la penetración de estos colorantes en nuestro organismo, supongamos a través de la saliva o el sudor humano, la reducción a aminas aromáticas puede tener lugar en el interior de este (en la microflora intestinal y en las enzimas hepáticas) por acción de algunos de nuestros enzimas. De este modo se podría afirmar que aquellos colorantes azo utilizados en la tintura de artículos textiles que contienen en su estructura una amina cancerígena, susceptible de ser liberada, poseen por sí mismos un potencial cancerígeno. En este punto es importante realizar más estudios específicos sobre este tipo de residuos industriales.

Es importante mencionar que algunos de los pozos que están surtiendo agua para consumo humano estuvieron o están captando estos contaminantes de manera regular (como sucedió en el poblado de Baca) y esto debe ser tomado en cuenta en materia de saneamiento ya que el agua subterránea es la única fuente de agua que tiene la población en general para cubrir las necesidades del vital líquido.

### 1.8.5 Contaminación derivada de la Actividad Porcícola y Avícola

Las granjas porcícolas y avícolas se ubican preferentemente en la Zona Geohidrológica del Anillo de Cenotes UP YucN) y producen subproductos como son las excretas que al ser dispuestos sin control alguno ocasionan perjuicios al ambiente, estos efectos se pueden clasificar en términos de la contaminación del aire, agua y suelo (Méndez Novelo 2009) de la siguiente manera:

- Contaminación del aire. Las emisiones de amoníaco, sulfuros de hidrógeno, metano y dióxido de carbono producen molestias por los olores desagradables, siendo además precursores de trastornos respiratorios en el hombre y animales, entre otros problemas como es la contribución de la destrucción de la capa de ozono por la producción de óxido nitroso  $N_2O$  como parte de los gases emitidos durante la degradación microbiana.

- Contaminación del suelo. El vertido de un volumen de estiércol excesivo puede ocasionar la acumulación de nutrientes en el suelo y producir su alteración en pH, la infiltración al subsuelo de nitratos, contaminación microbiológica, entre otros. Otro problema relacionado es la acumulación de metales pesados en la capa superficial del suelo, particularmente por la presencia de sales de hierro y cobre.
- Contaminación del agua. La contaminación del agua superficial por las excretas se manifiesta por la presencia de amonio y sulfatos, entre otros. El exceso de nutrientes favorece el crecimiento de las algas desencadenando con ello el agotamiento del O<sub>2</sub> disuelto, favoreciendo la proliferación de larvas de insectos nocivos, y en casos severos se provoca la eutroficación de los cuerpos de agua. Por su parte el amonio es tóxico para los peces y los invertebrados acuáticos. De igual forma, se produce la contaminación de mantos acuíferos por la actividad porcícola y avícola, debido a la presencia de sólidos suspendidos, coliformes y nitrógeno entre otros, sobre todo en suelo permeable que como ya se había mencionado es el caso de Yucatán.

La actividad porcícola se ha vuelto en Yucatán una de las más importantes, por su magnitud e importancia, la porcicultura yucateca ocupa actualmente el quinto lugar a nivel nacional en producción y el primero en productividad, representando para el estado la tercera actividad generadora de ingresos en el sector agropecuario para Yucatán, la cual genera 3,500 empleos rurales directos (UADY 2009). Así, la actividad porcícola es una de las que generan mayor riqueza y empleo en el estado, pero también problemas ambientales, debido a que produce grandes cantidades de desechos tanto sólidos como líquidos (Pacheco et al. 1997).

Se calcula que para el año 2007 en Yucatán se generaban 3,441,220 m<sup>3</sup> anuales de aguas residuales porcinas, de los cuales el 63% recibe parcialmente algún tratamiento, principalmente conformado por granjas grandes (aunque sus aguas no cumplen las normas para riego agrícola, debido a las altas concentraciones de nitrógeno) y 37% no recibe ningún tratamiento.

De este 37% que no recibe ningún tipo de tratamiento, el 90% lo conforman granjas pequeñas y medianas, las cuales vierten sus residuos directamente sobre el suelo y cavernas situadas en los alrededores de las granjas, por lo que al no tener los suelos ningún sistema de protección estos residuos pasan directamente al acuífero subterráneo, única fuente de abastecimiento, aportando un exceso de microorganismos patógenos que contaminan y provocan enfermedades gastrointestinales.

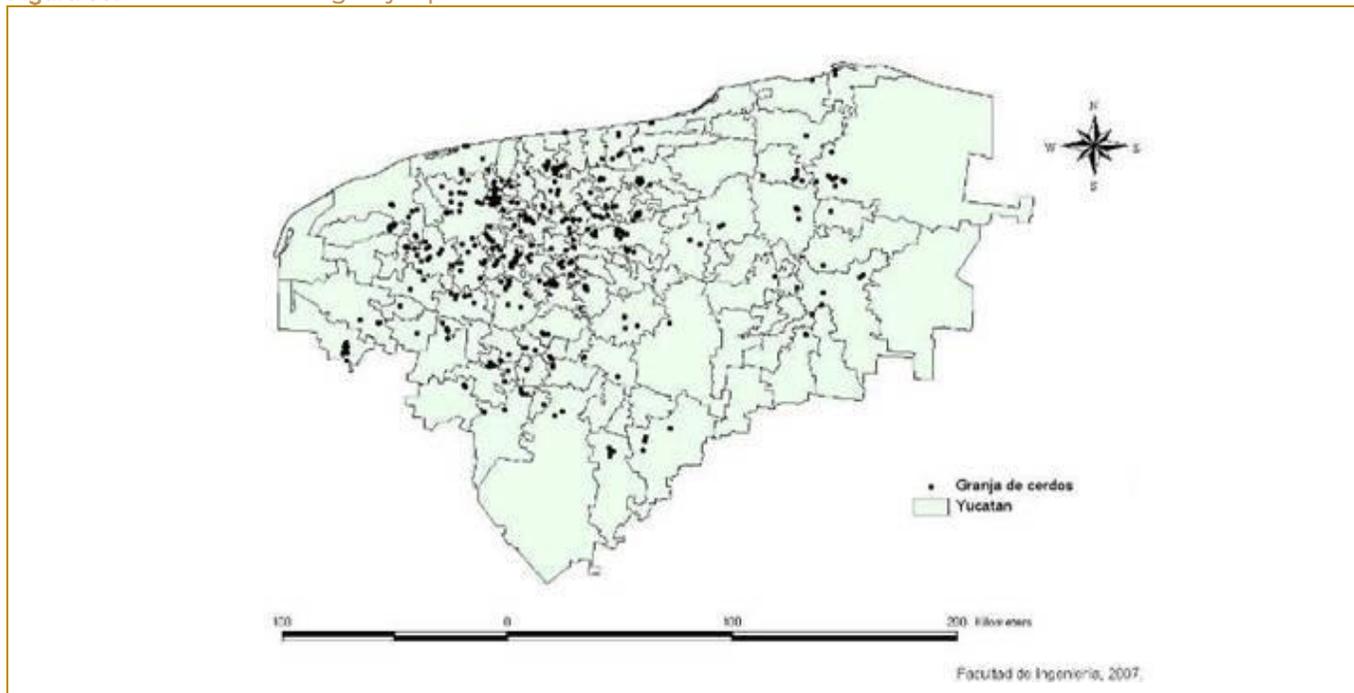
En el año 2007, según el INEGI se tenía una población de 793,702 cerdos, que generaron 83,052 toneladas de carne en canal por año, lo que representaba el 45% de la población ganadera y el 37% de la producción respectivamente. Para el año 2009, según un estudio realizado por la UADY, la población total de cerdos en el estado disminuyó a 670,174 cerdos, distribuidos en aproximadamente 472 granjas, sin embargo, sólo 168 están registradas en la SAGARPA, con una piara de 61,692 vientres, 175,708 destetes y 290,672 cerdos de engorda, que generan diariamente 3,884 toneladas de excretas y 9,428 m<sup>3</sup>/día de aguas residuales altamente contaminadas y una carga orgánica de 443,133.39 kg/d medida como DQO.

La rentabilidad de la actividad, y el crecimiento acelerado de los centros de población ha provocado que muchas granjas se encuentren en zonas urbanas. El 80% de las granjas porcícolas del estado se ubican en el contorno del Área Metropolitana de la Ciudad de Mérida (Figura 95), abarcando a un total de 60 municipios, en ellos se concentra el 90% de la población porcina del estado, ocasionando que esta área sea altamente vulnerable a la contaminación, debido a la escasa profundidad en que se encuentra el manto freático, por las características geohidrológicas del estado y la presencia de la zona llamada “anillo de cenotes”.

De acuerdo con los resultados del estudio costo beneficio a nivel prefactibilidad del sistema de tratamiento de excretas porcinas en la zona noroeste de Yucatán, efectuado en 2010 por la empresa Ingeniería, Obras y Servicios a la Industria SA de CV, esta es el área de mayor afectación por la producción porcícola, al estar concentradas en la región y por tener un bajo nivel del manto freático debido a su cercanía con la costa.

Esta zona como referencia lo conforman los siguientes municipios (Tabla 63): Conkal, Muxupip, Tixpehual, Acanceh, Tixkokob, Motul, Kanasín, Seyé, Tahmek, Tekantó, Cacalchén, Hochtún y Hocabá, todos ellos dentro de la zona geohidrológica del Anillo de Cenotes. Estos municipios concentran aproximadamente el 25 % de la totalidad de los cerdos de Yucatán (INEGI 2007), con un total de 196 granjas porcícolas (35 grandes, 25 medianas y 136 pequeñas), y una población de 118,779 cerdos, generando diariamente un volumen de 631.53 toneladas de excreta y 3,309.81 metros cúbicos de agua residual contaminada.

**Figura 95.** Distribución de granjas porcícolas en Yucatán



**Fuente:** Facultad de Ingeniería (2007).

Además de los efectos directos sobre los recursos naturales, también se asocian los efectos indirectos socioeconómicos y políticos (enfermedades, pérdidas de lugares de recreo y turísticos, agua contaminada en cenotes) que son difíciles de cuantificar. Considerando que, en el 2010, según reportes del CONAPO (Consejo Nacional de Población), se tenía una población 177,158 personas en la zona mencionada, lo cual nos indica que la contaminación provocada por la población porcícola, en ese entonces, es 25 veces mayor que la contaminación que generan los habitantes de dicha zona.

El municipio que genera mayores cantidades de desperdicio en granjas es Conkal con un total de 127,575 Kg de excreta y 661,678 Lts de líquido de manera diaria y el de menor grado Hochtún con 8,450 Kg de excreta y de líquido 44,355 Lts. En Acanceh, cercano a la zona de alta variabilidad hidrológica y cercana a la zona de captación de la JAPAY I, la generación de excretas diaria en el municipio es de 43,999 kg, el volumen de líquido es de 238,329 Lt.

**Tabla 63.** Concentrado porcícola de las granjas en algunos municipios de la UP YucN

| Municipio /<br>totales | 1     | 2      | 3      | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10     | 11    | 12     | 13     |
|------------------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|
| Vientres<br>7 117      | 185   | 1 981  | 1 178  | 132   | 125   | 70    | 41    | 276   | 923   | 896    | 90    | 467    | 753    |
| Destetes<br>16 402     | 356   | 6 226  | 1 271  | 597   | 493   | 183   | 104   | 600   | 1 406 | 2 118  | 250   | 1 158  | 1 640  |
| Engorda<br>94 994      | 7 398 | 17 482 | 7 928  | 3 515 | 1 147 | 6 135 | 6 087 | 4 880 | 2 383 | 9 184  | 6 223 | 13 955 | 8 677  |
| Sementales<br>266      | 18    | 69     | 22     | 14    | 10    | 9     | 7     | 18    | 36    | 28     | 1     | 18     | 16     |
| Total<br>118 779       | 7 957 | 25 758 | 10 399 | 4 258 | 1 775 | 6 397 | 6 239 | 5 774 | 4 748 | 12 226 | 6 564 | 15 598 | 11 086 |

| Municipio/<br>totales                       | 1       | 2       | 3       | 4       | 5      | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      | 11      | 12      | 13      |
|---|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| INEGI 2007<br>213 299                       | 11 000  | 44 000  | 35 000  | 12 500  | 10 652 | 12 223  | 7 207   | 3 052   | 7 063   | 19 530  | 30 000  | 13 127  | 7 945   |
| Diferencia<br>94 520                        | 3 043   | 18 242  | 2 4601  | 8 242   | 8 877  | 5 826   | 968     | 2 122   | 2 315   | 7 304   | 23 436  | -2 471  | -3 141  |
| Total de<br>excretas<br>(kg/día)<br>631 532 | 43 999  | 127 575 | 5 6012  | 21 936  | 8 450  | 35 400  | 34 705  | 31 192  | 25 401  | 63 996  | 36 145  | 84 783  | 58 938  |
| Volumen<br>líquido (lt/día)<br>3 309 811    | 238 329 | 661 678 | 289 749 | 119 182 | 44 355 | 194 173 | 191 041 | 165 230 | 113 314 | 331 102 | 197 938 | 457 468 | 306 252 |
| Número de<br>cerdos                         | 7 957   | 25 758  | 1 0399  | 4 258   | 1 775  | 6 397   | 6 239   | 5 774   | 4 748   | 12 226  | 6 564   | 15 598  | 11 086  |

1 Acanceh 2 Conkal 3 Muxupip 4 Hocabá 5 Hochtún 6 Tekantó 7 Tahmek 8 Seyé 9 Motul 10 Tixkokob 11 Tixpehual 12 Cacalchén 13 Kanasín.

Fuente: SEDUMA (2009).

La descomposición del estiércol animal ocasiona consecuencias ambientales graves por la producción de gases como el metano y el óxido nitroso que, en la gran mayoría de las granjas no se recolecta, queda en libertad en la atmósfera, estos gases se liberan a través de la fermentación del estiércol animal, así como la nitrificación y desnitrificación, este último como el proceso asociado con la volatilización de nitrógeno, además que se producen olores desagradables y la contaminación de los recursos del suelo y agua.

Las aguas residuales de desechos porcinos (purines) contienen una serie de elementos que le confieren un gran valor como fertilizante si se aplica adecuadamente al suelo (N, P, K, Ca, Mg, Na, Cu, Zn, Fe y Mn, entre otros), pero si no se manejan adecuadamente, pueden impactar negativamente al medio ambiente, especialmente al acuífero. De acuerdo con Coma y Bonet (2004), un m<sup>3</sup> de purines contiene: 7.6 kg de nitrógeno total; 6.5 kg de fosfatos (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); 7.2 kg de potasio (K<sub>2</sub>O); 47 kg de DQO; 25 kg de DBO<sub>5</sub>, etc. Por lo que, si no se dispone adecuadamente de él, en vez de elementos fertilizantes, se tienen elementos contaminantes.

Con relación a las granjas avícolas, los desechos orgánicos que generan son de naturaleza sólida (Méndez Novelo 2009), por lo que comúnmente son manejados de forma aséptica por los propios granjeros, de acuerdo con sus programas de bioseguridad. Sin embargo, en algunos casos se depositan en predios a cielo abierto. Los desechos son la gallinaza o pollinaza, los animales muertos o los huevos que no eclosionan y son eliminados; desechos todos que poseen altas concentraciones de materia orgánica por lo que pueden utilizarse para la producción de alimento para cerdos, o bien compostarlo y utilizarlo como abono o mejorador de suelos.

Los Municipios con mayor producción de desechos avícolas (Figura 96) son Conkal, con 2,539 kg/km<sup>2</sup>, Tekanto con 1,548 kg/km<sup>2</sup>, Abalá con 1,471 kg/km<sup>2</sup> y Muxupip con 1,119 kg/km<sup>2</sup>.

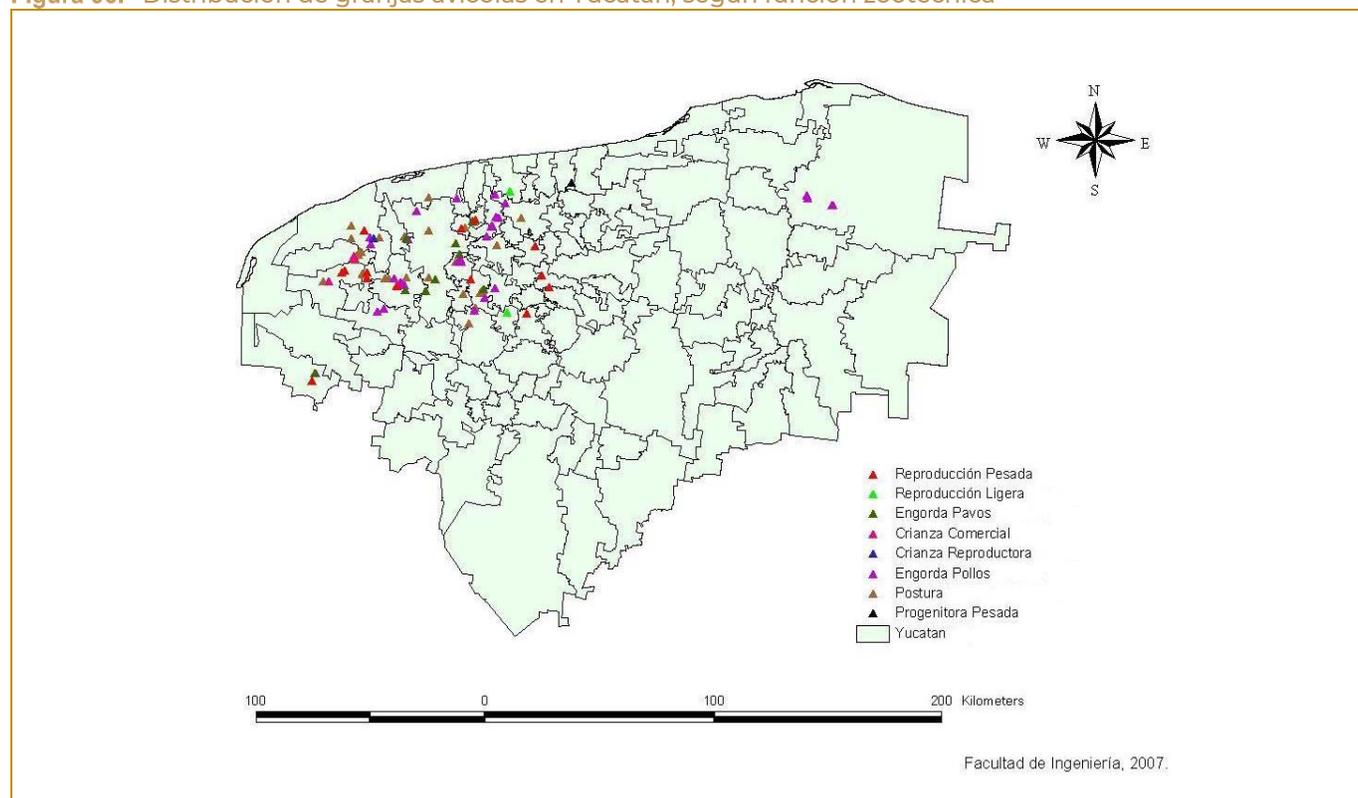
Si los desechos sólidos son depositados directamente al suelo, se produce una alta contaminación orgánica tanto al suelo como al acuífero. La producción de gallinaza, y su descomposición amoniacal puede acumularse a tal grado en el suelo que, en vez de ser un abono, mata cualquier forma de vida vegetal. Además, percolará a través del suelo cuando sea expuesto al agua y se filtrará a las capas de agua subterránea, donde el nitrógeno se oxidará y permanecerá en forma de nitratos.

Los desechos líquidos en granjas avícolas sólo se generan al finalizar un ciclo productivo, cuando las naves son limpiadas y desinfectadas. Esto ocurre generalmente luego de 7 u 8 semanas para granjas de engorda y de 12 a 14 meses aproximadamente para granjas de postura. El volumen de aguas generadas en estas operaciones de limpieza se debe tratar de minimizar, así como su concentración orgánica.

Por otro lado, en las unidades habitacionales de las áreas rurales se desarrolla una intensa actividad pecuaria en el traspatio del hogar, lo que también representa una fuente puntual de contaminación fecal en las áreas urbanas. Los trabajos de Gutiérrez-Ruiz et al. (2012) indican que, tan sólo en Yucatán, de 60 al 85% de las familias practican la ganadería de traspatio. En algunas comunidades alejadas de la capital del estado, los porcentajes están por arriba

del 80%, por ejemplo, Sucilá, mientras que comunidades cercanas a la capital presentan porcentajes más bajos, como Texan, Tzacala y Noc Ac con 78.4%. Algunos estudios señalan que hasta el 83% de las viviendas en algunas comunidades rurales crían aves.

**Figura 96.** Distribución de granjas avícolas en Yucatán, según función zootécnica



Fuente: Facultad de Ingeniería (2007).

En un estudio sobre prevalencia de enfermedades, Gutiérrez-Ruiz et al. (2012) obtuvieron datos mediante la aplicación de 217 encuestas semi-estructuradas enfocadas a obtener información sobre las características del alojamiento, manejo alimenticio y sanitario de los animales criados en el traspatio de viviendas de 33 comunidades rurales de Yucatán. El estado se dividió de acuerdo a las cuatro zonas de riego que son: centro, oriente, sureste y sur. Se realizó un muestreo proporcional según el número de comunidades existentes en cada zona y se incluyeron 14 comunidades de la zona centro, 6 de la oriente, 7 de la sur y 6 de la sureste. Un segundo estudio fue realizado en la comunidad de Molas, localizada a 16 km al sur de la ciudad de Mérida, en el cual se encuestaron 150 casas con el mismo objetivo.

Los autores muestran que la cría de animales de traspatio es una actividad desempeñada principalmente por las mujeres, ya que del 57% a 88% de las veces esta fue su responsabilidad exclusiva, en 4% fue compartida con sus hijos, en 2.8% fue compartida por toda la familia y sólo en 1.8% fue realizada por los hombres exclusivamente. Se observa una tendencia menor en comunidades que se encuentran cerca de la ciudad capital del estado, lo que influye también en el ingreso económico de la familia y el hecho de que en comunidades más alejadas a los centros urbanos la mujer todavía desempeña la mayor parte de su trabajo en su casa. El tiempo dedicado a esta actividad es en promedio de 0.4 + 0.53 horas a la atención de los animales.

La cría de animales es una práctica común y arraigada (Tabla 64), en 192 de 210 (88.5%) de las viviendas se han criado animales siempre, mientras que en 17 (7.8%) era la primera vez y en 8 (3.7%) se práctica de manera ocasional.

Las especies existentes además de pollos fueron los pavos con 71.4% (150/210), los cerdos con 39.5% (83/210), los equinos y ovinos (1.8% de las viviendas) y en menor grado los bovinos con 0.9%.

**Tabla 64.** Especies mantenidas en los traspatios (n=159) de una comunidad rural de Yucatán, México.

| Especie  | Frecuencia | Promedio | Rango |
|----------|------------|----------|-------|
| Gallinas | 47.2       | 6.9      | 1-73  |
| Pavos    | 26.4       | 6.5      | 1-25  |
| Patos    | 8.8        | 3.8      | 1-9   |
| Bovinos  | 9.4        | 2.7      | 1-10  |
| Porcinos | 6.9        | 6.0      | 1-33  |
| Equinos  | 6.9        | 1.2      | 1-2   |
| Ovinos   | 2.5        | 3.0      | 1-6   |

**Fuente:** Gutiérrez-Ruiz et al. (2012).

El 88.9% de las casas contaba con gallinero y de estos el 61.6% se encontraba en condiciones regulares, el 24.9% estaba en condiciones buenas y en el 13.5% las condiciones fueron malas (Figura 97). Se reporta que los gallineros son higienizados cada 53.6 días +/- 87.81 con un rango de 0 a 365 días.

El uso de estas instalaciones no es del 100% del tiempo, ya que el 87% de los entrevistados respondieron que por lo menos en algún momento del día las aves tenían acceso al exterior, mientras que en muchos casos los gallineros permanecen abiertos todo el tiempo y las aves entran y salen a su preferencia.

Los principales materiales utilizados para la construcción de las paredes de los gallineros fueron: malla de alambre (28.5%), palos (27.5%), piedras (6.7%), mientras que el resto tenía una mezcla de materiales diversos. El piso de los gallineros fue predominantemente de tierra (94.3%), otros materiales del piso incluyeron cemento, palos y malla de alambre.

**Figura 97.** Tipos de instalaciones para aves encontrados en el traspatio de comunidades rurales de Yucatán



**Fuente:** Gutiérrez-Ruiz et al. (2012).

En las 33 comunidades de Yucatán, se tiene, con respecto a corrales para cerdos, que en el 43.7% (36) de las viviendas que criaban cerdos, existían corrales, con el 52% de estas en condiciones regulares, 36.8% en condiciones buenas y en 10.5% fueron malas. Veinte de las 36 instalaciones para cerdos no contaban con techo, de las 16 que sí tenían techo, 11 fueron de lámina de cartón y 5 de “huano”.

De 47 viviendas que mantenían cerdos y no contaban con corraleta, el 70.0% mantenían a sus animales amarrados, 21.3% los tenían sin amarre y 8.5% los mantenían de ambas formas. De 83 viviendas que criaban cerdos en 86.8% los cerdos no se desamarraban nunca, en el 10.5% si los desamarraban y en el 2.6% los desamarran ocasionalmente. Los corrales fueron limpiados con una frecuencia de 33.8 +/- 98.91 días con un rango de 0 a 365.

En la mayoría de las viviendas de las comunidades, se utilizaba algún tipo de recipiente para alimentar a los animales (77.8- 86.7%) mientras que en el resto el alimento se proporcionaba en el piso, todas las viviendas proporcionaban agua a sus animales en algún tipo de recipiente.

La mayoría de las aves, 87.0% (pollos y pavos), se mantienen libres en algún momento del día y de estos la mayor parte tienen acceso a la calle o predios adyacentes. En una comunidad cercana a la ciudad de Mérida solamente el 36.7% (22/60) de las gallinas y 33.3% (12/36) de los pavos tienen acceso a la calle de la comunidad y otros patios.

Se reporta que en 13.6% (11/83) de las viviendas, los cerdos tienen acceso a la calle u otras viviendas, mientras que, en una comunidad cercana a Mérida, ningún cerdo tiene acceso a la calle u otros predios.

En el caso de las aves, en la mayoría de las comunidades estudiadas, el ingrediente principal de la alimentación es el maíz, el cual se proporciona junto con alguno de sus derivados como masa y tortilla, cerca de la mitad de los entrevistados proporcionaba alimento comercial al menos ocasionalmente. La alimentación de las aves está basada en alimento comercial mezclado con sobras de la cocina, 68.8% (55/80) de las observaciones.

En comunidades cercanas a Mérida, existe una variación al respecto, probablemente al abandono de la costumbre de sembrar milpa o sembrar bajas extensiones, en estas comunidades, la alimentación de las aves exclusivamente con restos se observó en 17.5% (14/80) de las casas, el alimento comercial solo se proporciona en 13.7% (11/80) de las viviendas. En el caso de los cerdos, el 20.0% de los entrevistados indico alimentar a sus animales exclusivamente con alimento comercial, aproximadamente el 40% proporcionaba maíz y sus derivados y un porcentaje bajo de 3.5% indico alimentar a los animales con sobras de cocina y hierba. En una comunidad cercana a Mérida, el 72.7% (8/11) de las encuestas indican que se proporciona exclusivamente alimento comercial a los cerdos y en 27.3% (3/11) se indica que se mezcla alimento comercial con sobras de cocina.

En cuanto al agua para las aves, el 82.0% proporciona agua potable a sus animales y el 18% agua de pozo, sin embargo, los recipientes utilizados rara vez se encontraban limpios. Para los cerdos, el 100% proporcionaba agua potable.

Las gallinas predominantes en los traspatios de comunidades rurales de Yucatán son las cruza, conocidas como criollas, encontrándose exclusivamente en 65.4% de las viviendas que crían estas aves, 32.7% de las casas mantienen tanto aves criollas como de línea comercial (engorda y/o postura), solamente 1.8% de las viviendas mantenía exclusivamente aves comerciales siendo estas de tipo engorda.

Con respecto a los pavos 5.5% se reportó criar aves de tipo comercial, siendo el resto criollos. Para los cerdos el 79.5% de las familias que criaban este tipo de animal, tenían animales cruzados (criollos), el 16.9% criaban de tipo comercial y 3.6% criaba ambos tipos de cerdo.

En 58.6% (89/152) de las viviendas se baña a los animales contra garrapatas, los productos utilizados son: Organofosforados 72.6% (37/51), Amitraz 15.7% (8/51), Cipermetrina 3.9% (2/51) y Carbamato con Diflubenzuron 3.9% (2/51).

Con respecto al manejo del estiércol de los animales, la mayoría no realiza alguna actividad (75/120, 62.5%), mientras que 33.3% (40/120) lo usa como abono y otros lo desechan, sin especificar donde.

### 1.8.6 Contaminación por nitratos

El principal origen de la contaminación del agua por nitratos son las fuentes tanto urbanas a través de las aguas residuales domésticas, como agrarias, debido al abono nitrogenado, y que, en el caso de la actividad porcícola, los purines y el estiércol deben considerarse como un abono más, y por lo tanto considerarlo como una fuente potencial de contaminación nitrogenada a las aguas y que requiere atención y recursos. Osorio Santos, en el año 2009,

presentó sus resultados de investigación sobre la calidad de agua de los pozos de abastecimiento en los 106 municipios de Yucatán, mostrando la comparación entre los años 2003-2004 y 2007-2008. En términos generales, los resultados arrojan que existió un incremento significativo en la contaminación por nitratos en Yucatán de 2003-2004 a 2007-2008. Existió un incremento significativo de 2003-2004 a 2007-2008 en el número de sistemas de agua potable cuyas aguas tienen concentraciones de nitratos superiores a los que marca la norma. El 10.38% de las concentraciones de nitratos en los sistemas de agua potable de las cabeceras municipales de Yucatán no cumplieron con la NOM-127-SSA1-1994 en función de nitratos en el periodo 2003-2004. El 23.58% de las concentraciones de nitratos en los sistemas de agua potable de las cabeceras municipales de Yucatán no cumplieron con la NOM-127-SSA1-1994 en función de nitratos en el periodo 2007-2008. Según la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización, establece que para el consumo humano el límite permisible de Nitratos es de 10 mg/l. De aquí la importancia de que las granjas porcícolas se contemple incluir un proceso más al tratamiento de aguas residuales.

### 1.8.7 Contaminación derivada de medicamentos

León-Aguirre et al. (2019), analizaron muestras de agua de 10 granjas porcícolas de Yucatán, presentando en la Tabla 65 los valores de concentración promedio y desviación estándar de cada uno de los compuestos farmacéuticos analizados (ENR enro-floxacin, OXT oxitetraciclina, RAC ractopamina, SMX sulfametoxazol) en muestras de aguas residuales de los tanques sépticos o colectores primarios de cerdaza y agua de lavado de naves y de los efluentes de los biodigestores. Los principales resultados fueron la detección de 0.043 µg/mL para enro-floxacin, 1.427 µg/mL para oxitetraciclina, y 9.748 µg/mL para sulfametoxazol, como promedios generales.

Para el caso de la Granja Porcícola del presente proyecto, los valores de Amoxicilina en las aguas residuales estarían en el rango de 0.0087 µg/mL a 0.0157 µg/mL. La Oxitetraciclina se detectó en el 80 % de las granjas (granjas A, E, F, G, H e I), cinco de estas granjas muestran altas concentraciones de oxitetraciclina en los efluentes del biodigestor. La sulfametoxazoles se detectó en el 60 % de las granjas, tanto en los colectores primarios como en el biodigestor. En el caso de β-agonista, la ractopamina no se encontró en el efluente del biodigestor y pudo haber sido removido al nivel de la no detección, mientras que la interferencia del ractopamina en el proceso de la digestión anaerobia sigue siendo una hipótesis válida (Santos et al. 2016).

**Tabla 65.** Valores de concentraciones promedio y desviación estándar de farmacéuticos encontrados en muestras de aguas residuales porcícolas, en µg/mL.

| Granja | Fosa séptica (recolector de agua residual) |               |               |                | Biodigestor (afluente) |               |     |               |
|--------|--|---------------|---------------|----------------|------------------------|---------------|-----|---------------|
|        | ENR  | OXT           | RAC           | SMX            | ENR                    | OXT           | RAC | SMX           |
| A      | 0.186+/-0.002                              | 1.337+/-0.105 | 4.108+/-0.033 | 3.966+/-0.279  | ND                     | 0.141+/-0.030 | ND  | ND            |
| B      | 0.170+/-0.001                              | ND            | <LOD          | 8.101+/-0.243  | ND                     | ND            | ND  | <LOD          |
| C      | <LOD                                       | 0.532+/-0.033 | 3.574+/-0.123 | 12.778+/-0.239 | ND                     | ND            | ND  | <LOD          |
| D      | <LOD                                       | 0.725+/-0.017 | 2.969+/-0.042 | 14.147+/-0.137 | <LOD                   | 0.255+/-0.099 | ND  | <LOD          |
| E      | 0.389+/-0.002                              | 0.799+/-0.016 | 4.258+/-0.067 | <LOD           | <LOD                   | 1.167+/-0.029 | ND  | 6.762+/-0.737 |
| F      | ND   | 1.039+/-0.002 | ND            | 11.637+/-0.161 | ND                     | 1.158+/-0.023 | ND  | 4.051+/-0.295 |
| G      | ND   | <LOD          | 1.944+/-0.039 | <LOD           | ND                     | 1.072+/-0.030 | ND  | <LOD          |
| H      | ND   | 0.445+/-0.031 | ND            | 2.516+/-0.083  | ND                     | 1.318+/-0.003 | ND  | 3.864+/-0.088 |
| I      | ND   | 0.782+/-0.041 | <LOD          | 4.607+/-0.082  | ND                     | 1.427+/-0.038 | ND  | <LOD          |
| J      | <LOD                                       | 0.561+/-0.003 | <LOD          | 5.972+/-0.393  | <LOD                   | 0.163+/-0.027 | ND  | 9.748+/-0.021 |

ENR enro-floxacin, OXT oxitetraciclina, RAC ractopamina, SMX sulfametoxazol, ND no detected, < LOD below limit of detection.

Fuente: León-Aguirre et al. (2019).

Se observa en los resultados concentraciones importantes en las aguas residuales de las granjas porcícolas, siendo estas mayores que las comúnmente encontradas en los ambientes acuáticos, los cuales están en el intervalo de µg/L a ng/L (Archer et al. 2017; Kümmerer 2009; Seifrtová et al. 2008). Estas altas concentraciones son de esperarse, considerando el suministro diario de antibióticos en la dieta de los cerdos; la escasa o nula purga de lodos del biodigestor; la operación incorrecta del biodigestor, que en ocasiones sobrepasa la capacidad del sistema; y en donde la tasa de dilución de las aguas residuales de estas granjas es más baja que las aguas residuales municipales

Sin embargo, es de hacer notar una disminución de concentraciones, en algunos casos por debajo de los niveles de detección, de algunos compuestos farmacéuticos, como la enro-floxacin y la ractopamina, así como disminuciones importantes en sulfametoxazol, entre el colector de aguas residuales y la salida del biodigestor.

De acuerdo con lo expuesto, los sistemas simples de tratamiento convencionales (como el biodigestor) resultan inadecuados para eliminar una gran cantidad de micro contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales al cien por ciento. Por lo tanto, actualmente, son requeridos tratamientos más efectivos y específicos para reducir el impacto ambiental y potencial de los efluentes y cumplir con la legislación vigente que cada vez es más estricta. Por esta razón, para llevar a cabo una depuración eficaz del agua es necesario someterla, además, a tratamientos terciarios.

L.-Y. He et al. (2016), demostraron en sus investigaciones que la contribución de las aguas residuales porcinas a la ocurrencia y desarrollo de ciertos determinantes de resistencia a antibióticos en los ambientes receptores, genera potenciales riesgos a la inocuidad alimentaria y la salud humana. Por lo tanto, de acuerdo a lo manifestado, se considera un acierto que se incluya un proceso adicional al tratamiento de aguas residuales a través del sistema terciario, de tal forma que se garantice, que posterior al tratamiento tradicional en el biodigestor (el cual puede remover un alto porcentaje de contaminantes, se mantienen todavía concentraciones de medicamentos que podrán ser degradados, tanto por vía oxidativa como reductiva, predominando ésta última sobre la primera, como demuestra el descenso tan acusado de la constante de dosis en presencia de atrapadores de electrones acuosos.

### **1.8.8 Contaminación derivada del uso de agroquímicos**

En términos de la contaminación derivada del uso de químicos agropecuarios, Rodríguez-Fuentes et al. (2010) realizó un estudio sobre la expresión genética en peces cebra enjaulados como indicadores de exposición a contaminantes en cuerpos de agua en el anillo de cenotes. Uno de los mejores mecanismos para evaluar la biodisponibilidad de los contaminantes es mediante el uso de biomarcadores que toman en cuenta los procesos de absorción y distribución, así como del metabolismo que ocurre en los organismos.

Los biomarcadores son respuestas biológicas cuantificables que cambian con relación a la exposición de un compuesto xenobiótico u otra perturbación ambiental o fisiológica y que pueden ser indicadores de una exposición o efecto a un compuesto tóxico (Chambers et al. 2002, citada por Rodríguez Fuentes et al. 2010). Si los biomarcadores son suficientemente específicos y bien caracterizados, estos pueden ser de gran utilidad en la evaluación de riesgo, proporcionando información del grado de exposición de los humanos o poblaciones naturales a un xenobiótico específico o a una mezcla de ellos. El efecto de los contaminantes se puede determinar a varios niveles de organización, desde nivel subcelular hasta nivel poblaciones y comunidades. Sin embargo y con excepción de pocos contaminantes, todos los efectos tóxicos inician con la interacción de una o más biomoléculas, y de ahí van escalando hasta llegar a afectar a los ecosistemas.

Los biomarcadores a nivel subcelular más utilizados corresponden a la cuantificación de enzimas de biotransformación, parámetros de estrés oxidativo, proteínas de estrés y resistencia multixenobiótica, así como parámetros hematológicos, inmunológicos, reproductivos y neurológicos. Para el presente estudio, el autor seleccionó como biomarcadores la expresión de los genes de citocromo P-450 1A (CYP1A) y vitelogenina (VTG).

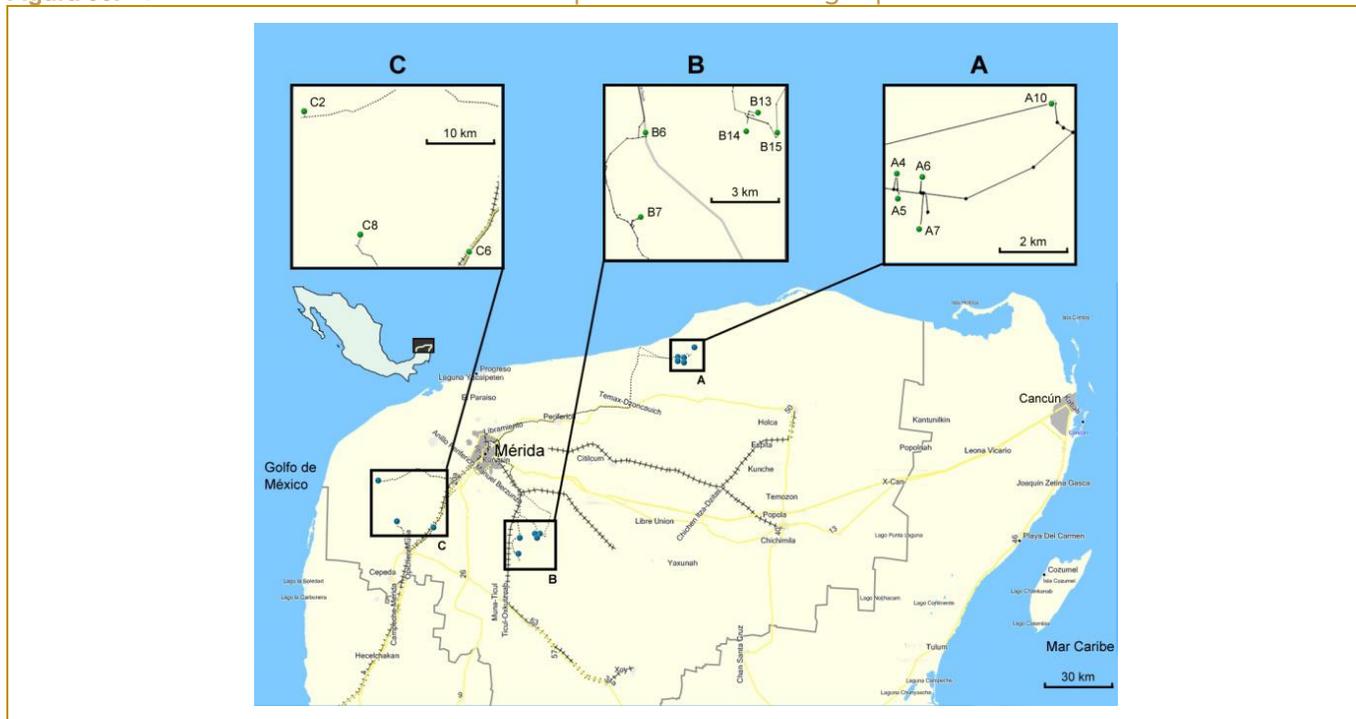
En peces, la clase de isoenzimas que son responsables de la biotransformación de una gran cantidad de compuestos xenobióticos (PAH, PCB, dioxinas etc.) es la subfamilia CYP1A (Goksoyr y Forlin 1992, Stegeman y Hahn 1994, citada por Rodríguez Fuentes 2010).

Una gran cantidad de xenobióticos con amplia distribución en el ambiente son reportados como disruptores endócrinos que pueden afectar la reproducción y por lo tanto constituyen una amenaza para las especies susceptibles. La vitelogenina (VTG) es la fosfoglicolipoproteína precursora de la yema de huevo expresada bajo condiciones normales en las hembras maduras de peces, reptiles, anfibios y aves.

El pez cebrá (Danio rerio) ha surgido como un modelo de vertebrado y ha sido empleado en estudios de genética, desarrollo embrionario y toxicología acuática; más recientemente como un modelo para enfermedades humanas y el estudio de drogas terapéuticas (Penberthy et al. 2002; Sumanasa y Lin 2004). En este estudio se determinó la expresión de los genes citocromo P-450 1A y vitelogenina en juveniles de peces cebrá que fueron enjaulados por un período de dos semanas en cuerpos de agua de Yucatán, México.

El presente estudio se realizó en 13 cuerpos de agua localizados en la zona norte de Yucatán (Figura 98). La zona de estudio se dividió en tres sub-zonas, la zona A se encuentra localizada al Noreste de Mérida, la zona B al sur de Mérida y la zona C al Suroeste de Mérida. Todos los puntos muestreados están situados sobre el llamado anillo de cenotes.

**Figura 98.** Ubicación de los sitios de muestreo para evaluación de agroquímicos



Fuente: Rodríguez-Fuentes et al. (2010).

Se tomaron los datos de pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto lo más cercano a donde se colocó la trampa. Se colocaron 3 trampas conteniendo 5 peces cada una en los trece cuerpos de agua. La exposición de los organismos se realizó durante 15 días iniciando el día 1° de Marzo del 2010.

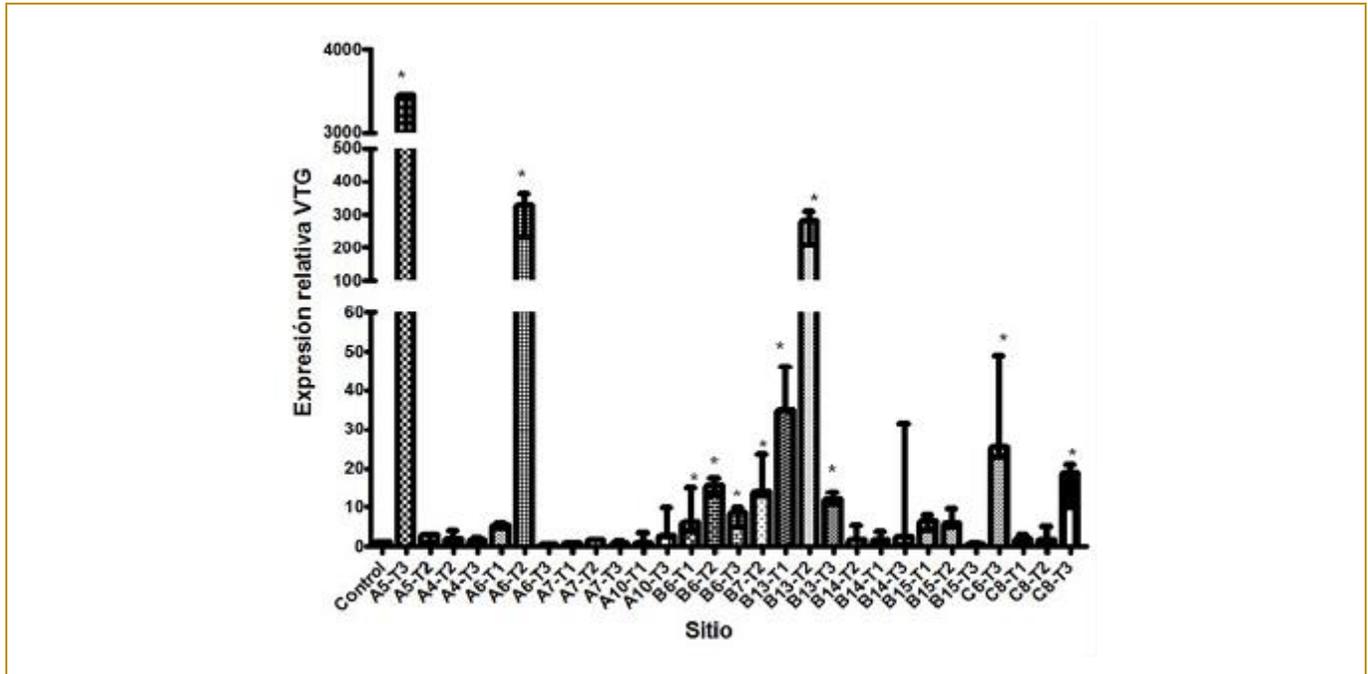
Durante el proceso de colecta de las muestras se detectó mortalidad del 87% de los organismos expuestos en el cenote A4 y un 100% de mortalidad en la aguada C2. Los resultados del análisis de expresión genética por medio de RT-PCR para el gen de VTC presentaron tres zonas con expresiones relativas 100 veces más altos que en el control.

En el punto A5-T3 de hecho se encontraron expresiones relativas comparables a las presentes en hembras adultas, es posible inferir que los organismos en este sitio estuvieron expuestos a xenoestrógenos provenientes probablemente de la actividad ganadera que se desarrolla en la zona. Ocho puntos resultaron con expresiones relativas intermedias estadísticamente significativas respecto al control. Al comprar los puntos por zona, se tiene que 16% de las trampas recolectadas en la zona A, 53% en la zona B y 50% en la zona C presentaron niveles significativamente superiores a las muestras del agua control. Los resultados del ANOVA para el estudio de expresión relativa del gen CYP1A arrojaron diferencias estadísticamente significativas. La prueba post-hoc de Duncan determinó que los sitios A4-T3, B6-T2 y B13-T2 fueron estadísticamente significativos con respecto a la expresión de los peces control (Figura 99 y Figura 100).

La presencia de otras zonas con diferencias estadísticamente significativas para la expresión del gen VTC pudiera estar ligada a la presencia de agroquímicos que se observaron en toda la zona de estudio, principalmente en la zona A, donde fue posible observar envases vacíos de 2,4 D, Asuntol y Paraquat. El herbicida 2,4 D y el Paraquat han sido reportado previamente como compuestos disruptores endócrinos (Orme y Kegley 2010) y se han reportado su efecto sobre especies silvestres. Xie et al. (2005) determinaron que el 2,4 D pudiera ser un disruptor endócrino que pudiera causar efectos adversos en los órganos reproductivos debido a la interrupción de los procesos mediados por el receptor de estrógeno. Los cenotes B6, B7 y B13 presentan un efecto por actividades humanas al ser utilizados para

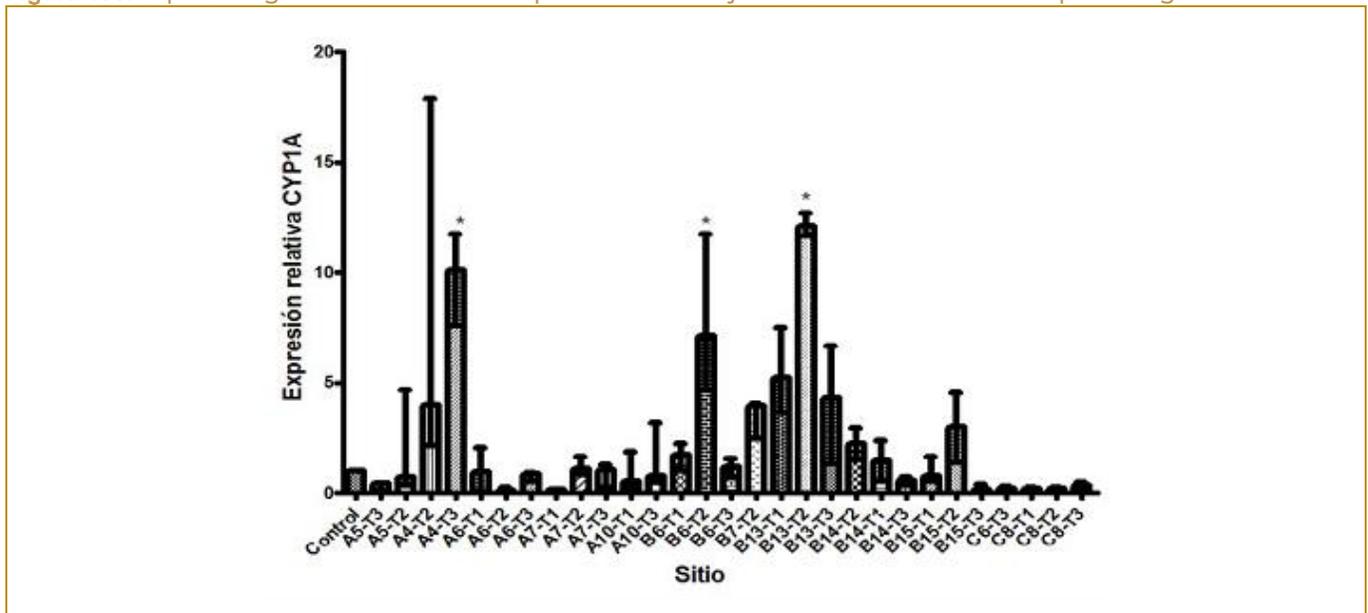
actividades recreativas por los habitantes de la localidad siendo esta la posible ruta de entrada de los contaminantes al sistema. Estudios anteriores han demostrado la gran sensibilidad de la expresión del gen VTG al ser utilizada como biomarcador, por ejemplo, Tong et al. (2004) determinaron que concentraciones tan bajas como 1 ug/L de 17-estradiol es posible observar la inducción del gen.

**Figura 99.** Expresión genética de Vitelogenina en peces cebras enjaulados en diferentes cuerpos de agua de Yucatán



**Nota:** Las barras representan el valor de las medianas y los bigotes representan el rango intercuartílico. \* denota diferencias significativas respecto al control  $p=0.05$ .  
**Fuente:** Rodríguez-Fuentes et al. (2010).

**Figura 100.** Expresión genética de CYP1A en peces cebras enjaulados en diferentes cuerpos de agua de Yucatán



**Nota:** Las barras representan el valor de las medianas y los bigotes representan el rango intercuartílico. \* denota diferencias significativas respecto al control  $p=0.05$ .  
**Fuente:** Rodríguez-Fuentes et al. (2010).

La expresión del gen CYP1A es una respuesta a la exposición a compuestos orgánicos de estructura plana, entre estos compuestos tenemos a los hidrocarburos poliaromáticos (PAH), a los bifenilos policlorados (PCB) y a las dioxinas, sin embargo, algunos plaguicidas y productos farmacéuticos también tienen su metabolismo por vía del CYP1A. Al analizar la expresión de CYP1A en los organismos expuestos en trampas muestras se pueden observar tres puntos donde se tuvieron expresiones relativas significativamente más altas que en el control. El punto A4-T3 está situado en una zona con actividad ganadera, en este cuerpo de agua se presentó una mortalidad del 87% por lo cual el análisis de la expresión relativa se llevó a cabo con los pocos organismos que sobrevivieron la exposición. La sobreexpresión podría estar ligada a la presencia de los compuestos tóxicos que causaron la muerte de los organismos. Por otro lado, el punto B6-T2 corresponde al cenote Yaxputol, la trampa se encontraba en una región del cuerpo de agua donde se podía apreciar la quema de basura, por lo cual la inducción pudiera estar ligada a la presencia de hidrocarburos PAH, que son sub-productos de una combustión incompleta de la materia orgánica. El punto B13-T2 tuvo sobreexpresión genética de los dos genes utilizados en este estudio, el cenote B13 (Calcuch) es utilizado para actividad turística y la práctica del espeleobuceo. El punto B13-T2 está localizado bajo la escalera que da entrada al cenote por lo que es un punto con alta actividad humana. Estos resultados indicaron que hay cuerpos de agua en todas las zonas estudiadas durante el presente proyecto que presentaron un efecto producido por las actividades humanas.

Como se mencionó anteriormente, las descargas de agua epicontinentales que genera el anillo de cenotes hacia la plataforma marina presentan valores altos de nitritos (Herrera-Silveira 1994; Morales-Ojeda et al. 2010), así como el amonio (Herrera-Silveira 1994; Morales-Ojeda 2009), lo mismo que la sílice reactivo soluble, en zonas donde hay influencia de aguas subterráneas proveniente del anillo de cenotes. Estos resultados sugieren que la zona costera es la que presenta un estado trófico más alto asociado a los aportes de nutrientes de las descargas de aguas subterráneas ya que los promedios de nutrientes (FRS, amonio) que se asocian a estas fueron mayores.

En el caso de Dzilám de Bravo se presentaron también índices altos de HID /HET (relación de bacterias hidrocarbonoclasticas/heterótrofas) en sedimentos, se esperaría que estén relacionadas con concentraciones altas de hidrocarburos y de esta manera se estaría indicando que la presencia de estas bacterias es debida a la concentración de determinados hidrocarburos (ya sean de la industria petrolera u otras fuentes, incluyendo las quemas agrícolas).

Por su parte, Polanco (2011), realizó un estudio sobre el riesgo por contaminantes orgánicos persistentes (COP's, pesticidas) y su relación con cánceres en varios municipios de Yucatán. Menciona que la naturaleza cárstica de la región hace que el agua subterránea sea muy vulnerable a la contaminación y que en la mayoría de los sistemas de abastecimiento de agua municipales el uso del suelo en los alrededores es principalmente habitacional, agrícola y pecuario, por lo que el uso no controlado de agroquímicos y la disposición inadecuada de los desechos, son las principales fuentes de contaminación del acuífero.

En la Figura 101 y la Figura 102 se presentan las concentraciones totales de compuestos organoclorados que se registraron por Polanco (2011) en cenotes del anillo de cenotes y pozos de captación de agua potable. Se muestra la presencia de los siguientes compuestos: Alfa Lindano, Delta Lindano, Gama Lindano, Heptacloro, Aldrín, E. Epoxido, Endosulfán I, Endosulfán II, Endosulfán SO<sub>4</sub>, Dieldrín, Endrín, 4,4 DDE, 4,4 DDD, 4,4 DDT.

Por su parte, Lizarraga Castro (2014), realizó estudios de compuestos organoclorados, particularmente DDT, DDD, DDT y Lindano, en un transecto que abarca de la ciudad de Mérida al Puerto de Progreso. Durante el período de mayo 2012 a enero del 2014, analizó la calidad del agua subterránea en diversos pozos distribuidos en toda la zona de estudio, y logró identificar y cuantificar dichos compuestos a una profundidad que varía entre los 10 y 25 metros de profundidad, así como la variación temporal durante secas, lluvias y nortes. La autora consideró la normatividad nacional e internacional vigente en cuanto a consumo de agua por el ser humano, así como para la vida silvestre, y encontró niveles de contaminación importantes, aun superando los valores de referencia en diversos pozos, demostrando el deterioro de la calidad del agua por la presencia de uno o más contaminantes. Observó que, durante la temporada de nortes, las concentraciones de plaguicidas organoclorados se incrementan, las lluvias que se generan durante la temporada de nortes tienden a ser menos abundantes y de más duración en el día, generan velocidades bajas de infiltración y mayor tiempo para el contacto plaguicida - agua, mientras que, durante la temporada de lluvias, la recarga del acuífero provoca el movimiento del agua subterránea dispersando y diluyendo los plaguicidas. En la temporada de secas la presencia de plaguicidas organoclorados se ve favorecida por actividades como el riego.

De acuerdo con las concentraciones obtenidas para el DDT, DDE y DDD durante las tres temporadas se observó el predominio del metabolito DDE, lo cual sugiere una contaminación no resiente de DDT en la zona de estudio, sin embargo, el DDT se incrementa en la temporada de lluvias sugiriendo la presencia o uso actual de dicho metabolito. El predominio de Lindano sugiere que este plaguicida es de uso reciente en la zona de estudio. Como se observa en los Gráficos siguientes, la mayor concentración se encuentra en la porción norte, sur y poniente de la ciudad de Mérida. Los plaguicidas organoclorados estudiados en este trabajo se movilizan hacia los ecosistemas costeros debido a la naturaleza cársica de Yucatán (Figura 103, Figura 104, Figura 105, Figura 106, Figura 107 y Figura 108), la línea roja significa que los valores al interior superan lo establecido como máximo permitido en las normas oficiales).

En 1992 se realizó un monitoreo de pozos que abastecen de agua a 12 comunidades del sur de Yucatán y los resultados mostraron residuos de agroquímicos 2,4-D y 2,4,5-T, encontrando las mayores concentraciones en Akil, Peto y Oxkutzcab.

Fue en la década de los noventa cuando creció el uso de plaguicidas en el estado. Según datos de la SAGARPA, para 1990 en Yucatán se consumieron 600 toneladas de diversos plaguicidas, en 1991 se registró un incremento del 18 %, para 1992 el consumo alcanzó más de 1,000 toneladas y para 1995 fue cercano a las 2,000 toneladas al año. En Yucatán, la Secretaría de Salud reconoció en 1988 el uso de más de 60 plaguicidas de diferentes marcas, cuya venta sin control se lleva a cabo en diversos expendios de insumos agropecuarios.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente vinculó los efectos de los plaguicidas al nivel de morbilidad oncológica (cáncer), pulmonar y hematológico, así como a las deformaciones congénitas y deficiencias del sistema inmunitario. Los efectos en la salud humana son provocados por la inhalación y contacto a través de la piel durante la preparación y aplicación en los cultivos. No obstante, un vínculo importante para la mayor parte de la población es la ingestión de agua y alimentos producto de las escorrentías y arrastre de contaminantes al manto freático durante las lluvias y por cosechas contaminadas por plaguicidas. El uso de plaguicidas en Yucatán se emplea frecuentemente para la producción de chile habanero, papaya, frijol, calabaza, pepino, sandía, melón, maíz, cítricos, entre otros. Se han identificado el uso de 21 ingredientes activos en la zona hortícola como son el paraquat, endosulfán, diazinón, metamidofós, metomilo, 2,4-D, maneb y metilparatión, glifosato y malatión, entre otros.

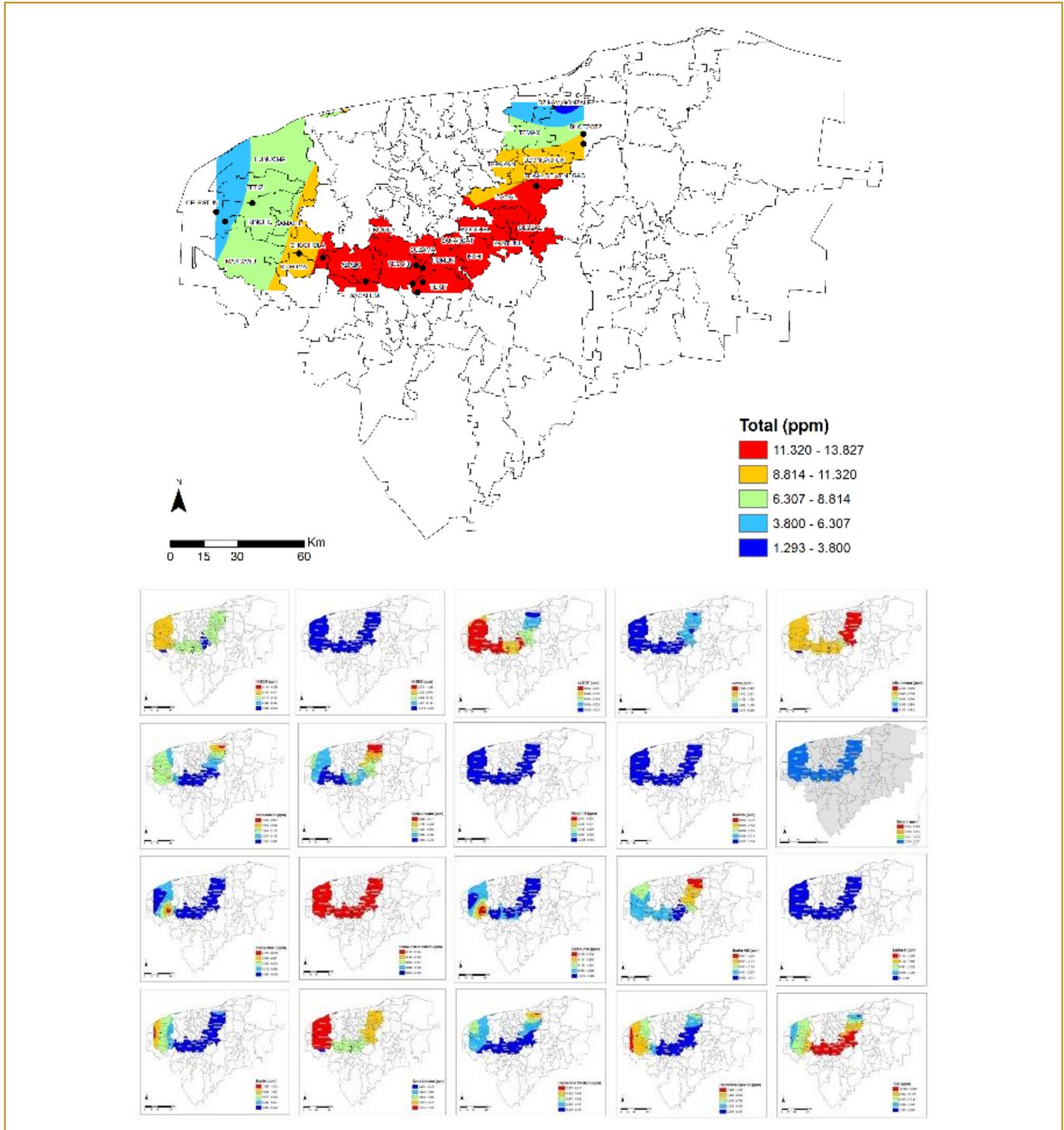
En Quintana Roo los estudios realizados por Metcalfe et al. (2011) muestran resultados sobre la presencia de herbicidas como el clorfenoxi en muestras de agua en cavernas en las localidades de Puerto Aventuras y Tulum en la Riviera Maya. Estos herbicidas son utilizados para controlar malezas de pastos, particularmente en los campos de golf que se encuentran en la zona.

Vargas (2015), identificó plaguicidas pertenecientes a los grupos organoclorados, organofosforados y piretroides en lixiviados y pozos (agrícolas y de agua potable) en la zona cañera al Sur de Quintana Roo.

Rendón von Osten (2015), presentó el informe del proyecto Río Candelaria, en el Sur de Campeche. Menciona que en la cuenca del Río Candelaria aún se tiene grandes extensiones forestales, pero que están siendo afectadas por las actividades agrícolas y ganaderas.

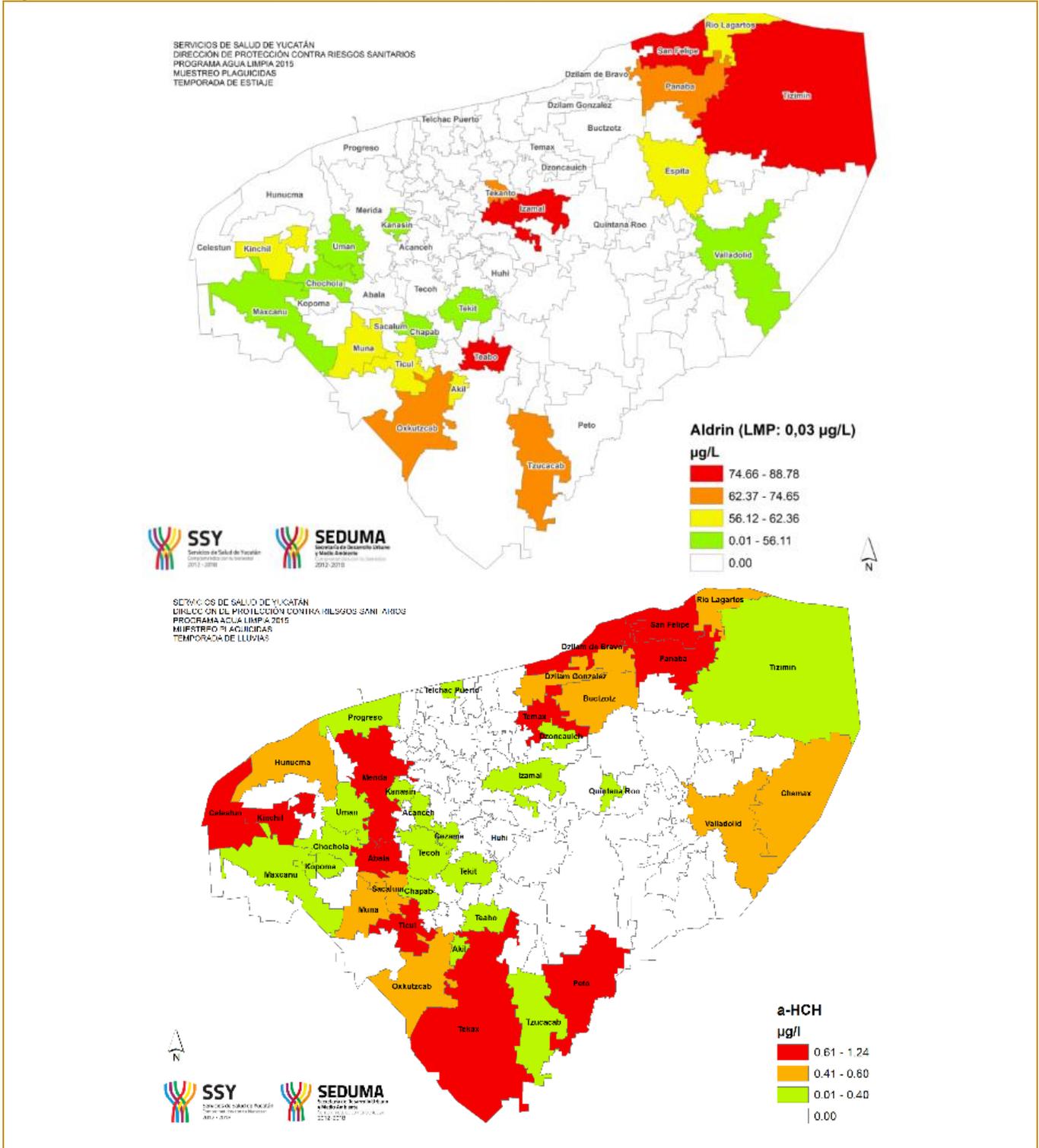
Los principales cultivos que se tienen en Candelaria son arroz, maíz y chile habanero. Actualmente se tiene considerado el cultivo de unas 8 mil hectáreas de palma de aceite en zonas aledañas al Río Candelaria. La agricultura emplea plaguicidas para controlar principalmente malas hierbas, insectos y hongos.

**Figura 101.** Concentración total de plaguicidas organoclorados en pozos y cenotes ubicados en la zona de Anillo de Cenotes



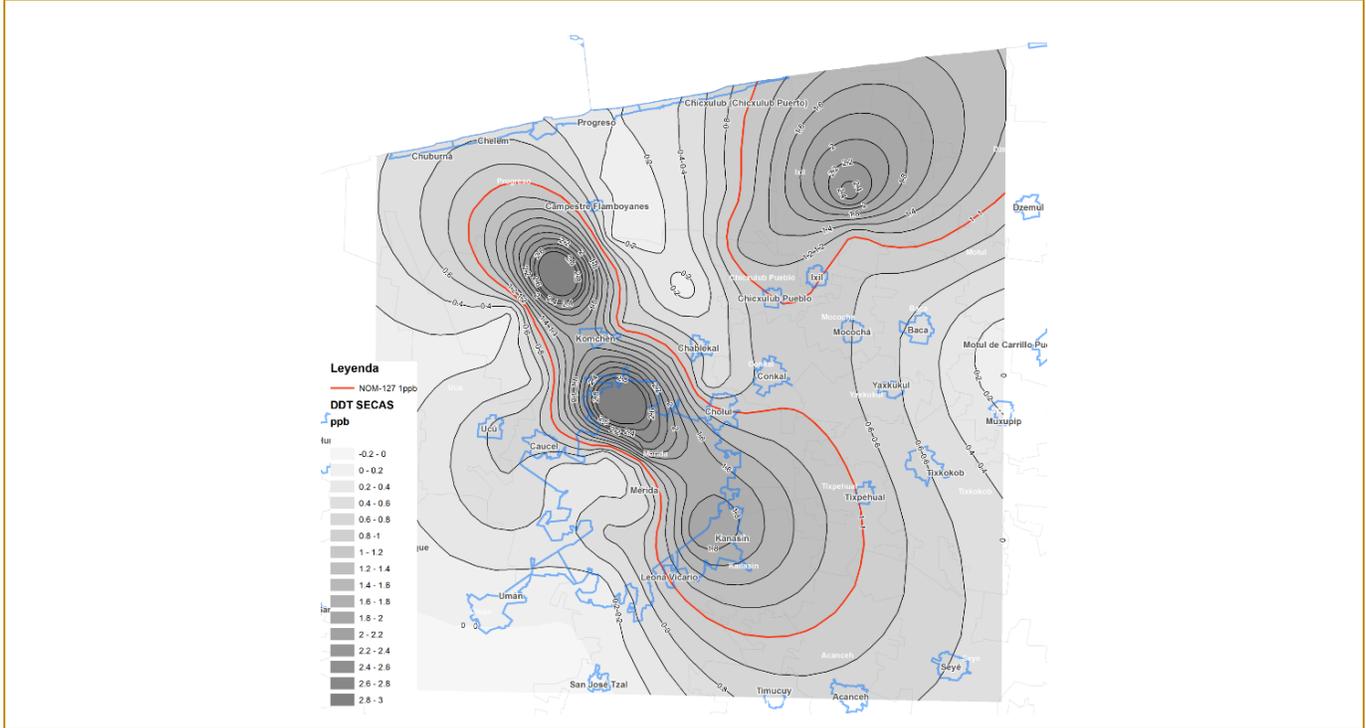
Fuente: Polanco (2011).

**Figura 102.** Concentración en pozos de captación de agua potable de Aldrín Alfa Lindano en 2015



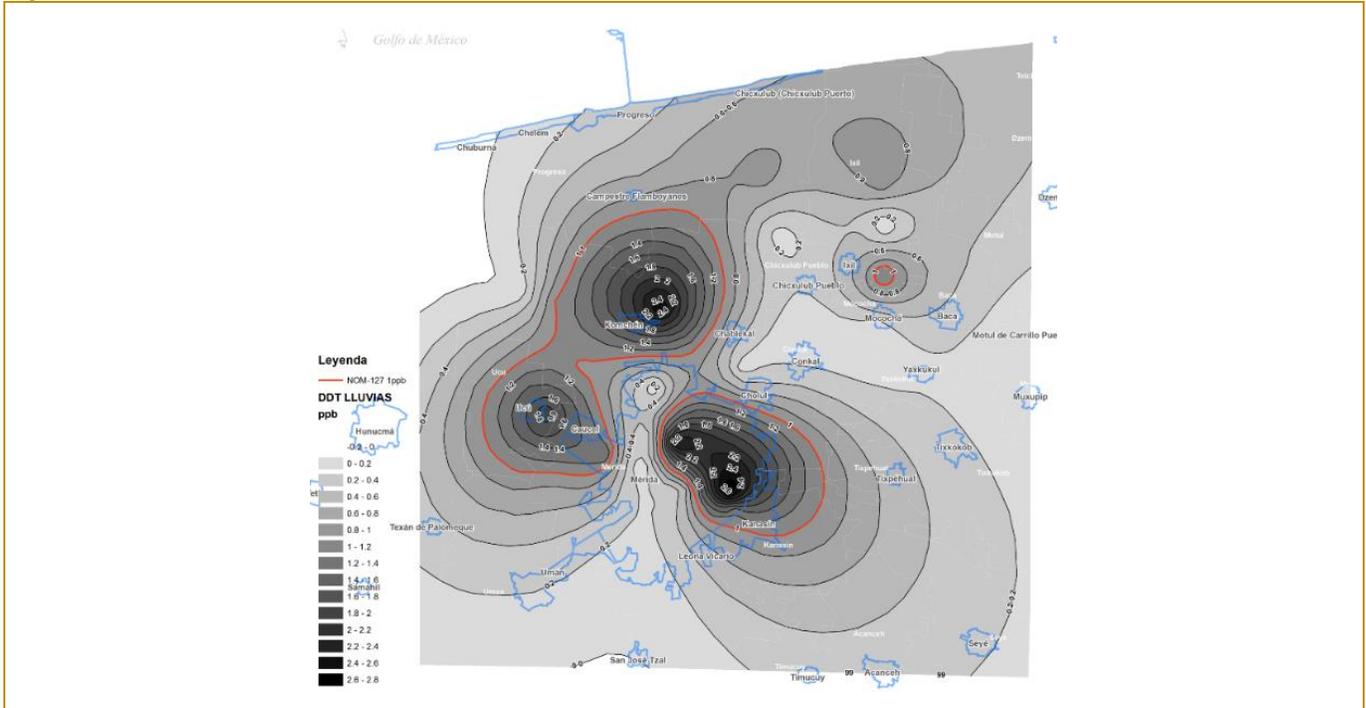
Fuente: Polanco (2011).

**Figura 103.** Distribución espacial de DDT en temporada de secas



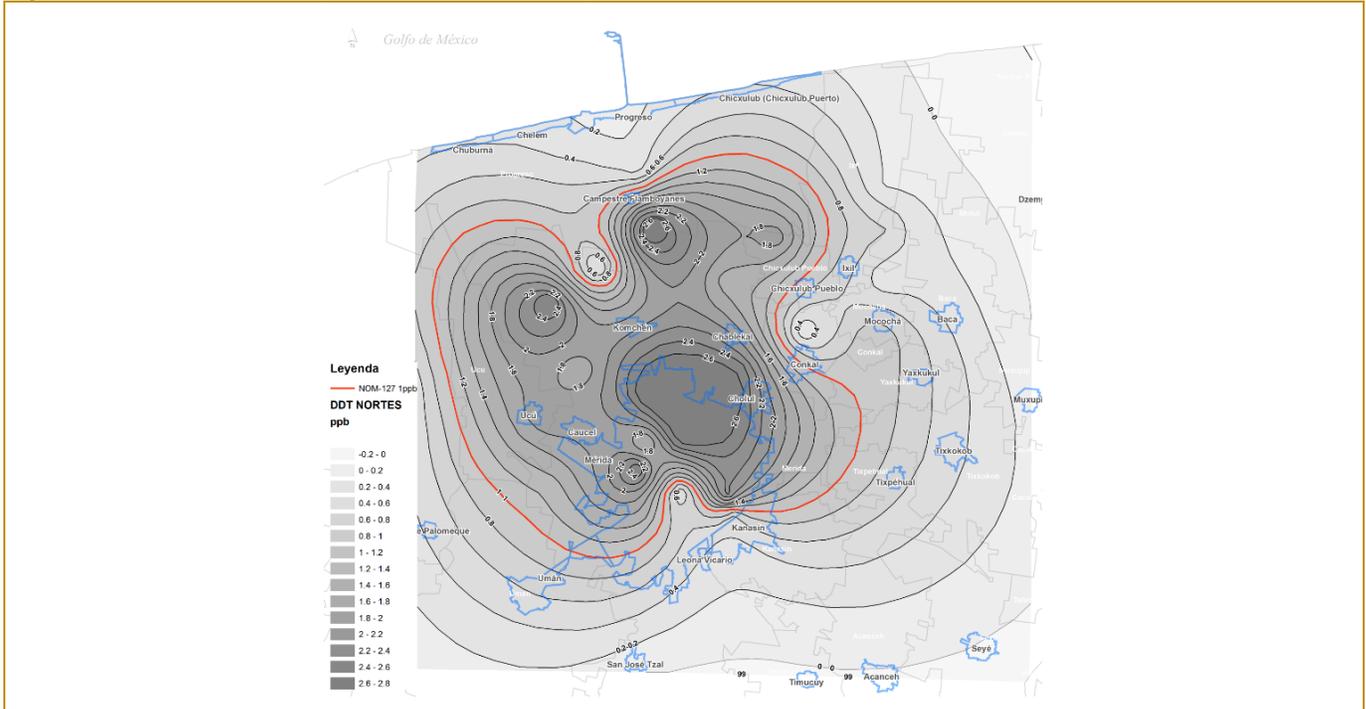
Fuente: Lizarraga-Castro (2014).

**Figura 104.** Distribución espacial de DDT en temporada de lluvias



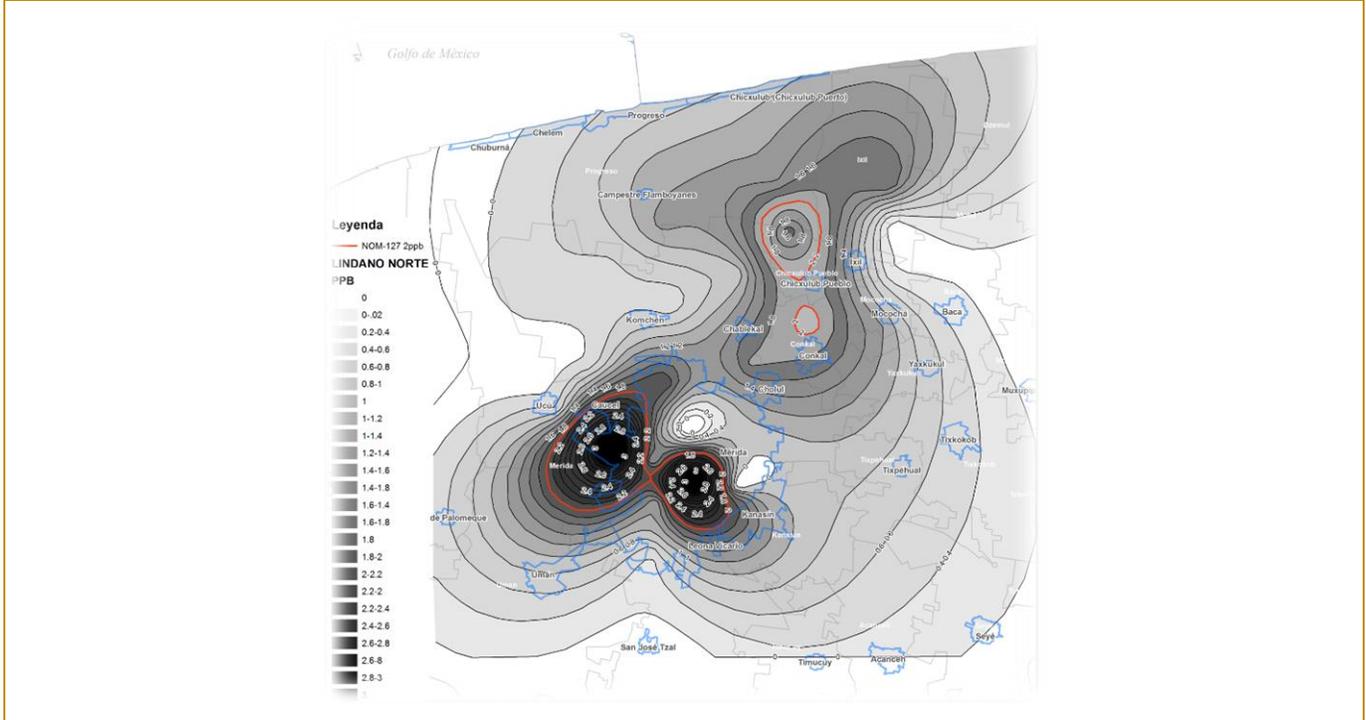
Fuente: Lizarraga-Castro (2014).

**Figura 105.** Distribución espacial de DDT en temporada de nortes



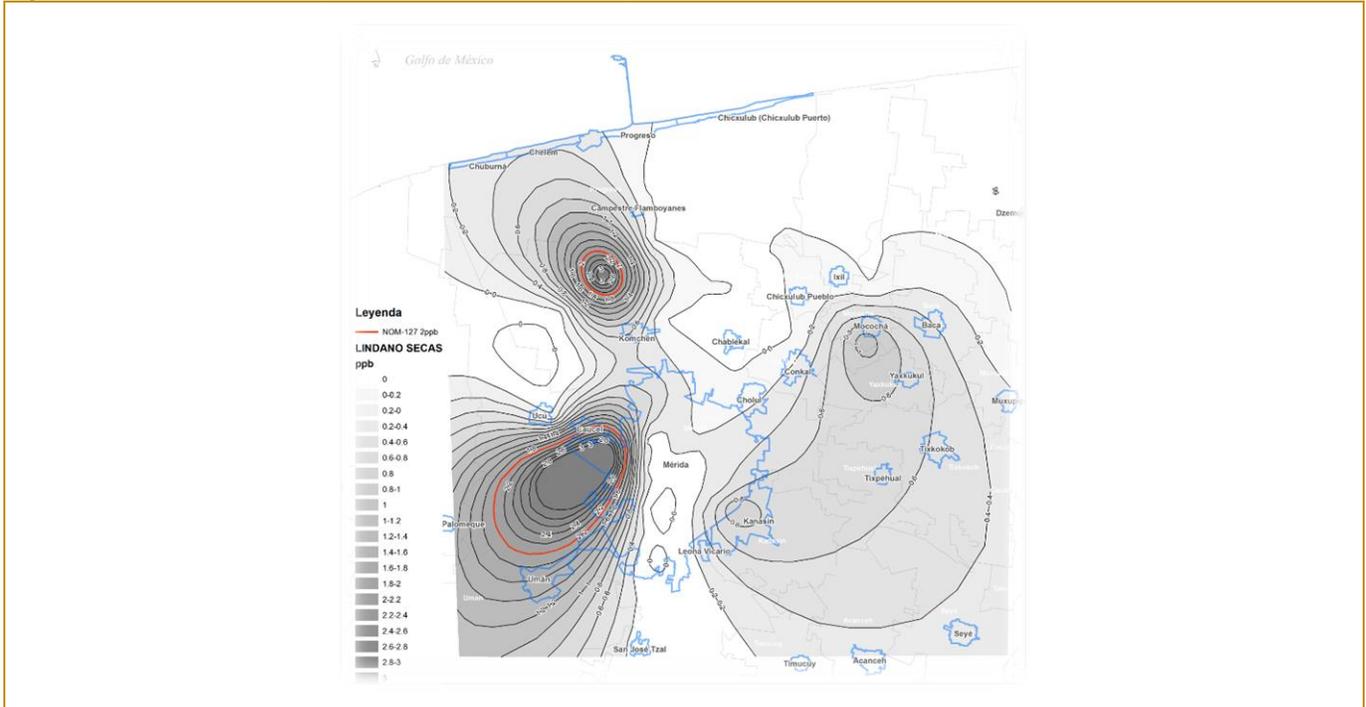
Fuente: Lizarraga-Castro (2014).

**Figura 106.** Distribución espacial de Lindano en temporada de nortes



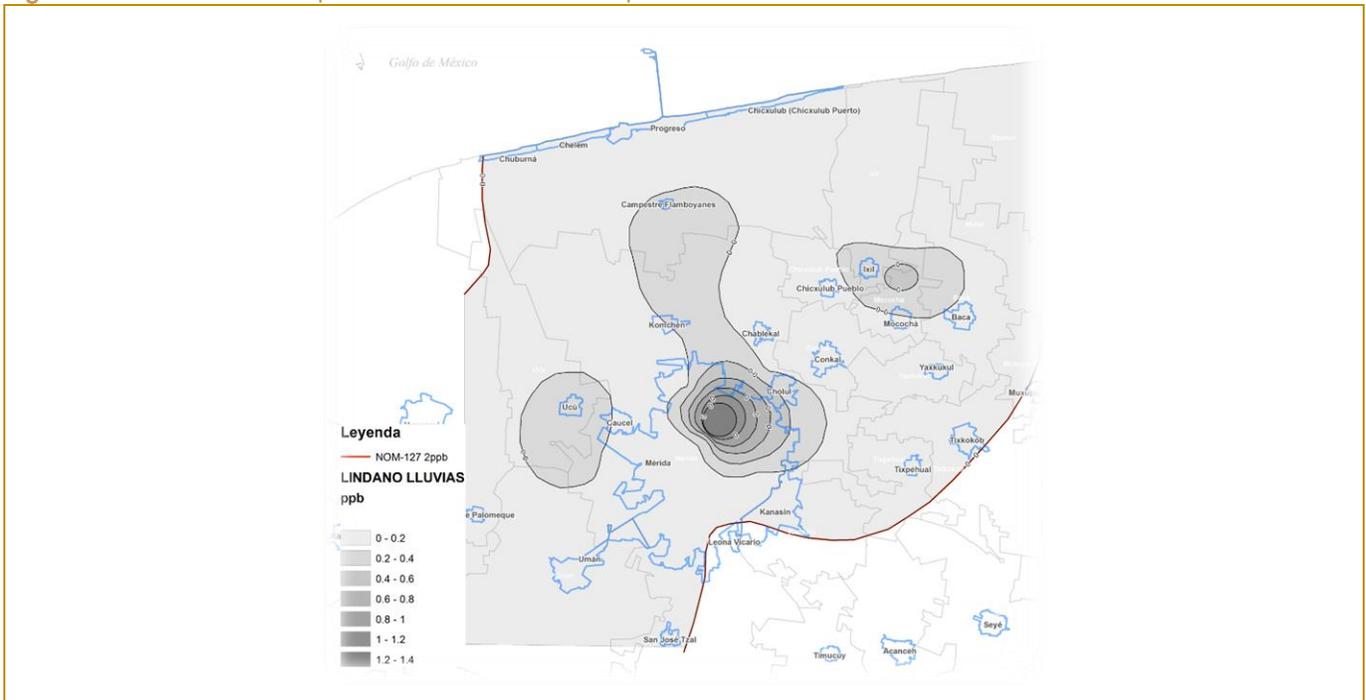
Fuente: Lizarraga-Castro (2014).

**Figura 107.** Distribución espacial de Lindano en temporada de secas



Fuente: Lizarraga-Castro (2014).

**Figura 108.** Distribución espacial de Lindano en temporada de lluvias



Fuente: Lizarraga-Castro (2014).

Los plaguicidas aplicados a los campos de cultivo pueden ser lavados y arrastrados por la lluvia o contaminar directamente los cuerpos de agua. El Río Candelaria se encuentra en una situación un poco más vulnerable debido a que río arriba se tiene una frontera internacional con Guatemala y, por lo tanto, no se tienen datos acerca de qué tipo de cultivo y agrotóxicos puedan estarse aplicando y que pudieran ser transportados río abajo. Con el fin de poder determinar residuos de plaguicidas en agua se emplearon muestreadores pasivos para identificar la presencia de plaguicidas (Tabla 66). Los resultados del estudio demuestran la presencia de residuos de plaguicidas en el agua del Río Candelaria, siendo los principales endosulfán (0.098 µg L<sup>-1</sup>), glifosato (2.51 µg L<sup>-1</sup>), clorpirifos (0.26 µg L<sup>-1</sup>), 2,4-D (9.18 µg L<sup>-1</sup>), deltametrina (0.96 µg L<sup>-1</sup>) y diclorvos (1.04 µg L<sup>-1</sup>). Los plaguicidas clorpirifos, endosulfán y diclorvos son compuestos muy tóxicos a organismos acuáticos, por lo que su regulación es muy importante para la conservación de los recursos del ecosistema del Río Candelaria.

**Tabla 66.** Coordenadas de los sitios de muestreo de agua en el Río Candelaria, Campeche.

| Sitio | Localidad        | Coordenadas |             |
|-------|------------------|-------------|-------------|
|       |                  | Norte       | Oeste       |
| 1     | 18 km río arriba | 18°06'28.0" | 90°57'21.4" |
| 2     | 17 km río arriba | 18°06'34.9" | 90°57'48.7" |
| 3     | 10 km río arriba | 18°05'57.0" | 90°00'41.2" |
| 4     | 8 km río arriba  | 18°08'28.5" | 90°01'11.2" |
| 5     | 2 km río arriba  | 18°10'16.4" | 90°02'41.5" |
| 6     | Candelaria       | 18°11'06.3" | 90°03'01.1" |
| 7     | 2.5 km río abajo | 18°11'46.7" | 90°03'45.3" |
| 8     | 5 km río abajo   | 18°12'38.3" | 90°03'07.2" |
| 9     | 7 km río abajo   | 18°13'03.2" | 90°03'56.4" |

Fuente: Rendón von Osten (2015).

En la Tabla 67 y la Tabla 68 se presentan las concentraciones de todos los plaguicidas que han sido determinados en agua del Río Candelaria del presente estudio. En las aguas del Río Candelaria se determinaron residuos de plaguicidas organoclorados, herbicidas (glifosato y 2,4-D), así como de insecticidas (piretroides y organofosforados).

**Tabla 67.** Concentraciones de plaguicidas organoclorados en agua del Río Candelaria, Campeche (µg L<sup>-1</sup>).

| Sitio | ΣDDT   | ΣHCH   | ΣDrines | ΣClordanos | ΣEndosulfan |
|-------|--------|--------|---------|------------|-------------|
| 1     | 0.0717 | 0.0667 | 0.0443  | 0.0177     | 0.1098      |
| 2     | 0.002  | 0.0252 | 0.0582  | 0.0605     | 0.0937      |
| 3     | 0.0296 | 0.0231 | 0.0574  | 0.0453     | 0.0941      |
| 4     | 0.0427 | 0.0482 | 0.0237  |            | 0.0491      |
| 5     | 0.0256 | 0.0185 | 0.0271  | 0.0152     | 0.0728      |
| 6     | 0.0080 | 0.0116 | 0.0200  |            | 0.0228      |
| 7     | 0.0384 | 0.0440 | 0.1588  |            | 0.1220      |
| 8     | 0.0906 | 0.0347 | 0.0744  |            | 0.1556      |
| 9     |        | 0.0705 | 0.1326  |            | 0.1679      |

Fuente: Rendón von Osten (2015).

**Tabla 68.** Concentraciones de los herbicidas, insecticidas organofosforados en agua del Río Candelaria, Campeche ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ).

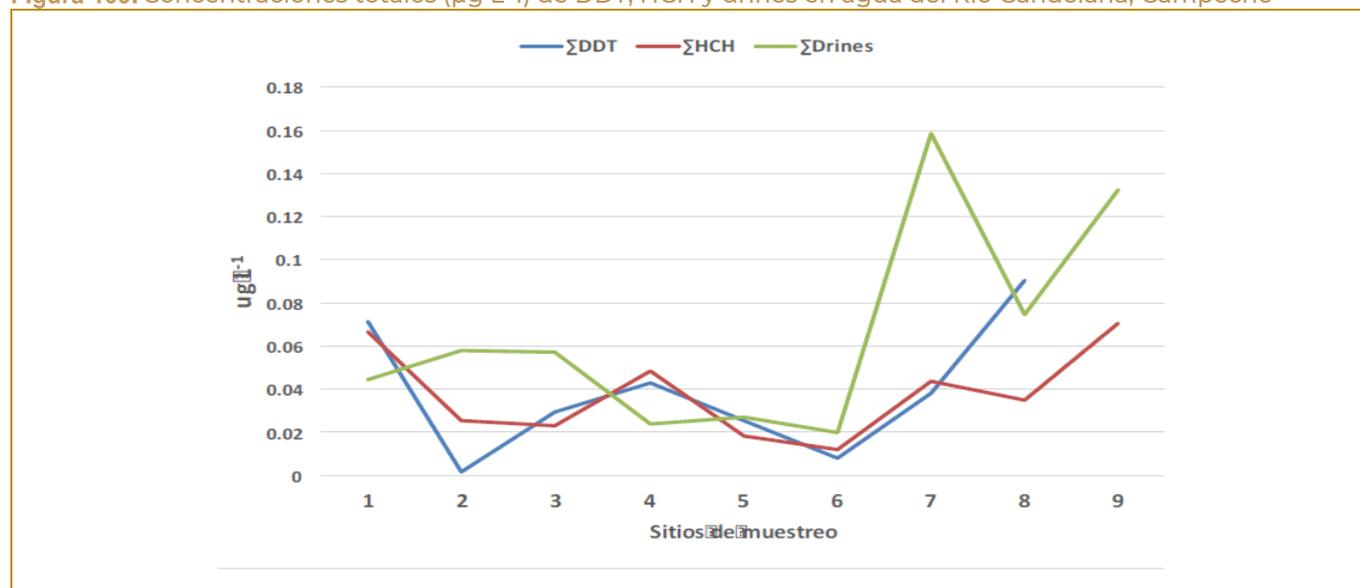
| Sitio | Diclorvos | Clorpirifos | MeClorpitifos | MeParation |
|-------|-----------|-------------|---------------|------------|
| 1     |           |             |               |            |
| 2     |           | 0.0946      |               |            |
| 3     |           | 0.1050      | 0.06          |            |
| 4     |           | 0.0858      |               |            |
| 5     |           |             |               |            |
| 6     | 1.04      | 1.0830      | 0.06          | 0.09       |
| 7     |           |             |               |            |
| 8     |           |             | 0.08          |            |
| 9     |           | 0.0500      |               |            |

Fuente: Rendón von Osten (2015).

Lo anterior se puede deber a al aporte tanto de desechos animales como el ganado como el aporte de fertilizantes por parte de la actividad agrícola de la zona.

En todas las muestras del Río Candelaria se presentaron residuos de plaguicidas organoclorados. En la Figura 109 se observa que las concentraciones de estos tres plaguicidas se incrementan después del sitio 6 que es la ciudad de Candelaria. Con respecto al DDT este se puede incrementar un poco después de la ciudad, debido a que posiblemente todavía queden residuos de DDT que se empleó para las campañas de erradicación de vectores. En el caso del HCH, el isómero gamma (HCH) o comúnmente llamado "lindano" este compuesto aún se empleaba para el control de garrapatas en la ganadería, por lo que su presencia es posible debido a su uso muy reciente en México.

**Figura 109.** Concentraciones totales ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) de DDT, HCH y drines en agua del Río Candelaria, Campeche

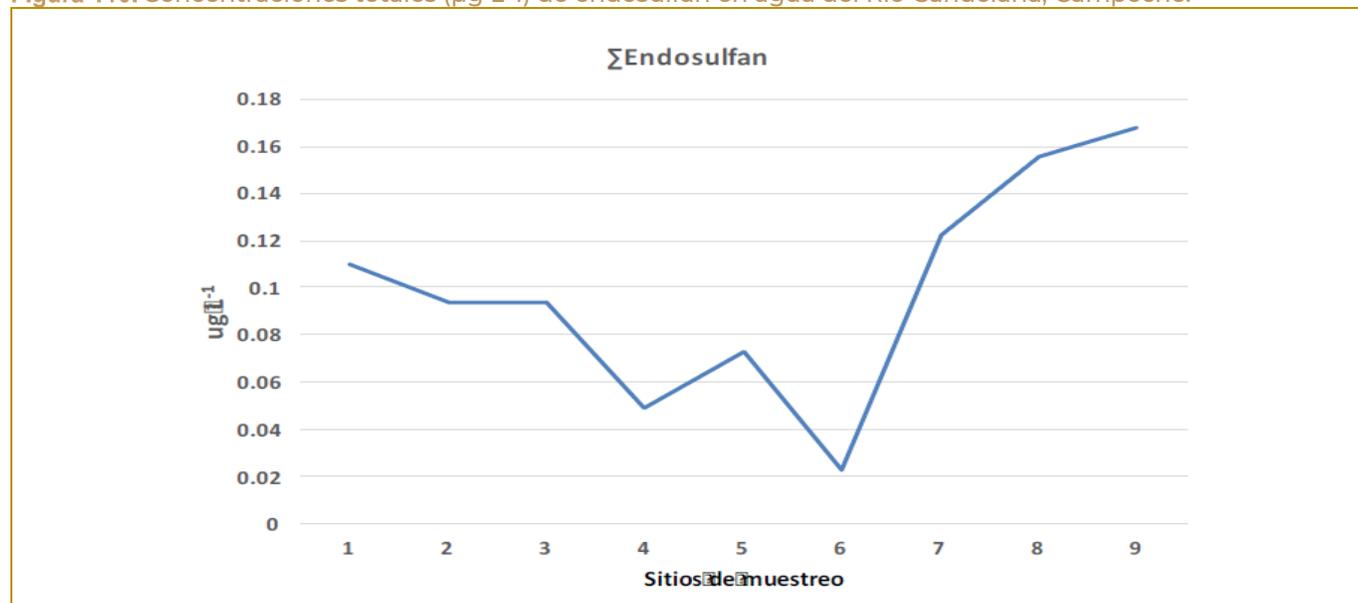


Fuente: Rendón von Osten (2015).

Los resultados de las concentraciones de endosulfán en agua del Río Candelaria se muestran en la Figura 110. Las concentraciones de endosulfán tienen un comportamiento interesante. Las concentraciones de endosulfán tienden a disminuir conforme al flujo del río y, de manera interesante, se incrementan inmediatamente después de pasar

por la Ciudad de Candelaria. Una de las posibles causas es que muy cerca de la ciudad se haya empleado este potente insecticida organoclorado, el cual, se sabe que a veces no solo se emplea en la agricultura sino también para el control de insectos en jardines, lo cual implica un riesgo para los organismos.

**Figura 110.** Concentraciones totales ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) de endosulfán en agua del Río Candelaria, Campeche.



Fuente: Rendón von Osten (2015).

En la Figura 111 se presentan las concentraciones de glifosato presentes en el agua del Río Candelaria. El comportamiento de las concentraciones de glifosato se asemeja un poco a la de los compuestos mencionados con anterioridad, ya que las concentraciones de los primeros tres sitios tienden a bajar y, posteriormente, cuando se llega a la ciudad de Candelaria, hay un repunte en las concentraciones de glifosato llegando a ser una de las concentraciones más altas del río ( $> 2.7 \mu\text{g L}^{-1}$ ). Posteriormente las concentraciones bajan y vuelven a tener una tendencia a incrementarse conforme se avanza con el cauce del río. El glifosato es el herbicida más vendido en el mundo y también se sabe que en México este herbicida es muy empleado para controlar las hierbas de muchísimos cultivos, principalmente de los genéticamente modificados para resistir su presencia.

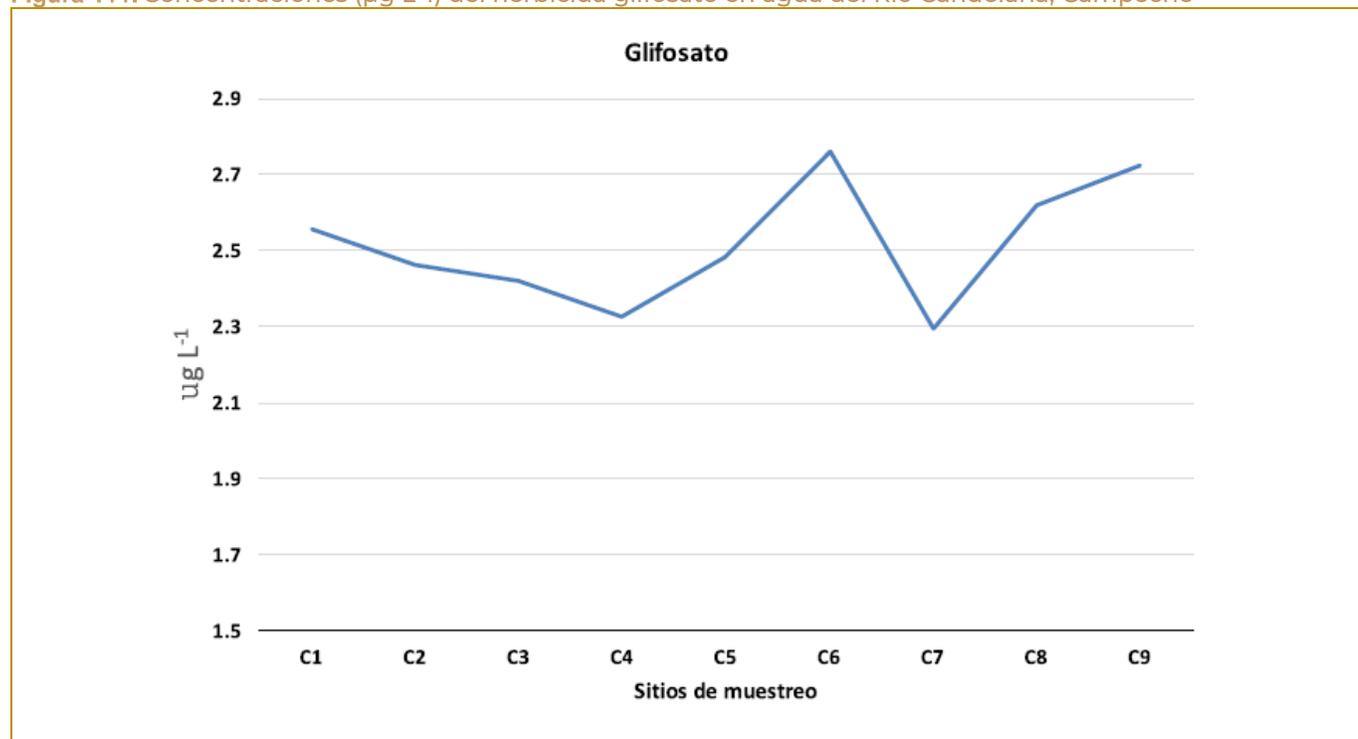
De acuerdo con los resultados de los análisis de los muestreadores pasivos, además de los compuestos antes mencionado, se pudieron detectar residuos del herbicida 2,4-D, así como de los insecticidas piretroides cipermetrina y deltametrina. Asimismo, con esta técnica se pudo detectar trazas de diclorvos ( $1.04 \mu\text{g L}^{-1}$ ) y de metil-paratión ( $0.09 \mu\text{g L}^{-1}$ ), dos potentes insecticidas organofosforados (gráfica 6). Los insecticidas piretroides y organofosforados antes mencionados tienen un origen principalmente agrícola, aunque, a veces, los mismos agricultores los emplean en sus casas para el control de mosquitos y otros insectos dañinos.

Después del glifosato, el herbicida 2,4-D es uno de los más utilizados junto con el paraquat o gramoxón. En el caso de las aguas del Río Candelaria, se determinaron concentraciones de  $0.187 \mu\text{g L}^{-1}$  de 2,4-D, las cuales no son muy altas, pero es importante darle un monitoreo a estas y todas las sustancias que están en el río.

La mayoría de los compuestos determinados no pasan los lineamientos propuestos en la Ley Federal de Derechos, sin embargo, considerando los usos 3 y 4, que son para la protección de la vida acuática el paratión excede el lineamiento en diez veces. En el caso del endosulfán, las concentraciones solamente exceden para el uso 4 de protección de vida acuática de aguas costeras y estuarios. Es importante recalcar que, aunque varios de los compuestos no tienen un lineamiento de calidad del agua, estos pueden tener efectos a largo plazo sobre la vida acuática, ya sea acumulando los compuestos o por acumulación de los efectos dañinos sobre los organismos. El paratión está por arriba de los lineamientos para protección de vida acuática, tanto de dulce como estuarina. Aunque no se tengan lineamientos para establecer la calidad del agua para el clorpirifos y el diclorvos, estos representan un

riesgo muy alto para los organismos del Río Candelaria debido a la alta toxicidad aguda que tienen estos insecticidas organofosforados.

**Figura 111. Concentraciones ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) del herbicida glifosato en agua del Río Candelaria, Campeche**



Fuente: Rendón von Osten (2015).

Se encontraron residuos de deltametrina y cypermetrina en el agua del Río Candelaria, sin embargo, estos no están considerados dentro de los lineamientos, pero se sabe que, aunque estos insecticidas agrícolas no tienen un efecto grave sobre el ser humano, si lo tienen sobre invertebrados acuáticos, los cuales son la base de las cadenas tróficas por lo que deben ser regulados en zonas agrícolas de importancia ecológica como la cuenca del Río Candelaria.

Por último, se encontraron residuos de los herbicidas glifosato y 2,4-D, los dos herbicidas más usados en el mundo y que se encuentran presentes en el Río Candelaria. Una de las causas del gran éxito de estos compuestos es que no son tóxicos al corto plazo, por lo que no se ve el efecto de manera inmediata. Sin embargo, es necesario establecer que existe un riesgo alto al presentarse una combinación de varios productos en un mismo sitio, lo cual puede causar efectos sinérgicos en los organismos expuestos.

Debido a que la mezcla de plaguicidas provenientes de la agricultura puede afectar a organismos de importancia socioeconómica, es importante establecer un sistema de monitoreo que permita conocer las condiciones y, en su momento, poder inferir los posibles efectos adversos y tomar acciones pertinentes antes de que los efectos sean irreversibles e impacten en la economía de los habitantes de este importante ecosistema del Río Candelaria.

### 1.8.9 Efectos en la salud humana

Se considera que los efectos producidos por los plaguicidas en la salud humana tienen que ver con el cáncer de cerebro, leucemia, tumor de Wilms, sarcoma del tejido blando, además de disruptores hormonales que generan cáncer en sistemas reproductivos, efectos neurológicos, defectos de nacimiento, cáncer de mama, cáncer cervicouterino, cáncer de piel, cáncer de próstata, cáncer de testículo, cáncer de pulmón, asma, así como en adolescentes y niños se evidencian problemas psicológicos y cognoscitivos, leucemias, deficiente desarrollo de los órganos sexuales en la menarca a causa de la interrupción en el sistema endócrino. En la Tabla 69 se muestra el

número de niños y adolescentes con problemas de cáncer registrados en el centro oncopediátrico del Hospital Ohran de la ciudad de Mérida desde el año 2010 al 2014.

**Tabla 69.** Número de casos de cáncer en niños y adolescentes, anual por sexo y edades.

| Tabla Resumen |                 | Sexo     |           | Edad                 |                           |
|---------------|-----------------|----------|-----------|----------------------|---------------------------|
| Año           | Número de casos | Femenino | Masculino | Infantes<br>(1 - 12) | Adolescentes<br>(13 - 18) |
| 2014          | 26              | 12       | 14        | 19                   | 7                         |
| 2013          | 38              | 19       | 19        | 36                   | 2                         |
| 2012          | 53              | 25       | 28        | 48                   | 5                         |
| 2011          | 49              | 17       | 32        | 46                   | 3                         |
| 2010          | 44              | 14       | 30        | 38                   | 6                         |

**Fuente:** Centro Oncopediátrico del Hospital Ohran de la ciudad de Mérida con datos del 2010 al 2014.

Debido a más de 50 años de utilización de DDT, a su persistencia y acumulación en la cadena alimenticia, la dieta podría ser la mayor fuente de exposición para la población en general, sin embargo, otras vías de exposición pueden ser a través de la vía aérea y el agua contaminada (Lizarraga Castro 2014). En un estudio realizado por Zumbado et al. (1998; citado por Lizarraga Castro 2014), a los habitantes de las Islas Canarias en España se demostró que, a pesar de la prohibición de DDT en 1977, la población mayor de 20 presentaba niveles altos de algún tipo de residuo derivado del DDT, ya que estuvieron expuestos en una época en la que estaba permitido. Además de la exposición crónica a DDT y derivados se ha relacionado con diversos tipos de cánceres dependientes de estrógenos, como el cáncer de mama. Se ha demostrado un efecto estrogénico del DDT, el cual podía mantener el crecimiento celular de un tumor estrogénico – dependiente. En Las Islas Canarias existe un alto índice de mortalidad por cáncer de mama. Actualmente Yucatán se encuentra en los primeros lugares de prevalencia a cáncer cervicouterino y cáncer de mama, manteniéndose esta problemática por años (Tabla 70, Tabla 71, Tabla 72 y Tabla 73), que si bien ha venido cambiando no es del todo significativa. Su evolución va de 36 muertes por 100,000 mujeres de 25 años o más en 1992, a 44 muertes en 2005, siendo muy superior a lo reportado a nivel nacional que era de 15 muertes en la misma fecha.

**Tabla 70.** Tasa de Mortalidad por Cáncer Cervicouterino 2001-2012\*.

|         | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| DEF EST | 52   | 45   | 49   | 67   | 44   | 48   | 46   | 37   | 63   | 50   | 75   | 71   | 69*  | 48*  |

\*Datos preliminares.

**Fuente:** SSY, Sistema epidemiológico y estadístico de las defunciones (SEED).

**Tabla 71.** Municipios con el mayor número de defunciones por cáncer de mama en mujeres de 25 años y más (2009-2014).

| Yucatán   |            |      |
|---|------------|------|
| Frecuencia de número de defunciones por municipio de residencia 2009-2014 |            |      |
| No. Orden   | Municipio  | Núm. |
| 1   | Mérida     | 252  |
| 2   | Progreso   | 22   |
| 3   | Tizimín    | 13   |
| 4   | Kanasín    | 12   |
| 5   | Ticul      | 8    |
| 6   | Umán       | 6    |
| 7   | Baca       | 6    |
| 8   | Tekax      | 6    |
| 9   | Valladolid | 5    |

| Yucatán   |           |      |
|---|-----------|------|
| Frecuencia de número de defunciones por municipio de residencia 2009-2014 |           |      |
| No. Orden   | Municipio | Núm. |
| 10  | Peto      | 4    |
| 11  | Izamal    | 3    |
| 12  | Motul     | 3    |
| 13  | Oxkutzcab | 3    |
| 14  | Hocabá    | 2    |
| 15  | Sacalum   | 2    |

Fuente: SSY, Sistema epidemiológico y estadístico de las defunciones (SEED).

**Tabla 72.** Tasa de Mortalidad por Cáncer Cervicouterino 2001-2014\*.

| 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013* | 2014* |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 100  | 109  | 104  | 103  | 105  | 88   | 76   | 86   | 77   | 98   | 79   | 89   | 66    | 53    |

\*Datos preliminares número de defunciones por cada 100,000 habitantes.

Fuente: SSY, Sistema epidemiológico y estadístico de las defunciones (SEED).

El estudio de Polanco A. (2011), sintetiza aspectos que se refieren a la epidemiología ambiental y sociocultural de la relación agua/pesticidas, así como la población/percepción de riesgos. Un resultado general mostró una muy baja percepción del riesgo del efecto nocivo, dado que muchos entrevistados no consideran que dichas sustancias dañen al suelo o al agua subterránea, entre otros. El mismo autor analizó la presencia de plaguicidas en sangre de mujeres con cáncer cervicouterino y mamario encontrando presencia de pesticidas (tabla 69), en algunos casos por encima de la norma oficial para límites máximos permisibles. Los siguientes resultados que se exponen, sólo para el caso de los municipios de influencia metropolitana, como Umán, Kanasín y Progreso, además de Tizimín por ser un municipio donde el uso de estas sustancias es extensivo, destacan la presencia de Delta Lindano, Gama Lindano, Heptacloro, Aldrín, Endosulfan epóxido, Endosulfán I y II, Dieldrín, 4,4-DDE, 4,4-DDD, 4,4-DDT y Endosulfán SO<sub>4</sub>.

Dicho autor también obtuvo concentraciones de pesticidas en la leche materna (Tabla 74 y Tabla 75), aquí sólo presentamos los resultados del municipio de Kanasín con presencia de Beta Lindano, Aldrín, E. epóxido (que en este caso alcanzó concentraciones extraordinarias de 18.46 ppm), Endosulfán I y II, Dieldrín, 4,4-DDE, 4,4-DDD, 4,4-DDT, y Endosulfan SO<sub>4</sub>.

**Tabla 73.** Municipios con el mayor número de defunciones por cáncer Cervicouterino en mujeres de 25 años y más (2009-2014).

| Yucatán  |            |      |
|--|------------|------|
| Municipios con mayor frecuencia de defunciones 2009-2014 |            |      |
| No. Orden  | Municipio  | Núm. |
| 1  | Mérida     | 200  |
| 2  | Progreso   | 14   |
| 3  | Tekax      | 14   |
| 4  | Tizimín    | 14   |
| 5  | Umán       | 14   |
| 6  | Valladolid | 14   |
| 7  | Kanasín    | 13   |
| 8  | Izamal     | 9    |
| 9  | Motul      | 9    |
| 10   | Ticul      | 9    |
| 11   | Hunucmá    | 7    |
| 12   | Maxcanú    | 7    |
| 13   | Oxkutzcab  | 7    |
| 14   | Chemax     | 6    |
| 15   | Halachó    | 6    |

| Yucatán  |           |      |
|--|-----------|------|
| Municipios con mayor frecuencia de defunciones 2009-2014 |           |      |
| No. Orden  | Municipio | Núm. |
| 16   | Peto      | 6    |
| 17   | Tecoh     | 6    |
| 18   | Tzucacab  | 6    |

Fuente: SSY, Sistema epidemiológico y estadístico de las defunciones (SEED).

**Tabla 74.** Concentraciones de pesticidas en sangre de mujeres con cáncer cervicouterino y mamario de diversos municipios de Yucatán.

| Municipio      | Umán  | Progreso | Kanasín | Tizimín |
|----------------|-------|----------|---------|---------|
| Pesticida ppm  |       |          |         |         |
| Alfa Lindano   |       |          |         |         |
| Delta Lindano  |       |          |         | 0.469   |
| Gama Lindano   |       |          | 0.080   |         |
| Heptacloro     |       |          | 0.064   | 1.434   |
| Aldrín         |       |          |         | 3.695   |
| E. Epoxido     |       |          |         | 0.467   |
| Endosulfán I   | 0.021 | 0.019    | 0.005   | 7.352   |
| Dieldrín       | 0.334 | 0.006    | 0.010   | 0.859   |
| 4,4 DDE        |       | 0.019    | 0.010   | 0.127   |
| Endrín         |       | 0.012    | 0.021   | 0.146   |
| Endosulfán II  |       |          | 0.011   |         |
| 4,4 DDD        |       | 0.010    | 0.005   | 2.336   |
| Endrín AI      |       | 0.002    | 0.025   | 0.566   |
| Endosulfán SO4 |       |          | 0.010   |         |
| 4,4 DDT        |       | 0.005    | 0.003   |         |

Fuente: Polanco A. (2011).

**Tabla 75.** Concentraciones de pesticidas en la leche materna del municipio de Kanasín, Yucatán.

| Municipio      | Kanasín |
|----------------|---------|
| Pesticida ppm  |         |
| Beta Lindano   | 0.072   |
| Delta Lindano  |         |
| Gama Lindano   |         |
| Heptacloro     |         |
| Aldrín         | 0.122   |
| E. Epoxido     | 18.460  |
| Endosulfán I   | 0.007   |
| Dieldrín       | 0.121   |
| 4,4 DDE        | 0.042   |
| Endrín         | 1.920   |
| Endosulfán II  | 0.157   |
| 4,4 DDD        | 0.235   |
| Endrín AI      | 0.112   |
| Endosulfán SO4 | 0.045   |
| 4,4 DDT        | 0.032   |

Fuente: Polanco A. (2011).

Los efectos en el sistema reproductivo en agricultores expuestos a plaguicidas, particularmente sobre abortos y partos pretérmino, fue estudiado entre 2003 y 2004 en cien agricultores de Muna, Yucatán, expuestos a plaguicidas. Su objetivo fue identificar los efectos en la salud reproductiva tomando como indicadores el número de abortos, partos pretérmino y óbitos entre sus parejas sexuales, y los resultados se compararon con un grupo similar de la misma comunidad, con la excepción de que no había exposición a plaguicidas. Los agricultores de la comunidad de Muna utilizan una amplia variedad de plaguicidas: los organofosforados principalmente, algunos carbamatos y los derivados del dipiridilo. El 99 % de los agricultores empleó plaguicidas organofosforados (metamidofós, clorpirifós-etil, malatión, diazinón). Entre los carbamatos más utilizados se encuentran el metomilo y el carbofurán. El 69 % de los agricultores utilizó el endosulfán.

Con respecto a los abortos espontáneos de las parejas de los agricultores, 13 de ellas tuvieron un aborto, 15 tuvieron 2 abortos, 6 tuvieron 3 abortos y 2 tuvieron 4 abortos. El 36 % de las parejas de los agricultores ha tenido al menos un aborto. El total de abortos fue de 69, y la tasa es del 13.55%. En cuanto a las parejas de los controles, 6 de ellas tuvieron a un aborto, lo que corresponde al 6 %, y la tasa fue del 1.16 %

De las parejas de los agricultores, 5 tuvieron un parto pretérmino, 27 tuvieron 2, y 9 han tenido 3. El porcentaje de las esposas con algún parto pretérmino es del 41 %. El número total de partos pretérmino de las esposas de los agricultores es de 86, y la tasa es del 16.89 %. Del grupo de parejas de los controles, 6 tuvieron 1 parto pretérmino, 4 tuvieron 2 y una tuvo 3.

El número total de partos pretérmino de las parejas del grupo comparativo fue de 17 y la tasa es del 3.3 %<sup>46</sup>. Se reportó un riesgo relativo (RR) de 11.5 veces más abortos espontáneos, y un RR de 5.05 veces más partos pretérmino en las parejas de agricultores de Muna expuestos a plaguicidas, comparado con las parejas del grupo sin exposición ocupacional a plaguicidas

La calidad del semen y ADN espermático también se estudiaron entre el 2005 a 2006 en un grupo de 54 agricultores de la comunidad de Muna, Yucatán, y tuvo como objetivo evaluar el papel del genotipo y el fenotipo de la paraoxonasa 1(PON1) en la susceptibilidad a los efectos tóxicos de los organofosforados sobre los parámetros de la calidad del semen y el daño al ADN espermático.

Entre los resultados se encontró que todos los agricultores tuvieron mala calidad del semen. Los parámetros que se observaron afectados fueron la morfología, el volumen del eyaculado, la motilidad, y la viabilidad y la concentración espermáticas. El 88 % de los agricultores tuvo daño en el ADN (> 10 % de espermatozoides NT-positivos). Las anomalías de la cabeza de los espermatozoides fueron las alteraciones morfológicas más frecuentemente observadas; estos parámetros se vieron alterados significativamente en la época de lluvia.

Las actividades humanas como la agricultura, la ganadería los incendios forestales, la quema de basura, entre otros terminan siendo nocivas mientras no exista medida, particularmente en los 2 primeros, en la venta, uso y manejo de agroquímicos, ya que conllevan a su irremediable arrastre al manto freático en época de lluvias.

Esto, aunado a que la naturaleza nociva de dichas sustancias está plenamente demostrada, su venta no controlada y la falta de información de la que adolecen las familias agricultoras, son en su conjunto elementos que convocan a la reflexión y a la acción con conciencia de que nuestra gente aspira, toma, come, huele, inhala y absorbe por la piel y da de amamantar a sus hijos, agroquímicos, sustancias que pueden quedar en el medio ambiente por casi 3 o 4 décadas, de manera que son varias generaciones que se dañan de manera irremediable.

### **1.8.10 Enfermedades relacionadas con la contaminación del agua**

Hoogesteijn, et al. (2015), mencionan que, en un inventario de más de 2,000 cenotes en Yucatán, determinaron que sólo un porcentaje mínimo se encuentra aprovechado para fines de explotación turística debido a diversas razones. En algunos estados, a través de la Secretaría de Medio Ambiente realizan acciones de saneamiento integral de cenotes. Dichos autores mencionan que existe en la literatura suficiente evidencia epidemiológica que sugiere que el contacto con agua para uso recreacional contaminada es un factor de riesgo para el desarrollo de infecciones oculares, de oído, nariz y garganta, irritaciones cutáneas, enfermedades respiratorias y enfermedades gastrointestinales.

La relación entre la frecuencia de enfermedades relacionadas con el nado y las concentraciones de coliformes totales y de *Escherichia coli* en cuerpos de agua dulce de uso recreacional es estadísticamente significativa. El grupo de mayor riesgo en estas situaciones son los niños, debido a que suelen permanecer por mayor tiempo en las aguas y son propensos a tragar, intencional o accidentalmente agua. Otro grupo vulnerable son los turistas, quienes carecen

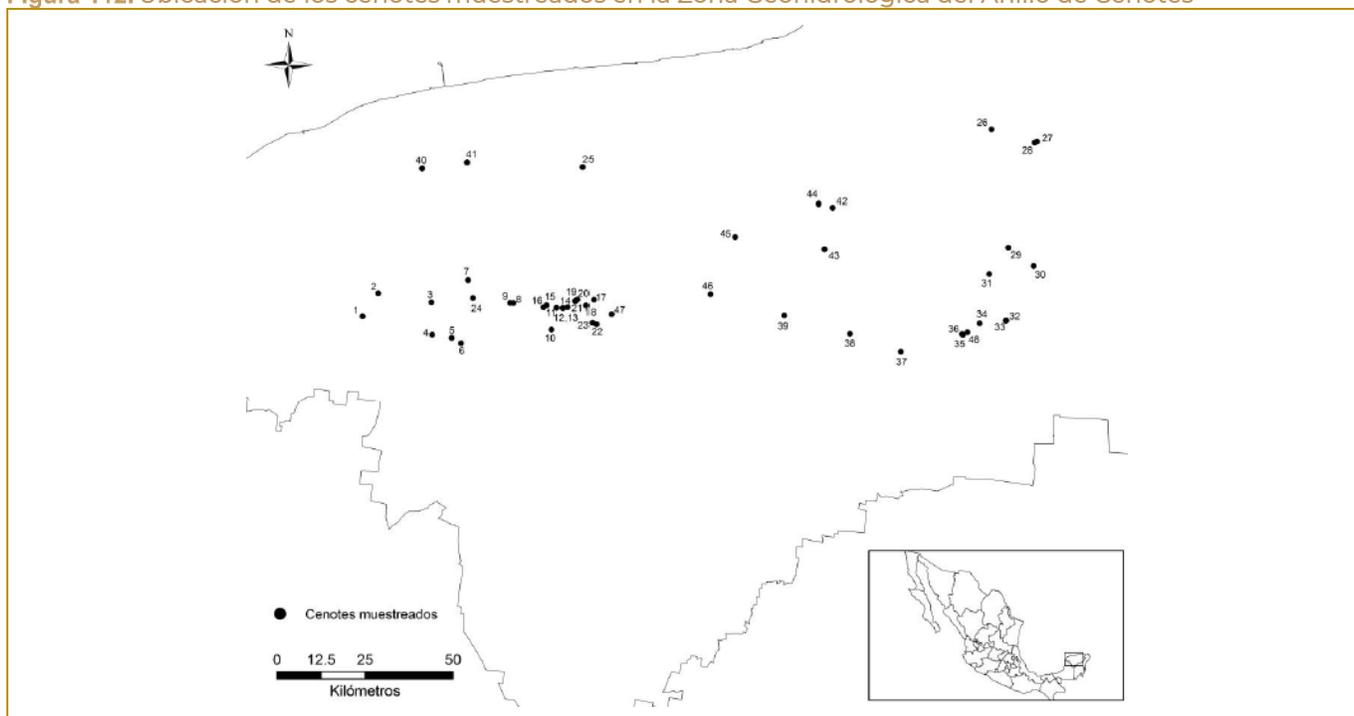
de inmunidad ante los patógenos endémicos de la localidad. Así, en los cenotes se ha podido identificar la presencia de desechos fecales, nitratos, plaguicidas y productos de consumo humano como fármacos y estupefacientes (Hoogesteijn Reul et al. 2015). Adicionalmente, apoyando los hallazgos de los autores anteriormente mencionados, la Secretaría de Salud afirma que "el estado de Yucatán presenta la incidencia más alta de enfermedades gastrointestinales a escala nacional; las enfermedades parasitarias son el principal problema de salud pública de origen hídrico, a causa de altos niveles de contaminación bacteriana..." (DOF, 2013).

Por un período de 5 meses (julio a noviembre de 2013), los autores colectaron muestras de 48 cenotes distribuidos principalmente en la UP YucN, zona del Anillo de Cenotes y también al YucO (Figura 112). Los 48 cenotes muestreados presentaron contaminación fecal, ya que los medios de cultivo fueron positivos a coliformes totales y fecales (Tabla 76).

La presencia de coliformes totales y fecales indica que las aguas de todos los cenotes muestreados están contaminadas con materia fecal. Si las políticas gubernamentales contemplan el uso de cenotes como centros turístico-recreacionales, estos programas deberían venir acompañados de una política de saneamiento, los cenotes no son piscinas y no deben ser usados como tal, sin sistemas de saneamiento adaptados a la ecología del carst.

Rosiles-González et al. (2019), muestran los resultados de pruebas en cenotes en la zona de la UP QRoO, sobre la contaminación derivada de la presencia de actividades antropogénicas, incluyendo pesticidas, esteroides y microorganismos asociados a materia fecal. Se han reconocido a dos agentes virales muy comunes asociados a enfermedades de origen hídrico en los cenotes cuyo uso es de tipo turístico recreativo, sobresaliendo los Norovirus y Adenovirus. Los resultados de sus investigaciones demostraron la dispersión que existe de este tipo de contaminación en cenotes, ya que ambos virus son patógenos para humanos y han sido poco estudiados en México y particularmente en la PY. En México la diversidad genética de Norovirus presente en la población ha sido poco estudiada, pero se ha encontrado que predomina el NoV GII.4 en las heces de niños con enfermedades diarreicas agudas. Sin embargo, la variedad genética encontrada en la PY, es del tipo NoV GII.P17, un genotipo emergente que se originó en Asia fue el más abundante. Este es el primer reporte de esta variedad genética en México. Aquí se incluye también el genotipo de Adenovirus HAdV 41 que también se ha reportado para los cenotes locales, como en Cancún y Puerto Morelos, como se observa en la Figura 113.

**Figura 112.** Ubicación de los cenotes muestreados en la Zona Geohidrológica del Anillo de Cenotes



Fuente: Hoogesteijn et al. (2015).

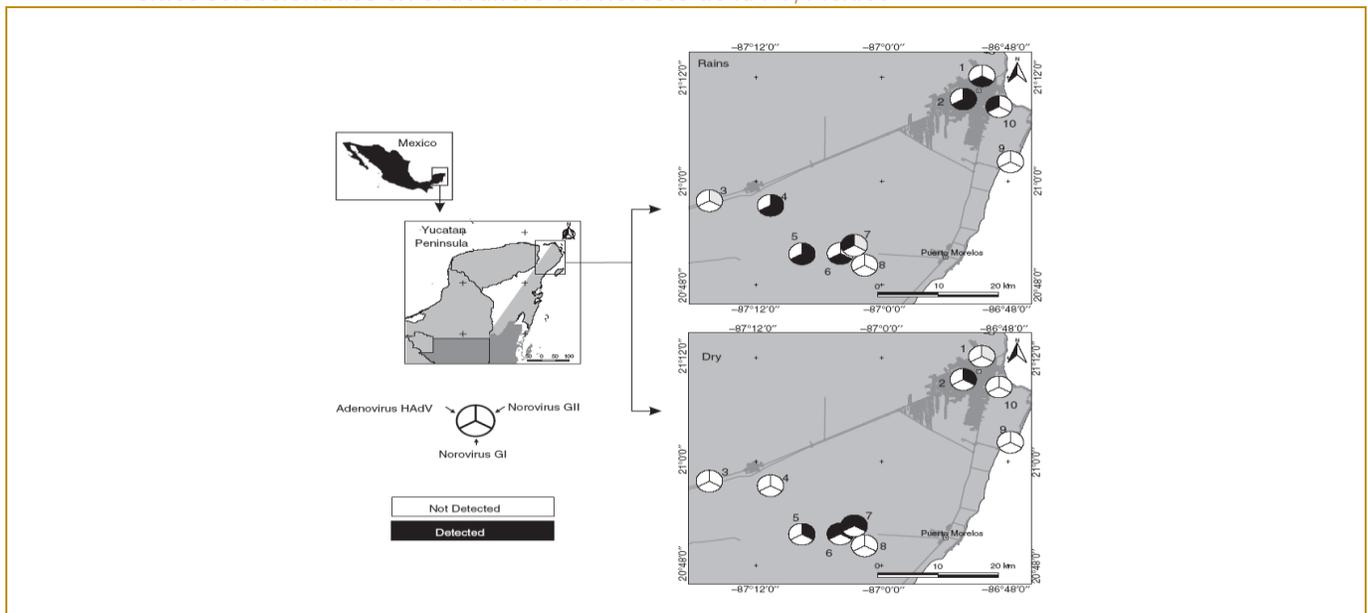
**Tabla 76.** Lista de los cenotes incluidos en el monitoreo de contaminación fecal

| Cenote | Municipio | Uso          | Latitud  | Longitud  | Coliformes totales | E. Coli |
|--------|-----------|--------------|----------|-----------|--------------------|---------|
| 1      | Kopomá    | Recreacional | 20.68955 | -89.87610 | +                  | +       |
| 2      | Chocholá  | Turístico    | 20.74994 | -89.83427 | +                  | +       |
| 3      | Abalá     | Turístico    | 20.72868 | -89.68951 | +                  | +       |
| 4      | Abalá     | Recreacional | 20.64467 | -89.68551 | +                  | +       |
| 5      | Abalá     | Turístico    | 20.63736 | 89.63279  | +                  | +       |
| 6      | Abalá     | Turístico    | 20.62384 | 89.60665  | +                  | +       |
| 7      | Mérida    | Reserva      | 20.87726 | -89.59047 | +                  | +       |
| 8      | Tecoh     | Recreacional | 20.73033 | -89.46583 | +                  | +       |
| 9      | Tecoh     | Turístico    | 20.73048 | -89.74744 | +                  | +       |
| 10     | Tecoh     | Turístico    | 20.66281 | -89.36104 | +                  | +       |
| 11     | Cuzamá    | Turístico    | 20.71972 | -89.34750 | +                  | +       |
| 12     | Cuzamá    | Turístico    | 20.71925 | -89.33086 | +                  | +       |
| 13     | Cuzamá    | Turístico    | 20.71935 | -89.33141 | +                  | +       |
| 14     | Cuzamá    | Turístico    | 20.72157 | -89.31817 | +                  | +       |
| 15     | Cuzamá    | Turístico    | 20.72583 | -89.37500 | +                  | +       |
| 16     | Cuzamá    | Turístico    | 20.72040 | -89.38333 | +                  | +       |
| 17     | Homún     | Turístico    | 20.72699 | -89.26813 | +                  | +       |
| 18     | Homún     | Turístico    | 20.74206 | -89.24958 | +                  | +       |
| 19     | Homún     | Turístico    | 20.73948 | -89.29689 | +                  | +       |
| 20     | Homún     | Turístico    | 20.74159 | -89.29129 | +                  | +       |
| 21     | Homún     | Turístico    | 20.73740 | -89.29696 | +                  | +       |
| 22     | Homún     | Turístico    | 20.67820 | -89.24167 | +                  | +       |
| 23     | Homún     | Turístico    | 20.68222 | -89.25250 | +                  | +       |
| 24     | Tecoh     | Turístico    | 20.74193 | -89.57592 | +                  | +       |
| 25     | Motul     | Turístico    | 21.08378 | -89.28271 | +                  | +       |
| 26     | Tizamín   | Recreacional | 21.19335 | -88.16944 | +                  | +       |
| 27     | Tizamín   | Sin acceso   | 21.16216 | -88.04427 | +                  | +       |
| 28     | Tizamín   | Recreacional | 21.15974 | -88.05051 | +                  | +       |
| 29     | Temozón   | Turístico    | 20.88820 | -88.12050 | +                  | +       |
| 30     | Temozón   | Turístico    | 20.84130 | -88.05109 | +                  | +       |
| 31     | Temozón   | Turístico    | 20.81947 | -88.17199 | +                  | +       |

| Cenote | Municipio  | Uso          | Latitud  | Longitud  | Coliformes totales | E. Coli |
|--------|------------|--------------|----------|-----------|--------------------|---------|
| 32     | Valladolid | Turistico    | 20.69870 | -88.12432 | +                  | +       |
| 33     | Valladolid | Turistico    | 20.69819 | -88.12602 | +                  | +       |
| 34     | Valladolid | Turistico    | 20.69154 | -88.19776 | +                  | +       |
| 35     | Valladolid | Turistico    | 20.66087 | -88.24277 | +                  | +       |
| 36     | Valladolid | Turistico    | 20.66272 | -88.24479 | +                  | +       |
| 37     | Kaua       | Recreacional | 20.61583 | -88.41194 | +                  | +       |
| 38     | Tinum      | Turistico    | 20.66092 | -88.55100 | +                  | +       |
| 39     | Yaxcabá    | Turistico    | 20.70698 | -88.73047 | +                  | +       |
| 40     | Merida     | Turistico    | 21.12500 | -88.62500 | +                  | +       |
| 41     | Merida     | Turistico    | 21.09098 | -88.59798 | +                  | +       |
| 42     | Cepotillo  | Recreacional | 20.98823 | -88.60099 | +                  | +       |
| 43     | Quintana   | Recreacional | 20.88023 | -88.62214 | +                  | +       |
| 44     | Cenotillo  | Turistico    | 20.99710 | -88.63953 | +                  | +       |
| 45     | Izamal     | Recreacional | 20.90955 | -88.86696 | +                  | +       |
| 46     | Kantunil   | Turistico    | 20.76038 | -88.93228 | +                  | +       |
| 47     | Huhí       | Recreacional | 20.70556 | -88.20082 | +                  | +       |
| 48     | Valladolid | Turistico    | 20.66770 | -88.23018 | +                  | +       |

Fuente: Hoogesteijn et al. (2015).

**Figura 113.** Distribución del Norovirus GI, GII y el Adenovirus humano durante la temporada seca y lluviosa en sitios seleccionados en el acuífero del noreste de la PY, México



Fuente: Rosiles-González et al. (2019).

Ávila-Torres (2017) menciona que a pesar de que las bacterias coliformes se utilizan comúnmente para determinar la calidad del agua, estas no siempre reflejan el riesgo de la presencia de otros patógenos en el agua como los virus. Los colifagos (virus que infectan bacterias coliformes) se consideran por diversos autores como mejores indicadores de contaminación fecal, ya que son abundantes en el agua residual, comparten diferentes propiedades con los virus entéricos y son resistentes a factores ambientales y persistentes en el ambiente acuático.

El autor estudió dos grupos principales de colifagos que infectan a la bacteria *E. coli*, los somáticos, y los F+ específicos, los cuales han sido utilizados como indicadores fecales y virales por años.

En su trabajo el autor encontró que las concentraciones de colifagos más altas para los dos grupos mencionados fueron en temporada de lluvias, lo cual se asocia a eventos de escorrentía, ya que el agua puede transportar sedimentos, bacterias e incluso virus. El valor más alto registro un volumen de 394 mm de pp en el mes de junio, siendo superior al valor del año pasado en la misma temporada, con 170 mm en junio.

Algunos tipos de colifagos F+ específicos (en especial los del Tipo II) han sido correlacionados con virus entéricos como los Adenovirus, y han sido propuestos como indicadores de contaminación por drenaje. En este estudio se encontraron altas concentraciones de colifagos F+ específicos en un cenote de agua dulce de tipo urbano de la Ciudad de Cancún (sitio 2), tanto en lluvias como en secas, lo que sugiere que por estar rodeado de viviendas esta recibiendo contaminación constante, debido a las fallas del drenaje o por infiltración en los sistemas sépticos, como sucede en tantos otros sitios de la PY. Sin embargo, no existe una Norma Oficial Mexicana que obligue a detectar la presencia de patógenos virales en los cuerpos de agua. En la Tabla 77 siguiente se observa que tanto en el conteo directo como en el ultrafiltrado, en la temporada de lluvias la presencia simultánea de colifagos somáticos y F+ específicos fue del 50 % del total de los sitios, mientras que en temporada de secas fue del 40 % mediante el conteo directo y del 30 % en el ultrafiltrado.

**Tabla 77.** Presencia o ausencia de colifagos.

| Tipo de sitio y agua |                                      | Temporada   |  |
|----------------------|--------------------------------------|---|--|
|                      |                                      | Lluvias   | Secas  |
|                      |                                      | Conteo directo colifagos somáticos/ colifagos F+ específicos (Conteo después de ultrafiltrado Colifagos somáticos / colifagos F+ específicos) | Conteo directo colifagos somáticos / colifagos F+ específicos (Conteo después de ultrafiltrado Colifagos somáticos / colifagos F+ específicos) |
| 1                    | Dolina de agua dulce tipo urbano     | +/- (+/-)   | +/+ (+/-)  |
| 2                    | Dolina de agua dulce tipo urbano     | +/+ (+/+)   | +/+ (+/+)  |
| 3                    | Dolina de agua dulce tipo urbano     | +/+ (+/+)   | -/- (+/-)  |
| 4                    | Dolina de agua dulce tipo recreativo | +/+ (+/+)   | -/- (+/-)  |
| 5                    | Dolina de agua dulce tipo recreativo | +/+ (+/+)   | -/- (-/-)  |
| 6                    | Dolina de agua dulce tipo recreativo | +/+ (+/-)   | +/- (+/-)  |
| 7                    | Dolina de agua dulce tipo recreativo | +/- (+/+)   | +/- (+/-)  |
| 8                    | Dolina de agua dulce tipo recreativo | -/- (-/+)   | +/- (-/-)  |
| 9                    | Agua salobre de tipo urbano          | +/- (+/+)   | +/+ (+/+)  |
| 10                   | Agua salobre de tipo urbano          | +/- (+/-)   | +/+ (+/+)  |

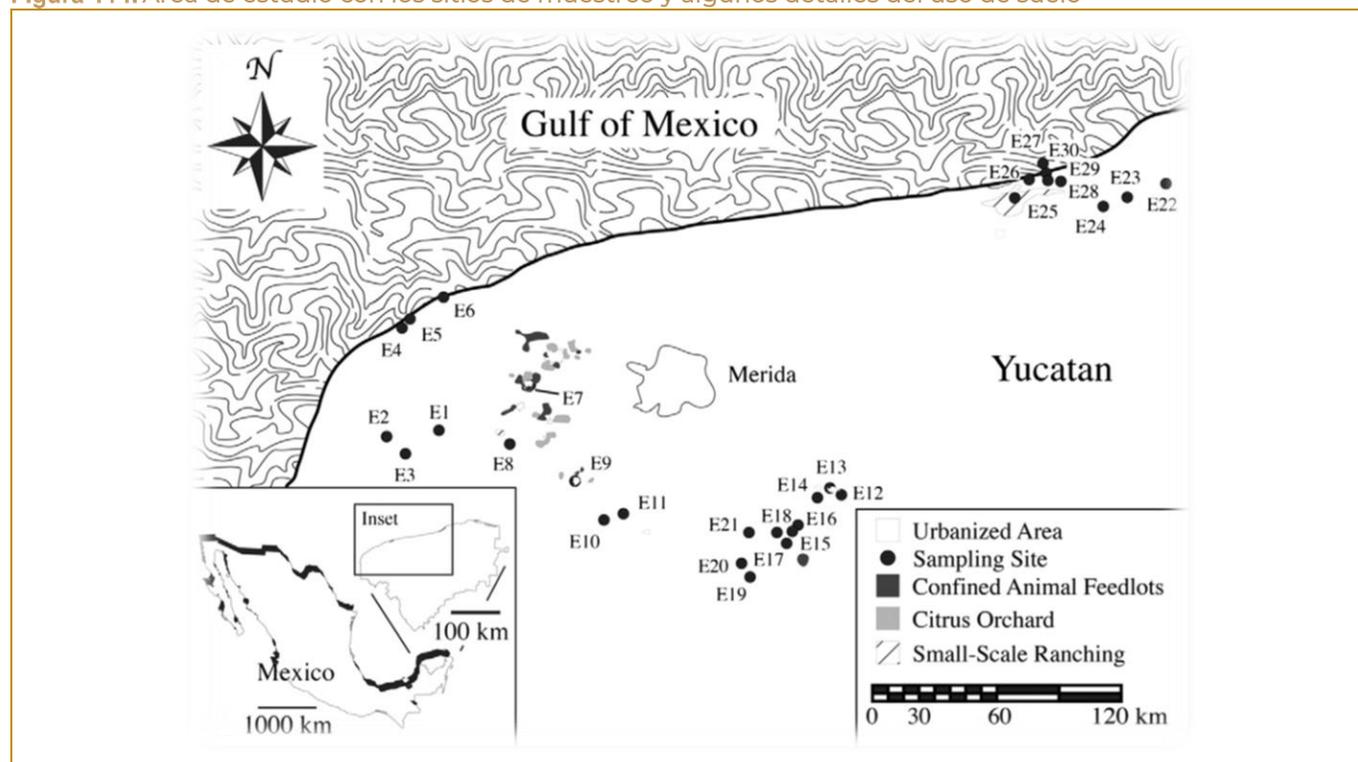
**Nota:** Colifagos somáticos y colifagos F+ específicos durante la temporada de lluvias y la temporada de secas en cada uno de los diez sitios de muestreo en el conteo directo y el conteo después de la ultrafiltración.

**Fuente:** Ávila-Torres (2017).

Arcega-Cabrera et al. (2014), menciona que la contaminación de origen antropocéntrica se ha incrementado en las últimas décadas. Las aguas residuales domésticas e industriales se descargan directo al manto freático mediante sumideros o mediante fosas sépticas, lo que resulta en una contaminación multipuntual hacia el acuífero yucateco. Varios estudios demuestran que los contaminantes migran de la superficie del suelo de forma vertical al manto freático y de ahí hacia las aguas costeras. En el caso del Anillo de Cenotes, una gran cantidad de actividades económicas y urbanas generan un volumen substancial de material fecal hacia el ambiente. Debido a que estas

aguas residuales no son tratadas, grandes cantidades de compuestos orgánicos antropogénicos (como heces fecales) están dispersándose por el agua subterránea hacia los cenotes y contaminando el acuífero. Ante estas condiciones, es de esperar que la determinación de esteroides fecales pueda ser una herramienta efectiva para detectar la contaminación fecal en los sistemas naturales. Los trabajos de Morgane Derrien et al. (2015), muestra que la contaminación antropogénica puede ser caracterizada por la presencia de  $5\beta$ -estanol C27 esteroides (e.g., coprostanol y epicoprostanol). Estos compuestos son subproductos del colesterol vía la reducción anaeróbica intestinal del sistema digestivo de los animales superiores y se asocian comúnmente con la contaminación doméstica urbana y animal. Tanto Arcega-Cabrera et al. (2014), como Morgane Derrien et al. (2015) trabajaron en la zona del anillo de cenotes obteniendo muestras de 30 cenotes la primera y de 23 cenotes la segunda, distribuidos a lo largo del anillo de cenotes como se muestra en la Figura 114 y Tabla 78.

**Figura 114.** Área de estudio con los sitios de muestreo y algunos detalles del uso de suelo



Fuente: Arcega-Cabrera et al. (2014).

Los sitios de muestreo se seleccionaron de acuerdo con el uso de suelo (formas de extracción local de agua, sitios de disposición de residuos, áreas turísticas, urbanas actividades ganaderas, etc.), incluyendo cenotes de interés turístico. Los cenotes seleccionados presentaban características morfométricas distintivas: manantiales submarinos, cenotes (abiertos, semiabierto, en cuevas y cavernas) y pozos de agua, durante dos temporadas: la temporada de lluvias (septiembre 2011) y la estación seca (mayo 2012). Los autores afirman que hay un cambio significativo en el flujo de las aguas subterráneas de 7 a 10 mm/día durante la temporada seca, a 3 cm/s durante la temporada de lluvias, debido a la recarga.

Los asentamientos urbanos y las actividades antropogénicas que se llevan a cabo alrededor de los sitios de muestreo seleccionados a lo largo del anillo de cenotes, basado en los censos agropecuarios (INEGI 2013) se muestran en la Tabla 79. Los autores encontraron diferencias espaciales significativas, las cuales están presentes para esteroides y esteroides fecales, pero las diferencias temporales sólo están presentes para los esteroides fecales. Los esteroides fecales en sedimentos son más altos durante la temporada lluviosa. Este patrón sugiere una entrada al acuífero y un proceso de transporte promovido por el cambio de flujo de agua entre temporadas.

**Tabla 78.** Descripción de las áreas de muestreo a lo largo del Anillo de Cenotes, Yucatán, México.

| Sitio   | Tipo                      | Uso de suelo              |
|---|---------------------------|---------------------------|
| <b>Zona Nororiental (Dzilam de Bravo) (N 21°20'21.3", -21°24'24.5" / W 88°34'31.3", -88°53'55.7")</b> |                           |                           |
| 1   | Xbuya manantial suburbano | Área urbana               |
| 2   | Manantial suburbano       | Área urbana               |
| 3   | Elepeten cenote           | Área urbana y turística   |
| 4   | Manantial suburbano       | Área urbana               |
| 5   | Manantial suburbano       | Área urbana               |
| 6   | Cenote                    | Área urbana               |
| 7   | Pozo                      | Área ganadera             |
| 8   | Pozo                      | Área ganadera             |
| <b>Zona Central (Cuzama) (N 20°33'07.3", -20°44'29.5" / W 89°16'05.3", -89°28'52.4")</b>              |                           |                           |
| 9   | Techalquillo cenote       | Área forestal y turística |
| 10  | Nahyah cenote             | Área agrícola y turística |
| 11  | Noh-Mozon cenote          | Área forestal y turística |
| 12  | Kalcuch cenote            | Área forestal y turística |
| 13  | Tanimax cenote            | Área forestal y turística |
| 14  | Santa Maria cueva         | Área turística            |
| 15  | Yaxpakaltun cenote        | Área agrícola y turística |
| <b>Zona Norooccidental (Celestun) (N 20°40'25.1", -21°08'54.2" / W 89°43'55.4", -90°14'08.0")</b>     |                           |                           |
| 16  | Yaxcopoil cenote          | Área forestal y turística |
| 17  | X'batun cenote            | Área forestal y turística |
| 18  | San Ignacio cenote        | Área turística            |
| 19  | Cenote                    | Área turística            |
| 20  | Doña Lucy cenote          | Área urbana               |
| 21  | Ba'as manantial submarino | /                         |
| 22  | Pozo                      | Área de cultivo           |
| 23  | Pozo                      | Área de cultivo           |

Fuente: Arcega-Cabrera et al. (2014).

**Tabla 79.** Actividades antropogénicas en las áreas cercanas al anillo de cenotes y estimaciones de generación de residuos.

| Estación de muestreo  | Comunidad cercana         | Población | Sembrado (ha) | Ganado | Cerdos | Aves de corral | Producción de heces húmedas (mg/año) |
|-----------------------|---------------------------|-----------|---------------|--------|--------|----------------|--------------------------------------|
| E1,E2,E3              | Celestun                  | 6 831     | 229           | 725    | 171    | 3 297          | 4 097                                |
| E4,E5,E6              | Sisal                     | 1 837     |               |        |        |                | 117                                  |
| E7                    | Tetiz y Hunucma           | 4 725     | 1 944         | 2 578  | 15 773 | 18 342         | 24 584                               |
| E8                    | Kinchil, Samahil y Tedzil | 12 191    | 3 245         | 5 642  | 1 426  | 16 183         | 29 063                               |
| E9,E10                | San Antonio Mulix         | 39        | 22            |        |        |                | 2                                    |
| E11                   | Cacao and Abala           | 6 617     | 831           | 1 130  | 166    | 3 467          | 6 006                                |
| E12,E13               | Homun                     | 7 257     | 925           | 1 228  | 3 777  | 7 272          | 9 259                                |
| E14                   | Cuzama                    | 4 996     | 269           | 582    | 1 457  | 9 517          | 4 420                                |
| E15,E16,E17           | Sabacche                  | 160       |               | 80     |        |                | 389                                  |
| E18                   | Poccheina                 | 4 825     |               |        |        |                | 308                                  |
| E19,E20,E21           | Xcanchacan                | 1 241     |               |        |        |                | 79                                   |
| E22,E23,E24           | Dzonot-lu                 | 2 280     |               |        |        |                | 145                                  |
| E25                   | Dzilam González           | 5 905     | 2 0672        | 10 254 | 899    | 5 143          | 49 838                               |
| E26,E27,E28, E29, E30 | Dzilam de Bravo           | 2 463     | 6 731         | 3 913  | 241    | 944            | 18 928                               |

Fuente: INEGI (2013).

La variabilidad espacial y temporal de la conductividad de oeste a este (Figura 115, a) identifica los sitios donde el agua dulce se mezcla con el agua de mar, así como un incremento de conductividad durante la temporada seca. El cambio en la conductividad es relevante para entender el proceso de sedimentación de la materia orgánica particulada, ya que podría afectar la concentración en sedimentos de esteroides y esteroides fecales por:

- Incremento de la concentración a través de la co-sedimentación; o
- Liberando esteroides de partículas orgánicas/inorgánicas por competencia con iones importantes.

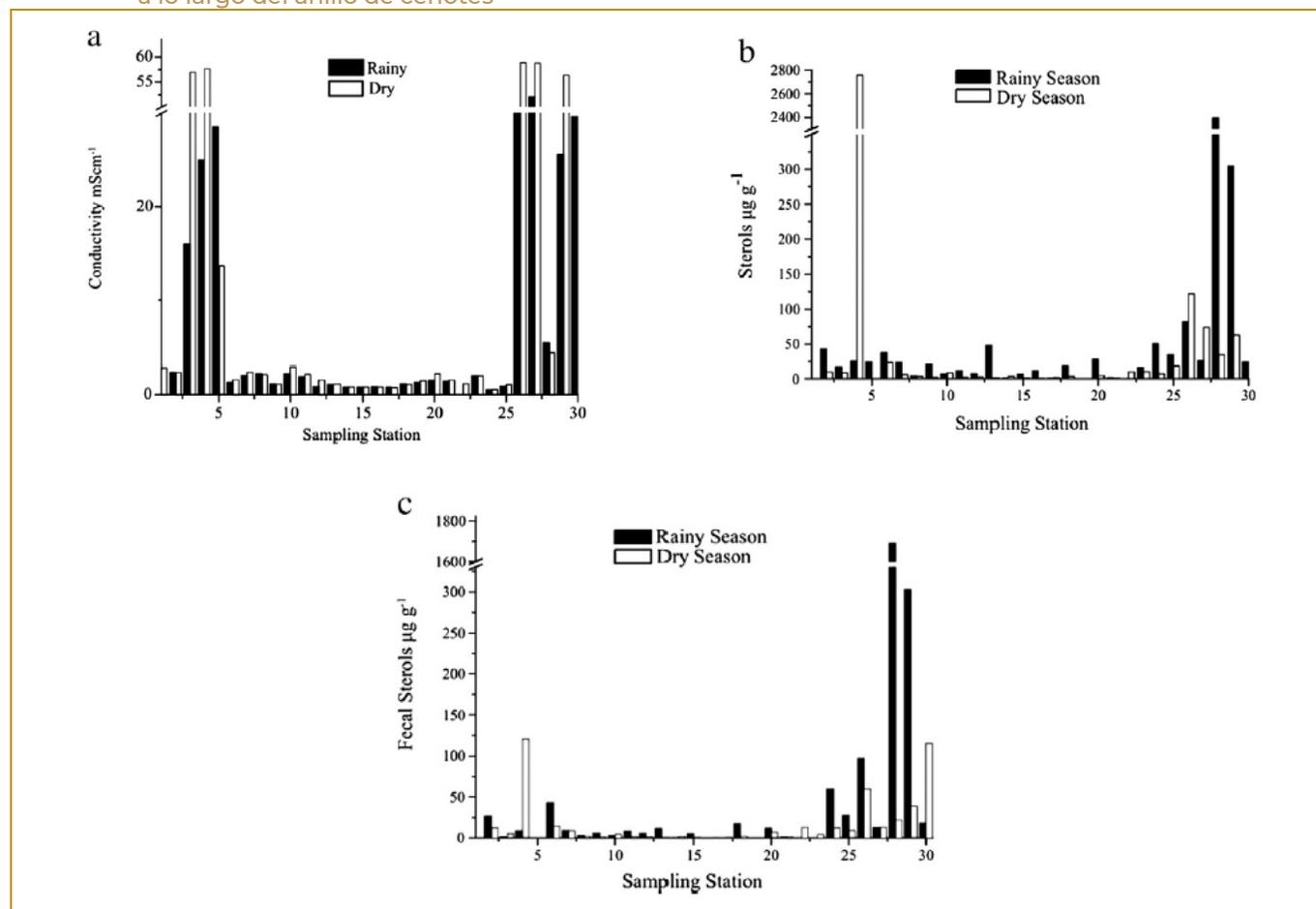
Las concentraciones totales de esteroides (Figura 115, b) y esteroides fecales (Figura 115) fueron más altas en el área de Dzilam durante la temporada lluviosa, indicando una descarga sin fenómenos de dilución asociados con los incrementos de la cabeza hidráulica regional y posterior sedimentación en el sitio de muestreo. Los esteroides fecales encontrados en el área de Dzilám están en la categoría de alta concentración, pero para el resto del anillo de cenotes están en la categoría de baja concentración, indicando un transporte significativo hacia el exterior en la parte noreste del anillo de cenotes.

Arcega-Cabrera et al. (2014), menciona que en un entorno cárstico donde las capas de piedra caliza subsuperficial y los espesores de suelo no son restrictivas, que pueden tener importantes cantidades de agua y en donde se presenta una red de fracturas interconectadas, grietas, estratos, fallas, canales, cavidades y cavernas que se encuentran a diferentes profundidades en el lecho de roca, los compuestos orgánicos, como los esteroides fecales, podrían conservarse en el matriz sedimentaria y sólo se libera a la columna de agua bajo los eventos de lluvia intensa, como se observa en las muestras de la temporada lluviosa de la Zona Dzilam.

Además, los óxidos de aluminio y hierro presentes en el matriz cárstica podría tener un efecto sobre la retención de compuestos orgánicos en el suelo debido a su gran superficie específica y capacidad de retención capilar, la mayoría de los micro contaminantes depositados en el material cárstico se conservan o se retienen dentro de los primeros 2 m por debajo de la superficie (zona vadosa). Para que los contaminantes lleguen al agua subterránea (zona freática),

necesitan un impacto directo y sustancial de la entrada de precipitación y transporte efectivo por conductos de flujo preferencial, no por flujo difuso.

**Figura 115.** Variaciones espaciales y temporales de a). Conductividad eléctrica, b). Esteroles y, c). Esteroles fecales a lo largo del anillo de cenotes



Fuente: Arcega-Cabrera et al. (2014).

A pesar de que numerosas actividades productivas y domésticas (habitationales) se desarrollan alrededor del Anillo de Cenotes, y aunado a que no hay tratamiento de aguas residuales o sistemas de tratamiento de aguas residuales, se encontraron concentraciones de bajas a medias de esteroides ( $0.5 - 122.21 \mu g/g$ ) y de esteroides fecales ( $0.3 - 115.35 \mu g/g$ ).

La mayoría de las concentraciones a lo largo del Anillo de Cenotes son comparables con otros sitios a nivel mundial con presencia de materia fecal. Sin embargo, una excepción notable es la presencia temporal de esteroides fecales en el lado noreste del anillo de cenotes. En zona de Dzilam de Bravo, las concentraciones de esteroides y esteroides fecales durante la temporada de lluvias fueron altas ( $2396.42 \mu g/g$  y  $1690.18 \mu g/g$  respectivamente).

El análisis exploratorio multivariado demostró que los esteroides fecales son transportados y depositados con el material cástico lixiviado, y su variación está fuertemente relacionado con el incremento de flujo durante la temporada lluviosa. Las bajas concentraciones y la falta de relación entre los esteroides fecales y las fuentes probables podrían ser el resultado de:

- Adsorción o migración limitada a través de intrincados conductos, grietas o dentro del sistema fracturado cástico y
- Co-transporte dependiente de flujo estacional con lixiviados cásticos.

En términos más sencillos, parece que los esteroides fecales se acumulan en la matriz cárstica por encima de la tabla de agua (zona vadosa) durante los nortes y la temporada de secas y luego fluyen rápidamente a través del Anillo de Cenotes durante los episodios de fuertes lluvias durante la temporada lluviosa. Este proceso hace que sea muy difícil vincular los niveles de esteroides fecales medidos con múltiples fuentes puntuales situados cerca del Anillo de Cenotes. En consecuencia, se requiere más investigación al respecto (Arcega-Cabrera et al. 2014).

Por su parte, Morgane Derrien et al. (2015), mediante análisis de componentes principales identifica tres grupos muy definidos en el Anillo de Cenotes y los reconoce temporalmente como temporada de lluvias (a), y de secas (b). El grupo A (representadas por los sitios de muestreo 2a, 4a-8a, 10a, 15a, 20b y 23b) se define por coprostanol y epicoprostanol, que caracterizan a las aguas residuales humanas o animales, indicando que la principal fuente de materia orgánica para este grupo es antropogénica. Todas estas muestras son de tipo urbano (2a, 4a-6a), turístico (10a, 15a, 20b), áreas de ganadería (7b y 8A), o cerca de áreas de cultivo (23b). Las muestras 2a y 4a-6a provienen de manantiales submarinos, que ocurren a lo largo de toda la costa y en alta densidad donde el anillo intersecta con la costa (por ejemplo, Dzilam de Bravo y Celestún. Estos manantiales descargan agua dulce del sistema hidrológico regional del anillo de cenotes hacia el Golfo de México y se espera que presenten concentraciones importantes de estos materiales (coprostanol y epicoprostanol).

Para el caso de los sitios 10a, 15a y 20b, muestran importantes concentraciones de coprostanol y epicoprostanol durante ambas temporadas, lluvias y secas. Estos cenotes son visitados regularmente por los turistas y/o tienen una extensa actividad agrícola a su alrededor. Durante la temporada de lluvias (los sitios de 10a y 15a), estos compuestos antropogénicos resultan de la entrada de escorrentías de residuos humanos y animales.

Por el contrario, en la estación seca (el sitio 20b), la ocurrencia de estos compuestos antropogénicos podrían ser el resultado de una descarga directa recurrente o infiltración de aguas residuales domésticas por sumideros o de fosas sépticas. Para las áreas ganaderas (7b y 8a), la escorrentía recurrente relacionada con estas actividades conduce a una presencia persistente de estos compuestos en los sedimentos de los cenotes, independientemente de la temporada.

La última muestra que presenta compuestos antropogénicos es el 23b, un pozo para la extracción de agua utilizado para proveer de agua potable a la localidad de Celestún. Parte del agua que llega a la zona noroccidental del Anillo de Cenotes proviene del sur, del acuífero de la Sierrita de Ticul, que incorpora agua de tierras muy lejanas.

Por lo tanto, es probable que los compuestos encontrados en el sitio 23b se originen de ella, pero en condiciones cambiantes de flujo, pero que en los cenotes con bajas velocidades de flujo coprecipitan y se acumulan los sólidos orgánicos e inorgánicos quedando atrapados en el sedimento.

Ante tal situación en el manejo de aguas residuales, es por demás preocupante que en muchos Municipios en Yucatán y particularmente en la Zona Geohidrológica del Anillo de Cenotes, la cloración del agua que se extrae del subsuelo para el consumo humano no se realiza adecuada o simplemente no se clora, poniendo en riesgo a la población de contraer enfermedades, particularmente gastrointestinales.

En la Tabla 80 se observa que muchos municipios a nivel regional tienen una deficiente cloración en el agua potable que surten a la población, colocándola en una situación de riesgo como se observa en dicha Tabla y en la figura 111 para el caso de Yucatán.

En la Figura 116 se muestra un monitoreo de 22 semanas a los sistemas municipales de agua potable en cuanto a presencia de cloro en el vital líquido, realizado por el Laboratorio Estatal de Salud en el año 2014, y se observa que en algunos municipios la dosificación es intermitente o simplemente no se dosifica (la ausencia de cloro en el agua potable se marca en rojo y por debajo de los niveles que marca la norma en color amarillo).

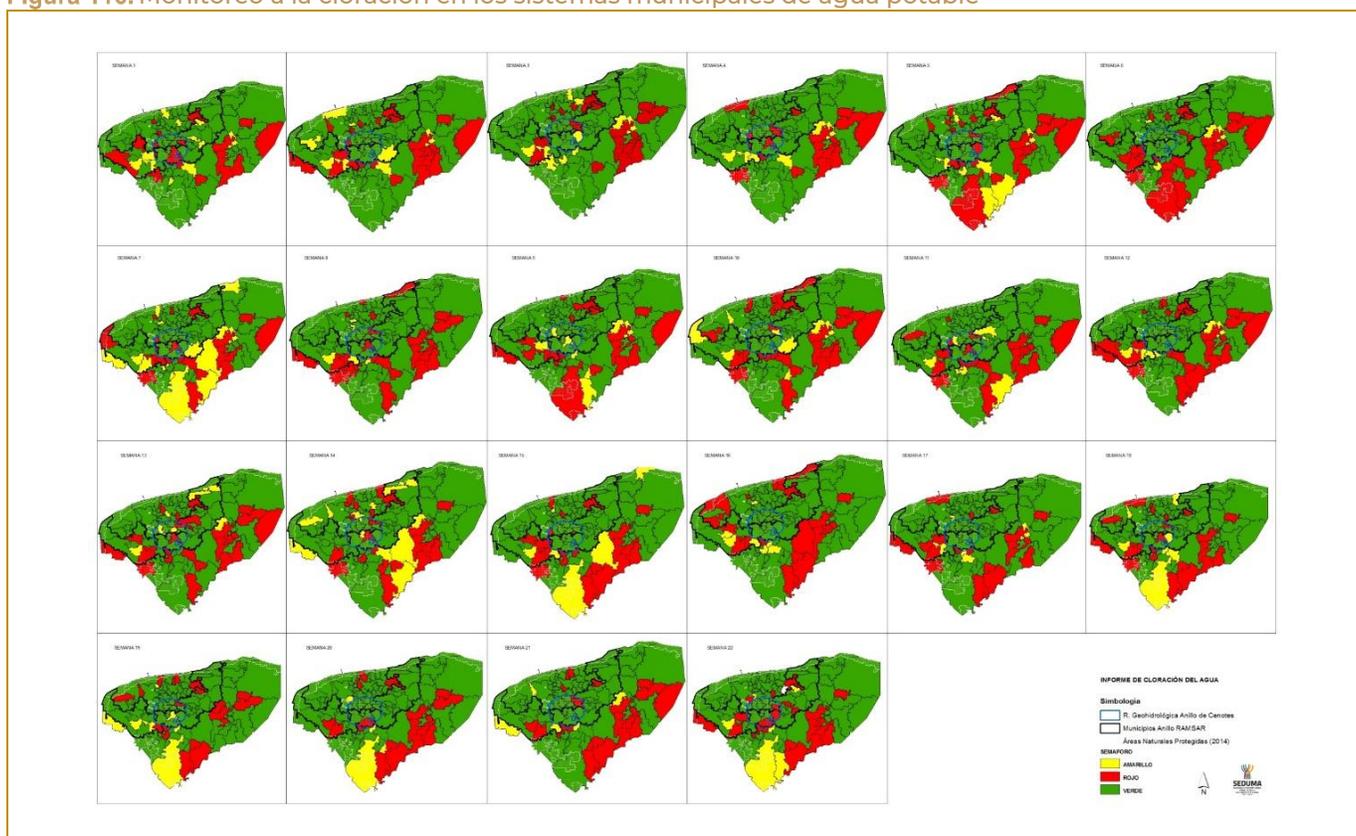
De acuerdo con Ávila, G. (2017), las enfermedades de origen hídrico se generan por microorganismos que ingresan al cuerpo humano a través de la boca, se manifiestan muy frecuentemente como una enfermedad infecciosa gastrointestinal (entérica) y ambientalmente se clasifican en:

- Enfermedades transmitidas por el agua: Las diarreas infecciosas encabezan las enfermedades transmitidas por el "agua sucia", que se ha contaminado con excretas de humanos y animales de sangre caliente.
- Enfermedades con base en el agua: Son transmitidas por microorganismo que se alojan en organismos acuáticos que pasan parte de su ciclo vital en el agua y otra parte como parásitos de animales. Estos organismos pueden prosperar tanto en aguas contaminadas como no contaminadas.

**Tabla 80.** Eficiencia de la cloración de agua.

| Municipio      | Eficiencia de cloración | Población en riesgo de contraer EDAs o EOH |
|----------------|-------------------------|--|
| Abalá          | 18.47                   | 6 356                                      |
| Baca           | 16.47                   | 5 701                                      |
| Bacalar        | 0                       | 35 905                                     |
| Chankom        | 0                       | 4 464                                      |
| Chikindzonot   | 0                       | 4 162                                      |
| Dzidzantún     | 18.04                   | 8 133                                      |
| Dzitas         | 17.54                   | 3 540                                      |
| Homún          | 16.36                   | 7 257                                      |
| Kahua          | 0                       | 2 761                                      |
| Puerto Morelos | 0                       | 9 188                                      |
| Quintana Roo   | 17.90                   | 942  |
| Tahdziú        | 6.11                    | 4 447                                      |
| Tekom          | 11.92                   | 3 100                                      |
| Temozón        | 9.14                    | 14 801                                     |
| Ticul          | 6.51                    | 37 685                                     |
| Tinum          | 3.09                    | 11 421                                     |
| Tixcaltucupul  | 0                       | 6 665                                      |

Fuente: COFEPRIS (2014), Laboratorio Estatal de Salud, Gobierno del estado de Yucatán.

**Figura 116.** Monitoreo a la cloración en los sistemas municipales de agua potable


Fuente: Laboratorio Estatal de Salud (2014).

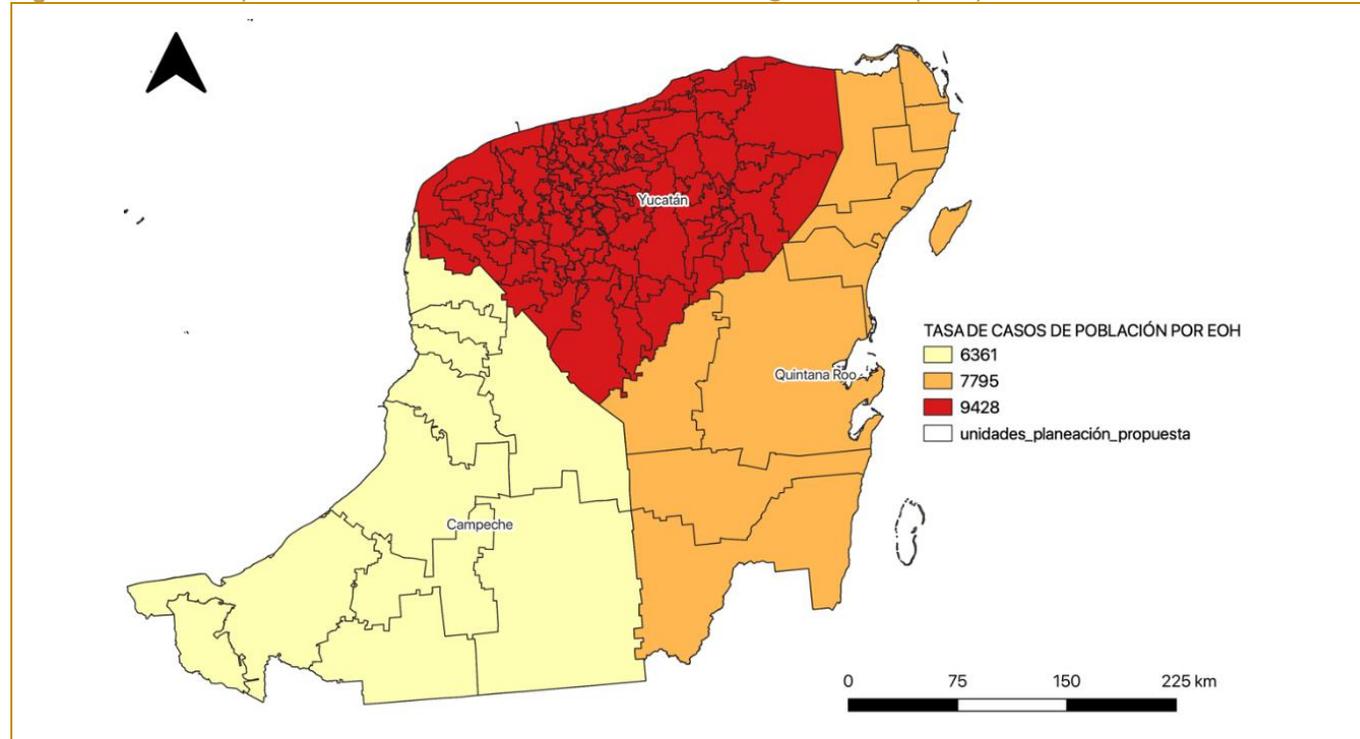
- Enfermedades relacionadas con el agua transmitidas por vectores: El mal almacenamiento del agua o las aguas estancadas favorecen el crecimiento de insectos, como moscos y zancudos, que se crían y viven cerca de aguas contaminadas y no contaminadas. Esos vectores infectan al ser humano con microorganismos que causan paludismo, fiebre amarilla y dengue.
- Enfermedades vinculadas con la escasez de agua: Cuando no se cuenta con agua suficiente en los hogares o llega por corto tiempo, se dificultan las prácticas higiénicas. Esta situación favorece la presencia de parásitos, piojos, sarna y otras enfermedades de la piel.

Tradicionalmente los microorganismos asociados a las diarreas son: Rotavirus, Shigella, Salmonella y Vibrio cholerae, son por vía fecal-oral (ano-mano-boca) producto de la ingestión de agua o alimentos contaminados. La diarrea es una enfermedad caracterizada por la evacuación frecuente de deposiciones anormalmente blandas o líquidas que contienen más agua de lo normal, implica pérdida de sales (electrolitos). La cólera es una enfermedad gastrointestinal aguda, que sufre diarrea grave y gran porcentaje de portador para la comunidad. Los síntomas van acompañados de diarrea, náuseas, vómitos y deshidratación. La Salmonella, es una bacteria que vive en los intestinos animales y humanos y se libera mediante las heces. Los humanos se infectan por medio del agua o alimentos contaminados.

Otras de las enfermedades que se puede transmitir por medio de las aguas contaminadas ya sea al nadar en ellas o beberlas, es la Shigella, una infección bacteriana en el revestimiento de los intestinos, siendo endémica de climas tropicales y templados. En 1994, debido al índice alarmante de defunciones causadas por enfermedades de origen hídrico, se determinó que la solución era separar al hombre de sus desechos, los medios para conseguirlo era construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario. Sin embargo, solo existe el sistema de agua potable en el caso de Yucatán, Campeche y buena parte de Quintana Roo.

En la Figura 117 presenta la tasa de población de casos de Enfermedades de Origen Hídrico (EOH) en la PY. Estas enfermedades son aquellas que pueden originarse por insectos (vectores) que se desarrollan en agua estancada, por consumir o por contacto directo con agua contaminada microbiológica o químicamente, por usos inadecuados del agua o, incluso, por su escasez. Los estudios están basados por una tasa de casos por cada 100 000 habitantes.

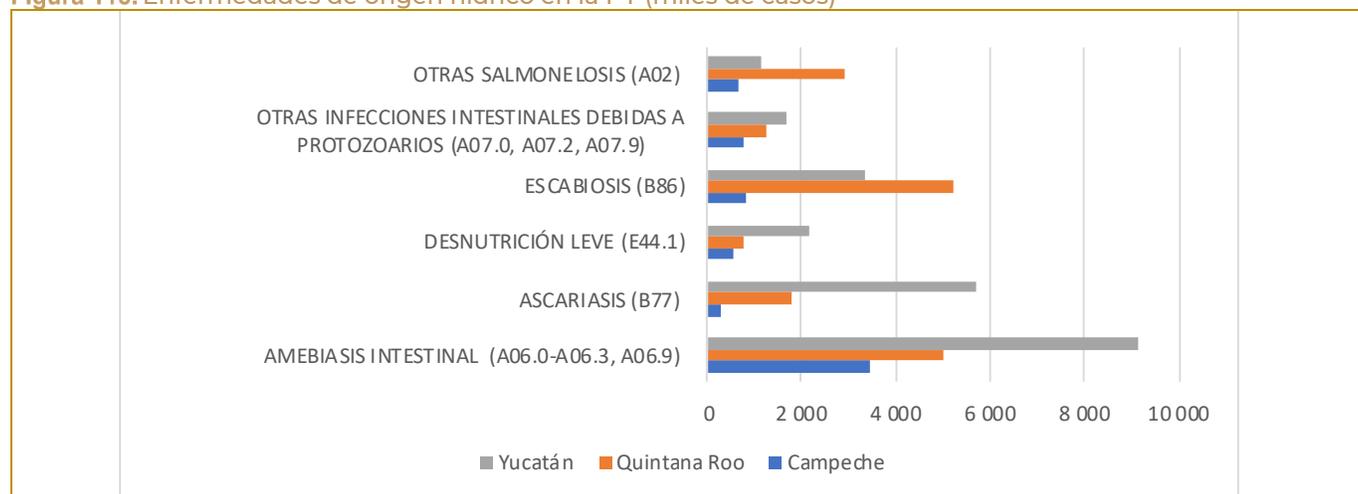
**Figura 117. Tasa de población de casos de enfermedades de origen hídrico (EOH) en la PY**



Fuente: Ávila (2017).

Las principales enfermedades (Figura 118) son amebiasis intestinal, ascariasis, escabiosis, infecciones intestinales por protozoarios y otros organismos. Yucatán presenta mayor tasa de casos por enfermedades de origen hídrico en comparación con Campeche y Quintana Roo.

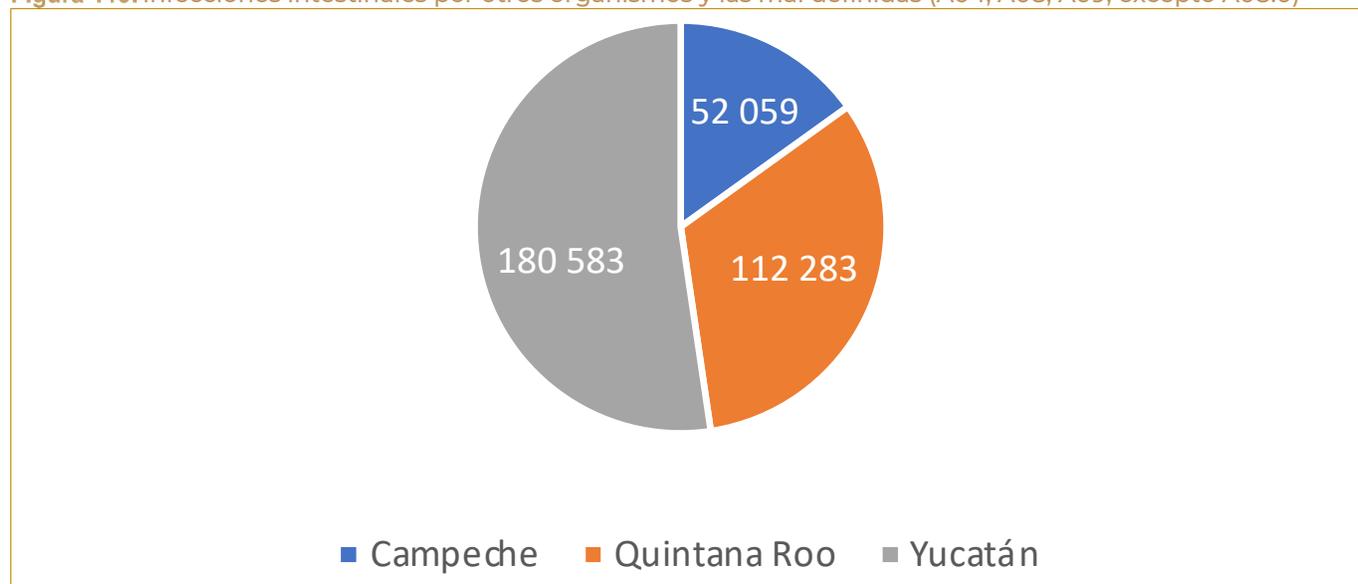
**Figura 118. Enfermedades de origen hídrico en la PY (miles de casos)**



Fuente: CONAPO. Indicadores demográficos 2010-2030. Incidencia de enfermedades de origen hídrico por entidad federativa (2016).

A continuación, se presenta una gráfica de estas enfermedades más frecuentes, las cuales tuvieron como resultados mayores a mil casos, haciendo una comparación con los tres estados de la Península. Otros contagios que también han sido causado por origen hídrico, que a su vez presenta más casos en la salud de la población, son las Infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas (A04, A04-A09 EXCEPTO A08.0) (Figura 119). La secretaría de salud, de la Dirección General Adjunta de Epidemiología, la caracteriza como una enfermedad por la evacuación frecuente de deposiciones anormalmente blandas o líquidas que contienen más agua de lo normal, lo cual implica pérdida de sales (electrolitos), también puede contener sangre, en cuyo caso se conoce como disentería. La OMS menciona que las enfermedades diarreicas son la segunda mayor causa de muerte de niños menores de cinco años.

**Figura 119. Infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas (A04, A08, A09, excepto A08.0)**



Fuente: SEMARNAT (2020).

## Características físico - químicas y sanitarias de la zona litoral

Los florecimientos algales nocivos, conocidos coloquialmente como “FAN´s ”han provocado serios impactos al ecosistema, a las pesquerías, a la actividad turística, a la salud humana y por ende a la economía de los estados y municipios que las presentan en sus costas. Si bien estos eventos tienen un origen natural se sabe que el aumento de los nutrimentos en el agua (eutrofización) y el cambio climático podrían favorecer que estos fenómenos sean más frecuentes y de mayor duración. En las costas de Yucatán se han registrado eventos de FAN´s en 2001, 2003, 2005, 2008, 2009 y 2011 con efectos negativos en el ecosistema, las pesquerías, la actividad turística, la salud humana y, por ende, en la economía de los municipios costeros, por lo que es necesario profundizar en su conocimiento científico.

En la PY hay tres zonas de origen de mareas rojas que se pueden reconocer anualmente. El primero es el que se desarrolla en Cabo Catoche, en la punta nororiental de la PY, debido a la surgencia de agua rica en nutrientes del Canal de Yucatán, con presencia de microalgas del tipo dinoflagelados. En este caso las corrientes y el viento transportan a las mareas rojas al oeste, ya sea por la playa o bien alejada de la costa y el período en que con mayor frecuencia ocurren abarca de mayo a septiembre. El segundo se relaciona con la zona oriental del Anillo de Cenotes, en las Bocas de Dzilám, y se presenta como una zona de origen de marea roja, a partir de mayo hasta septiembre, que coincide con la temporada de lluvias, debido al aumento de nutrientes en la costa por surgencia de aguas dulces continentales, con florecimientos de microalgas del tipo diatomeas.

En la comunidad costera de San Francisco de Campeche, una ciudad en constante desarrollo y por ende de afluencia turística, uno de sus principales recursos de subsistencia así como comercio alimentario, se encuentra en los recursos pesqueros en todas sus variedades y oportunidades de captura, dichos recursos son mermados al contaminarse la zona costera con desechos vertidos sin tratamiento a la bahía, generando condiciones de marea roja anualmente, por lo que repercute negativamente en la economía familiar al restringirse la captura y comercio de especies de origen marino, además del factor determinante que es la afectación de la salud pública, no sólo de los pescadores, sino también de los consumidores de especies que pudieran haber estado expuestos al fenómeno mencionado.

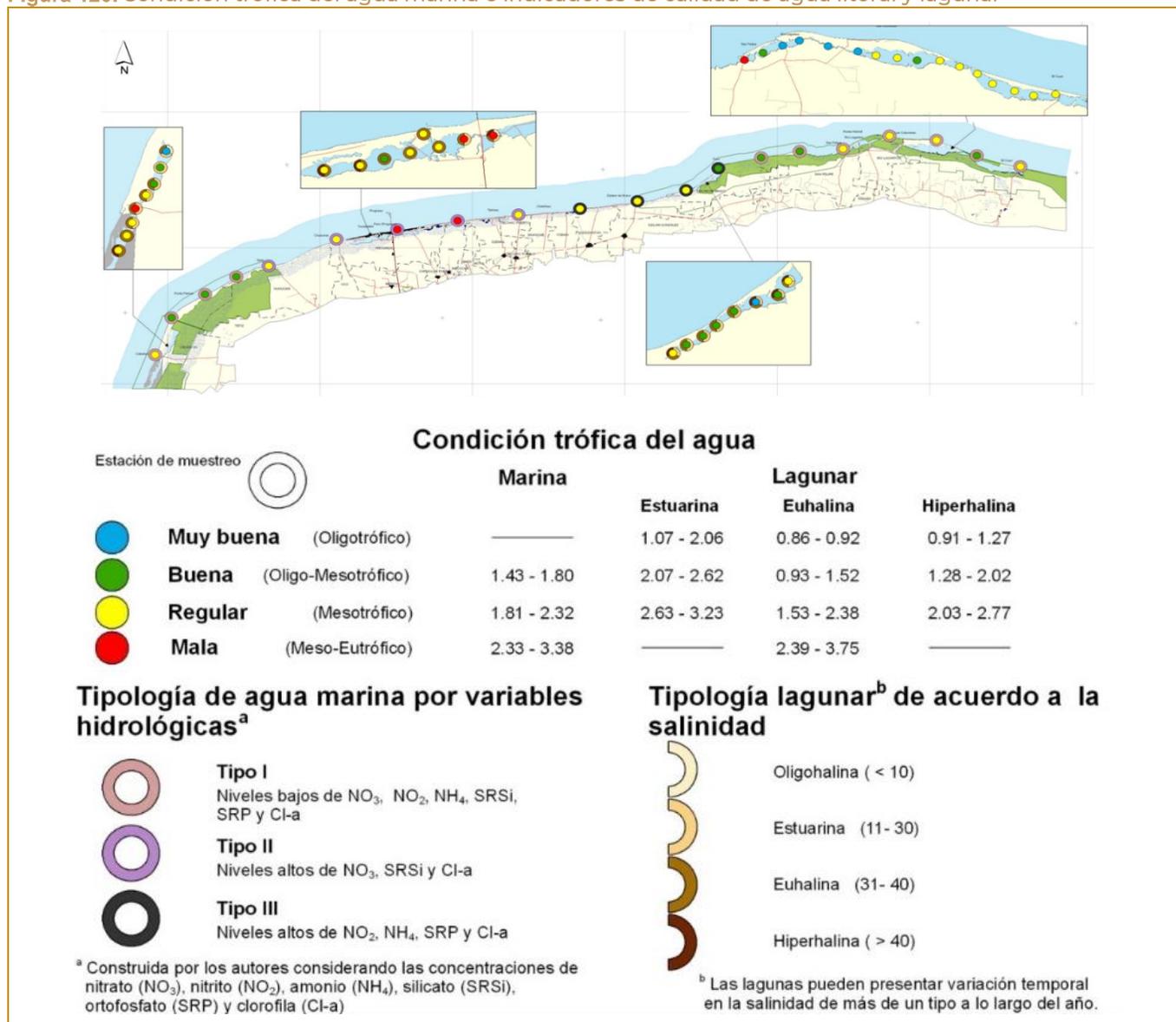
Como se mencionó, del análisis ecológico de los florecimientos algales nocivos ha permitido observar que entre los principales factores de disparo está el aumento de los nutrimentos en el agua (eutrofización) a causa de diversas actividades humanas en la costa y tierra adentro, favoreciendo que estos fenómenos sean más frecuentes, de mayor duración y extensión. Sin embargo, dada la diversidad de especies que pueden desarrollar FAN´s, el tipo de nutriente y concentración que desencadena un evento de este tipo, hace que los requerimientos puedan ser específicos del sitio.

Es complejo el saneamiento del acuífero, ya que es un problema multifactorial.

En el Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio Costero del estado de Yucatán (POETCY), se establece una serie de indicadores de calidad de agua litoral y lagunar denominada: Condición trófica del agua marina: Como se observa la zona centro norte presenta un nivel trófico de regular a malo, tipo II y III. Mesotrófico (particularmente en el área de Chuburná Puerto, Progreso y Telchac Puerto). Esta condición permite que de manera regular se presente el fenómeno de las mareas rojas, como sucedió en el año 2008. La Figura 120 describe dicha condición trófica.

Este es el resultado de los procesos de contaminación, principalmente de cargas orgánicas derivados de los vertimientos de aguas residuales de las zonas urbanas costeras y de tierra adentro, como la zona metropolitana de Mérida y también de casas veraniegas cuyo tratamiento en fosas sépticas es muy deficiente. Progreso de Castro es el municipio costero que presenta las peores condiciones físico – químicas de toda la costa yucateca.

Figura 120. Condición trófica del agua marina e indicadores de calidad de agua litoral y lagunar



Fuente: Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio Costero del estado de Yucatán (POETCY).

De manera complementaria al análisis sobre fuentes de contaminación anterior, en el Anexo 7 se presenta el resultado de una revisión bibliográfica sobre el rol que juega el suelo como amortiguador de contaminantes contenidos en el agua de infiltración. También, en el Anexo 8 se presenta un análisis sobre la acumulación de sargazo en el litoral oriente de la Península de Yucatán.

## 1.9 Gestión de riesgos y peligros

La Península de Yucatán debido a su ubicación geográfica resulta estar en la ruta que transitan los ciclones tropicales y los frentes fríos, quienes, que año con año la embaten con vientos y precipitaciones pluviales que muy a menudo resultan ser extraordinarias, con las consecuentes afectaciones a los sectores productivos y a la sociedad en general.

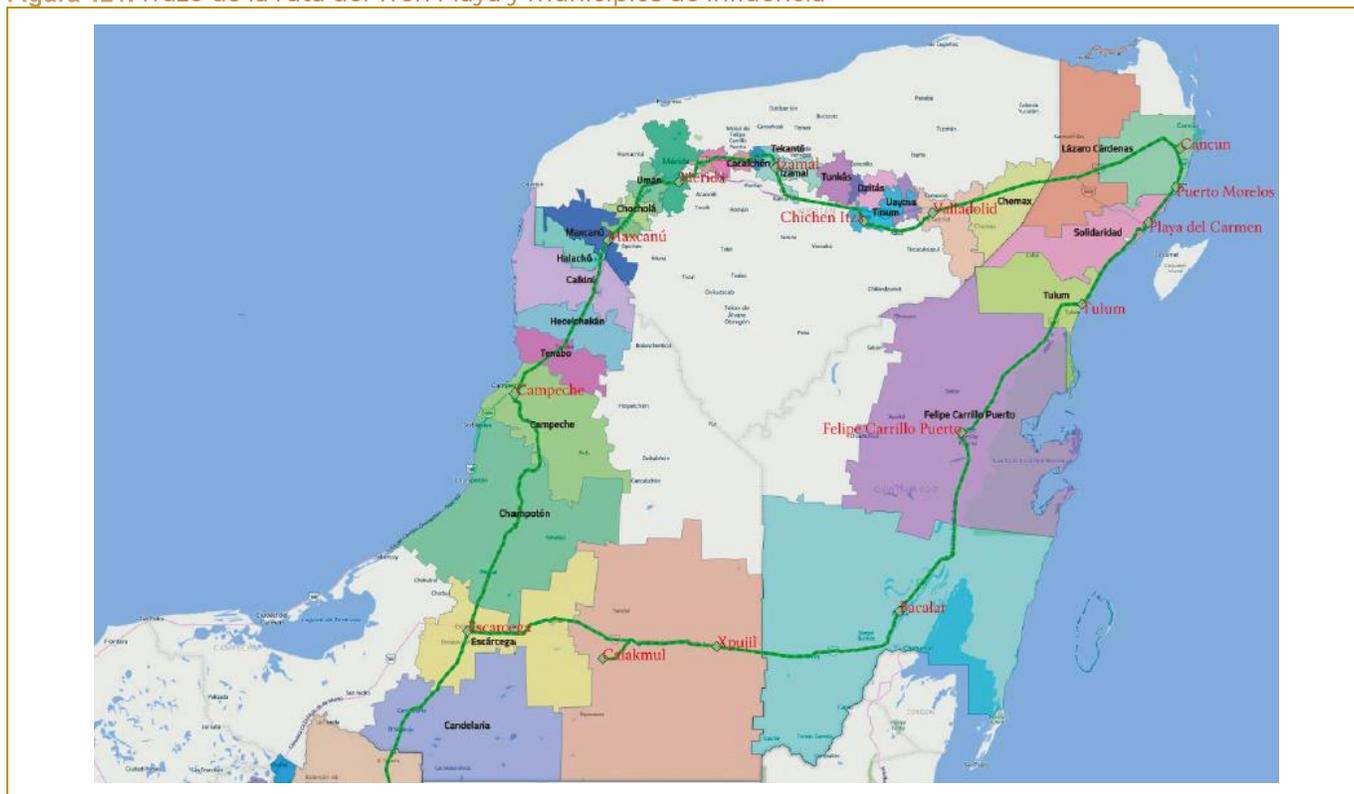
Por otra parte, la creciente expansión de las áreas urbanas y vías de comunicación, en combinación con las características kársticas de los suelos, está generando cada vez un mayor riesgo de socavamientos y desplomes.

Los riesgos y peligros que, entre otros han sido referidos, hacen indispensable se avance en la tarea de la gestión de riesgos. En el Anexo 9 se presenta un análisis de los eventos hidrometeorológicos extremos (huracanes, sequías, marea de tormenta, inundaciones, sequías, incendios, peligros geológicos y erosión).

## 1.10 Escenarios de crecimiento con el proyecto del Tren Maya

De acuerdo con Arreguín Cortés, F. et al 2018, el trazo propuesto para el Tren Maya considera tres tramos. El Tramo Golfo inicia su recorrido en el aeropuerto de Cancún, Quintana Roo, cruza el estado de Yucatán pasando por Valladolid, Chichen Itza, Izamal, Mérida y Maxcanú; continúa su recorrido hasta Escárcega, Campeche, pasando por San Francisco de Campeche. El tramo Caribe inicia también en el aeropuerto de Cancún, Quintana Roo, continuando hacia el sur pasando por Puerto Morelos, Playa del Carmen, Tulum, Felipe Carrillo Puerto y Bacalar, en el estado de Quintana Roo; continúa por Xpujil y Escárcega, ambos en el estado de Campeche (Figura 121).

**Figura 121.** Trazo de la ruta del Tren Maya y municipios de influencia



Fuente: (Arreguín Cortés, F. et al 2018).

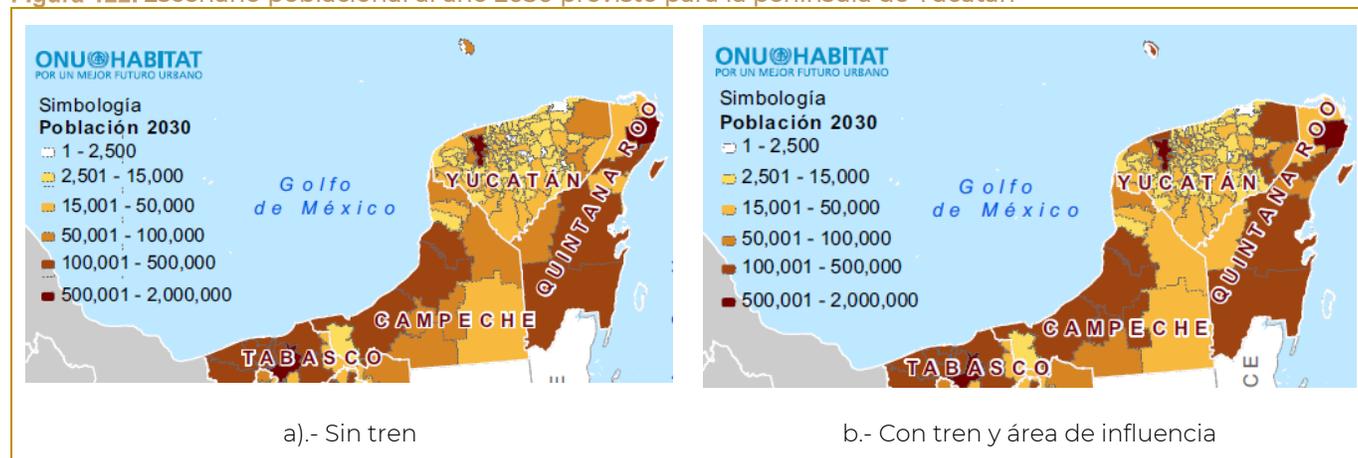
A partir de los datos obtenidos del Sistema de Evaluación ex-ante del proyecto de Tren Maya (ONU-Hábitat, 2019) se presentan los resultados de población por dos escenarios, para obtener un panorama de los cambios a nivel territorial en la región que conforman las cinco entidades federativas: Yucatán, Quintana Roo, Campeche, Tabasco y Chiapas. En este caso nos referiremos principalmente a los tres estados de la Península de Yucatán.

Los dos escenarios que aquí se presentan se denominan: E1: sin tren; y E3: con tren y área de influencia de 50 km alrededor de las estaciones del Tren Maya, en donde se esperaría un aumento de la densidad de población. El análisis se centra en los indicadores del año 2030, dado que en este corte temporal se esperarían los mayores incrementos acumulados de acuerdo con las proyecciones estimadas en el conjunto de los tres escenarios.

Los resultados muestran una mayor concentración de población para el año 2030 en los municipios de Benito Juárez (Quintana Roo), Mérida (Yucatán), Centro (Tabasco) y Tuxtla Gutiérrez (Chiapas), ubicados en el rango de más de 500,000 habitantes (Figura 122). En un análisis sobre la distribución del número de municipios, en el escenario sin

tren se registra una mayor concentración en el rango de municipios con menos de 15,000 habitantes. En el escenario con tren se observa una mayor concentración sobre los rangos mayores de 50,000 habitantes.

**Figura 122.** Escenario poblacional al año 2030 previsto para la península de Yucatán



Fuente: ONU-Hábitat, 2019

De acuerdo con el reporte, en términos territoriales, en el escenario sin tren, se muestra una tendencia al crecimiento de los municipios costeros de Tabasco y Campeche, así como de la frontera noreste de Chiapas y los municipios al centro y sur de Quintana Roo (Othón Blanco, Felipe Carrillo Puerto, Solidaridad y Cozumel). En el escenario con tren, se muestra una tendencia hacia la disminución de población en algunos municipios, en comparación con el escenario sin tren, algunos municipios se mantienen en un rango de población inferior a lo reportado en el primer escenario, tal es el caso de los municipios de Hopolchén en Campeche, Jiquipilas y Arriaga en Chiapas. Por otra parte, algunos municipios, a su vez, suben de rango de población como Valladolid, Ticul y Tekax en Yucatán, así como Zinacantán, Chanal y Pantepec en Chiapas. En el caso del escenario con tren y área de influencia, en términos generales, se observa una tendencia al aumento de población en los municipios alrededor de los centros de mayor jerarquía, como los municipios de Conkal, Motul, Progreso y Hunucmá alrededor de Mérida en el estado de Yucatán; Tizimín y Chemax, cerca de Valladolid. Otros casos que suben de rango de población son los de Escárcega en Campeche y Tenosique en Tabasco.

A partir de los datos por subregiones y comparando el mejor escenario con tren con respecto al escenario sin tren, la información de la Tabla 81 reporta un aumento de 2,245,242 habitantes en 2030. En tanto, la diferencia entre el escenario sin tren y con tren y área de influencia muestra un aumento de 386,098 habitantes más para el mismo horizonte de 2030. Ante este panorama y excluyendo los resultados de los municipios que se localizan fuera de las subregiones funcionales, encontramos que Mérida reporta el mayor aumento de población en el escenario sin tren con 2,167,236 habitantes. En este mismo escenario, vemos que Playa del Carmen reportaría el mayor crecimiento con respecto a su población inicial de 2020 (847,369 habitantes), ya que aumenta a 1,440,543 habitantes en 2030.

En el caso del segundo escenario, Playa del Carmen es subregión que más incrementa su población, en proporción a la cifra inicial con la construcción del Tren Maya. Observamos que la subregión de Cancún aumentaría más con el TM, ya que pasaría de 1,196,044 habitantes en 2020 sin tren, a 2,176,337 habitantes en el escenario con tren y área de influencia.

Con sólo el crecimiento poblacional con el tren y área de influencia de las principales ciudades al 2030, como Mérida, Cancún, Playa del Carmen, Ciudad del Carmen y Campeche, la población que sostendrán será de 7,382,002 habitantes (ver la Tabla 81), y considerando los trabajos de Arreguín Cortés, F. et al 2018, quien considera que la dotación de 250 litros por habitante por día de agua es suficiente para esa población futura asociada al tren maya, se tendría entonces una demanda de 673.60 Mm<sup>3</sup>/año para el servicio público urbano, que es muy aproximado al total del consumo en ese rubro para toda la Península de Yucatán al 2020, por lo que se requiere tener un mejor conocimiento de la disponibilidad real de agua en el balance hidrológico para las diferentes UP, ya que para algunas se prevé fuertes restricciones al desarrollo poblacional.

En resumen, Playa del Carmen y Cancún serían las subregiones con mayor crecimiento en el escenario con tren y área de influencia con respecto a su población inicial de 2020, en tanto que Mérida se mantendría como la subregión más poblada.

**Tabla 81. Escenarios de proyecciones de la población en la región y por subregión**

| Subregión          | Escenario 1       |                   |                   | Escenario 2       |                   |                   |                   |
|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                    | 2020              | 2025              | 2030              | 2020              | 2025              | 2030              | 2035              |
| Mérida             | 1 962 207         | 2 068 918         | 2 167 236         | 2 131 218         | 2 502 943         | 2 946 134         | 3 474 901         |
| Cancún             | 1 196 044         | 1 302 336         | 1 387 584         | 1 275 294         | 1 523 223         | 1 820 304         | 2 176 337         |
| Playa del Carmen   | 824 106           | 915 550           | 1 008 634         | 847 369           | 1 010 543         | 1 206 111         | 1 440 543         |
| Ciudad del Carmen  | 430 392           | 462 749           | 492 124           | 444 564           | 507 164           | 579 429           | 662 946           |
| Campeche           | 603 054           | 625 271           | 700 140           | 621 810           | 717 530           | 830 024           | 962 447           |
| Palenque           | 385 889           | 408 738           | 434 874           | 408 099           | 469 000           | 540 612           | 624 946           |
| Resto de la región | 7 883 936         | 8 392 704         | 8 864 624         | 7 869 026         | 8 583 111         | 9 377 844         | 10 263 831        |
| <b>Total</b>       | <b>13 285 628</b> | <b>14 203 266</b> | <b>15 055 216</b> | <b>13 597 380</b> | <b>15 313 514</b> | <b>17 300 458</b> | <b>19 605 951</b> |

Fuente: ONU-Hábitat, 2019

El cálculo de turistas para el 2030 se estima que en el primer escenario habría un aumento global de 27,410,327 turistas nacionales y extranjeros en 2020 a 30,591,291 en 2030. Esto implicaría 3,180,964 turistas más, que representan un 11.6 % del total de 2020. La subregión con mayor demanda en 2020 es Playa del Carmen con un 18.6 % del total de turistas nacionales y un 52.4 % del total de turismo internacional, seguido de Cancún con una llegada de 16.0 % del total del turismo nacional y 38.5 % del total del turismo internacional. Por otra parte, el mayor aumento del turismo en proporción a lo reportado en 2020 por cada subregión se localiza en Mérida, con un incremento de 475,272 turistas que representan un 23.5 % adicional a lo que tenía en 2020. Del mismo modo, Mérida reporta un aumento adicional del 55.3 % (250,833 turistas) del total del turismo internacional que tenía en 2020 (453,482 turistas).

De acuerdo con ONU-Hábitat, 2019 (b), el proyecto Tren Maya se consolidará como un eje estructural en toda la región, estableciendo un nuevo sistema de jerarquías urbanas donde ciudades como Cancún, Playa del Carmen, Mérida y Campeche reforzarán su primacía en la región, a la vez que centros de población más pequeños adquirirán una centralidad por las estaciones distribuidas a lo largo de la ruta, como son Palenque, Xpujil, Escárcega, Tenosique, Tulum y Bacalar, y otros.

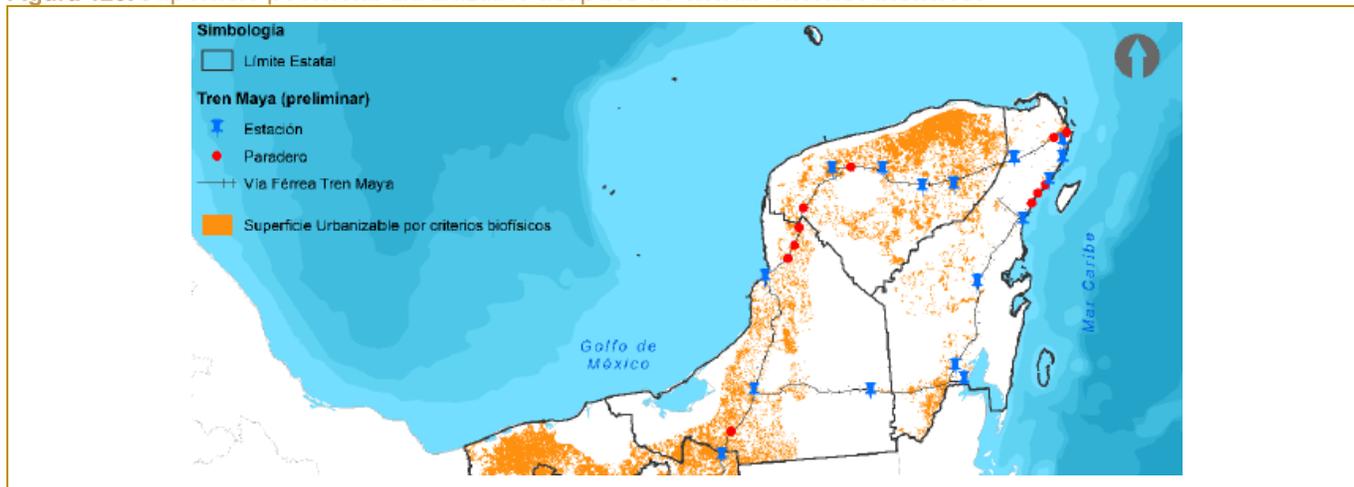
Como propulsor del desarrollo, este proyecto generará nuevos escenarios de inversión pública y privada que impulsarán el crecimiento de las localidades alineadas en la ruta del tren, por lo que se prevé un aumento de población que superará las actuales tasas de crecimiento en las áreas de influencia directa del tren, como se ha mostrado anteriormente. Se ha considerado un escenario a 2030 en el que las estrategias de desarrollo se centran sobre las localidades con influencia directa del tren y que además tendrán una estación de carga o de pasajeros. Esta perspectiva sugiere que la derrama económica del proyecto no alcanzará a llegar a las localidades más dispersas o alejadas del Tren Maya, y que los flujos de población hacia las zonas metropolitanas por oportunidades de empleo mantendrán la tendencia identificada, con ligeras variaciones por el fortalecimiento de las nuevas centralidades que surgen sobre la línea del tren (Figura 123).

Adicionalmente, algunas de las zonas metropolitanas y centros de población que se potenciarán con el tren se ubican en zonas ambientalmente frágiles, con potencial de preservación, conservación o restauración, y esto genera grandes retos en la planificación del crecimiento de las ciudades, teniendo en consideración los riesgos que implica la extensión de la mancha urbana o la generación de nuevos espacios urbanos en zonas no estratégicas. En este caso, se tomó en consideración el suelo disponible para urbanización y ciertos criterios biofísicos de exclusión.

Esta superficie, sin embargo, no debe tomarse como susceptible de urbanizar en su totalidad debido a que no se incorporan criterios urbanísticos, ya que justamente lo que se quiere evitar es un proceso de urbanización generalizado, disperso y descontrolado, por lo que, de esta superficie inicialmente identificada a partir de criterios biofísicos de exclusión, se acotó con base en criterios urbanísticos. Por mencionar un ejemplo de este escenario a 2030, la zona metropolitana de Mérida requiere 5,447 hectáreas (ha) adicionales a la huella urbana actual para

albergar a la población (Figura 124) y Cancún requiere 4,129 ha. Asimismo, en total todas las localidades que tendrán estación suman una demanda de 17,759.65 ha de suelo para urbanización.

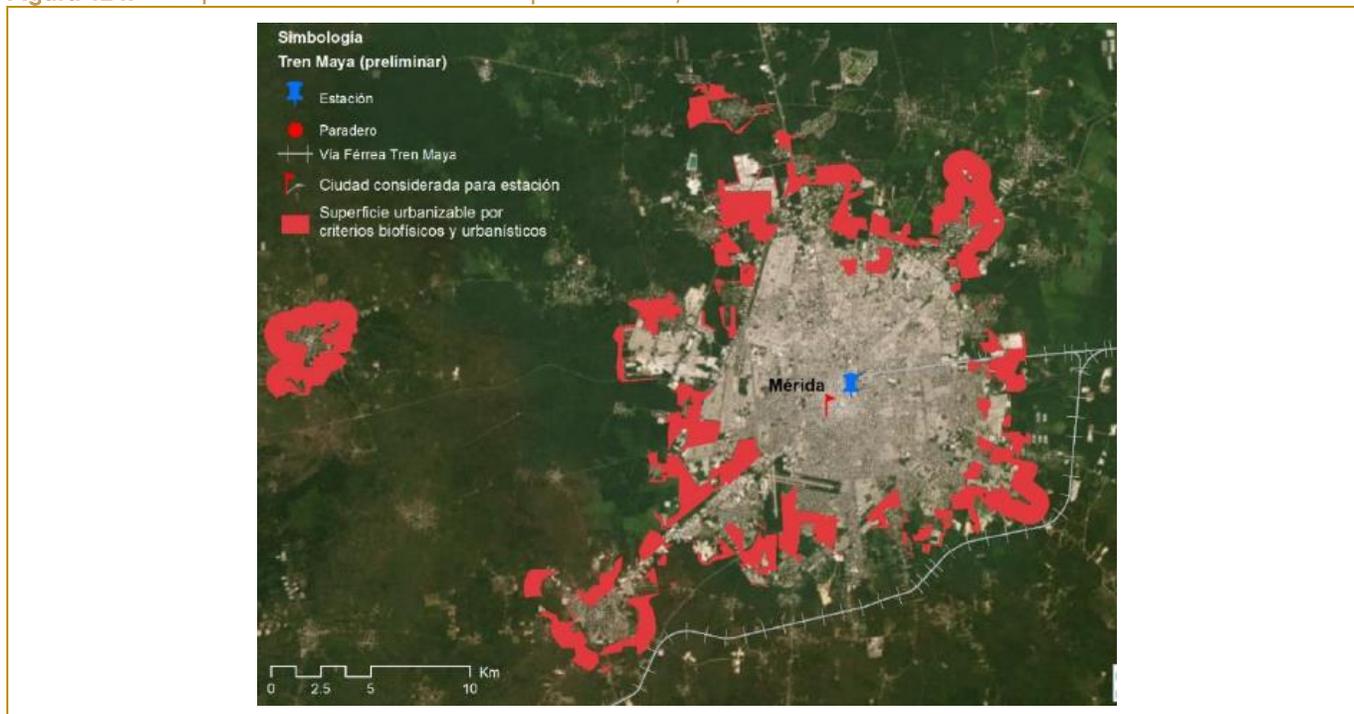
**Figura 123.** Superficie potencial urbanizable después de excluir criterios biofísicos



Fuente: ONU-Hábitat, 2019 (b)

Los resultados generales se muestran en la Tabla 82. Así, se puede ver que existen localidades en las que las proyecciones de demanda de suelo para el escenario a 2030 están satisfechas integrando criterios biofísicos y urbanísticos, y por el contrario, las localidades que se marcan con (\*) tienen una demanda de suelo para urbanización que está por debajo de la disponibilidad del análisis hecho, lo cual podría servir como un indicador para la planificación y mejor direccionamiento de las políticas públicas e implementación del proceso de urbanización con miras a un mejor aprovechamiento del suelo y desarrollo de las localidades.

**Figura 124.** Área potencial urbanizable final para Mérida, Yucatán.



Fuente: ONU-Hábitat, 2019 (b)

**Tabla 82.** Proyecciones de demanda de suelo y disponibilidad para urbanización

| Estado       | Municipio     | Localidad          | Superficie (ha)                           |                     |                                    |
|--------------|---------------|--------------------|---|---------------------|------------------------------------|
|              |               |                    | Proyección de la demanda de suelo al 2030 | 2do contorno CONAVI | Disponible biofísico + urbanístico |
| Q.Roo        | Bacalar       | Bacalar            | 97.45                                     | -                   | -                                  |
| Tabasco      | Balancán      | Balancán           | 22.29                                     | -                   | -                                  |
| Q.Roo        | Benito Juárez | Cancún*            | 4 129.05                                  | 8 752.33            | 2 873.71                           |
| Campeche     | Calakmuk      | Xpujil             | 166.62                                    | -                   | -                                  |
| Campeche     | Campeche      | San Fco. Campeche* | 1 738.61                                  | 2 644.14            | 589.78                             |
| Campeche     | Candelaria    | Candelaria         | 87.26                                     | -                   | -                                  |
| Campeche     | Escárcega     | Escárcega          | 349.27                                    | 911.64              | 556.32                             |
| Q. Roo       | FC Puerto     | FC Puerto          | 359.89                                    | 771.42              | 659.73                             |
| Yucatán      | Izamal        | Izamal             | 298.79                                    | 707.75              | 524.95                             |
| Yucatán      | Mérida        | Mérida             | 5 447.16                                  | 16 042.74           | 7 843.44                           |
| Chiapas      | Palenque      | Palenque           | 278.90                                    | 1 224.65            | 1 102.19                           |
| Q. Roo       | Solidaridad   | Playa del Carmen*  | 2 483.71                                  | 2 855.67            | 719.49                             |
| Tabasco      | Tenosique     | Tenosique          | 260.02                                    | 1 079.38            | 966.11                             |
| Yucatán      | Tinum         | Pisté              | 105.83                                    | -                   | -                                  |
| Q.Roo        | Tulum         | Tulum*             | 1 309.90                                  | 925.22              | 214.66                             |
| Yucatán      | Valladolid    | Valladolid         | 624.89                                    | 1 481.65            | 1 380.29                           |
| <b>Total</b> |               |                    | <b>17 759.65</b>                          | <b>37 396.59</b>    | <b>17 430.65</b>                   |

Fuente: ONU-Hábitat, 2019 (b)

La selección de estos centros poblados intermedios o estratégicos se realizó con base en un análisis multifactorial, que considera varios factores en diferentes dimensiones para identificar ventajas comparativas y su capacidad para ofertar servicios de salud (equipamientos de segundo y tercer nivel), educativos (equipamientos de educación superior y formación para el trabajo), que se pueden fortalecer para ampliar las oportunidades de la población local.

Una de las características comunes de los centros urbanos que consideran ventajas como la oferta de servicios de salud, educación y financieros, es que su población urbana supera los 15,000 hab., salvo en los centros de población que no alcanzan los 15,000 habitantes pero que se prevé su crecimiento por la incidencia directa del Tren Maya, lo que genera un cambio en la jerarquía funcional y un crecimiento asociado a las actividades del tren, como Xpujil, Bacalar, Palenque, Tenosique, Balancán, Candelaria y Escárcega; y, por otro lado, se identifican ciudades que ya tienen una primacía en la dinámica funcional de la región y que se refuerzan con el tren, como San Francisco de Campeche, Mérida, Cancún y Ciudad del Carmen. Así mismo, en Chiapas y Tabasco se identifican centralidades en el sistema actual, que no tendrán mayor incidencia del tren, pero que son relevantes para la transformación del sureste, como Tuxtla Gutiérrez y Villahermosa.

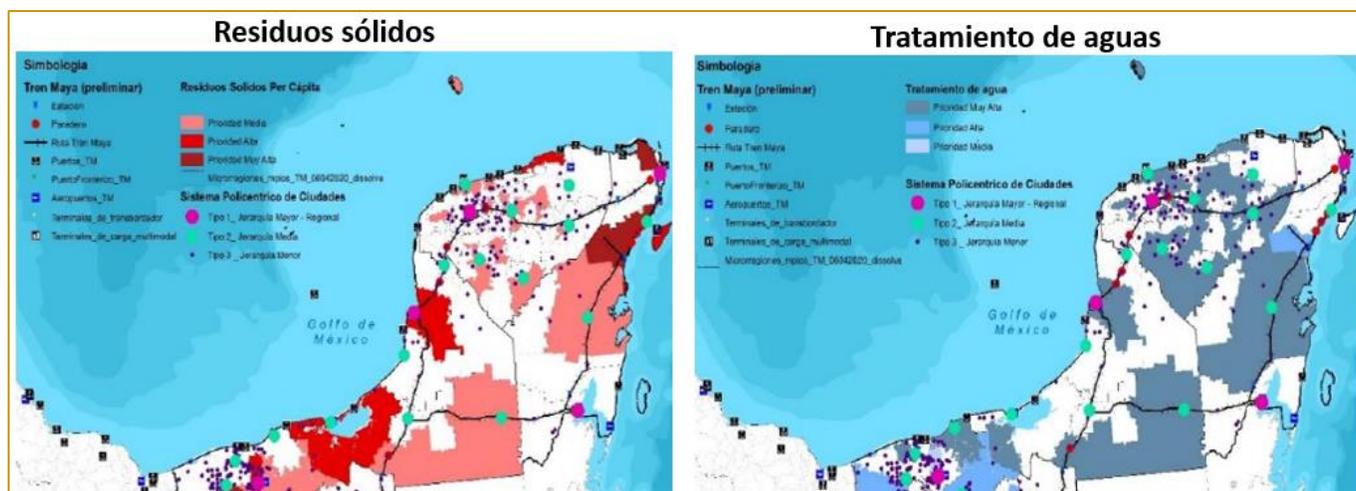
Sin embargo, ese crecimiento urbano y poblacional debe ir acompañado en el fortalecimiento de la capacidad de carga de los diferentes centros de población. En principio, se recomienda el fortalecimiento de la capacidad de carga de los centros de población como Xpujil, Felipe Carrillo Puerto, Tulum, Chetumal, Palenque, Izamal, Tenosique, Candelaria y Escárcega, que surgen como nuevas centralidades y nodos estratégicos, pues tendrán una estación del Tren Maya dentro de su superficie municipal.

Se suman a este grupo los centros urbanos que, con un alto nivel de primacía en la región, se refuerzan con el proyecto, como Campeche, Cancún, Playa del Carmen, Mérida y Valladolid. La gestión de residuos sólidos,

combinada con programas educativos para disminuir su generación, considera centros urbanos prioritarios a Solidaridad y Tulum en Quintana Roo; Pichucalco, Chiapas; Tenosique y Macuspana en Tabasco; Carmen y Campeche en el estado de Campeche y Progreso en Yucatán.

Priorizar la inversión de los municipios y estados de manera conjunta para construir infraestructuras para el tratamiento de las aguas residuales que se generan en toda la región sureste, requiere especial atención en los centros poblados de Calkiní, Candelaria, Calakmul, Champotón y Escárcega en Campeche; Benemérito de las Américas, Chiapas; Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo; Tizimín, Izamal, Oxkutzcab, Valladolid, Peto y Progreso en Yucatán (Figura 125).

**Figura 125.** Zonas de atención prioritaria para la gestión de residuos sólidos y tratamiento de aguas residuales



Fuente: ONU-Hábitat, 2019 (b)

## 1.11 Aeropuerto Internacional en Tulum, Quintana Roo

En el marco de los proyectos regionales mencionados en el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 (PND), se menciona que el Tren Maya es el proyecto más importante de infraestructura, desarrollo socioeconómico y de turismo de este sexenio; está orientado a incrementar la demanda económica del turismo en la Península de Yucatán, crear empleos, impulsar el desarrollo sostenible, proteger el medio ambiente de la zona y propiciar el ordenamiento territorial de la región.

Se prevé que el Aeropuerto Internacional de Tulum (AIT), será un potenciador de la demanda turística para el Sur de la Riviera Maya, lo cual coadyuvará en la realización de los objetivos mencionados en el PND para la Península de Yucatán.

Se considera para minimizar los impactos de los recursos hídricos la ubicación del Aeropuerto Internacional de Tulum en una zona que presente baja densidad kárstica (Figura 126), sin fallas geológicas y fuera del área de conservación.

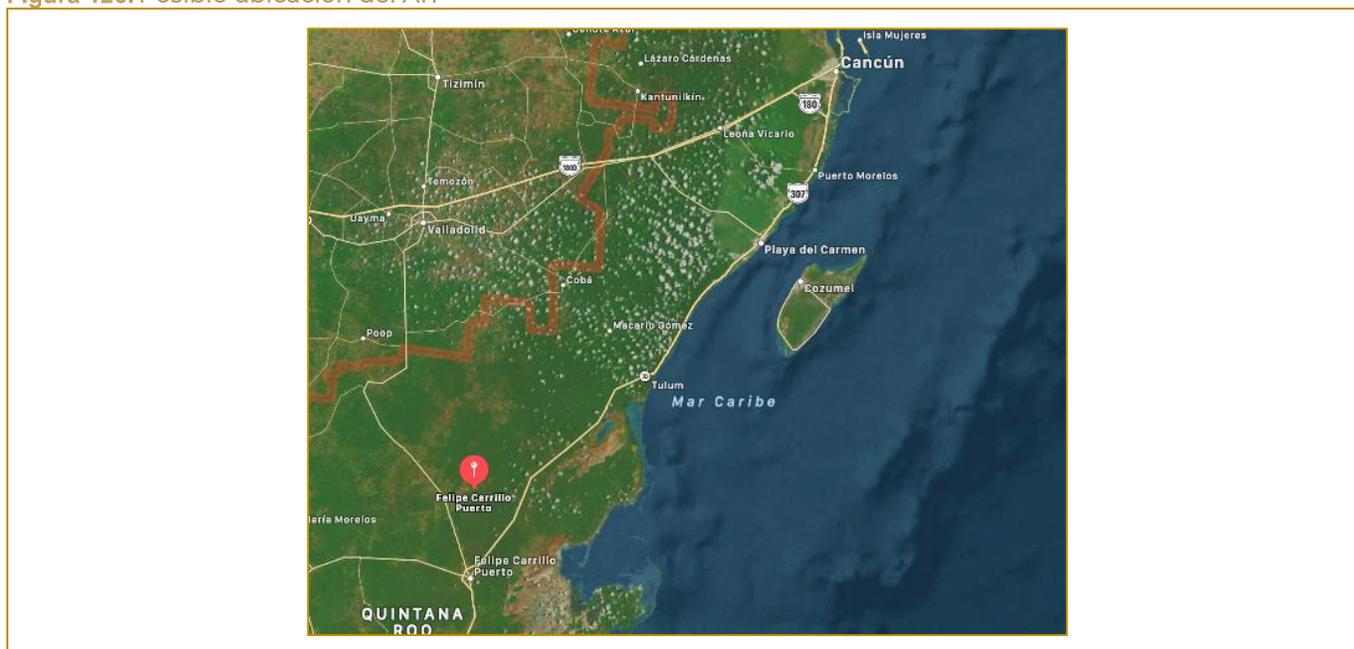
No se presenta afectación a ningún sitio de la Convención relativa a los humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas (Convenio RAMSAR), según se puede observar en la página del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA).

Aunado a lo anterior y en busca de desarrollar proyectos sostenibles, se contempla en su construcción las siguientes consideraciones:

- a. Se proyectarán sistemas separados de redes de drenaje pluvial y drenaje sanitario. Las descargas de drenaje sanitario serán tratadas y reusadas en sistema de riego, aprovechando también la capacidad de infiltración del suelo.

- b. El agua pluvial captada se aprovechará en las diferentes áreas del aeropuerto, los excedentes previo tratamiento se infiltrarán al subsuelo.
- c. El diseño de la infraestructura que se proyecte contemplara la separación de grasas y aceites, así como de otros contaminantes que pudieran afectar el acuífero.
- d. El abastecimiento de agua se llevará a cabo mediante extracción de agua subterránea del acuífero península de Yucatán, el cual no se encuentra sobreexplotado y presenta disponibilidad del vital líquido.
- e. Durante la proyección del Aeropuerto Internacional de Tulum, se buscará en todo momento evitar afectaciones por inundaciones, descargas o extracciones, hacia la región de las localidades cercanas.
- f. Se proyectará la infraestructura de monitoreo necesaria que permita dar a conocer el grado de afectación que se provoque con cada descarga al acuífero, por medios de equipos de medición.
- g. Para la ejecución de estos trabajos, se realizará un estudio hidrológico que considera el análisis de eventos ciclónicos y la karsticidad que pueda presentarse en las rocas del suelo, a fin de asegurarse de que los diseños sean congruentes con los eventos y características propias del sitio.
- h. Se llevarán a cabo los estudios geo-hidrológicos necesarios para determinar la configuración del flujo subterráneo y ubicar estratégicamente cada una de las infraestructuras hidráulicas de extracción e infiltración, a fin de buscar el equilibrio hídrico y evitar conos de abatimiento (en caso de que resulten de los estudios realizados).

**Figura 126.** Posible ubicación del AIT



## 1.12 Proceso participativo para identificación de problemáticas hídricas

A continuación, se presentan los resultados de las problemáticas sistematizadas mediante la información recopilada en las reuniones por UP, las entrevistas presenciales y telefónicas, el cuestionario digital, las reuniones externas virtuales y presenciales y enriquecidos con problemáticas específicas mencionadas en las reuniones con Espacios de Cultura del Agua (ECAS) y organismos operadores, con el gobierno estatal de Yucatán y con el personal y consejos asesores de las ANPs (Figura 127).

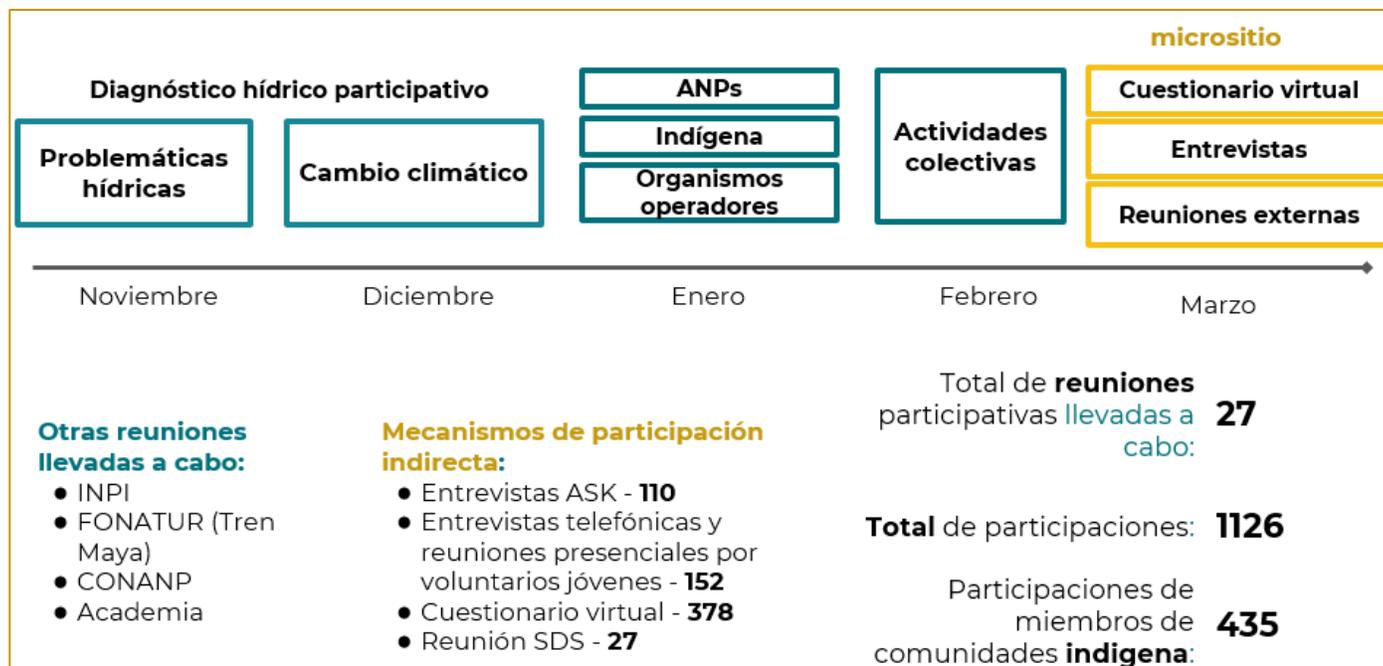
Las problemáticas se agruparon según lo identificado en el PNH para ser atendidas. Estas se incluyeron como Problemas Públicos según el Plan Nacional Hídrico (PP-PNH; Tabla 83). A escala regional dentro de los PP-PNH se incluyen Problemáticas Generales identificadas para la Península de Yucatán. Las Problemáticas Generales a su vez

fueron divididas en subcategorías donde se agrupan las problemáticas específicas. Generalmente éstas reflejan la diversidad de la región capturada en las reuniones por UP.

El orden de prioridad en el que deberían atenderse las problemáticas fue:

- PP-PNH 4 “Deterioro cualitativo y cuantitativo del agua en cuencas y acuíferos”.
- PP-PNH 1. “Acceso a los servicios de agua potable y saneamiento insuficiente e inequitativo”.
- PP-PNH 3. “Pérdidas humanas y materiales por fenómenos hidrometeorológicos extremos”.
- PP-PNH 2. “Uso ineficiente del agua que afecta a la población y a los sectores productivos”.

**Figura 127.** Esquema del proceso participativo



**Tabla 83.** Resumen de los Problemas Públicos según el Plan Nacional Hídrico (PP-PNH) y sus respectivas subcategorías

| PP-PNH 1. Acceso a los servicios de agua potable y saneamiento insuficiente e inequitativo | Número de actores que mencionaron este Problema Público como prioridad<br>581            |
|--|--|
| Subcategorías  | % que de actores que mencionaron la subcategoría como prioridad para atender el PP PNH 1 |
| 1.1. Infraestructura de agua potable insuficiente  | 36%  |
| 1.2. Infraestructura de agua potable deficiente  | 22%  |
| 1.3. Falta de saneamiento en el medio rural y periurbano                                   | 29%  |
| 1.4. Falta de saneamiento en el medio urbano   | 13%  |

|   |  |
|---|--|
| PP-PNH 2. Uso ineficiente del agua que afecta a la población y a los sectores productivos | Número de actores que mencionaron este Problema Público como Prioridad<br>122            |
| Subcategorías   | % que de actores que mencionaron la subcategoría como prioridad para atender el PP PNH 2 |
| 2.1. Uso ineficiente en agricultura intensiva   | 11%  |
| 2.2. Uso ineficiente en la actividad pecuaria   | 2%   |
| 2.3. Uso ineficiente en consumo urbano  | 55%  |
| 2.4. Uso ineficiente en industria   | 8%   |
| 2.5. Uso desmedido e ineficiente en sector turismo  | 16%  |
| 2.6. Pérdidas e ineficiencias en infraestructura hidráulica pública                       | 18%  |
| PP-PNH 3. Pérdidas humanas y materiales por fenómenos hidrometeorológicos extremos        | Número de actores que mencionaron este Problema Público como prioridad<br>172            |
| Subcategorías   | % que de actores que mencionaron la subcategoría como prioridad para atender el PP PNH 3 |
| 3.1. Asentamientos humanos en zonas de alta vulnerabilidad                                | 24%  |
| 3.2. Falta de infraestructura y capacidades para prevenir y enfrentar inundaciones        | 48%  |
| 3.3. Falta de atención a la población afectada por inundaciones                           | 9%   |
| 3.4. Vivienda e infraestructura estratégica vulnerable a inundaciones                     | 19%  |
| PP-PNH 4. Deterioro cualitativo y cuantitativo del agua en cuencas y acuíferos            | Número de actores que mencionaron este Problema Público como prioridad<br>709            |
| Subcategorías   | % que de actores que mencionaron la subcategoría como prioridad para atender el PP PNH 3 |
| 4.1. Contaminación por agroquímicos   | 21%  |
| 4.2. Contaminación por la actividad pecuaria  | 6%   |
| 4.3. Contaminación por residuos sólidos y materia orgánica                                | 18%  |
| 4.4. Contaminación por aguas residuales   | 42%  |
| 4.5. Otras fuentes de contaminación   | 5%   |
| 4.6. Afectaciones a servicios ecosistémicos hídricos                                      | 8%   |

### 1.12.1 Problemáticas generales y específicas

En esta sección se muestran las prioridades, según las menciones de cada problemática general y sus problemáticas específicas.

La Tabla 84 muestra que las problemáticas generales para atender el PP-PNH 1 “Acceso a los servicios de agua potable y saneamiento insuficiente e inequitativo” son, en primer lugar, la “falta de acceso al agua potable para uso doméstico” y en segundo lugar el “crecimiento urbano no planificado e irregular”. Otras problemáticas generales que deben considerarse por el número de menciones son, en orden descendiente, “falta cobertura de drenaje”, “fugas en el sistema de agua potable”, “mala calidad del agua potable suministrada”, “falta de fosas sépticas funcionales” y “descargas de aguas residuales mediante sumideros”. Así, al dar atención a estas problemáticas generales se estaría tomando en cuenta 489 de las 581 menciones de los participantes en relación con este PP-PNH.

**Tabla 84.** Problemáticas generales del PP-PNH 1

| PP PNH 1. Acceso a los servicios de agua potable y saneamiento insuficiente e inequitativo  |  |
|---|--|
| <b>1.1. Infraestructura de agua potable insuficiente</b>  |  |
| <b>Falta de acceso al agua potable para uso doméstico</b>   | <b>163</b>   |
| Falta de cobertura de la red<br>Tandeo de agua en la red proporciona agua insuficiente para las necesidades básicas<br>Falta de sistemas de almacenamiento para reducir impacto del tandeo<br>Inequidad en la distribución, se priorizan hoteles y zonas por cuestiones políticas | Desecación de pozos<br>Falta de pozos de extracción<br>Red de agua potable insuficiente en islas<br>Falta de sistemas de bombeo<br>Crecimiento poblacional rebasa la capacidad de la red de abastecimiento<br>Zonas de extracción difíciles y costosas para la perforación |
| <b>Falta de acceso al agua para actividades agrícolas o pecuarias</b>   | <b>28</b>  |
| Falta de agua extraída para regar cultivos en tiempos de sequía<br>Agua demasiado clorada<br>Proceso demasiado tardado y complejo para tramitar concesiones   | No hay unidades de riego<br>Equipos obsoletos de extracción y bombeo   |
| <b>Falta de acceso al agua para servicios (turismo, comercialización, etc)</b>  | <b>6</b>   |
| Cobertura de la red insuficiente  |  |
| <b>Falta de captación pluvial</b>   | <b>6</b>   |
| Falta de sistemas de captación de agua de lluvia y de sistemas de potabilización<br>Desvalorización de los sistemas tradicionales por implementación de la red moderna  | Falta de mantenimiento a los sistemas tradicionales<br>Abandono de prácticas tradicionales y resilientes de manejo de agua   |
| <b>Falta de acceso al agua para actividades industriales o de transformación</b>  | <b>4</b>   |
| Problemas en la distribución y ampliación en la distribución del agua en sectores productivos   |  |
| <b>1.2. Infraestructura de agua potable deficiente</b>  |  |
| <b>Fugas en el sistema de agua potable</b>  | <b>49</b>  |
| Desgastes en las tuberías por falta de mantenimiento y supervisión<br>Falta de atención de fugas, especialmente en terrenos baldíos   | Fugas dentro de viviendas sin atender Daños a tuberías por aguas con exceso de sales   |
| <b>Mala calidad del agua potable suministrada</b>   | <b>44</b>  |
| Falta de cloración<br>Plantas potabilizadoras mal diseñadas o mantenidas<br>No se cumplen los estándares para consumo humano<br>Agua con exceso de cloro<br>No hay suficiente filtrado de metales pesados   | Enfermedades diarreicas agudas por consumo de agua estancada o mal clorada<br>Dengue por almacenamiento de agua abierto<br>Plantas potabilizadoras municipales dedican mayor atención al sector hotelero   |

**PP PNH 1. Acceso a los servicios de agua potable y saneamiento insuficiente e inequitativo**

|   |  |
|---|--|
| <b>Intermitencia o fallas del suministro de agua potable doméstica</b>  | <b>22</b>  |
| Constantes reparaciones en el sistema de abastecimiento lo que ocasiona cortes en el suministro<br>Tandeo excesivo y poco regular   | Afectaciones a la red por inundaciones que tardan demasiado en ser reparadas   |
| <b>Agua con exceso de minerales</b>   | <b>11</b>  |
| Desalinizadoras y plantas de tratamiento insuficientes<br>Agua con sarro, azufre, calcio  | Mantenimiento de infraestructura costoso<br>Extracción de agua demasiado cercana a la costa  |
| <b>Personal operador mal capacitado</b>   | <b>4</b>   |
| Falta de presupuesto para capacitar al personal   | Falta de personal para mantenimiento de infraestructura  |
| <b>1.3. Falta de saneamiento en el medio rural y periurbano</b>   |  |
| <b>Crecimiento urbano no planificado e irregular</b>  | <b>95</b>  |
| Incremento potencial de asentamientos irregulares por Tren Maya<br>Asentamientos humanos irregulares desatendidos por falta de tenencia de la tierra y desinterés gubernamental | Migración de población marginada sin planeación urbana a ciudades y polos turísticos   |
| <b>Falta de fosas sépticas funcionales</b>  | <b>42</b>  |
| Fugas en las fosas sépticas<br>Falta de estándares y supervisión a la construcción de las fosas   | Falta de mantenimiento<br>Falta de apoyos para la construcción o reparación de fosas   |
| <b>Descargas de aguas residuales mediante sumideros</b>   | <b>30</b>  |
| Falta de dinero o apoyos para instalar fosas sépticas o biodigestores<br>Falta de cultura y conciencia sobre los riesgos de la contaminación                                    | Falta de normativa y supervisión a los sumideros<br>Enfermedades por consumo de agua contaminada por los mismos desechos de la comunidad |
| <b>Falta de alternativas de saneamiento familiar o comunitarios</b>   | <b>4</b>   |
| Falta de sistemas adaptados a las condiciones del suelo y la cultura de la región   | Fecalismo al aire libre por falta de baños o por costumbre   |
| <b>1.4. Falta de saneamiento en el medio urbano</b>   |  |
| <b>Falta cobertura de drenaje</b>   | <b>66</b>  |
| Red de drenaje y alcantarillado insuficiente<br>La mayoría usa fosa séptica   | Falta de inversión en drenaje<br>Falta de drenaje en zonas de escasos recursos   |
| <b>Falta de conexión al drenaje</b>   | <b>7</b>   |
| Población no se conecta por voluntad propia o por desconocimiento   | Falta de programas para incentivar o financiar la conexión   |

**Nota:** Los recuadros a la derecha se refieren al número de personas que mencionaron el tema en el proceso participativo.

En relación con el PP-PNH 2 “Uso ineficiente del agua que afecta a la población y a los sectores productivos” (Tabla 85) las dos principales problemáticas generales por atender son el “desperdicio por falta de cultura del agua” y la “falta de mantenimiento y actualización de tuberías de la red pública”. Resalta que el “desperdicio por falta de cultura del agua” significó el 39% del total de las menciones de este problema público según el Plan Nacional Hídrico.

**Tabla 85. Problemáticas generales del PP-PNH 2**

| PP PNH 2. Uso ineficiente del agua que afecta a la población y a los sectores productivos                              |   |
|--|---|
| <b>2.1. Uso ineficiente en agricultura intensiva</b>   |   |
| <b>Sistemas de riego ineficientes</b>  |   |
| <b>9</b>   |   |
| Falta de estructuras de organización para mitigar costos de actualización  | Falta de incentivos económicos para actualizar sistemas<br>Sistemas viejos y obsoletos  |
| <b>Uso de variedades de monocultivo altamente consumidoras</b>   |   |
| <b>4</b>   |   |
| Plantación de arroz en zonas no inundables<br>Plantaciones de monocultivos por productores Menonitas                   | Plantaciones de soja y palma de aceite altamente consumidora  |
| <b>Falta de capacitación y cultura del agua entre agricultores</b>   |   |
| <b>1</b>   |   |
| Falta de conciencia sobre la importancia de cuidar el agua<br>Falta de programas de sensibilización y capacitación     | Uso de técnicas ineficientes como riego por inundación<br>Falta de control y cobros sobre el uso excesivo de agua para la agroindustria |
| <b>2.2. Uso ineficiente en la actividad pecuaria</b>   |   |
| <b>Uso excesivo en la ganadería</b>  |   |
| <b>1</b>   |   |
| <b>Uso excesivo en granjas porcícolas</b>  |   |
| <b>1</b>   |   |
| <b>2.3. Uso ineficiente en consumo urbano</b>  |   |
| <b>Desperdicio por falta de cultura del agua</b>   |   |
| <b>48</b>  |   |
| Desperdicio del agua en hogares<br>Falta de conciencia sobre la posible escasez<br>Desinterés por generaciones futuras | Falta de educación en las escuelas<br>Desinterés por instalar sistemas ahorradores  |
| <b>Desigualdad en el consumo de agua</b>   |   |
| <b>7</b>   |   |
| Zonas privilegiadas tienen mayor suministro y consumen grandes cantidades en jardines y albercas                       |   |
| <b>2.4. Uso ineficiente en industria</b>   |   |
| <b>Uso excesivo en la industria no especificada</b>  |   |
| <b>8</b>   |   |
| <b>Uso excesivo por industria cervecera</b>  |   |
| <b>1</b>   |   |
| <b>Uso excesivo por industria refresquera</b>  |   |
| <b>1</b>   |   |
| <b>2.5. Uso desmedido e ineficiente en sector turismo</b>  |   |
| <b>Falta de regulación y vigilancia del consumo de agua</b>  |   |
| <b>9</b>   |   |
| Otorgamiento de concesiones sin análisis de disponibilidad de agua   | Falta de establecimiento de límites de consumo y capacidades para hacerlos cumplir  |

## PP PNH 2. Uso ineficiente del agua que afecta a la población y a los sectores productivos

### Falta de sistemas para optimizar el uso del agua 5

|  |   |
|--|---|
| Falta de uso de aguas tratadas para riego                            | Falta de incentivos para fomentar la actualización      |
| Sistemas de riego ineficientes de campos de golf                     | Falta de uso de aguas salobres para aires acondicionado |
| Regaderas, excusados, lavabos, lavadoras entre otros poco eficientes | Uso excesivo de agua para limpiar y mantener albercas   |

### Falta de cultura del agua en trabajadores y empleados 5

|   |  |
|---|--|
| Cultura de asociar el lujo con el desperdicio | Falta de incentivos o opciones para cuidar el agua |
|---|--|

## 2.6. Pérdidas e ineficiencias en infraestructura hidráulica pública

### Falta de mantenimiento y actualización de tuberías de la red pública 19

|  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| Tuberías viejas con materiales obsoletos | Falta de mantenimiento a tuberías |
|--|-----------------------------------|

### Falta de monitoreo y capacidades para atender fugas 3

|   |  |
|---|--|
| No se atienden los reportes de manera inmediata | No hay dinero para identificar y reparar fugas |
|---|--|

**Nota:** Los recuadros a la derecha se refieren al número de personas que mencionaron el tema en el proceso participativo.

La atención del PP-PNH 3 “Pérdidas humanas y materiales por fenómenos hidrometeorológicos extremos” (Tabla 86) debe centrarse en primer lugar a las problemáticas generales “drenaje pluvial insuficiente o deficiente” y “viviendas vulnerables a inundaciones”. Resalta que el 40% de los participantes señalaron como prioridad por atender la atención al “drenaje pluvial insuficiente o deficiente”. Una tercera prioridad es la “falta de ordenamiento territorial asociado a un Atlas de riesgos”.

**Tabla 86.** Problemáticas generales del PP-PNH 3

| PP PNH 3. Pérdidas humanas y materiales por fenómenos hidrometeorológicos extremos                     |   |
|--|---|
| 3.1. Asentamientos humanos en zonas de alta vulnerabilidad   |   |
| Falta de ordenamiento territorial asociado a un Atlas de riesgos <span style="float: right;">21</span> |   |
| Falta de capacidades para vigilar el cumplimiento de los Atlas de riesgo y el ordenamiento             | Falta de capacidades para desarrollar Atlas de riesgo detallados por los municipios |
| Alta vulnerabilidad de la zona costera por huracanes <span style="float: right;">13</span>             |   |
| Desarrollos turísticos en zona costera   | Incremento de intensidad de huracanes por cambio climático                          |
| Comunidades pesqueras altamente vulnerables  |   |
| Asentamientos humanos irregulares <span style="float: right;">8</span>                                 |   |
| Viviendas de materiales extremadamente vulnerables   | Falta de atención   |
| 3.2. Falta de infraestructura y capacidades para prevenir y enfrentar inundaciones                     |   |
| Drenaje pluvial insuficiente o deficiente <span style="float: right;">68</span>                        |   |
| Falta de cobertura de drenaje pluvial  |   |

| PP PNH 3. Pérdidas humanas y materiales por fenómenos hidrometeorológicos extremos |   |
|--|---|
| Falta de drenaje en calles y pasos deprimidos                                      | Drenaje pluvial mal dimensionado Bloqueos al drenaje pluvial por basura |
| <b>Capacidad gubernamental de prevención insuficiente 8</b>                        |   |
| Falta de protocolos de prevención y atención a huracanes                           | Falta de personal para actividades de prevención                        |
| <b>Presencia de infraestructura que incrementa riesgos de inundación 5</b>         |   |
| Carreteras que interrumpen escurrimientos  | Bordos y bloqueos que generan inundaciones                              |
| <b>Carencia de infraestructura para proteger zonas productivas 1</b>               |   |
| 3.3. Falta de atención a la población afectada por inundaciones                    |   |
| <b>Afectaciones a agricultores por inundaciones 12</b>                             |   |
| Pérdidas de cosechas   | Pérdidas de colmenas Afectaciones a equipo                              |
| Pérdidas de semillas   |   |
| <b>Falta de atención a familias afectadas por inundaciones 4</b>                   |   |
| Familias sin atención después de mucho tiempo después de los eventos               |   |
| 3.4. Vivienda e infraestructura estratégica vulnerable a inundaciones              |   |
| <b>Viviendas vulnerables a inundaciones 26</b>                                     |   |
| Casas con materiales muy endeblés  | Falta de conocimientos sobre métodos de construcción resilientes        |
| <b>Calles, avenidas y túneles inundables 6</b>                                     |   |
| Falta de drenaje en calles y pasos deprimidos                                      |   |

**Nota:** Los recuadros a la derecha se refieren al número de personas que mencionaron el tema en el proceso participativo.

Por último, los participantes en el proceso identificaron a cuatro como las principales problemáticas generales para atender el PP-PNH 4 “Deterioro cualitativo y cuantitativo del agua en cuencas y acuíferos” (Tabla 87). La primera es dar solución a la problemática general “plantas de tratamiento públicas ineficaces o insuficientes y cobertura de drenaje insuficiente”, seguido de “uso excesivo de agroquímicos”, en tercer lugar, el “flujo de basura a cuerpos de agua superficiales” y en cuarto atender la problemática general “sumideros de aguas residuales”.

**Tabla 87.** Problemáticas generales del PP-PNH 4

| PP PNH 4. Deterioro cualitativo y cuantitativo del agua en cuencas y acuíferos  |  |
|---|--|
| 4.1. Contaminación por agroquímicos   |  |
| <b>Uso excesivo de agroquímicos 142</b>   |  |
| Alto uso de agroquímicos en Hopelchén   | No hay regulación ni vigilancia a la agroindustria                                     |
| Granjas de monocultivos menonitas usan agroquímicos excesivos   | Falta de capacitación y concientización a agricultores pequeños                        |
| No hay regulación de tipos de agroquímicos permitidos como glifosato y OCPs que generan cáncer de mama y cervicouterino entre otros | Crecimiento descontrolado de monocultivos para exportación como soja y palma de aceite |
| <b>Mala disposición de envases de agroquímicos 3</b>  |  |

| PP PNH 4. Deterioro cualitativo y cuantitativo del agua en cuencas y acuíferos   |   |
|--|---|
| Envases de agroquímicos terminan en ríos y lagunas<br>No hay recolección ni plan de manejo   | Falta de conciencia y capacitación a agricultores   |
| <b>Flujo subterráneo de aguas contaminadas en otras zonas</b>  | <b>1</b>  |
| La contaminación del Sur de Yucatán fluye a los cuerpos de agua del Centro de Quintana Roo   |   |
| 4.2. Contaminación por la actividad pecuaria   |   |
| <b>Contaminación de cuerpos de agua por granjas porcícolas</b>   | <b>37</b>   |
| No hay continuidad al programa de implementación de biodigestores<br>Otorgamiento de permisos en zonas de alta vulnerabilidad como el anillo de cenotes                                      | No hay control ni supervisión<br>Crecimiento descontrolado de granjas porcícolas y avícolas<br>Granjas porcícolas en Keken tiran sus residuos al manto freático |
| <b>Infiltración de lixiviados en granjas ganaderas</b>   | <b>7</b>  |
| 4.3. Contaminación por residuos sólidos y materia orgánica   |   |
| <b>Flujo de basura a cuerpos de agua superficiales</b>   | <b>107</b>  |
| Falta de recolección de basura genera tiraderos comunitarios<br>Falta de conciencia y supervisión a turistas<br>Tiraderos a cielo abierto se inundan y la basura fluye a ríos y el mar       | Cavernas y cenotes usados como tiraderos<br>Falta de control de plásticos de un solo uso  |
| <b>Infiltración de lixiviados por mal manejo de residuos</b>   | <b>24</b>   |
| Tiraderos clandestinos de sargazo<br>Falta de manejo apropiado de residuos<br>No hay separación en tiraderos entre residuos peligrosos y normales<br>Mala disposición de pilas de pescadores | Falta de separación de residuos<br>Falta de geomembrana y captación de lixiviados<br>Vertimiento de lixiviados a la laguna de Chacmochuch                       |
| 4.4. Contaminación por aguas residuales  |   |
| <b>Plantas de tratamiento públicas ineficaces o insuficientes y cobertura de drenaje insuficiente</b>  | <b>182</b>  |
| Falta de plantas de tratamiento<br>Plantas de tratamiento mal mantenidas y operadas<br>Falta de capacidades locales para construir y operar PTARs  | Tecnología de tratamiento desactualizada<br>Falta de vigilancia al cumplimiento de la NOM001  |
| <b>Sumideros de aguas residuales</b>   | <b>92</b>   |
| Asentamientos humanos irregulares no tienen otra alternativa<br>El sumidero es la opción más barata y no hay vigilancia o multas   | Las pequeñas comunidades no cuentan con la capacidad o el conocimiento para implementar otros sistemas de saneamiento   |
| <b>Vertimiento de aguas residuales por empresas o hoteles</b>  | <b>15</b>   |
| No hay suficiente exigencia para la implementación de plantas de tratamiento privadas  | No hay vigilancia ni multas<br>Falta de conciencia  |
| <b>Fosas sépticas con fugas o mal manejadas</b>  | <b>11</b>   |
| No hay capacitación para construcción de fosas sépticas funcionales<br>A la gente no le molesta que su fosa séptica tiene fugas por que la tienen que vaciar menos seguido                   | Falta de apoyos financieros para la construcción y mantenimiento<br>No hay vigilancia   |
| <b>Drenaje con fugas</b>   | <b>4</b>  |
| Tuberías muy antiguas<br>No hay monitoreo de la presión para identificar fugas   | El sistema está mal dimensionado y desborda continuamente en la laguna Manatí   |
| 4.5. Otras fuentes de contaminación  |   |

**PP PNH 4. Deterioro cualitativo y cuantitativo del agua en cuencas y acuíferos**

|   |   |           |
|---|---|-----------|
| <b>Falta de supervisión y control a industrias</b>  |   | <b>16</b> |
| Residuos industriales peligrosos que no son tratados apropiadamente   | Falta de conciencia<br>Descargas de aguas contaminadas no reguladas           |           |
| <b>Intrusión salina</b>   |   | <b>14</b> |
| Por aumento del nivel del mar<br>Por inundaciones costeras  | Por cambios en los flujos subterráneos y disminución de los niveles freáticos |           |
| <b>4.6. Afectaciones a servicios ecosistémicos hídricos</b>   |   |           |
| <b>Deforestación y afectación a manglares</b>   |   | <b>38</b> |
| Pérdida de conectividad hidrológica por carreteras<br>Deforestación para desarrollo turístico o infraestructura estratégica | Salinización de manglares<br>Contaminación por descargas de aguas residuales  |           |
| <b>Disminución de la disponibilidad de agua</b>   |   | <b>12</b> |
| Cada vez hay más sequías<br>Demasiado crecimiento turístico con grandes piscinas y pastos                                   | Los niveles de los cenotes están disminuyendo                                 |           |
| <b>Afectaciones a cuerpos de agua</b>   |   | <b>5</b>  |
| Contaminación de cenotes<br>Desecación de aguadas<br>Lechuguilla acuática en la bahía de Chetumal tapa la luz solar         | Contaminación de lagunas<br>Invasión de pez diablo                            |           |
| <b>Deforestación y afectación a selvas y bosques</b>  |   | <b>3</b>  |
| Cambio de uso de suelo para agricultura<br>Deforestación para asentamientos humanos y desarrollos turísticos                | Potencial deforestación por Tren Maya   |           |

**Nota:** Los recuadros a la derecha se refieren al número de personas que mencionaron el tema en el proceso participativo.

## 1.12 Conclusiones sobre la situación del recurso hídrico

Queda claro que la PY, conformado por un macizo calcáreo, dista mucho de ser homogéneo. Administrativamente, la PY incorpora 4 Regiones Hidrológicas, un gran Acuífero Kárstico y varias Cuencas Superficiales, particularmente la CampS y CampC, con más de 15 Cuencas Hidrológicas. Además, se suman las variaciones altimétricas, geológicas, hidrográficas, así como la presencia de flujos preferenciales vinculados a zonas de fractura a escala regional, grandes conductos de disolución y fracturas a pequeña escala y cavidades de disolución, en donde dominan los flujos de agua subterránea fundamentalmente turbulentos. Su integración da cuenta de una gran heterogeneidad hidro – ambiental, identificándose 9 zonas geohidrológicas asociadas a ciertas condiciones particulares del territorio, y armonizados administrativamente con los niveles municipales, generando las Unidades de Planeación.

Si bien los datos analizados en este documento, tanto científicos como institucionales (Publicados en el Diario Oficial de la Federación), relacionados a la disponibilidad de agua muestran diferencias importantes derivado de los valores de precipitación que se utilizaron para el cálculo, la evapotranspiración calculada, la recarga efectiva al manto freático, y el volumen de descarga natural comprometida con rangos de recarga que varía de 37,790.22 Mm<sup>3</sup>/año a 25,315 Mm<sup>3</sup>/año, así como también los volúmenes calculados de Descarga Natural comprometida, que varía de 25,697.73 Mm<sup>3</sup>/año a 17,305.60 Mm<sup>3</sup>/año, respectivamente. Este volumen de descarga implica que, si consideramos que, en la PY, la superficie que ocupan los diversos humedales que le son propios, y utilizando el valor de la descarga natural comprometida, dirigida a la salud de los ecosistemas y la dilución de contaminantes, representaría una profundidad promedio para todos ellos de 0.75 m a 0.50 m respectivamente. Sin embargo, es consistente en cuanto a que la revisión de la disponibilidad de agua por Unidad de Planeación hace evidente que en al menos la Unidad de Planeación del QRooN está ejerciendo presión sobre la disponibilidad total de agua. En ambos casos también se enciende el foco rojo en las Unidades de Planeación del YucN y YucS, que están presionando también.

Hay una falta de actualización de valores de disponibilidad a nivel PY, y particularmente en las Unidades de Planeación, no existen hasta ahora los estudios sistemáticos para mejorar el entendimiento sobre la disponibilidad de agua en cada uno de ellos. Existe una gran heterogeneidad en cuanto a procesos geomorfológicos y flujos subterráneos preferenciales de los cuales hay estudios a cierto detalle, pero falta ampliarlo a nivel de Unidad de Planeación. Las perspectivas por cambio climático, al año 2050, se espera un incremento poblacional del 63 % respecto al 2020, de los cuales el 21 % está asociado al Tren Maya. El modelo prevé una disminución de la recarga en un 20 % por cambios en la temperatura y precipitación. De aquí que la presión por la disponibilidad sería total, más del 114 % para la Unidad de Planeación del Norte de Campeche, de 153 % para la UP de YucN, sin embargo, en el caso de la UP del QRooN, asciende a más del 300 %. En esta proyección se espera que se integre también la UP YucS, con 111 %.

Aunado a lo anterior, y derivado de las condiciones geológicas y marinas, se presentan tres tipos de agua de las cuales derivan una diversidad de mezclas, y que en ocasiones no son aptas para consumo humano, ni para riego. El tipo de agua que predomina en el acuífero corresponde a la clase cálcico-bicarbonatada, los dos primeros elementos provienen de la disolución de los carbonatos constituyentes de las rocas calcáreas. Sigue en orden de importancia la clase sulfatada, que se localiza en la zona geohidrológica de Sur Campeche y Quintana Roo, principalmente. Finalmente, la clase de agua clorurada se localiza a lo largo de la zona costera, rodeando toda la península, debido a la influencia del agua marina provocando una zona de mezcla entre ésta y el agua subterránea.

La disminución de los volúmenes de Descarga Natural Comprometida, vinculado a las proyecciones de la penetración de la cuña salina bajo escenario de cambio climático se prevé que vayan en aumento, ganando terreno hacia el interior del continente disminuyendo el espejo de agua dulce el cual es empujado al interior e impactando la calidad de agua para consumo humano, riego y abrevadero por su alto contenido de sales. La UP más afectada es sin duda la QRooN, debido a la pérdida de más de 98 % del volumen concesionado para el sector servicios, lo mismo que la UP Norte y Candelaria de Campeche. En este último, el impacto de salinización de pozos es para el sector industrial. En términos generales el 94 % del volumen concesionado para el sector servicios en condiciones de vulnerabilidad muy alta y alta a la salinización, le sigue el volumen del sector industrial con el 28 % y, por último, el público urbano con el 13 %.

Ante esta perspectiva, los procesos geológicos e hidrometeorológicos en el karst yucateco incrementarán la posibilidad de colapsos y hundimientos, así como de inundaciones derivadas por huracanes y mareas de tormenta, como inundaciones por precipitación como en las UP del CampS, YucS y QRooS, o como en últimas fechas en la Unidad de Planeación del Norte de Yucatán, con el afloramiento del agua subterránea saturando la capacidad de almacenamiento del acuífero por debajo de la cota de los 5 msnm. Las inundaciones y las sequías serán cada vez un tema recurrente. Los Atlas de Riesgos están desactualizados, no hay capacidades técnicas en los municipios para elaborar y cumplir con dichos Atlas, existe una diversidad de Programas de Ordenamiento Ecológico del Territorio a diferentes niveles que no cuentan con previsiones expresas sobre los riesgos por Cambio Climático y el aumento en la Población y su derecho humano al agua en cantidad y calidad. Aunado a lo anterior, el acuífero de la Península de Yucatán es muy vulnerable a la contaminación debido a que presenta una roca tipo cárstica con una estructura geológica fracturada y de gran permeabilidad con un sistema de cavernas conectadas que permiten el flujo del agua subterránea de tierra adentro hacia la costa, lo cual, facilita la rápida infiltración y transporte de contaminantes.

Es notorio que el principal uso del agua es el agrícola, y quien además genera la mayor descarga por retorno agrícola, seguido del uso público urbano. Excepto en el caso de la UP del QRooN, donde el principal uso es el de servicios, vinculado a la actividad turística, seguida por la pública urbana. El remanente de extracción y descarga de agua deriva de la actividad industrial, la actividad pecuaria, la acuicultura, y el uso doméstico.

Asociado a lo anterior están todos aquellos sitios utilizados como tiraderos a cielo abierto donde se dispone de los residuos sólidos urbanos, generando graves problemas de contaminación debido a los lixiviados que generan.

La presencia de contaminantes en el recurso hídrico es un problema de gran importancia regional, ya que compromete la salud pública y la seguridad alimenticia. Las actividades antropogénicas mencionadas anteriormente, ocasionan graves desequilibrios al ambiente. Los principales contaminantes se refieren a la fecalización, agrotóxicos y metales pesados y de manera emergente medicamentos, antibióticos, hormonas y adenovirus.

Para la medición del ciclo hidrológico en la península se cuenta con estaciones hidrométricas, estaciones climatológicas, incluyendo las Estaciones Meteorológicas Automáticas, Estaciones Sinópticas Meteorológicas Automáticas, observatorios meteorológicos, estaciones de radio sondeo y radares meteorológicos.

Sin embargo, la información relacionada con el agua en la Península es escasa dispersa y poco sistematizada lo que se traduce en muchas dificultades para la planeación del manejo integrado de los recursos hídricos. El monitoreo actual de la situación del acuífero es insuficiente, tanto como la sistematización de la información. La Base de Datos proporcionada por la CONAGUA de los años 2012 al 2019, es insuficiente y no cubre espacialmente el territorio, mucho menos al nivel de Unidad de Planeación.

Ahora bien, no solamente la CONAGUA realiza actividades de monitoreo de calidad de agua, son diversas las dependencias que realizan dicha actividad, con objetivos propios cada una de ellas y que involucran a los Organismos Operadores de Agua Potable y Saneamiento (JAPAY, CAPA, entre otras), Universidades y Centros de Investigación, y el Sector Salud, principalmente. En ocasiones la suma de los esfuerzos individuales o por sector no resultan en procesos coherentes y comprensivos, ya que cada uno está diseñado para un objetivo muy particular del sector:

La comprensión del Sistema Hidrológico en la PY y en sus 9 UP es fundamental para las políticas públicas de gestión del agua. Por lo que un proceso deseado del monitoreo de la calidad del agua en cada UP implica una recolección de datos sobre calidad de agua a tiempo real con recopilación de datos en periodos determinados, para generar una cobertura peninsular del sistema hidrológico, basado en la Unidad de Planeación.

La carencia de información sistematizada sobre el régimen hidrológico impide tener una visión integral de la estructura y funcionamiento de los acuíferos a nivel peninsular, pero más específicamente a nivel de UP, si bien existen algunos esfuerzos por impulsar acciones que generen y mejoren las capacidades personales, a través de los Espacios de Cultura del Agua o por colectivos y asociaciones civiles en ciertas comunidades, sin embargo, con los usuarios del agua, funcionarios públicos encargados de las políticas públicas, y miembros de organizaciones de la sociedad civil, se carece de una visión integral, se privilegia el estudio del fragmento y muy relacionado con los intereses particulares de quien realice el estudio. Si es de investigación, sanitario o de calidad y las dependencias que lo realizan, como Universidades y Centros de Investigación, o el Laboratorio Estatal de Salud, COFEPRIS, o la Junta de Agua Potable y Alcantarillado, o CONAGUA. Los coordinadores de los Órganos Auxiliares a nivel de Gerencia, los vocales usuarios del agua, representantes de la sociedad civil e indígena, investigación y academia caminan por senderos separados, por lo que no es posible una visión integral. Es necesario consolidar y mejorar la participación social a través de los diversos órganos Auxiliares del CCPY y propiciar una articulación más efectiva con los usuarios de aguas nacionales, representantes de la sociedad organizada, academia e investigación y buscar la mejor participación de los representantes de gobierno en el propio CCPY.

La necesidad de formar cuadros científicos-técnicos a nivel de diplomado y postgrado en gestión de cuencas y acuíferos puede calificarse de urgente, dado el deterioro acelerado que en el medio ambiente se viene observando por la acción antrópica fundamentalmente, entre las que se pueden mencionar el rápido crecimiento poblacional en toda la región conllevando a la creación de Infraestructuras y cambios radicales en el paisaje geográfico, deterioro paulatino de los recursos hídricos en ciertas UP, y su acuífero, que requerirían declaratorias de emergencia sanitaria (como la YucN y YucO, QRooN, CampC y CampN), con impactos acelerados en la zona costera, alterando significativamente los hábitats naturales de la flora y fauna silvestre del lugar, recursos naturales preferentes de las comunidades originarias, de igual manera puede emerger otros impactos que de no tomarse las medidas apropiadas a tiempo y en forma, puedan llegar a convertirse en fenómenos y procesos negativos prácticamente irreversibles, como la salinización y desertificación.

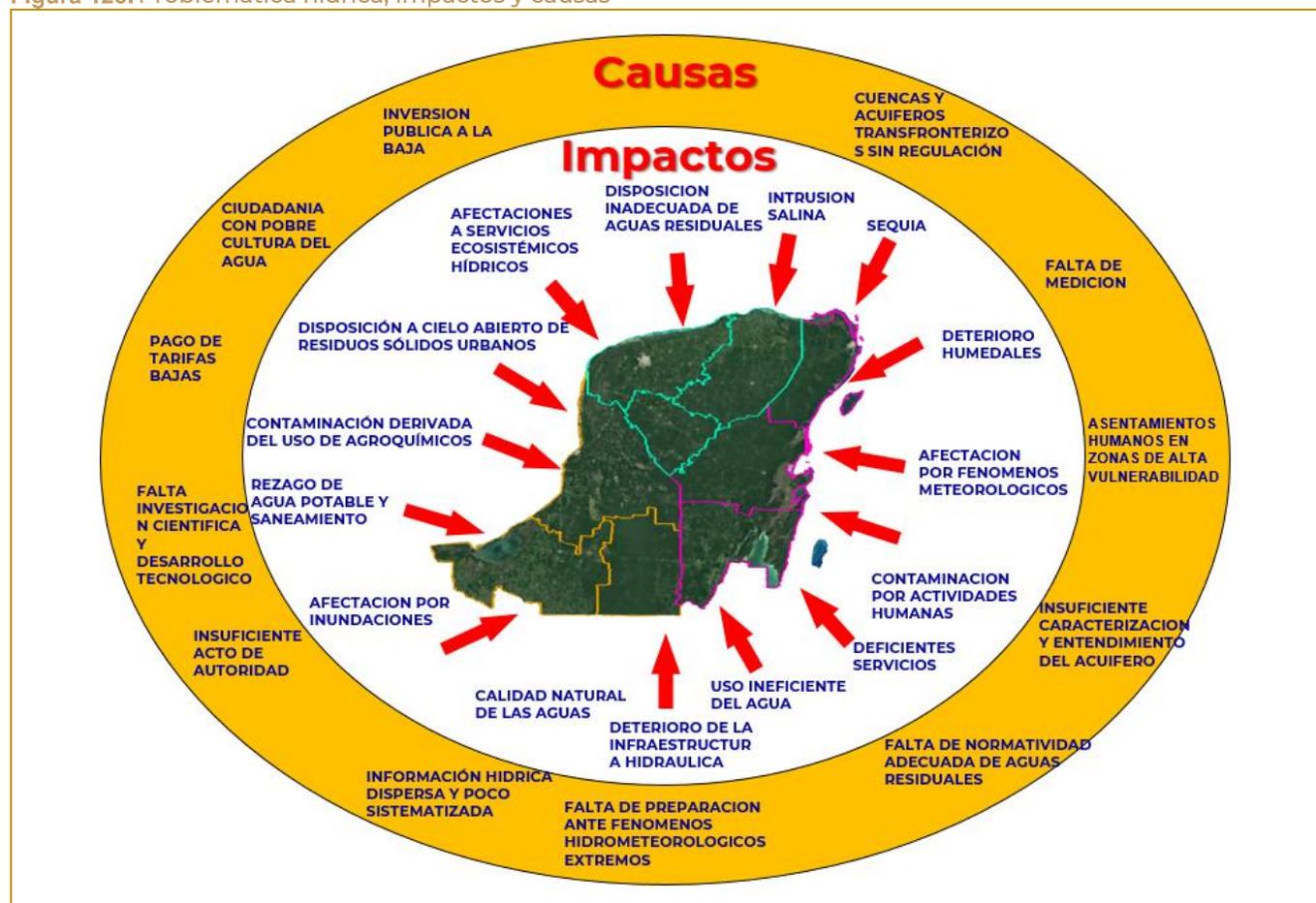
Por su lado, el funcionamiento de la estructura administrativa del Consejo de Cuenca tiene varias limitantes aún, como la poca representatividad en algunos de los integrantes de los sectores usuarios y de la sociedad organizada dentro del Consejo de Cuenca y/o participando en los diversos órganos auxiliares, aunado en muchos casos a un desconocimiento del papel que cada integrante debe desempeñar al interior del Consejo de Cuenca.

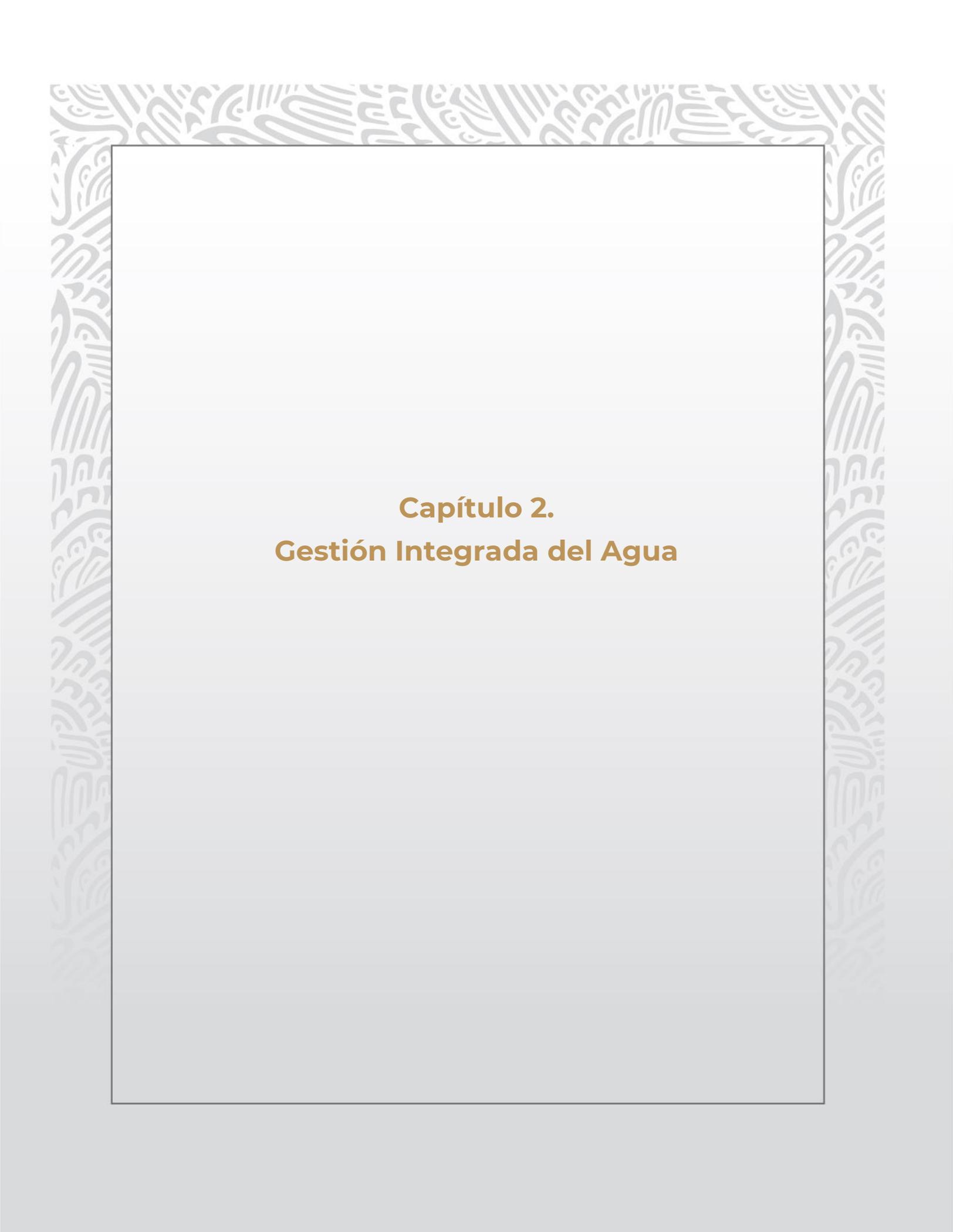
Otra limitante es el pobre financiamiento Federal y de las Entidades Federativas y Municipales para la operación del Consejo de Cuenca, los Órganos Auxiliares, Grupos Especializados y comités de playas limpias, y las labores de gestión por parte de los integrantes de este son insuficientes. Es aún tarea pendiente la mayor participación ciudadana en la temática y en la toma de decisiones. Para afrontar este reto, el Consejo de Cuenca deberá propiciar la creación, en conjunto con la sociedad civil, de mecanismos más ágiles y efectivos para el involucramiento de los ciudadanos. Otra

gran limitante para lograr decisiones informadas de manera colectiva son los problemas relativos a la generación, sistematización, difusión y uso de la información sobre el agua. A pesar de que en el país existen instituciones vinculadas con la producción de datos, la información no se utiliza para tomar decisiones y no se emplean mecanismos eficientes de transferencia de conocimiento, para compartir información con los usuarios. En lo que se refiere a todo el sector, los recursos financieros son insuficientes para hacer frente a las necesidades de inversión, incluso para los requerimientos de operación y mantenimiento regular de la infraestructura actual. La Comisión de Cuenca del Río Hondo es una cuenca de tipo transfronterizo, de influencia para el Sur de Campeche y Quintana Roo. Es notorio observar que la participación de los municipios en el rezago en materia de agua potable y saneamiento se presentan fundamentalmente en aquellas UP en donde se concentran condiciones de marginación, y población indígena, generando violaciones importantes al derecho humano al agua en calidad y cantidad, como los municipios que se encuentran dentro de las UP del CampS (quien además recibe la menor cantidad de agua para uso público urbano), el QRooC, y en las UP YucS y YucO.

Muchos municipios carecen de capacidades técnicas, humanas, administrativas, económicas, financieras y ambientales, por lo que cada tres años, cuando se renueva la administración municipal se empieza de cero, no hay memoria acumulada. Hay una gobernanza hídrica desarticulada, que no genera procesos de corresponsabilidad en todos los órdenes de gobierno. Es notorio también ver que el menor rezago está asociado con las Unidades que albergan centros urbanos turísticos como Cancún, y urbanos administrativos, como Mérida y Campeche. Quienes además gozan de la mayor eficiencia en el saneamiento, particularmente Quintana Roo. Sin embargo, esto prevalece en la cabecera urbana, no así en las poblaciones dispersas, donde la marginación se eleva. La problemática hídrica, impactos y causas, presente en la Península de Yucatán puede resumirse en la forma en que se muestra en la Figura 128.

**Figura 128.** Problemática hídrica, impactos y causas





**Capítulo 2.**  
**Gestión Integrada del Agua**

México destaca por sus avances en materia de “Gestión integrada del recurso hídrico”, sobre todo porque ha logrado establecerlo en su marco jurídico y por ende institucionalmente. Como muestra de ello, está el desarrollo del Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán, cuyo propósito es, entre otros, el incorporar una mayor participación ciudadana que haga posible la gestión integrada del recurso hídrico. Los avances y resultados logrados por el Consejo de Cuenca son evidentes y alentadores, pero a la vez se detectan aspectos que se hace necesario corregir a fin de no detener la marcha.

Con la nueva cara ciudadana del consejo de cuenca y ante los cambios jurídicos que se avecinan ante la reforma al artículo 40 constitucional que introduce el derecho humano de acceso al agua, se esperan retos para los que habrán de prepararse, tanto los tres niveles de gobierno, como los distintos sectores usuarios y de la sociedad organizada que integran al consejo de cuenca.

De acuerdo con la LAN, la Gestión del Agua, se define cómo el proceso sustentado en el conjunto de principios, políticas, actos, recursos, instrumentos, normas formales y no formales, bienes, recursos, derechos, atribuciones y responsabilidades, mediante el cual coordinadamente el Estado, los usuarios del agua y las organizaciones de la sociedad, promueven e instrumentan para lograr el desarrollo sustentable en beneficio de los seres humanos y su medio social, económico y ambiental en tres áreas:

- El control y manejo del agua y las cuencas hidrológicas, incluyendo los acuíferos, por ende, su distribución y administración;
- La regulación de la explotación, uso o aprovechamiento del agua; y
- La preservación y sustentabilidad de los recursos hídricos en cantidad y calidad, considerando los riesgos ante la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extraordinarios y daños a ecosistemas vitales y al medio ambiente.

De la misma manera, se define a la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, como un proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra, los recursos relacionados con éstos y el ambiente, con el fin de maximizar el bienestar social y económico equitativamente sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales. Dicha gestión está íntimamente vinculada con el desarrollo sustentable. Para la aplicación de esta Ley en relación con este concepto se consideran primordialmente agua y bosque.

En el caso de la gestión del agua para cumplir los derechos de los pueblos indígenas se reconocen los usos y costumbres, el derecho a la tierra y los derechos de libre determinación, los derechos a la participación, a la consulta y al consentimiento previo libre e informado (PNH 2020-2024), entre otros. El PNH 2020-2024 contempla los derechos humanos de toda la población; bajo los principios de equidad de género, respeto, inclusión y no discriminación.

La gestión del agua implica considerar tanto la cantidad de agua disponible, como su calidad y su evolución en el tiempo, ya que toda reducción de flujo al mar implica modificación del balance de sales, con incremento de la salinidad. Su consideración es importante cuando existe recarga con aguas residuales o excedentes de riego, o es de esperar una gran dispersión en la zona de la interfase salina, y esto es particularmente importante para las UP CampC y CampN, YucN, YucO, QRooN, QRooC y QRooS.

Las diferentes alternativas de gestión que se han desarrollado históricamente se enfocan en dos modelos:

La gestión integrada del agua es el proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua y los recursos relacionados con ésta, con el fin de maximizar el bienestar social y económico sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales.

- Incrementar el bombeo permitiendo una mayor penetración de la cuña salina, reubicando si es preciso las captaciones. No se reduce completamente el flujo de agua dulce al mar, aunque pueden colocarse colectores costeros (como en el caso de Progreso y las regiones metropolitanas peninsulares, zonas muy urbanizadas).
- Permitir una profunda intrusión marina, extrayendo el agua dulce con numerosas captaciones de escasa profundidad y pequeño caudal. Se pierde gran capacidad de regulación y es preciso establecer embalses de superficie, el acuífero no soporta sobreexplotaciones temporales en épocas de secas o especiales sin que se produzca salinización (como la zona hortícola y ganadera cercanas a la costa norte de Yucatán, principalmente, en las UP YucN y YucO).

Sin embargo, existen otras opciones que han sido aplicadas en otras regiones o países que en la península han sido poco estudiadas y aplicadas, como:

- Establecer barreras de inyección costeras con agua propia (de reutilización) o bien con agua importada, una pequeña parte de la cual se perderá en el mar.
- Establecer depresiones de bombeo, pueden ser combinadas con barreras de inyección, dejando fluir cierta cantidad de agua dulce al mar o a los pozos de extracción de agua salada. Se logra colocando una línea de pozos de bombeo dentro de la cuña salina a lo largo de la costa, tal que intercepte todo el flujo de agua salada hacia el interior.
- Establecer barreras físicas, aunque este procedimiento aparece como técnica o económicamente inviable en muchos casos.
- Recarga artificial de agua importada o de aguas de reutilización con diferentes esquemas de recarga y bombeo.
- Reducción del bombeo si la explotación es superior a la recarga o bien, aunque no lo sea, produce una penetración de la cuña salina, puede reducirse el bombeo hasta que la posición de equilibrio sea la deseada. La reducción del bombeo supone encontrar un nuevo abastecimiento de agua a costos asequibles. Es importante señalar que no siempre es fácil establecer herramientas legales precisas para controlar y reducir los bombeos.
- Combinaciones de los anteriores esquemas.

## 2.1 El Consejo de Cuenca y su evolución

El Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán se estableció formalmente el 14 de diciembre de 1999 y actúa como órgano de coordinación y concertación entre los usuarios del recurso y los tres niveles de gobierno para la gestión integrada del agua (Araiza, 2012), que ha evolucionado y madurado significativamente, representando hoy la gran oportunidad para lograr la preservación del acuífero de la Península de Yucatán (Figura 129).

Asimismo, apoya a la autoridad del agua y sirve como foro para resolver controversias y proponer alternativas de mejoras al sector, a la vez que apoya la preservación de los recursos de la cuenca.

Pasar de una cultura de recepción de servicios a una de gestión integrada del recurso hídrico por cuenca hidrológica, implica una distribución de responsabilidades y la adecuación del papel que cumplen los distintos usuarios en dicha gestión. Por ello al Consejo de Cuenca se le ha conferido ser la instancia de coordinación y concertación entre las dependencias y entidades federales, estatales y municipales y los representantes de los usuarios de la cuenca hidrológica, que tiene como objeto el formular y ejecutar programas y acciones para la mejor administración de las aguas, el desarrollo de la infraestructura hidráulica y de los servicios respectivos y la preservación de los recursos de las regiones hidrológicas.

## 2.2 Estructura

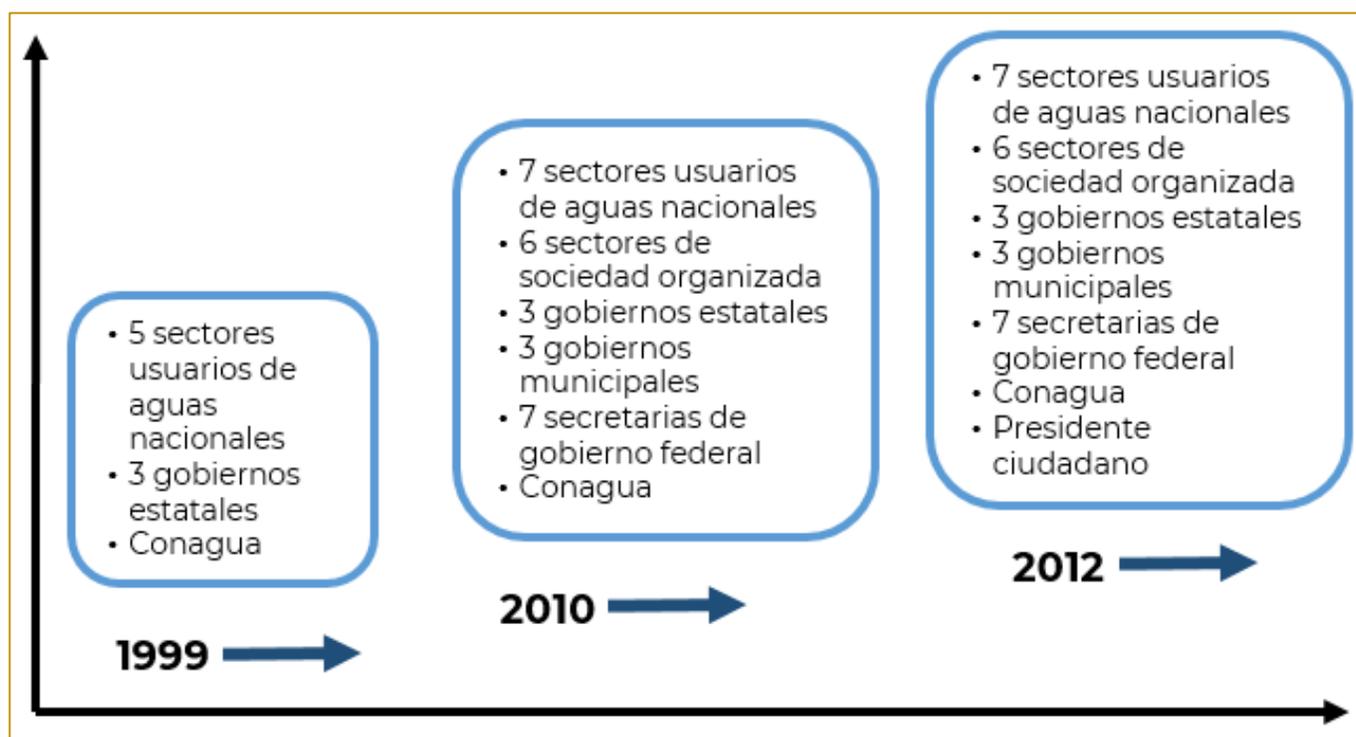
Al establecerse el Consejo de Cuenca en el año de 1999, inicio con un total de nueve integrantes, de los cuales cuatro fueron representantes gubernamentales y cinco representantes de sectores usuarios de aguas nacionales.

En sesión ordinaria, del 10 de diciembre de 2007 se acordó iniciar el proceso de “mejora”, aprobando la estructura perfeccionada en sus propósitos de representación el 27 de febrero de 2009, de manera que, a partir del 20 octubre 2011, el CCPY incluyó a los sectores acuícola, ambiental, indígena, equidad de género, academia e investigación, y a últimas fechas el sector joven, resultando su estructura (Figura 130) como sigue:

- Un Presidente.
- Un Secretario Técnico, que recae en el Director General del OCPY de la CONAGUA.
- Por los 3 Titulares de los Poderes Ejecutivos de los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán.
- Por 7 representantes del Gobierno Federal.
- Por 3 representantes de los Gobiernos Municipales de los tres estados de la PY.
- Por 18 representantes de los usuarios de aguas nacionales (Agrícola, Pecuario, Industrial, Servicios, Publico Urbano, Acuícola y Distritos de Temporal Tecnificado) y sociedad organizada (Forestal, Indígena, Equidad de Género, Ambiental, Joven) así como de Investigación y de la Academia.
- Por invitados, como Organizaciones No Gubernamentales (ONG), los principales organismos públicos estatales y municipales, representantes de organismos sociales, así como de investigación y de la academia.

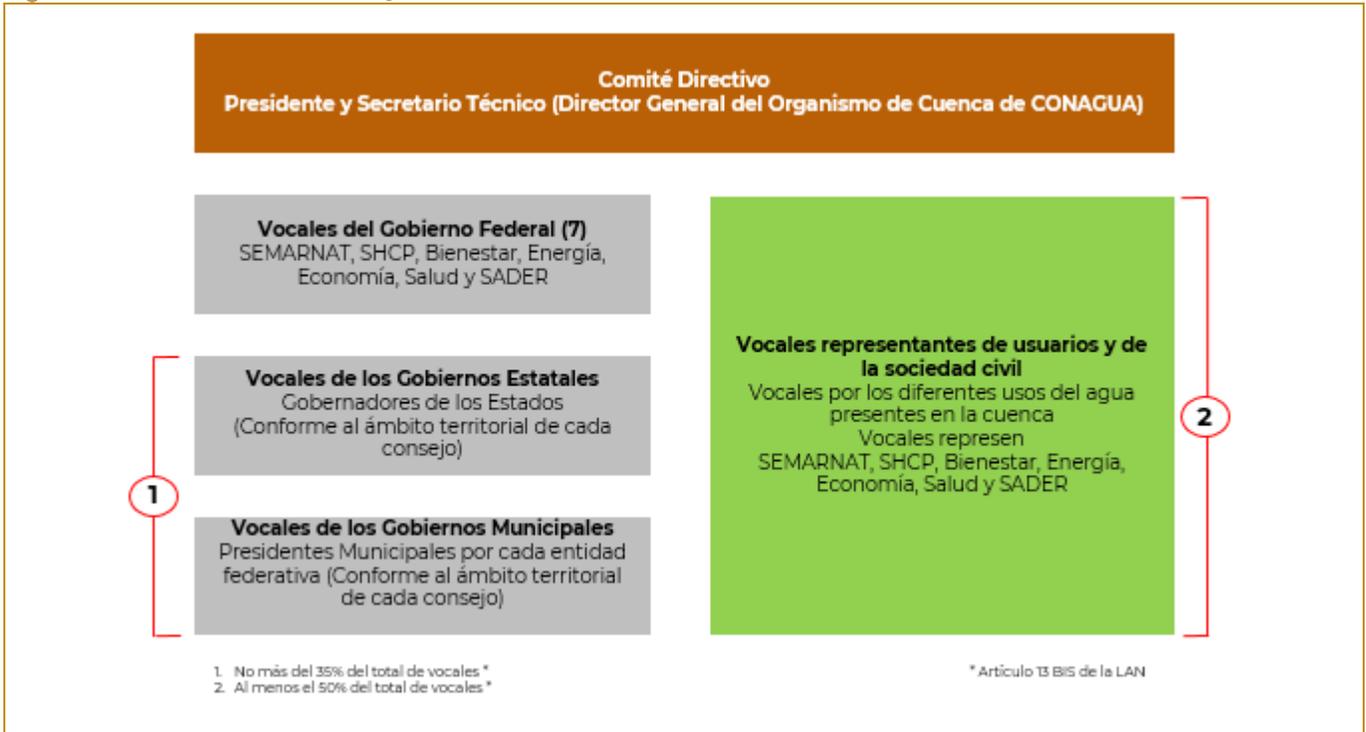
Al incorporar nuevos integrantes se alcanza un total de 33 integrantes, de los cuales 14 son representantes de los tres niveles de gobierno, otros 19 son representantes de sectores usuarios y de la sociedad organizada (Figura 131), cada uno de ellos con derecho a voz y voto incluyendo a el presidente, con voto de calidad.

**Figura 129. Evolución del Consejo de Cuenca Península de Yucatán**



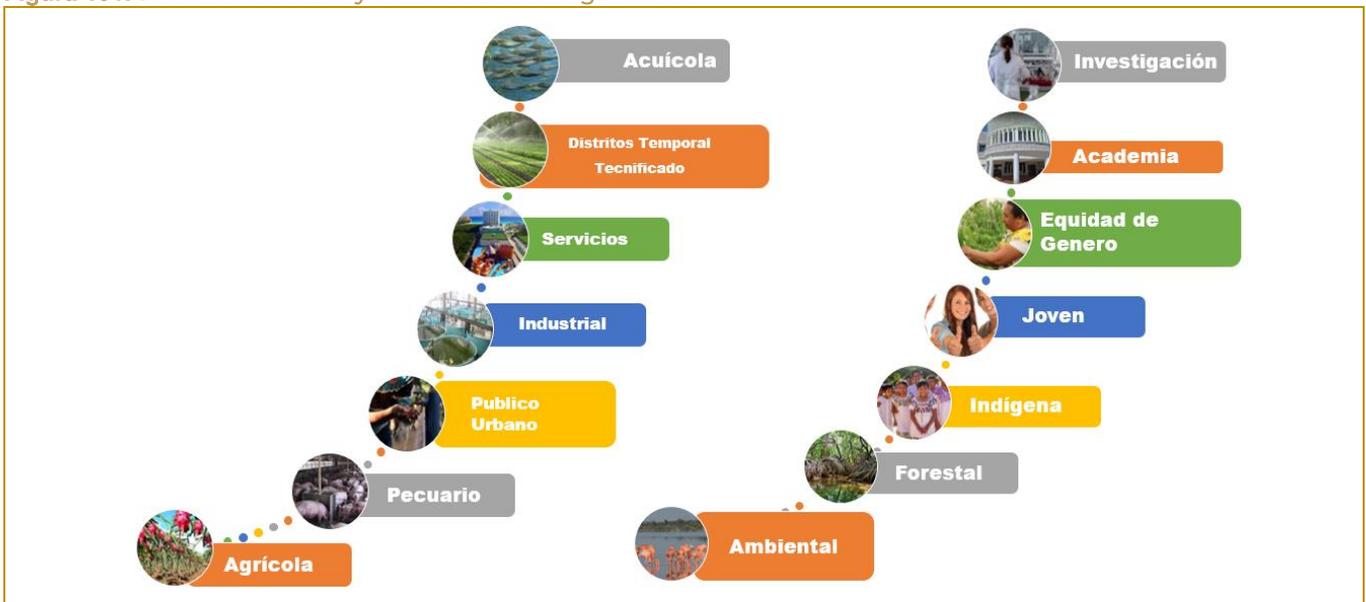
Entre vocales suplentes y propietarios, la suma es de 84 personas, de diversos espacios de actividad, de los cuales 42 son representantes usuarios de aguas nacionales y 30 representantes de la sociedad y 12 representantes de Academia e Investigación.

**Figura 130.** Estructura del Consejo Cuenca Península de Yucatán



Desde su creación, el consejo de cuenca estuvo presidido por el Director General de la CONAGUA. Fue hasta abril de 2012 cuando se somete por primera ocasión un proceso de elección para presidente del consejo de cuenca. Bajo un proceso totalmente abierto y democrático, con cinco candidatos inscritos buscando la presidencia del consejo, es que resulta electa por mayoría la primera mujer en presidir un consejo de cuenca en el país. Se puede entender la relevancia de este hecho al tomar en cuenta que, de los 26 consejos de cuenca que existían en ese entonces en el país, tan solo en siete (27%) ya contaban con un presidente ciudadano.

**Figura 131.** Sectores usuarios y de la sociedad organizada



Recientemente, durante el periodo de marzo a junio de 2021 se realizó en los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán, el proceso de renovación de los comités sectoriales y la elección de sus respectivos representantes para el período 2021-2024. Este proceso se caracterizó por la amplia y abierta convocatoria realizada a todas las organizaciones y personas que tuviesen interés en la gestión del agua. Además, la elección de los representantes en cada uno de los comités sectoriales se efectuó bajo un proceso democrático.

## 2.3 Órganos auxiliares y funcionales del Consejo de cuenca

El consejo de cuenca ha instalado, con el transcurrir del tiempo, distintos órganos auxiliares y funcionales, que le sirven para la atención de diversos temas relacionados con el agua y que han considerados como estratégicos, tales como el saneamiento, las playas, las zonas prioritarias como son el Río Hondo, Tulum, la zona conurbada de la ciudad de Mérida y para el Río Candelaria (Tabla 88).

El Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán en sus 22 años de trayectoria ha evolucionado, con avances y resultados evidentes y alentadores, pero a la vez se detectan aspectos que se hace necesario corregir a fin de no detener la marcha.

**Tabla 88.** Creación de Órganos Auxiliares

| Órgano Auxiliar  | Año de creación |
|--|-----------------|
| Comité de Cuenca de Solidaridad y Comité de Cuenca del Sistema Lagunar de Bacalar                      | 2015            |
| Comité Técnico Aguas Subterráneas área Metropolitana de Mérida y Comision de Cuenca del Río Candelaria | 2012            |
| Comité de Cuenca Tulúm   | 2011            |
| Comision de Cuenca del Río Hondo   | 2009            |
| Comités Locales de Playas Limpias  | 2003            |
| Grupos de Trabajo Especializado en Saneamiento   | 2001            |
| Consejo de Cuencas y Comités Sectoriales   | 1999            |

A continuación, se describen algunos de ellos:

Al considerar que en la Península de Yucatán el volumen de agua disponible es cuantioso, pero las características de su sistema hidrológico lo hacen muy vulnerable a la contaminación, se crearon en el año 2001 los Grupos Especializados de Trabajo en Saneamiento (GTES), uno en cada una de las entidades que integran la Región, asignándoles a éstos el objetivo de proporcionar al consejo de cuenca el apoyo técnico especializado que requiera en materia de saneamiento, para sustentar debidamente la toma de decisiones. Fueron integrados por representantes de los tres niveles de gobierno, así como por personalidades de la comunidad científica y académica. Desde el inicio de sus sesiones, se han analizado en ellas las características particulares que posee el acuífero de la Península de Yucatán, que de manera natural le hacen altamente vulnerable a la contaminación. Se ha sido consciente de que la falta de un drenaje sanitario apropiado ha propiciado la infiltración de las descargas residuales, especialmente en las cercanías de los principales centros de población. Se ha tomado en cuenta que este acuífero representa la fuente principal de abastecimiento de agua en la región; de ahí que las acciones de gestión y

concertación entre los tres niveles de gobierno para atender y resolver este grave problema se han enfocado principalmente al conocimiento detallado del sistema hidrológico y al diseño y construcción de sistemas, tanto de recolección de residuos líquidos, como de saneamiento.

En atención a la necesidad de establecer programas y acciones para mantener limpias las playas de México, se conformó el “Consejo Nacional de Playas Limpias” integrado por la Comisión Nacional del Agua y Secretarías de Turismo, Salud, Marina, Medio Ambiente y Recursos Naturales, el Banco Nacional de Obras y Servicios y la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. La principal función de este grupo es desarrollar y orientar la política de manejo, limpieza y control de las playas, así como evaluar sus resultados, para lo cual se puso en marcha el “Programa Playas Limpias”, el cual establece la creación de los “Comités de Playas Limpias”, integrados por los delegados o representantes de las dependencias que conforman el grupo a nivel nacional, así como los gobiernos estatales, Municipales, organizaciones no gubernamentales y representantes de los sectores involucrados.

Uno de los grandes patrimonios con que cuenta la Península de Yucatán son sus playas, ya que posee una longitud de 1,730 km (865 km en Q. Roo, 523 en Campeche y 342 en Yucatán) quienes destacan principalmente por sus atractivos turísticos. Por ello y ante la necesidad de emprender acciones para mantener limpias las playas de la Península de Yucatán, desde el año 2003 vienen operando seis comités de playas limpias (dos en Q. Roo, tres en Campeche y uno en Yucatán). Los Comités de Playas Limpias buscan promover el saneamiento de las playas, así como prevenir y corregir la contaminación para proteger y preservar las playas, respetando la ecología nativa y elevando la calidad y el nivel de vida de la población local y del turismo y la competitividad de las playas.

El 10 de marzo de 2009 se instaló la Comisión de Cuenca del Río Hondo con la finalidad de atender la problemática de saneamiento en la cuenca y en la Bahía de Chetumal, así como dar seguimiento al “Diagnóstico Integral para el Manejo del Agua en la Cuenca transfronteriza del Río Hondo México-Belice al año 2025”. En sus inicios trabajo únicamente en la parte de la cuenca que corresponde al estado de Quintana Roo y fue hasta el 31 de mayo del 2021 que este Órgano Auxiliar se reestructuró e incorporó a la parte del estado de Campeche, en específico al municipio de Calakmul que también forma la cuenca del Río Hondo correspondiente a la parte mexicana y de acuerdo a los límites establecidos en el DOF de fecha de 27 de mayo del 2016.

En atención al gran interés de diversas organizaciones no gubernamentales pro ambientalistas, quienes solicitaron la integración del Comité de Cuenca de Tulum, este fue instalado el 16 de junio de 2011, con la finalidad de atender la problemática de saneamiento del municipio de Tulum y aplicación del instrumento de gestión denominado “Plan de conservación Akumal-Tulum.

En el mes de agosto de 2012, los integrantes de la Comisión de Operación y Vigilancia del Consejo de Cuenca, de acuerdo a sus atribuciones y a solicitud del Grupo de Trabajo Especializado en Saneamiento de Yucatán, validaron la propuesta para la constitución del Comité Técnico de Aguas Subterráneas para la zona geohidrológica metropolitana de Mérida (COTASMEY). Con ello se reconoce la importancia de atender de manera colegiada y localmente la problemática de saneamiento del acuífero que subyace a esa zona metropolitana, centro urbano con mayor población en la península. Este comité se conforma por una asamblea integrada por los sectores: Público-Urbano, Industrial, Servicios, Pecuario, Academia, Investigación, Ambiental y Servicios recreativos del agua; así como un grupo técnico consultivo integrado, por parte del Gobierno del Estado de Yucatán, por las Secretarías de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente, Fomento Agropecuario y Pesquero, Política Comunitaria y Social, Fomento Turístico, Fomento Económico y Salud; el Indemaya, el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología y la Coordinación Metropolitana de Yucatán; los Municipios en el ámbito del COTAS, por parte del gobierno federal, la SEMARNAT, CONAFOR, CDI, SAGARPA, SEDESOL, SALUD, PROFEPA y Economía.

El 23 de octubre de 2015 la Comisión de Operación y Vigilancia del Consejo, aprobó la creación del Comité de Cuenca de Bacalar y fue el día 18 de noviembre de 2015, que se realizó la sesión de instalación del Comité de Cuenca del Sistema Lagunar de Bacalar, como un órgano auxiliar del Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán quedando integrado por representantes Gubernamentales del Orden Federal, Estatal y Municipal; academia e investigación; sociedad civil y sociedad organizada.

Derivado de la solicitud del presidente municipal de Solidaridad para crear su propio Comité, el 23 de octubre de 2015 la Comisión de Operación y Vigilancia del Consejo acordó impulsar la creación y fue hasta el día 18 de noviembre del 2015 que finalmente se instaló el Comité de Cuenca de Solidaridad como un órgano auxiliar del Consejo de Cuenca. En dicho acto rindieron protestas los representantes titulares de Instituciones Gubernamentales del Orden Federal, Estatal y Municipal; academia e investigación; sociedad civil y sociedad organizada.

De esta manera, actualmente el consejo de cuenca cuenta para su funcionamiento con los siguientes órganos:

1) Tres órganos funcionales:

- La Comisión de Operación y Vigilancia (Covi), el cual se encarga del seguimiento y evaluación del desempeño del Consejo de Cuenca, grupos de trabajo específicos y otros órganos especializados que requiera el Consejo de Cuenca para el mejor cumplimiento de su objeto.
- La Asamblea General de Usuarios (AGU), la cual está integrada por los representantes de los usuarios del agua de los diferentes usos y representantes de la sociedad. Cuenta con un presidente de asamblea y un secretario de actas.
- La Gerencia Operativa, que debe desarrollar funciones de carácter técnico, administrativo y jurídico de acuerdo a mandato de ley. Actualmente se encuentran inactivas 7 gerencias operativas por falta de recursos. Se formalizaron la creación de las gerencias operativas en el propio Consejo de Cuenca, en la Comisión de Cuenca del Río Hondo, Comisión de Cuenca del Río Candelaria, Comité Técnico de Aguas Subterráneas para la zona geohidrológica metropolitana de Mérida, Comité de Cuenca de Solidaridad, Comité de Cuenca de Tulum y Comité de Cuenca del Sistema Lagunar de Bacalar.

2) los siguientes 66 órganos auxiliares:

- Se cuentan con seis comités de playas limpias.
- Se tienen dos comisiones de cuenca de los ríos Hondo, en Quintana Roo, y Candelaria, en Campeche.
- Existen cuatro comités de cuenca Tulum, Solidaridad y Sistema Lagunar Bacalar en Quintana Roo y el Comité Técnico de Aguas Subterráneas para la Zona Metropolitana de Yucatán
- Adicionalmente se cuenta con 11 grupos, cada uno de los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán dentro de los que se encuentran con cuatro Grupos Especializados de trabajo (GET), en los que tratan temas muy específicos como lo son el de Saneamiento (GETS - 3), Educación, Comunicación y Cultura del Agua (GETECCA - 3), Humedales (GETHUM - 3), y el de Cambio Climático y Prevención de Desastres (GETCCYPD - 2).
- Finalmente, también se cuenta en cada uno de los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán con 14 Comités Estatales, por una parte, para los siguientes sectores usuarios de las Aguas Nacionales: agrícola, pecuario, industrial, servicios, público urbano, distrito temporal tecnificado y acuícola, así como, por otro lado, para los siguientes sectores de la sociedad organizada: forestal, indígena, equidad de género, ambiental, joven, academia e investigación.

Lo antes descrito es una muestra del gran ritmo de trabajo que viene realizando el consejo de cuenca, con una fuerte dinámica, en donde se vienen atendiendo diversos frentes considerados de interés estratégico, en búsqueda de avanzar hacia el buen uso y la preservación del recurso hídrico.

Al incorporarse nuevos órganos auxiliares y/o intensificarse la actuación de algunos de ellos se ha generado año con año un creciente número de reuniones, lo que ha requerido de un gran esfuerzo logístico y de planeación para todos los integrantes y participantes en el consejo de cuenca.

Cubren una amplia temática los diversos asuntos analizados en el consejo de cuenca. Se pueden señalar, entre otros, los siguientes temas que han sido abordados por los participantes y sobre los que se han acordado diversos compromisos:

- Planeación participativa para la formulación de programas de gestión de los órganos de gestión.
- Acciones para el saneamiento del recurso hídrico
- Mecanismos para la cobranza de los servicios de agua
- Financiamiento para las diferentes acciones
- Acciones de atención a contaminación por descargas (uso agrícola)
- Difusión de las acciones y misión del consejo de cuenca y sus órganos auxiliares
- Difusión de los mecanismos de participación
- Estímulos fiscales para el buen uso
- Planeación participativa y consulta a los diferentes niveles que han permitido tanto la actualización de la situación del agua a nivel regional, como ampliar la visión de la potencialidad para la acción de los diferentes involucrados.
- Monitoreo de calidad del agua

- Promoción para la certificación de playas.
- Revisión del marco jurídico y propuestas de modificación al mismo, tales como la disposición de residuos al subsuelo, la reglamentación del uso de plaguicidas y herbicidas se ha divulgado la normatividad en materia ambiental que aplica para los fraccionadores.
- Capacitación a representantes de usuarios y de la sociedad organizada
- Pago de servicios ambientales hidrológicos para la recarga del acuífero
- Proyecto de Ley Estatal de Aguas
- Desarrollo de estudios para el conocimiento del acuífero
- Medidas para el cuidado de Arrecife Mesoamericano
- Sistema de información geográfica de agua limpia
- Certificación de laboratorios de prueba
- Estudio diagnóstico para la cuenca transfronteriza del Río Hondo con Belice
- La realización de foros de investigación científica y de desarrollo tecnológico del sistema hidrológico para identificar los trabajos realizados, promover y fortalecer la vinculación interinstitucional, social y privada en el Estado, definir necesidades de investigación y desarrollo y promover espacios de intercambio académico entre investigadores, el sector social y privado para impulsar el cuidado de la cuenca hídrica.
- Foros sobre “conservación y manejo sustentable de cenotes en la Península de Yucatan” con el propósito fundamental de evaluar la problemática y amenazas sobre los cenotes del sistema acuífero de la Península de Yucatán para proponer acciones tendientes a su conservación, manejo y aprovechamiento sustentable.
- Participación en los foros estatales y regional para la construcción de la Agenda del Agua 2030.
- Reglas generales de integración, organización y funcionamiento del Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán.
- Plan rector en materia de agua para la protección, conservación y recuperación ambiental de la Península de Yucatán.
- Propuestas para modificar la NOM 001 sobre descargas de aguas residuales
- Coloquio de humedales de Quintana Roo
- Foros de Educación Ambiental en Quintana Roo
- Incorporar la Visión de la cuenca al arrecife en la actualización de instrumentos de gestión.

La participación de todos los integrantes ha sido enriquecedora para el consejo de cuenca. Por una parte, la participación de los usuarios y de la sociedad organizada, destacando entre ellos, los sectores académicos, investigación y ambiental, han sido el principal ingrediente. Por el otro lado, la participación de los diferentes órganos de gobierno ha sido permanente y de compromisos.

Todo lo antes expuesto, es muestra práctica de los avances en materia de gobernanza. Como fruto de ello, pueden citarse, entre otros hechos, la creación de órganos auxiliares, las reglas generales de integración, organización y funcionamiento del Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán, así como el contar con el Plan rector en materia de agua para la protección, conservación y recuperación ambiental de la Península de Yucatán.

Esta estructura proporciona las bases para actuar conforme a una gestión integrada del recurso hídrico.

Este Consejo de Cuenca, con el tiempo, ha instalado grupos más pequeños para tratar asuntos particulares, en ámbitos territoriales más pequeños, como subcuencas, micro cuencas o acuíferos, se impulsa que los Órganos Auxiliares (Comisiones de Cuenca o Comités de Cuenca o Comités Técnicos de Aguas Subterráneas) de los Consejos de Cuenca elaboren y aprueben sus propios programas de gestión, de modo que se refuerce la atención de la problemática hídrica a nivel local. Los Órganos Auxiliares del Consejo de Cuenca para la gestión de los recursos hídricos en la Península se presentan en la Tabla 89.

Los análisis de aproximación de este grupo son a nivel de la UP (definidas tomando en cuenta la geografía y temas administrativos). Hasta el 2021 solo se limitaba a un Municipio o microzona y además con más de un Órgano Auxiliar, como Solidaridad y Tulum, en la UP QrooN. Sin embargo, hay UP que no cuentan con un órgano Auxiliar, como el QRooC, CampN, CampS, YucO y YucS. En el caso de la Comisión de Cuenca del Río Hondo, está relacionado con temas de interés internacional por derechos de agua, es una cuenca transfronteriza y como tal es competencia de la CONAGUA y del Ejecutivo Federal. Sin embargo, esta puede integrarse en las UP QRooS y CampS, así como la Cuenca del Río Candelaria.

**Tabla 89. Órganos auxiliares por UP**

| Unidad de Planeación                 | Órgano Auxiliar   |
|--------------------------------------|---|
| <b>En el Estado de Quintana Roo:</b> |   |
| QRooC                                |   |
| QRooS                                | Comité de Cuenca del Sistema Lagunar de Bacalar.                                    |
|                                      | Comisión de Cuenca del Río Hondo  |
| QRooN                                | Comité de Cuenca de Solidaridad.<br>Comité de Cuenca de Tulúm                       |
| <b>En el Estado de Yucatán:</b>      |   |
| YucN                                 | Comité Técnico de Aguas Subterráneas de la Zona Metropolitana del Anillo de Cenotes |
| YucO                                 |   |
| YucS                                 |   |
| <b>En el Estado de Campeche:</b>     |   |
| CampC                                | Comisión de Cuenca de Río Candelaria.   |
| CampN                                |   |
| CampS                                |   |

De igual forma se han generado Grupos de Trabajo especializado, que trabajan a nivel estatal como:

- Grupo Especializado de Trabajo de Saneamiento, integrado en Yucatán, Campeche y Quintana Roo.
- Grupo de Trabajo en Tóxicos Peligrosos, integrado en Yucatán.
- Grupo Especializado de Trabajo de Humedales, integrado en Yucatán, Campeche y Quintana Roo.
- Grupo Especializado de Trabajo en Cambio Climático y Prevención de Desastres Yucatán, Campeche y Quintana Roo.
- Grupo Especializado de Trabajo en Educación, Comunicación, y Cultura del Agua de Yucatán y Quintana Roo.

Los análisis de aproximación de estos grupos hasta ahora son generales y atraviesan a las UP y tocan temas específicos, con aportaciones importantes. De igual forma la estructura Técnica Administrativa se complementa con los Comités de Playas Limpias de la Costa Norte de Yucatán, de Cancún Riviera Maya de Quintana Roo, de Costa Maya de Quintana Roo, de Campeche, de Champotón y el de Ciudad Del Carmen. Aquí el análisis de aproximación es a nivel micro, cierta playa dentro de alguna UP, en una localidad específica. En pocas ocasiones las playas integran todo el margen costero de la UP.

Como resultado del trabajo de estos Órganos Auxiliares y grupos especializados de trabajo se cuenta con 13 instrumentos para la gestión entre los que se mencionan:

- Programa de Gestión del Comité de Playas Limpias del municipio de Campeche.
- Programa de Gestión del Comité de Playas Limpias del municipio del Carmen, Campeche.
- Plan integral de saneamiento de la ciudad de Champotón y su zona costera.
- Plan de Acción para el Manejo Sustentable del Agua en Cancún y la Riviera Maya.
- Programa de Desarrollo Hídrico Sustentable de la Costa Maya, Quintana Roo.
- Programa de Gestión del Comité de Cuenca de Tulum.
- Programa de Gestión de la Cuenca del Río Hondo.

- Programa de gestión del Comité Técnico de Aguas Subterráneas para la zona Geohidrológica Metropolitana de Yucatán.
- Programa de gestión del Comité de Playas Limpias de la Costa Norte de Yucatán.
- Programa de Gestión del Comité de Cuenca de Solidaridad
- Programa de Gestión del Comité de Cuenca del Sistema Lagunar de Bacalar
- Programa de Gestión del Grupo Especializado de Trabajo en Humedales del Estado de Quintana Roo
- Programa de Gestión del Grupo Especializado de Trabajo en Educación, Comunicación y Cultura del Agua del estado de Quintana Roo

Todas estas instancias informan directamente en el pleno del Consejo de Cuenca, y los miembros y participantes invitados realizan preguntas o se dan por enterados. Son pocas las oportunidades de que existan intercambios y diálogos entre Órganos Auxiliares, Grupos Especializados y Comités de Playas Limpias, tanto a nivel de UP, como a nivel estatal. Por lo tanto, cada grupo trabaja desde su pequeño espacio sin lograr una visión integral de la complejidad hídrico y social, en cuanto a las relaciones entre la población, su desarrollo y el ambiente y disfrute de los servicios ambientales que brindan los ecosistemas, entre ellos, el agua. De ahí la importancia de aprovechar estas instancias y promover el intercambio de experiencias entre grupos para mejorar estos espacios de gobernanza.

## 2.4 Fortalezas del CCPY

En esta nueva era del consejo de cuenca, éste cuenta con un conjunto de fortalezas que le empujaron y le permitirá avanzar hacia el cumplimiento de sus propósitos. Como ejemplo de ellos, se mencionan a los siguientes:

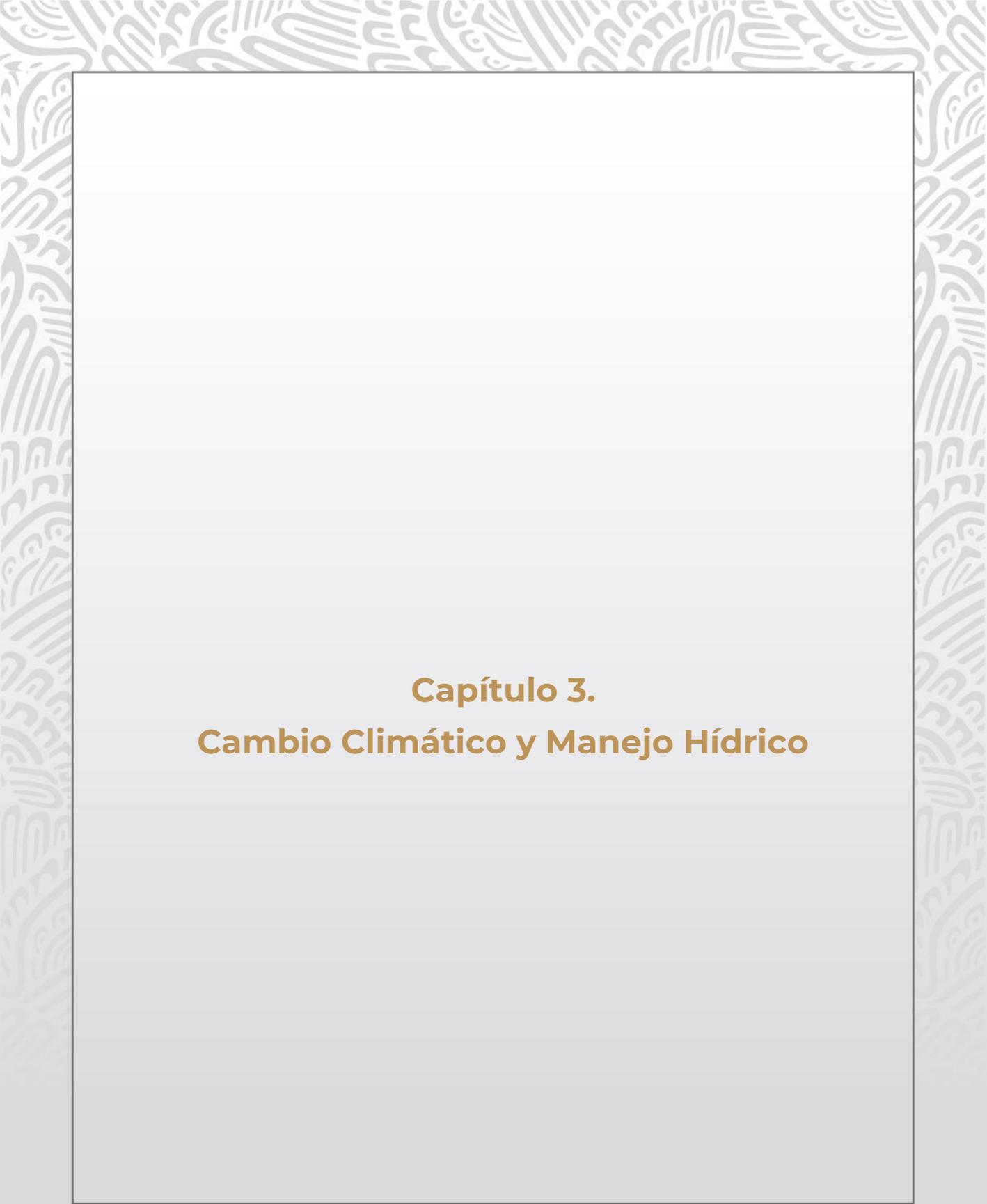
- Órganos auxiliares con amplia participación de usuarios y sociedad organizada
- Actores no gubernamentales con visión y compromiso
- Amplio diagnóstico del recurso hídrico
- Se cuenta con las reglas generales de integración, organización y funcionamiento del Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán
- El Plan rector en materia de agua para la protección, conservación y recuperación ambiental de la Península de Yucatán permite dirigir y coordinar la actuación del consejo de cuenca por los próximos 20 años
- Instrumentos de Gestión elaborados de manera participativa en de los diversos Órganos Auxiliares y Grupos Especializados de Trabajo
- Y Confianza de los integrantes al ser el consejo la instancia adecuada para promover la participación de la sociedad en la atención de la problemática hídrica.
- Experiencia de 22 años del consejo de cuenca

## 2.5 Debilidades y acciones de mejora del CCPY

A pesar de los avances logrados, se han hecho evidentes una serie de aspectos que se encuentran plenamente identificados y que frenan el quehacer del consejo de cuenca. En la Tabla 90 se mencionan los aspectos que se consideran actualmente como debilidades y se señala la respectiva propuesta de acción de mejora.

**Tabla 90. Debilidades y acciones de mejora**

| Debilidad   | Acción de mejora   |
|---|--|
| La representatividad es deficiente en algunos de los integrantes de los sectores usuarios y de la sociedad organizada del consejo de cuenca y sus órganos auxiliares.   | Procesos de elección más eficientes, que incluya padrones por sector más completos y/o la emisión de convocatorias.  |
| Hay desconocimiento de los roles que los integrantes deben desempeñar, situación que se presenta tanto a nivel de representantes gubernamentales, como en los representantes de usuarios y de la sociedad organizada. | Inducción al cargo y especificarlas en las propias reglas de organización y funcionamiento   |
| Incumplimiento a los programas de gestión   | Fomentar un mayor compromiso por parte de los responsables de cada una de las acciones y dar un seguimiento periódico de indicadores. Hacerlo vinculante con las instancias gubernamentales  |
| Pobre financiamiento para la operación del consejo de cuenca y las labores de gestión por parte de los integrantes  | Concertar mayor asignación de recursos públicos y/o de organizaciones no gubernamentales, debidamente calendarizados. Promover mecanismos apropiados de autofinanciamiento.  |
| Politización de temas   | Construcción de una agenda propia del consejo con temas o acciones debidamente sustentados   |
| Los tres niveles de gobierno no someten o concretan al interior del consejo sus acciones en materia hidráulica, solo las informan.  | Establecer el mecanismo para la concertación y validación de acciones en los órganos auxiliares.   |
| Desinformación sobre la actuación del consejo de cuenca   | Campaña de comunicación al interior del consejo de cuenca, así como a la sociedad en general. Promover resultados  |
| Incumplimiento de acuerdos  | Divulgar los acuerdos adoptados y dar seguimiento oportuno<br>Concertar acciones y responsabilidades, con metas e indicadores claramente definidos.  |
| No hay evaluación objetiva y clara del desempeño del consejo de cuenca  | Importante reactivar las gerencias operativas para seguimiento puntual<br>Establecer convenios colaborativos con sector academia para prestadores de servicio y contar siempre con una estructura de prestadores de servicio continuo y permanente para seguimiento a estos instrumentos de gestión. |
| Fortalecer el papel de liderazgo de la CONAGUA (intra e inter institucional)  | Al interior de la CONAGUA, tanto en su nivel central, regional y estatal:  |
|   | Motivar una mayor transversalidad  |
|   | Involucrar a las diversas áreas y mandos medios  |
|   | Inducir la concertación de programas de inversión al interior del consejo  |
|   | Informar sobre desempeño del consejo de cuenca   |



**Capítulo 3.**  
**Cambio Climático y Manejo Hídrico**

El cambio climático puede afectar los elementos clave de la gestión hídrica en la PY, como son la disponibilidad y calidad del agua, la infraestructura hidráulica y la capacidad de gobernanza del recurso hídrico. También impacta sistemas que dependen de la gestión del agua como la salud de la población, los medios de subsistencia y la salud de ecosistemas continentales y costeros. Aunque algunos de estos efectos ya generan daños y pérdidas en la PY, serán cada vez más intensos conforme las concentraciones de GEI en la atmósfera sigan aumentando.

Mientras que los impactos más fuertes del cambio climático no serán observados durante la vigencia de este instrumento de planeación, las acciones implementadas en los próximos cuatro años pueden influir en la manera en la que el cambio climático afecte a la PY en el futuro. Este PHR busca continuar con los esfuerzos para encaminar a la región hacia un futuro sustentable y resiliente donde, a pesar de los efectos del cambio climático, se pueda preservar el derecho al agua y a un ambiente sano al igual que la salud y el bienestar de los habitantes, particularmente de comunidades más marginadas y vulnerables.

En esta sección se expondrá la manera en la que el cambio climático puede afectar a los distintos sistemas asociados con el agua y el manejo hídrico en la PY. El entendimiento de los riesgos actuales y futuros mediante escenarios permitirá identificar cuáles son las acciones que se pueden implementar a corto plazo para prepararnos para enfrentar los efectos del cambio climático en la región.

Para generar dicho entendimiento a nivel regional y local, nos apoyamos en tres metodologías para el análisis. Primero, una consulta de la literatura científica y documentos de gobierno relevantes. Segundo, se llevó a cabo el análisis de datos estadísticos y geoespaciales para el análisis de los riesgos climáticos y la vulnerabilidad en la región. Y, tercero se llevó a cabo un proceso participativo enfocado en discutir tanto la vulnerabilidad como acciones de adaptación y resiliencia hídrica necesarias para la región. En dicho proceso se consultaron a más de 140 actores en nueve reuniones sobre cambio climático abiertas al público interesado, así como reuniones técnicas con los Consejos asesores de las ANP (Áreas Naturales Protegidas) y con FONATUR (Fondo Nacional de Fomento al Turismo). Además, se incluyeron preguntas sobre el cambio climático en un cuestionario virtual, sumando más de 350 participantes, para complementar el entendimiento de la problemática a distintas escalas y para distintos grupos en la región (indígenas, jóvenes, académicos, funcionarios, etc.). El registro de la participación en este proceso se puede encontrar en el Anexo 10.

### 3.1. Escenarios socioambientales y de cambio climático para la identificación de riesgos

Para identificar los riesgos hídricos derivados del cambio climático se realizó un análisis basado en el desarrollo de escenarios tanto de cambio climático como socioambientales para la región al 2050. Estos escenarios permiten entender los riesgos futuros mediante la interacción entre los efectos del cambio climático y las principales tendencias socioambientales para presentar un panorama que refleja la complejidad de la problemática. De este modo, se fortalece la gestión hídrica integral tomando en cuenta el cambio climático como un conductor junto con otras tendencias socioambientales que confluyen en un contexto de vulnerabilidad dinámica para la población, los ecosistemas y la infraestructura de la región.

La componente de cambio climático de los escenarios socioambientales se basa en el escenario RCP8.5, es decir, un futuro en donde las emisiones de GEI y sus consecuentes efectos en el sistema climático global continúan aumentando. Al enfocar el análisis en la cota superior de los efectos del cambio climático, se toma un principio precautorio, con el fin de diseñar medidas que preparen para el espectro más completo de riesgos futuros a pesar de la incertidumbre. Dichos efectos se resumen en la Tabla 91 y se integran en los análisis de riesgos hídricos presentados a continuación.

A continuación, se presentan los análisis realizados al año 2050 bajo el escenario RCP8.5 de distintos riesgos asociados al cambio climático que son de competencia de este instrumento y para los cuales se pueden diseñar e implementar actividades colectivas que contribuyan a enfrentarlos.

Los riesgos estudiados son: (a) la disminución en la disponibilidad de agua asociada a los cambios esperados en la precipitación y la temperatura en la región; (b) la salinización del acuífero asociada al aumento del nivel del mar; (c) el incremento de inundaciones asociado al incremento en la intensidad de huracanes; y (d) otros riesgos como el

incremento de enfermedades por vectores, la contaminación por sargazo y la disminución de rendimientos agrícolas.

### 3.1.1. Reducción de la disponibilidad de agua

La reducción de la disponibilidad de agua fue señalada en el proceso participativo como el segundo riesgo del cambio climático más prioritario, particularmente por los miembros de la comunidad científica de la región. La disponibilidad futura en la PY depende de los niveles de recarga de los acuíferos y de extracción social. La recarga de los acuíferos kársticos de la PY resulta de la precipitación menos la evapotranspiración. Los modelos de cambio climático proyectan una variabilidad en cuanto a la precipitación anual, aunque en promedio se estima una disminución de 39.4 mm/año lo que representa una reducción de aproximadamente 3% respecto a los valores históricos (Tabla 91). Por otro lado, todos los modelos de cambio climático proyectan un aumento de las temperaturas en la PY (Tabla 91) lo cual aumenta la evapotranspiración potencial (Edgar Rodríguez-Huerta et al., 2020). La combinación de estos dos efectos esperados tiene el potencial de generar una disminución en la recarga de los acuíferos de la PY de 48.7% al 2050 (Tabla 92).

**Tabla 91.** Resumen de escenarios GCM de cambio climático al 2050. Promedio con incertidumbre ( $\pm$ ).

| GCM                     | Instituto                                     | Ensamble | Período histórico | Diferencias RCP 4.5 con datos históricos |                               | Diferencias RCP 8.5 con datos históricos |                              |
|-------------------------|---|----------|-------------------|--|-------------------------------|--|------------------------------|
|                         |   |          |                   | T media (°C)                             | P (mm)                        | T media (°C)                             | P (mm)                       |
| GFDL_CM3                | Geophysical Fluid Dynamics Laboratory         | r1i1p1   | 1961 – 2000       | 2.28                                     | 74.0                          | 2.91                                     | 74.4                         |
| CNRM-CM5                | Centre National de Recherches Meteorologiques | r1i1p1   | 1961 – 2000       | 1.37                                     | -55.3                         | 1.81                                     | 7.5                          |
| HADGEM2-ES              | Met Office Hadley                             | ens      | 1961 – 2000       | 2.26                                     | -105.4                        | 3.10                                     | -93.5                        |
| MPI_ESM_LR              | Max-Planck Institute                          | ens      | 1961 – 2000       | 1.90                                     | -166.2                        | 2.49                                     | -146.1                       |
| <b>Promedio de GCMs</b> |   |          |                   | <b>1.95</b>                              | <b>-63.2</b>                  | <b>2.58</b>                              | <b>-39.4</b>                 |
|                         |   |          |                   | <b><math>\pm 0.43</math></b>             | <b><math>\pm 102.1</math></b> | <b><math>\pm 0.57</math></b>             | <b><math>\pm 99.1</math></b> |

**Fuente:** Elaboración propia mediante los escenarios de cambio climático para México en el horizonte medio del INECC (2015).

Los datos de base de recarga varían dependiendo del estudio (Tabla 93). Para el análisis a escala regional se utilizaron los datos publicados en el DOF y para el análisis a escala UP se usaron los datos de Bauer-Gottwein et al. (2011) por ser los únicos que utilizan dicha demarcación territorial. La variabilidad entre los datos de precipitación, recarga y DNC y su falta de actualización con una periodicidad que refleje la variabilidad anual que se ha observado en los últimos años señalan la necesidad de generar más estudios sobre el tema.

**Tabla 92.** Efectos del cambio climático en la recarga de aguas subterráneas en PY al 2050

| Método ETa       | GCM         | Porcentaje cambio vs. histórico (%) |          |
|------------------|-------------|-------------------------------------|----------|
|                  |             | RCP4.5                              | RCP8.5   |
| Conv.            | GFDL_CM3    | 15.80%                              | 15.40%   |
|                  | CNRM-CM5    | 47.70%                              | 31.40%   |
|                  | HADGEM2-ES  | 72.00%                              | 79.70%   |
|                  | MPI_ESM_LLR | 75.10%                              | 76.90%   |
| A2               | GFDL_CM3    | 11.70%                              | 9.70%    |
|                  | CNRM-CM5    | 42.50%                              | 26.50%   |
|                  | HADGEM2-ES  | 67.00%                              | 76.10%   |
|                  | MPI_ESM_LLR | 72.30%                              | 73.60%   |
| Promedio general |             | 50.50%                              | 48.70%   |
|                  |             | ± 27.20%                            | ± 30.00% |

Fuente: Elaboración propia, la metodología del Dr. Edgar Rodríguez Huerta que se detalla en el Anexo 10.

**Tabla 93.** Comparación de fuentes para la estimación de la recarga base y la presión sobre la disponibilidad

| Fuente                       | Recarga   | Descarga Natural Comprometida | Extracción | Presión sobre la disponibilidad |
|------------------------------|-----------|-------------------------------|------------|---------------------------------|
| DOF (2020)                   | 25 107.00 | 17 181.20                     | 4 880.76   | 61.60%                          |
| DOF (2011)                   | 25 107.00 | 17 181.20                     | 3 413.09   | 43.10%                          |
| Bauer-Gottwein et al. (2011) | 37 793.55 | 24 902.01                     | 4 616.46   | 35.80%                          |

Fuente: Elaboración propia con datos de SEGOB publicados en el DOF (2015, 2020) y de Bauer-Gottwein et al. (2011).

La extracción aumentará conforme incrementa la población, así como la actividad agrícola, turística e industrial. Al 2050 se proyecta un incremento en la población de la PY de 36% respecto al 2020 (CONAPO, 2018). Por efectos demográficos del Tren Maya se estimó un incremento de la población en la PY al 2050 de 64%<sup>1</sup> respecto al 2020 mediante los datos de ONU-Hábitat (2019). Para estimar la extracción social de agua del acuífero asociada a dicho aumento poblacional se implementaron tres modelos de correlación (Tabla 94).

Como se mencionó anteriormente la UP QRooN, según datos del REPDA (2020), se encuentra ya consumiendo agua destinada a la Descarga Natural Comprometida (DNC) correspondiente a la extensión territorial de la UP. Al 2050, cinco UP se podrían encontrar en condiciones de consumo de agua destinada a la DNC (Tabla 95) si se mantienen las tendencias actuales de extracción total anual por habitante. En particular, destaca la UP QRooN por las altas tasas de consumo de agua del sector turístico que podría llegar a extraer hasta cuatro veces más del agua disponible.

<sup>1</sup> ONU-Hábitat (2019) estimó la población en municipios con estación del Tren Maya al 2035. Para calcular los valores al 2050 de dichos municipios se utilizó la ecuación de *crecimiento poblacional compuesto* con las tasas de crecimiento poblacional estatal quinquenal de CONAPO (2018).

**Tabla 94.** Escenarios de consumo de agua en la PY al 2050 considerando efectos sobre la recarga del cambio climático bajo el escenario RCP8.5 y efectos demográficos del Tren Maya.

| Escenarios de consumo de agua  | Población | Recarga | Extracción social | Presión sobre la disponibilidad |
|--|-----------|---------|-------------------|---------------------------------|
| <b>A. Tasas de correlación 2020</b><br>Mismas tasas de consumo por habitante por UP en el 2050 que en el 2020 según datos del REPDA (2020).  | 8 254 977 | 19 388  | 7 224             | 110%                            |
| <b>B. Crecimiento moderado</b><br>Escenario desarrollado por Rodríguez-Huerta et al. (2019) que considera un crecimiento sigmoideal del consumo por habitante por ocupación por municipio.                       |           |         | 6 960             | 106%                            |
| <b>C. Escenario BAU</b><br>Escenario desarrollado por Rodríguez-Huerta et al. (2019) que considera un crecimiento sostenido del consumo por habitante con las tasas de crecimiento por municipio de 2005 a 2017. |           |         | 17 422            | 264%                            |

**Fuente:** Elaboración propia datos de población estimados mediante CONAPO (2018) y ONU-Hábitat (2019) y datos de recarga estimados por Rodríguez-Huerta mediante la metodología que se encuentra en el Anexo 10. **Nota:** la extracción de agua salobre no es considerada en este estudio.

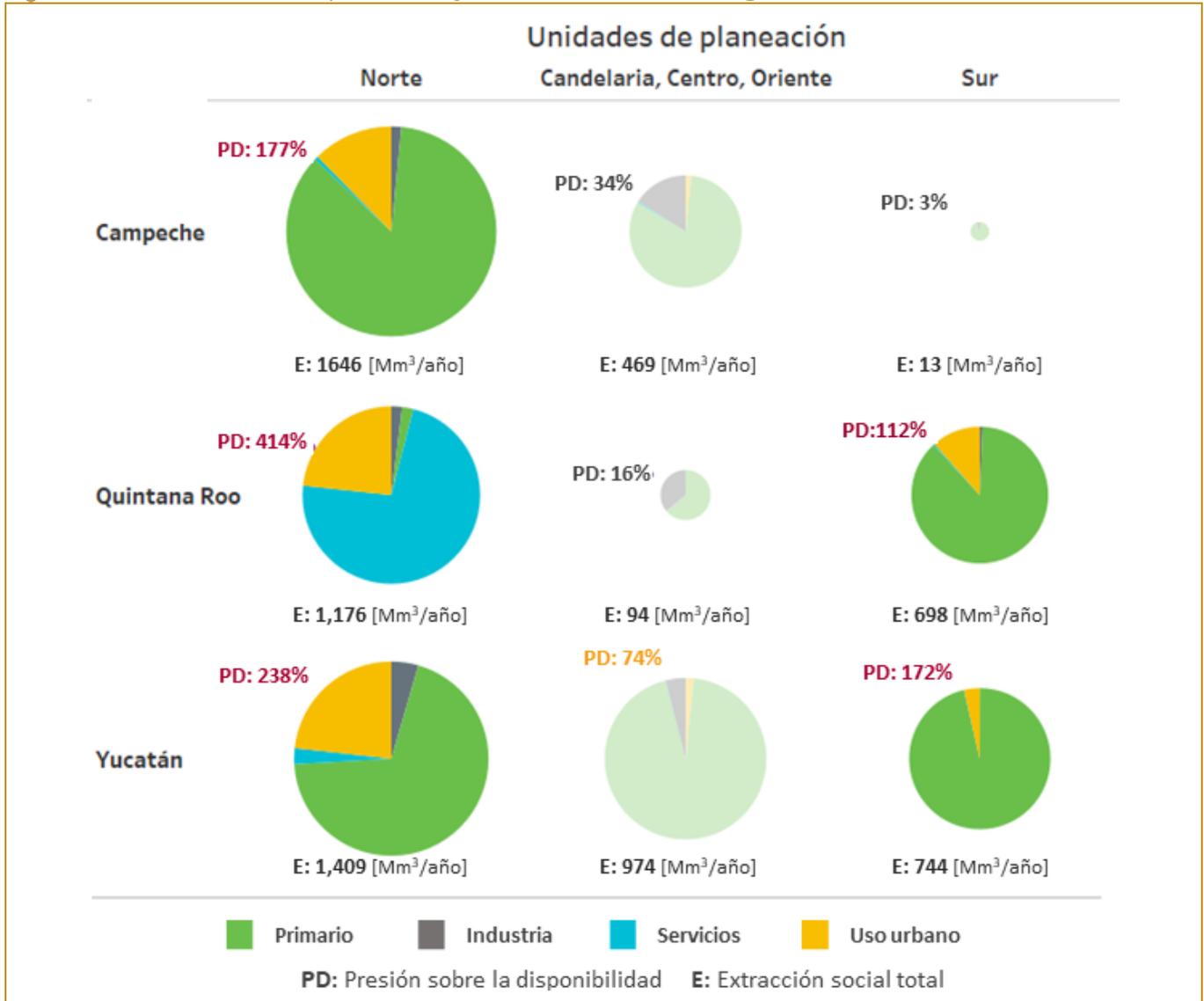
**Tabla 95.** Escenario de la disponibilidad de agua subterránea al 2050 bajo efectos del cambio climático en el escenario RCP8.5 y el desarrollo del Tren Maya en Mm<sup>3</sup>/año.

| UP                             | Población        | Recarga       | DNC           | Disponibilidad total | Extracción anual | Disponibilidad media | Presión sobre disponibilidad total % |
|--------------------------------|------------------|---------------|---------------|----------------------|------------------|----------------------|--------------------------------------|
| CampN                          | 951 397          | 2 729         | 1 801         | 928                  | 1 646            | -719                 | 177%                                 |
| CampC                          | 610 465          | 4 094         | 2 702         | 1 392                | 469              | 923                  | 34%                                  |
| CampS                          | 59 559           | 1 286         | 849           | 437                  | 13               | 424                  | 3%                                   |
| QRooN                          | 2 361 418        | 835           | 551           | 284                  | 1 176            | -892                 | 414%                                 |
| QRooC                          | 242 791          | 1 743         | 1 151         | 593                  | 94               | 499                  | 16%                                  |
| QRooS                          | 634 041          | 1 824         | 1 204         | 620                  | 698              | -77                  | 112%                                 |
| YucN                           | 2 599 627        | 1 742         | 1 150         | 592                  | 1 409            | -817                 | 238%                                 |
| YucO                           | 499 479          | 3 866         | 2 552         | 1 314                | 974              | 340                  | 74%                                  |
| YucS                           | 296 200          | 1 269         | 837           | 431                  | 744              | -312                 | 172%                                 |
| <b>Total</b>                   | <b>8 254 977</b> | <b>19 388</b> | <b>12 796</b> | <b>12 796</b>        | <b>6 592</b>     | <b>7 224</b>         | <b>110%</b>                          |
| <b>Cambio respecto al 2020</b> | <b>64%</b>       |               |               | <b>-48.70%</b>       | <b>62%</b>       | <b>-108%</b>         | <b>216%</b>                          |

**Notas:** Datos de población al 2050 proyectados mediante CONAPO (2021) y efectos demográficos del Tren Maya de ONU Habitat (2020); Datos de recarga total proyectados mediante línea base de Bauer-Gottwein et al. (2011) y metodología de cálculo de la disminución de recarga de Rodríguez-Huerta et al. (2020b); Se considera que la DNC se mantiene como la misma proporción de la recarga total de CONAGUA (2015). Los volúmenes de extracción se estimaron mediante el escenario de extracción A (Tabla 95). Como se puede observar en la Figura 132, el consumo de agua en la agricultura es el principal causante del consumo de agua de la DNC futura del recurso en tres UP. En la UP QRooN el uso para servicios, como hoteles, campos de golf, centros deportivos entre otros, sería el principal responsable de un consumo de agua de la DNC que excede el 266% del agua disponible futura. En estos escenarios de presión sobre la disponibilidad pueden presentar riesgos de salinización, escasez, incremento de concentraciones de contaminantes y desecación y salinización de humedales entre otros asociados al consumo de agua de la DNC local. Por lo tanto, una planeación hídrica que considere los efectos del cambio climático y las tendencias demográficas es imperativa para evitar riesgos sociales, ambientales y económicos derivados de la extracción excesiva de agua.

Además, por la dinámica de flujos de agua subterránea en la PY, el consumo de agua de la DNC en una UP también puede generar consecuencias sociales y ambientales en UP vecinas. Esta interconexión refuerza la necesidad de una visión regional integrada, tanto de la problemática como de la planeación y gestión hídrica, en un contexto de cambio climático.

**Figura 132.** Presión sobre la disponibilidad y distribución de usos del agua al 2050.



**Nota:** Considerando efectos del cambio climático y el Tren Maya.

**Fuente:** Elaboración propia con valores de extracción del Escenario A (Tabla 91), estimaciones de crecimiento poblacional de CONAPO (2020), efectos demográficos del Tren Maya de ONU Hábitat (2020) y estimaciones de la reducción de la recarga de Rodríguez-Huerta (Anexo 10).

Con el fin de identificar la sensibilidad de la disponibilidad futura a los forzantes socioambientales incluidos en este análisis, se calculó la presión sobre la disponibilidad bajo cuatro combinaciones de efectos considerados (Tabla 96). Se puede observar que la disminución de la recarga por efectos del cambio climático es la principal causa del incremento de la presión sobre la disponibilidad futura. Esto refuerza la necesidad de profundizar en la investigación sobre la recarga en un contexto de cambio climático para incorporarla en la planeación hídrica. Otras necesidades

de investigación sobre el tema son la relación entre el cambio de uso de suelo y la recarga en suelo kárstico, así como los efectos locales del consumo de agua destinado a la DNC en las UP. Estas acciones se desarrollan en el Capítulo 5 como una de las ocho actividades colectivas de gestión hídrica regional.

**Tabla 96.** Análisis de sensibilidad de la recarga al 2050 a efectos socioambientales sobre la recarga y extracción

| Efectos considerados |           | Recarga | Extracción | Presión sobre la disponibilidad |
|----------------------|-----------|---------|------------|---------------------------------|
| Cambio climático     | Tren Maya |         |            |                                 |
| X                    | X         | 19 388  | 7 224      | 110%                            |
| X                    | O         | 19 388  | 6 141      | 93%                             |
| O                    | X         | 37 794  | 7 224      | 56%                             |
| O                    | O         | 37 794  | 6 141      | 48%                             |

**Fuente:** Elaboración propia con datos de recarga base de Bauer-Gottwein (2011). **Nota:** Los efectos considerados están señalados mediante la letra X, los efectos que no se consideran en cada análisis están señalados por la letra O.

### 3.2. Salinización del acuífero

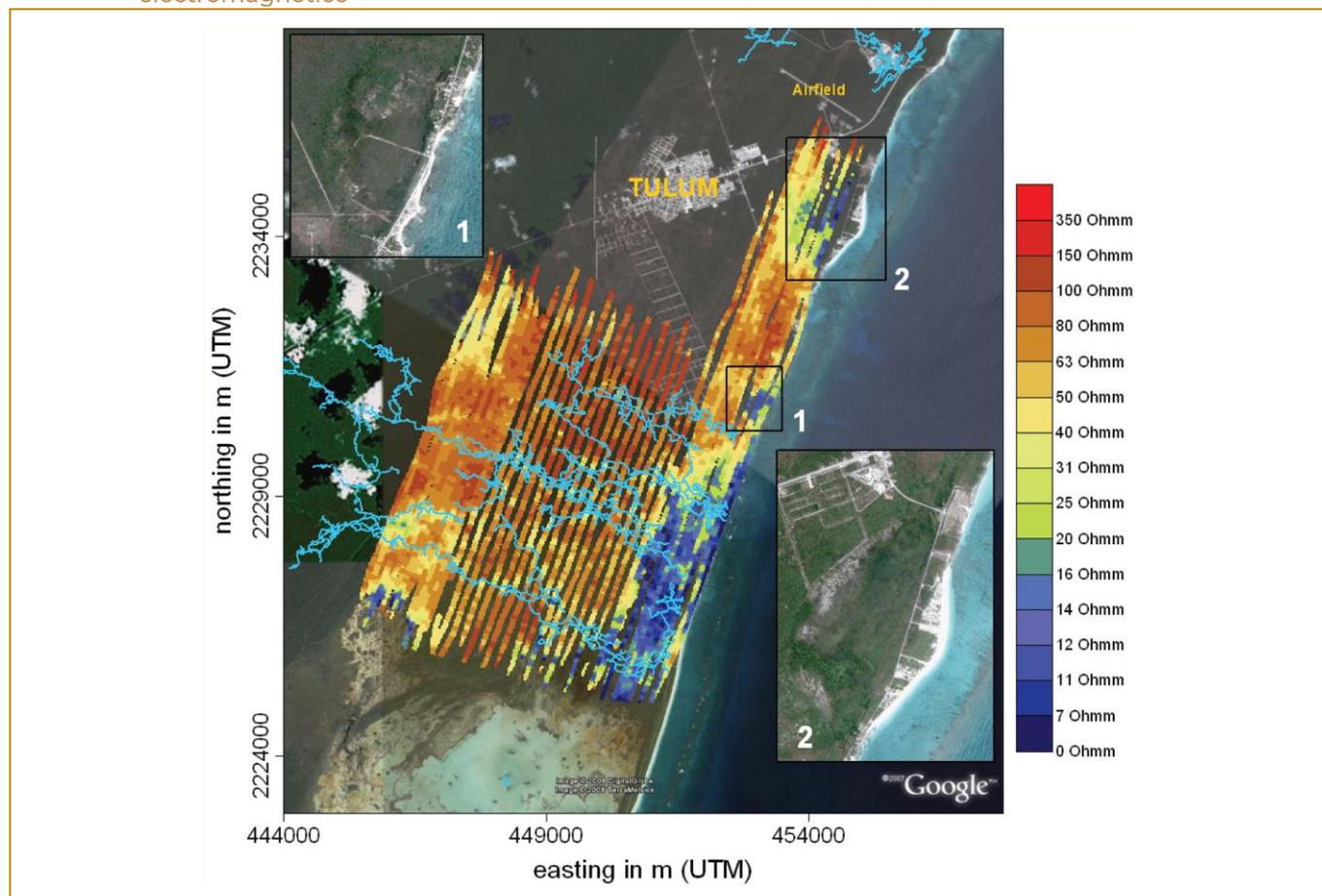
La disponibilidad de agua no sólo depende de la cantidad de agua sino también de su calidad. Las características de los acuíferos costeros de la PY lo hacen particularmente vulnerable a la intrusión salina, particularmente por su alta permeabilidad y bajo gradiente hidráulico (Canul-Macario, 2020). Desde el 2015, los acuíferos Península de Yucatán e Isla de Cozumel (3105 y 2305 respectivamente) se consideran con intrusión salina (CONAGUA, 2020). Conforme aumente el nivel medio del mar, aumente la intensidad de huracanes y disminuyan los niveles freáticos, esta problemática se intensificará vulnerando el derecho al agua potable zonas costeras de la PY. Esta problemática del cambio climático fue la segunda más priorizada en el proceso participativo.

Bajo escenarios de cambio climático RCP8.5, Canul Macario (2020) estimó que al 2060 hasta a 15 km de la costa no será posible encontrar agua subterránea potable (con una salinidad inferior a 5 g/l) en algunas zonas de Yucatán como se muestra en la Figura 133. Aunque el estudio de Canul-Macario (2020), solo fue realizado en una zona específica de la costa de la PY, sus resultados se pueden usar como un indicador de los riesgos futuros en otras zonas del acuífero kárstico de la PY. Sin embargo, es importante señalar que es necesario realizar más estudios en la materia e incrementar el monitoreo para reducir la incertidumbre y poder diseñar acciones efectivas para atender la problemática.

Por otro lado, este estudio no considera los cambios en los niveles freáticos asociados a la extracción excesiva o a la disminución de la recarga los cuales pueden aumentar las concentraciones de sal y también facilitar la penetración de la cuña marina. Además, Canul-Macario (2020) considera escenarios de aumento del nivel del mar conservadores y con una posible subestimación derivada de no tomar en cuenta efectos de retroalimentación que podrían acelerar drásticamente el derretimiento y por lo tanto generar un aumento del nivel del mar mayor a los publicados por el IPCC (Garner et al., 2018; Hansen et al., 2005; Sweet et al., 2017). Por estas razones se podría esperar que la salinización del acuífero se presente a distancias mayores a las estimadas por Canul-Macario (2020) en algunas zonas de la PY.

Esta problemática ya ha sido observada en otras zonas de la PY en estudios aéreos electromagnéticos realizados por el Servicio Geológico de Austria y Amigos de Sian Ka'an al sur de Tulum, muestran que, en las cercanías de la costa, al este de la Fractura de Holbox, las resistividades eléctricas del subsuelo son relativamente bajas por la presencia de roca saturada por agua salada (Zona marcada en tonos azules en la Figura 133). Así mismo, tierra adentro, más allá de la fractura de Holbox, las resistividades eléctricas son relativamente altas al tenerse rocas saturadas de agua dulce (Zona marcada en tonos naranja en la Figura 133, o incluso cavidades y roca secas. Las bajas resistividades eléctricas en la costa (Figura 133, recuadros 1 y 2) parecen indicar fenómenos de intrusión salina en el acuífero (Supper, et al. 2009). Se requiere realizar modelos más detallados para comprender la intrusión salina actual e, incluso, desarrollar modelos de la afectación salina del acuífero por probables elevaciones en el nivel del mar debido al cambio climático.

**Figura 133.** Mapeo del acuífero a partir de las mediciones de resistividad eléctrica por medio de un estudio aéreo electromagnético



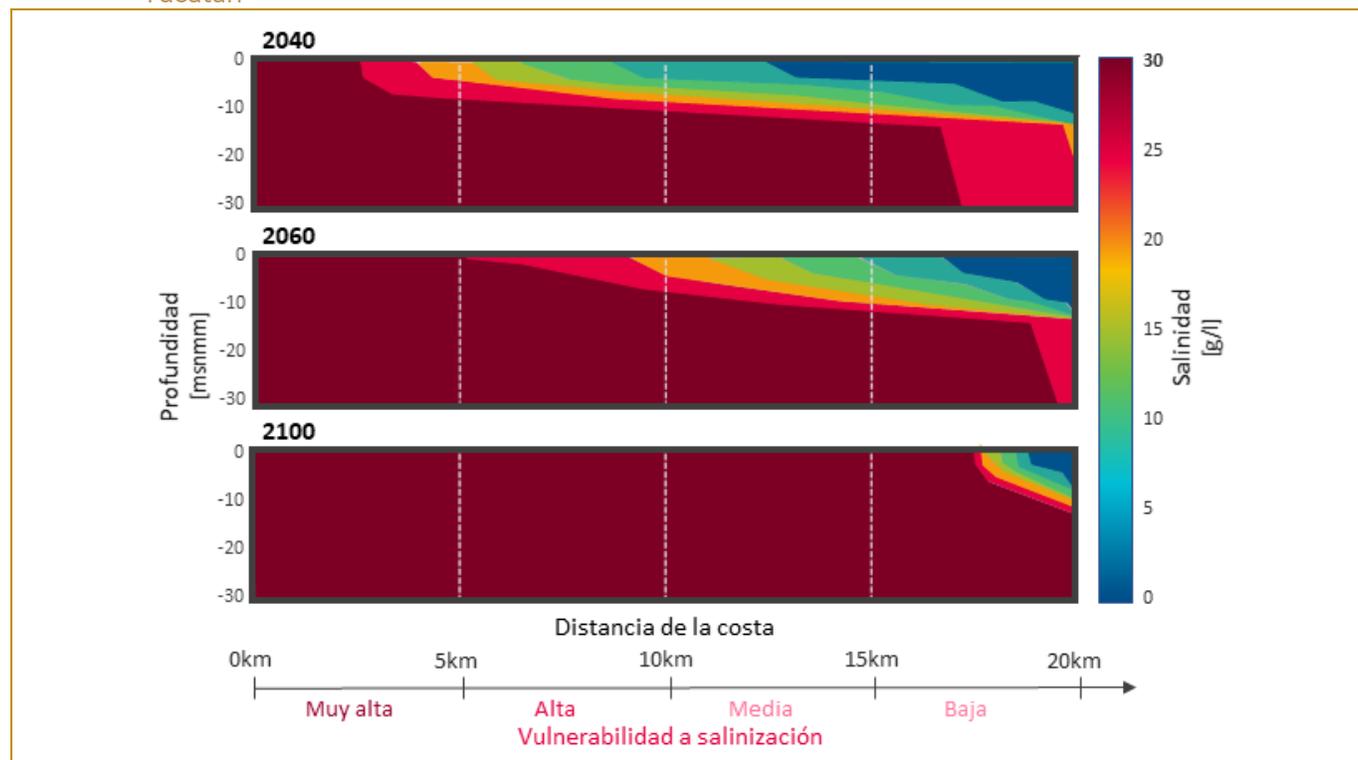
**Nota:** Los tonos azules representan una menor resistividad eléctrica, los rojos, la mayor. Los tonos azules en la costa, incluyendo al Parque Nacional Tulum (recuadro 2) podrían deberse a intrusión salina.

**Fuente:** Supper et al. (2009).

Para señalar los riesgos potenciales de la salinización costera en la PY, se identificaron cuatro zonas de vulnerabilidad a la salinización en toda la PY para la extracción de aguas subterráneas bajo un escenario de cambio climático RCP8.5 al 2050 (Figura 134). Se observa que, a nivel peninsular, el 19% del agua concesionada presenta una vulnerabilidad **alta** o **muy alta** a la salinización. Particularmente, el 94% del agua destinada a servicios y el 13% del agua destinada a el consumo urbano se extraen a menos de 10km de la costa y por lo tanto está en riesgo de salinización. Esto implicaría un aumento del precio del agua derivado de las necesidades de desalación o de transporte el agua de mayores distancias tierra adentro. Para comunidades costeras, especialmente comunidades marginadas e indígenas, esta problemática puede implicar serios problemas de derechos humanos que deberán ser previstos, monitoreados y atendidos.

La UP QRooN que ya se encuentra extrayendo agua destinada a la DNC y que, como se muestra en la Tabla 97, al 2050 podría extraer hasta 326% más del agua disponible, representa un caso especial de riesgo a la salinización costera. La posible disminución en los niveles freáticos costeros asociada al CADNC y la disminución de la recarga, podría incrementar drásticamente la penetración de la cuña marina poniendo en riesgo el 18% de su suministro de agua para uso urbano y el 98% de su suministro para servicios en la UP QRooN. Esta problemática deberá ser estudiada con mayor profundidad para diseñar acciones preventivas de reducción de consumo, reinyección de aguas tratadas o infraestructura de desalinización entre otras en esta UP.

**Figura 134.** Penetración de la cuña salina bajo escenario de cambio climático RCP8.5 para la costa norte de Yucatán



Fuente: Gráfico modificado de Canul-Macario (2020).

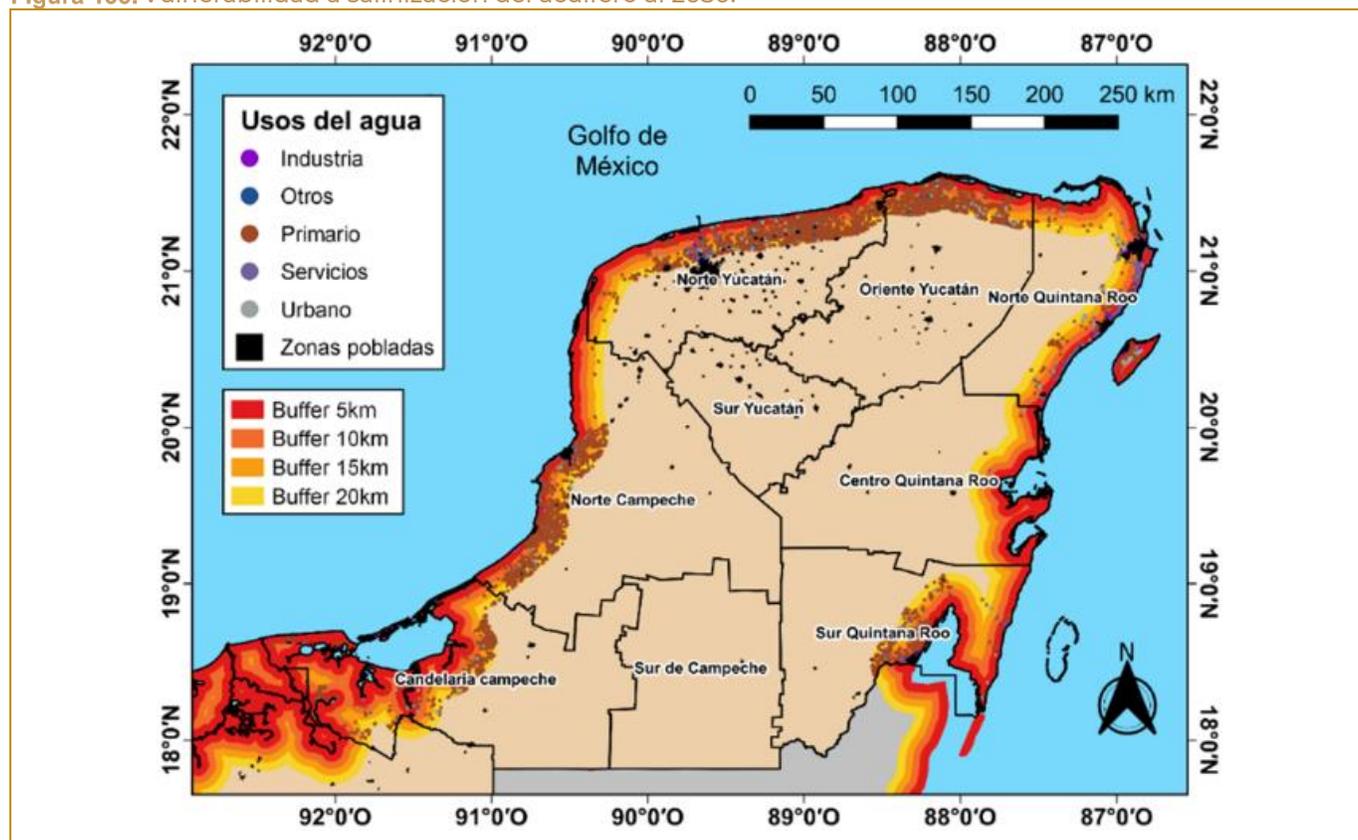
**Tabla 97.** Porcentaje del volumen concesionado en condiciones de vulnerabilidad muy alta y alta a salinización (<10km de la costa) al 2050 bajo el escenario de cambio climático RCP8.5

| UP           | Total      | Primario  | Industria  | Servicios  | Urbano     |
|--------------|------------|-----------|------------|------------|------------|
| CampN        | 16%        | 11%       | 99%        | 94%        | 43%        |
| CampC        | 5%         | 5%        | 26%        | 95%        | 2%         |
| QRooN        | 81%        | 20%       | 53%        | 98%        | 18%        |
| QRooC        | 0%         | 0%        | 0%         | 3%         | 0%         |
| QRooS        | 3%         | 1%        | 41%        | 63%        | 9%         |
| YucN         | 4%         | 5%        | 4%         | 3%         | 1%         |
| YucO         | 3%         | 3%        | 1%         | 0%         | 1%         |
| <b>TOTAL</b> | <b>19%</b> | <b>5%</b> | <b>28%</b> | <b>94%</b> | <b>13%</b> |

Fuente: Elaboración propia mediante datos del REPDA (2020) y escenarios de salinización de Canul-Macario (2020).

Otro riesgo asociado a la intrusión salina es para los ecosistemas costeros que ya se encuentran presionados por el cambio de uso de suelo y la contaminación. Diversos estudios y observaciones señalan la pérdida de especies de flora y fauna asociados a un incremento en la salinidad de humedales, reduciendo sus servicios ecosistémicos y de resiliencia poniendo en riesgo a comunidades costeras y comprometiendo valiosos ecosistemas para la salud de nuestros océanos (Oppenheimer et al., 2019).

Figura 135. Vulnerabilidad a salinización del acuífero al 2050.



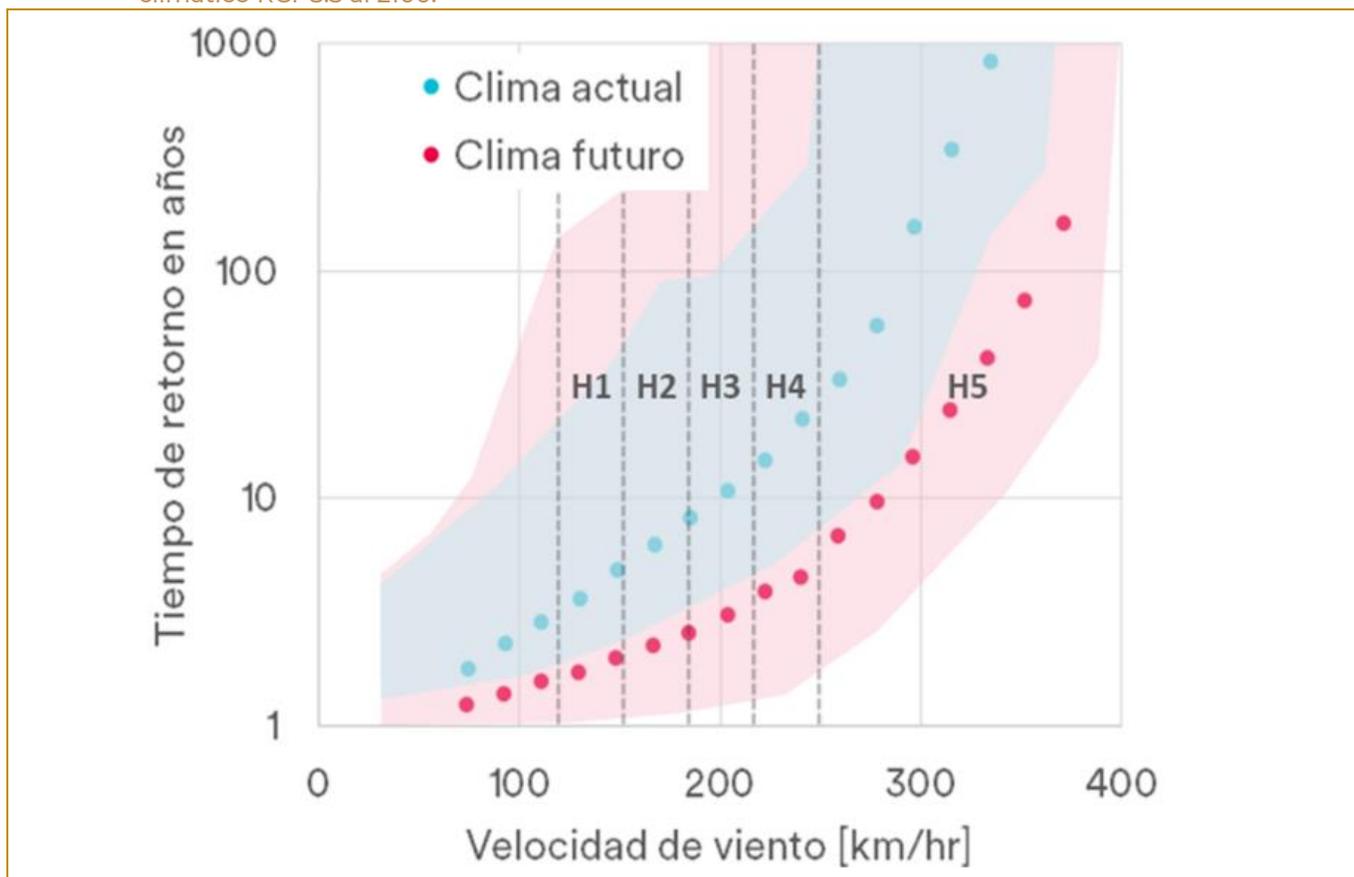
Fuente: Elaboración propia mediante estimación de la salinización costera bajo RCP8.5 de Canul-Macario (2020) y de los datos de extracción según el REPDN (2020).

### 3.3. Aumento de inundaciones

Debido a cambios en los niveles de energía del sistema climático y cambios en las corrientes marítimas y de viento, se espera que la frecuencia e intensidad de los huracanes y tormentas incremente en la PY. Appendini et al. (2019) proyectan el impacto de al menos un huracán categoría 5 cada 10 años hacia finales de siglo en la PY, lo cual se alinea con las proyecciones a nivel global (Knutson et al., 2010). Esta tendencia ya ha sido observada en los últimos años, generando cada vez más daños por inundaciones y vientos extremos (SEMARNAT 2013). La temporada de huracanes del año 2020 ilustra esta tendencia al ser la temporada más activa en el Atlántico en el registro histórico con 44 huracanes y tormentas de los cuales 7 alcanzaron categoría tres o más (NOAA, 2020) y cuya precipitación generó en la PY los niveles freáticos más altos en el registro. Aunque los modelos de cambio climático proyectan una reducción en la precipitación promedio como se menciona en la sección anterior, también se espera un aumento en la variabilidad interanual, alternando periodos de sequía con periodos de precipitación extrema (Appendini et al., 2019; Oppenheimer et al., 2019). En promedio, los participantes del proceso participativo identificaron este efecto como el principal riesgo del cambio climático para la PY.

En el tema de inundaciones, la mayor parte de los participantes en el proceso participativo de este estudio mencionaron problemáticas relacionadas con la salud y seguridad humana durante inundaciones. Particularmente, se mencionaron los riesgos para asentamientos humanos irregulares o en zonas de alto riesgo que no respetaron el ordenamiento territorial o que no están debidamente identificadas como zonas de riesgo. Se destacó también la falta de capacidades de gobiernos y de la población en general para prevenir y atender desastres.

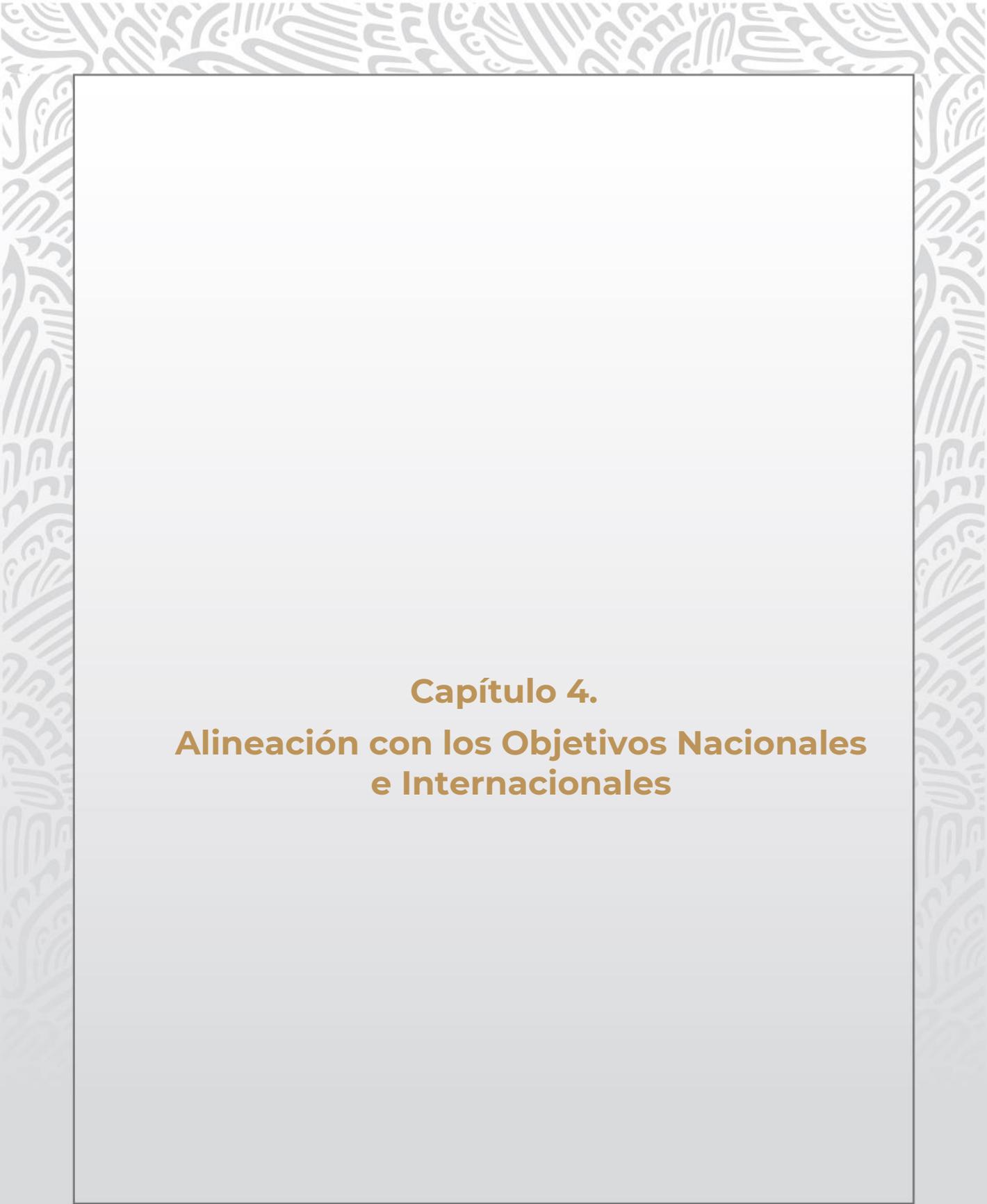
**Figura 136.** Periodos de retorno de vientos máximos de huracanes en la PY considerando escenarios de cambio climático RCP8.5 al 2100.



**Nota:** El huracán Wilma de 2005 es uno de los más intensos en el registro de la PY y alcanzó vientos de 295km/hr.

**Fuente:** Gráfica modificada de Appendini et al. (2019). Categorías de huracanes (H1 a H5) según la escala Saffir-Simpson.

En el proceso participativo se mencionaron también problemáticas que ponen en riesgo el acceso al agua potable durante y después de eventos extremos como plantas de agua y de tratamiento destruidas por inundaciones, daños a pozos, interrupción de la electricidad en estaciones de bombeo y potabilización, entre otros. Se mencionaron también situaciones que generan contaminación del manto freático u otros cuerpos de agua por arrastre de basura, afloramiento de aguas residuales o por el rompimiento de pozos por parte de comunidades en un esfuerzo para drenar el agua durante las inundaciones freáticas del 2020.



**Capítulo 4.**  
**Alineación con los Objetivos Nacionales  
e Internacionales**

El esquema general de alineación de este PHR 2021-2024 se presenta en la Tabla 98. A partir de los ODS (Agenda 2030, ONU), a nivel internacional, el PND 2019-2024, el Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PROMARNAT), el PNH 2020-2024, y el PHR Visión 2030. A partir de aquí se alinean los objetivos del PNH con este PHR 2021-2024 y se destacan 8 Acciones Colectivas. Finalmente se relaciona con lo establecido en el Plan Rector de la PY (2019), incluyendo la lista de proyectos.

**Tabla 98.** Relación de objetivos prioritarios del ODS, PND, con ejes temáticos, objetivos y estrategias PROMARNAT, PNH 2020-2024, PHR 2030, PHR 2021-2024, y Plan rector.

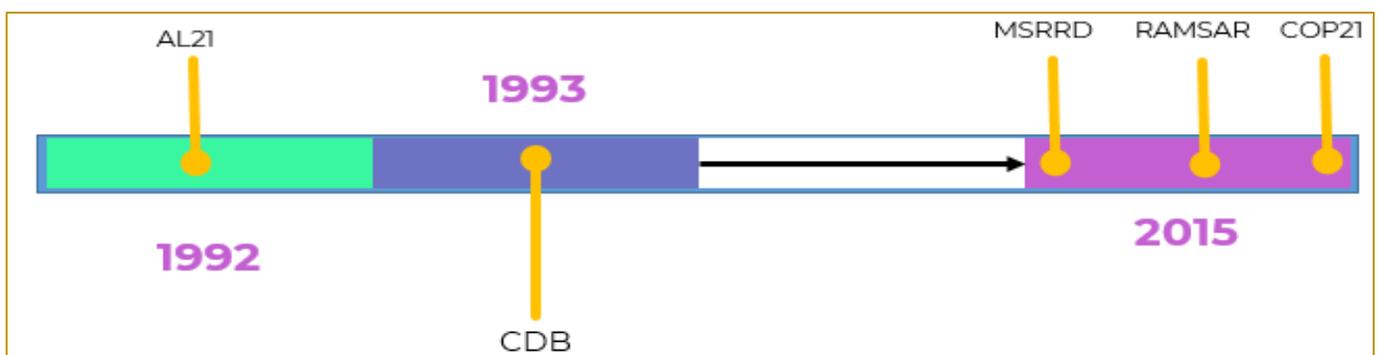
| Objetivos de Desarrollo Sostenible   | PND  | PROMARNAT   | PNH  | PHR 2030   | PHR 2021-2024   | Plan Rector  |
|--|--|---|--|--|---|--|
| 6. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.  | 2.1 Brindar atención prioritaria a grupos históricamente discriminados mediante acciones que permitan reducir las brechas de desigualdad sociales y territoriales.<br>2.6. Promover y garantizar el acceso incluyente al agua potable en calidad y cantidad y al saneamiento, priorizando a los grupos históricamente discriminados, procurando la salud de los ecosistemas y cuencas. | Agua como Pilar para el Bienestar<br>3. Fortalecer la gestión integral y sustentable del agua, garantizando su acceso a la población y a los ecosistemas                              | 1.- Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento especialmente en la población más vulnerable. | 4. Promover el acceso adecuado a toda población a los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, dentro de un marco de desarrollo urbano ordenado y sustentable. | <b>Actividad Colectiva</b><br>8.- Incorporar la visión regional al proceso de negociación y asignación de presupuestos federales en materia de agua potable y saneamiento en poblaciones históricamente desatendidas. | OE.A.1 Saneamiento integral de la Península<br>OE.E.1 Agua y saneamiento para comunidades rurales y periurbanas marginadas   |
| 8. Fomentar el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo, y el trabajo decente para todos. | 2.4. Promover y garantizar el acceso efectivo, universal y gratuito de la población a los servicios de salud, la asistencia social y los medicamentos, bajo los principios de participación social, competencia técnica, calidad médica, pertinencia cultural y trato no discriminatorio.<br>3.3. Promover la innovación, la competencia, la integración en las                        | Conservación y restauración de los ecosistemas y biodiversidad<br>1. Promover y facilitar el crecimiento sostenido y sustentable de bajo carbono con equidad y socialmente incluyente | 2.- Aprovechar eficientemente el agua para contribuir al desarrollo sostenible de los sectores productivos.                | 1. Conservar las cuencas y acuíferos, para garantizar su equilibrio, evitando el desperdicio y las pérdidas de agua en todos los usos.   | <b>Actividad Colectiva</b><br><b>3.- Mejorar el entendimiento sobre la disponibilidad de agua en cada Unidad de Planeación (2021-2024)</b>  | OE.A.2 Establecer un equilibrio entre la disponibilidad del recurso agua y su aprovechamiento productivo<br>OE.D.2 Impulsar el desarrollo socio-económico sustentable en sectores prioritarios (actividades productivas) |

|  |   |   |   |  |  |   |
|--|---|---|---|--|--|---|
|  | <p>cadenas de valor y la generación de un mayor valor agregado en todos los sectores productivos bajo un enfoque de sostenibilidad</p>  |   |   |  |  |   |
| <p>12. Garantizar las pautas de consumo y de producción sostenibles.</p>   | <p>3.8. Desarrollar de manera sostenible e incluyente los sectores agropecuario y acuícola-pesquero en los territorios rurales, y en los pueblos y comunidades indígenas y afromexicanas.<br/>3.9. Posicionar a México como un destino turístico competitivo, de vanguardia, sostenible e incluyente.</p> |   | <p>5.- Mejorar las condiciones para la gobernanza del agua a fin de fortalecer la toma de decisiones y combatir la corrupción.</p>      | <p>2. Fortalecer el desarrollo regional mediante la planeación hídrica participativa y el desarrollo de proyectos productivos</p>                              | <p><b>Actividad Colectiva 2.- Reforzar las Alianzas Intermunicipales por UP para la gestión integrada y corresponsable del agua y los servicios ambientales, preferentes de las comunidades originarias principalmente (2021-2024)</b></p> | <p>OE.E.2 Abatir los problemas de desnutrición y de opciones productivas en el medio rural<br/>OE.D.1 Fomentar el desarrollo económico, mejorar el nivel de vida y la calidad de los servicios asociados con los recursos naturales</p> |
| <p>9. Desarrollar infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación.<br/>11. Conseguir que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles</p>   | <p>1.9. Construir un país más resiliente, sostenible y seguro.</p>  | <p>Adaptación al cambio climático y reducción de emisiones<br/>2. Incrementar la resiliencia a efectos del cambio climático y disminuir las emisiones de compuestos y gases de efecto invernadero</p>   | <p>3.- Reducir la vulnerabilidad de la población ante inundaciones y sequías con énfasis en pueblos indígenas y afromexicanos.</p>      | <p>5. Reducir los riesgos y fomentar una cultura de prevención, para mitigar los efectos nocivos asociados con los fenómenos hidrometeorológicos extremos.</p> | <p><b>Actividad Colectiva 7.- Alinear los Ordenamientos Territoriales a la gestión hídrica y con enfoque de riesgo (2021-2024)</b></p>   | <p>OE.G.1 Disminuir la vulnerabilidad a fenómenos extremos</p>  |
| <p>14. Conservar y utilizar de forma sostenible los océanos, mares y recursos marinos para lograr el desarrollo sostenible.<br/>15. Proteger, restaurar y promover la utilización sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar de manera sostenible los bosques, combatir la desertificación y detener y revertir la degradación de la tierra, y frenar la pérdida de diversidad biológica.</p> | <p>2.5. Garantizar el derecho a un medio ambiente sano con enfoque de sostenibilidad de los ecosistemas, la biodiversidad, el patrimonio y los paisajes bioculturales.</p>  | <p>Conservación y restauración de los ecosistemas y biodiversidad<br/>Entorno libre de contaminación del aire, agua y suelo.<br/>4. Recuperar la funcionalidad de cuencas y paisajes a través de la conservación, restauración y aprovechamiento sustentable del patrimonio natural<br/>5. Detener y revertir la pérdida de capital natural y la contaminación del agua, aire y suelo</p> | <p>4.- Preservar la integralidad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan cuencas y acuíferos.</p> | <p>3. Preservar la calidad del agua en cauces, acuíferos y playas, para contribuir al restablecimiento de los ecosistemas.</p>                                 | <p><b>Actividad Colectiva 6.- Fomentar la capacitación multinivel para el manejo de cuencas o zonas geohidrológicas y agrobiodiversidad asociada (2021-2024)</b></p>   | <p>OE.B.1 Incrementar la cantidad y calidad de la cobertura vegetal<br/>OE.B.2 Recuperar las especies nativas<br/>OE.F.1 Incrementar la participación y el compromiso socio-ambiental de los pobladores</p>                             |

|  |   |  |  |   |   |   |
|--|---|--|--|---|---|---|
| <p>17. Fortalecer los medios de ejecución y reavivar la alianza mundial para el desarrollo sostenible.</p> | <p>2.8. Fortalecer la rectoría y vinculación del ordenamiento territorial y ecológico de los asentamientos humanos y de la tenencia de la tierra, mediante el uso racional y equilibrado del territorio, promoviendo la accesibilidad y la movilidad eficiente.</p> | <p>Gobernanza ambiental a través de la participación ciudadana<br/>6. Desarrollar, promover y aplicar instrumentos de política, información, investigación, educación, capacitación, participación y derechos humanos para fortalecer la gobernanza ambiental.</p> | <p>5.- Mejorar las condiciones para la gobernanza del agua a fin de fortalecer la toma de decisiones y combatir la corrupción.</p> | <p>7. Propiciar la gestión integrada de los recursos hídricos, para mejorar la gobernabilidad regional.<br/>8. Programar y procurar el financiamiento suficiente y oportuno para la gestión integrada de los recursos hídricos.</p> | <p><b>Actividad Colectiva</b><br/>1.- <b>Conformar Órganos Auxiliares del Consejo de Cuenca a nivel de Unidad de Planeación para la gestión integrada del recurso hídrico (2021-2024)</b><br/><b>Actividad Colectiva</b><br/>4. <b>Instrumentar un sistema de monitoreo a nivel UP en tiempo real para general una cobertura peninsular del sistema hidrológico</b><br/><b>Actividad Colectiva</b><br/>5. <b>Apoyar y articular líneas de investigación mediante educación formal a nivel posgrado con participación de Consejo de Cuenca y el Sector Investigación y academia. (2021-2024)</b></p> | <p>OE.F.2<br/>Complementación e implementación del marco legal y normativo<br/>OE.I.1 Mejorar la calidad y cantidad de la información ambiental</p> |
| <p>13. Tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.</p>                         | <p>Adaptación al cambio climático y reducción de emisiones</p>  | <p>3.- Reducir la vulnerabilidad de la población ante inundaciones y sequías con énfasis en pueblos indígenas y afroamericanos</p>   | <p>6. Evaluar los efectos del cambio climático y plantear medidas de adaptación.</p>   | <p><b>Actividad Colectiva</b><br/>7.- <b>Promover un sistema de alerta temprana para la gestión del agua ante el cambio climático. (2021-2024)</b></p>  | <p>OE.H.1 Aumentar la capacidad de adaptación ante el cambio climático<br/>OE.C.1 Lograr el desarrollo urbano sustentable</p>   |   |

Distintos esfuerzos a nivel internacional se han realizado para lograr el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, así como trazar una ruta de desarrollo que empaten las necesidades de la sociedad con la preservación y cuidado del planeta. Entre estos esfuerzos destacan el Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB), la Conferencia de las Partes (COP) 21, la Agenda Local 21 (AL21), el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (MSRRD) 2015-2030 y la Convención RAMSAR, Figura 137 Anexo 11).

**Figura 137.** Esfuerzos internacionales



A últimas fechas, el Acuerdo de Escazú tiene como objetivo garantizar la implementación plena y efectiva en América Latina y el Caribe de los derechos de acceso a la información ambiental, participación pública en los procesos de toma de decisiones ambientales y acceso a la justicia en asuntos ambientales, así como la creación y el fortalecimiento de las capacidades y la cooperación, contribuyendo a la protección del derecho de cada persona, de las generaciones presentes y futuras, a vivir en un medio ambiente sano y al desarrollo sostenible. Es el único acuerdo vinculante emanado de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible (Río+20), el primer acuerdo regional ambiental de América Latina y el Caribe y el primero en el mundo en contener disposiciones específicas sobre defensores de derechos humanos en asuntos ambientales.

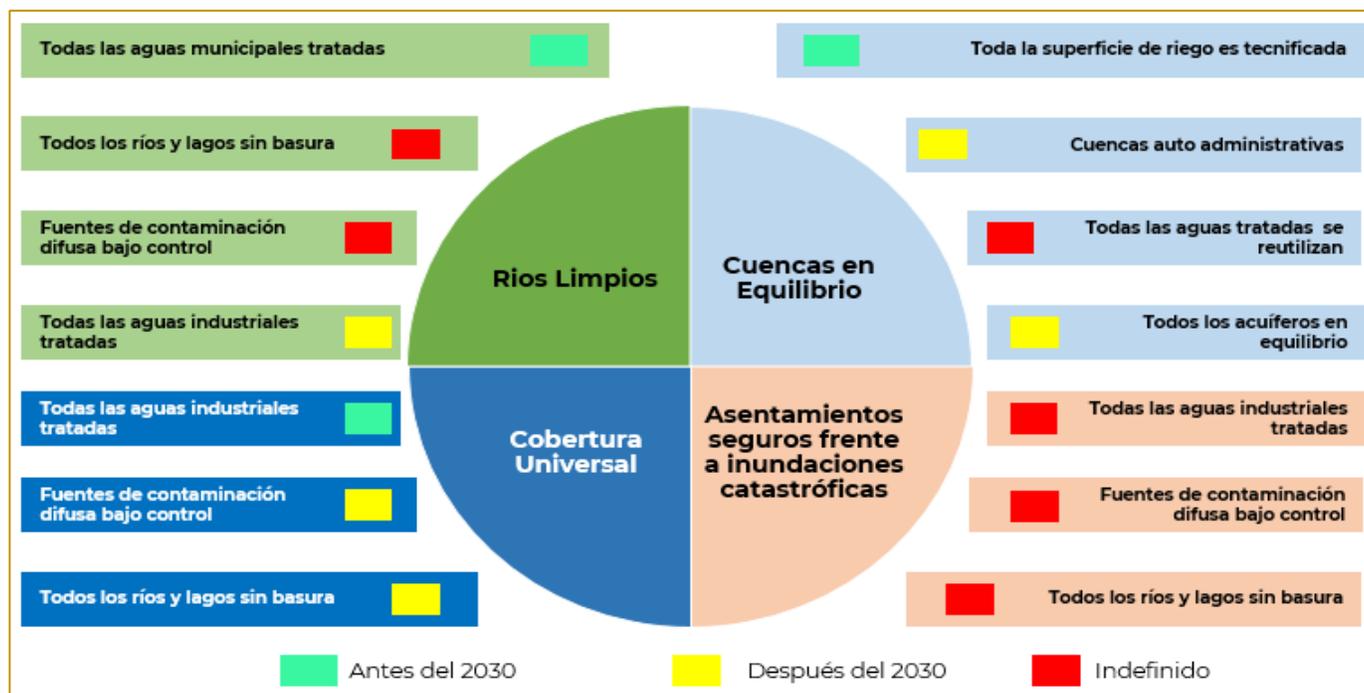
## 4.1. Vinculación regional/local con la Agenda 2030

La Agenda del Agua 2030 propone una estrategia de largo plazo en la cual en un lapso de veinte años sea posible hacer realidad un país con ríos limpios, cuencas y acuíferos en equilibrio, cobertura universal de agua potable y alcantarillado, y asentamientos seguros frente a inundaciones catastróficas. Asimismo, la agenda 2030 define las líneas de acción que es necesario desplegar para tal efecto.

Además, identifica los cambios que son necesarios generar en el entorno institucional para dar viabilidad a cada uno de sus componentes. Cambios estratégicos en tópicos como organización institucional, planeación, legislación, reglamentación, financiamiento, educación, capacitación y otros de similar naturaleza son abordados. La agenda 2030 contempla cuatro ejes básicos llamados desafíos (Figura 138).

El Programa Hídrico Regional Visión 2030 Región Hidrológico-Administrativa XII Península de Yucatán elaborado por la CONAGUA y el IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua), es un instrumento de política pública transversal, por lo que su ámbito de aplicación va más allá del ámbito de atribuciones de la CONAGUA. Consecuentemente, los criterios estratégicos y sus líneas de acción establecen directrices que implican la concurrencia de dependencias y organismos de los tres ámbitos de gobierno, de los usuarios del agua, de los beneficiarios de los programas gubernamentales, del sector privado y de los grupos de la sociedad interesados. La definición específica de esta concurrencia se establece en los programas, proyectos y acciones que se integran en el catálogo regional de acciones y proyectos del Organismo de Cuenca.

Figura 138. Componentes básicos de la Agenda de Agua 2030



El análisis técnico prospectivo (ATP) permite obtener una proyección de los volúmenes ofrecidos a los distintos usos del agua, así como la demanda para la Región hacia el 2030. Este primer paso establece la problemática existente en la Región para lograr suministrar la demanda en futuro a través del concepto de “brecha”. La siguiente etapa plantea una estrategia donde se proponen opciones de solución calculando su costo de implementación y volumen potencial de contribución al cierre de la brecha.

El análisis optimiza la solución dando la posibilidad a los encargados de tomar las decisiones sobre la gestión del agua, de enfocar los esfuerzos de aumentar el uso eficiente del líquido en áreas con mayor impacto con un criterio de máximo beneficio en disminución de la demanda al menor costo.

En el establecimiento de los objetivos regionales de la política de sustentabilidad hídrica, orientada a los ejes de la Agenda del Agua 2030, PNH y PND, se revisó la problemática hídrica de las cuencas y acuíferos de la Región. Se llevaron a cabo doce reuniones temáticas en el año 2012 (una reunión para cada eje; cuatro por entidad federativa), tres foros estatales y uno regional, en estos eventos participaron 734 personas representantes de diferentes sectores de la sociedad.

De esta manera, para el eje de cuencas y acuíferos en equilibrio se analizó la necesidad de lograr la conservación de aguas superficiales y subterráneas de la Región, a través de un consumo racional del agua en todos sus usos, así como la generación de proyectos productivos. De estos resultados derivan los siguientes objetivos:

- Conservar las cuencas y acuíferos para garantizar su equilibrio, evitando el desperdicio y las pérdidas de agua en todos los usos;
- Fortalecer el desarrollo regional mediante la planeación hídrica participativa y el desarrollo de proyectos productivos.

En cuanto al eje de ríos limpios, la problemática se dirigió a preservar la calidad del agua subterránea principalmente, por lo que el objetivo planteado fue:

- Preservar la calidad del agua en cauces, acuíferos y playas, para contribuir al restablecimiento de los ecosistemas.

En el tema de cobertura universal de agua potable y alcantarillado se presentaron alternativas de solución para dotar de servicios de agua potable a la población en crecimiento, tanto en zonas urbanas como rurales, con un esquema de sustentabilidad de las aguas subterráneas; para ello se planteó el siguiente objetivo:

- Promover el acceso adecuado a toda población a los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, dentro de un marco de desarrollo urbano ordenado y sustentable.

Sobre el tema de asentamientos seguros frente a inundaciones catastróficas, se propusieron dos objetivos enfocados a la prevención de daños por eventos meteorológicos extremos:

- Reducir los riesgos y fomentar una cultura de prevención, para mitigar los efectos nocivos asociados a los fenómenos hidrometeorológicos extremos; y
- Evaluar los efectos del cambio climático y plantear medidas de adaptación.

Los dos últimos temas de importancia dentro de la Región tienen que ver con diversos problemas que son transversales y que afectarán la implementación de los cuatro ejes rectores de la Agenda del Agua en el ámbito regional. El primero de ellos se considera como el más importante y urgente que hay que atender y versa sobre la ineficacia de la gobernabilidad del agua, por ello el siguiente objetivo que se propone para el programa hídrico de la Región es el de:

- Propiciar la gestión integrada de los recursos hídricos, para mejorar la gobernabilidad regional. El otro problema que forma parte de este grupo, pero por su importancia se consideró relevante presentarlo como un segundo objetivo transversal, es el financiamiento de las acciones y proyectos que integran el programa hídrico, por ello se propone
- Programar y procurar el financiamiento suficiente y oportuno para la gestión integrada de los recursos hídricos.

El cumplimiento de los objetivos descritos exige acciones que superen los desafíos planteados en la Agenda del Agua 2030. Para el eje de cuencas y acuíferos en equilibrio se identificarán, en primera instancia las acciones y los

proyectos de infraestructura que tienen un impacto directo en el cierre de la brecha hídrica. En el caso del eje de ríos limpios se presentará el volumen de aguas residuales que se requerirá tratar hacia el año 2030, tomando como base el volumen tratado actual. Para el eje de cobertura universal de agua potable y alcantarillado se indicarán los habitantes que será necesario incorporar a los servicios básicos. En el caso del eje de asentamientos seguros frente inundaciones catastróficas se indicarán los daños y las soluciones que se identifican en la Región.

## 4.2. Objetivos del Desarrollo Sostenible

El 25 de septiembre de 2015, los líderes del mundo diseñaron 17 objetivos con 169 metas conexas con la finalidad de impulsar a la Comunidad Internacional a desarrollar estrategias de desarrollo incluyentes y sostenibles. A partir de aquí se emprendió el camino hacia el desarrollo sostenible, acometiendo de forma colectiva la tarea de lograr el desarrollo mundial y una cooperación en la que todos salgan ganando, la cual puede reportar enormes beneficios a todos los países y en todas las partes del mundo.

Los nuevos Objetivos y metas entraron en vigor el 1 de enero de 2016 y guiarán decisiones durante los próximos 15 años. En materia hídrica destacan los objetivos 6 y 13 (Anexo 11). El objetivo 6 se centra en el agua, mientras que el 13 se relaciona con el clima. Ambos no son excluyentes, existe una relación entre el clima y el sistema hidrológico, ya que las alteraciones en el clima, especialmente el aumento de la temperatura, afectan directa o indirectamente el ciclo hidrológico, vital para la recarga los sistemas acuáticos que no solo son fuente de abastecimiento para la población también son centros de biodiversidad. Por lo que ambos son relevantes para actividades humanas como la agricultura.

## 4.3. Vinculación del Plan Rector en Materia de Agua para la protección, conservación y recuperación ambiental de la Península de Yucatán con la Agenda 2030

La Tabla 99 y Tabla 100 ilustran la vinculación entre los desafíos de la Agenda 2030 y las metas y acciones generales del Plan Rector en Materia de Agua de la PY. Mediante esta correlación es factible y relativamente fácil identificar los proyectos y acciones específicos que han sido consignados y priorizados en el Plan Rector y que pueden contribuir a cerrar las brechas relacionadas con las metas de la Agenda 2030.

**Tabla 99.** Vinculación del desafío Ríos Limpios de la Agenda 2030 con las metas y acciones generales del Plan Rector

| Agenda 2030  |                                     | Plan Rector  |   |
|--------------|-------------------------------------|--|---|
| Desafío      | Componentes básicas                 | Metas generales  | Acciones Generales  |
| Ríos limpios | Todas las aguas residuales tratadas | M.A.11 Tratar y reducir las descargas de aguas residuales existentes | A.A.1.1.1 Instalación de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales<br>A.A.1.1.2 Complementar infraestructura para el tratamiento de aguas residuales, y rehabilitar y operar la existente   |
|              | Todos los ríos y lagos sin basura   | M.A.13 Eliminar la contaminación por desechos y residuos sólidos     | A.A.1.3.1 Construcción de rellenos sanitarios acordes con la normatividad vigente<br>A.A.1.3.2 Promover buenas prácticas de separación, disposición, transporte, compactación y reciclamiento de basura<br>A.A.1.3.3 Limpieza de playas, selva, bosque, manglares, humedales, cuerpos de agua superficial |

| Agenda 2030 |  | Plan Rector   |   |
|-------------|--|---|---|
| Desafío     | Componentes básicas                          | Metas generales   | Acciones Generales  |
|             |  |   | A.A.1.3.4 Control de tiraderos a cielo abierto  |
|             | Fuentes de contaminación difusa bajo control | M.A.1.1 Tratar y reducir las descargas de aguas residuales existentes   | A.A.1.1.3 Mejorar los procesos productivos (fertilizantes biodegradables, sistemas de separación, etc.)   |
|             |  | M.B.1.1 Conservación de la cobertura vegetal  | A.B.1.1.3 Eliminar las prácticas agrícolas erosivas y contaminantes   |
|             | Todas las aguas industriales tratadas        | M.A.1.1 Tratar y reducir las descargas de aguas residuales existentes   | A.A.1.1.1 Instalación de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales  |
|             |  | M.A.2.1 Evitar la sobreexplotación de fuente de abastecimiento de agua y efficientar su uso, manejo y aprovechamiento | A.A.2.1.4 Promover e incentivar el empleo de aguas residuales tratadas en los procesos productivos de industrias, así como en el riego de jardines y limpieza de camellones |

**Tabla 100.** Vinculación del desafío Cobertura Universal de la Agenda 2030 con las metas y acciones generales del Plan Rector

| Agenda 2030         |                                      | Plan Rector  |  |
|---------------------|--------------------------------------|--|--|
| Desafío             | Componentes básicas                  | Metas generales  | Acciones Generales   |
| Cobertura universal | Suburbios urbanos conectados a redes | M.A.1.2 Incremento de la cobertura de alcantarillado   | A.A.1.2.1 Instalación de drenaje sanitario   |
|                     |                                      | M.A.2.1 Evitar la sobreexplotación de fuentes de abastecimiento de agua y efficientar su uso, manejo y aprovechamiento | A.A.1.2.2 Conexiones domiciliarias e industriales a la red de alcantarillado   |
|                     | Localidades rurales con agua potable | M.A.2.1.2 Incrementar y mejorar las coberturas, dotaciones y consumos de agua potable                                  | A.A.2.1.2 Incrementar y mejorar las coberturas, dotaciones y consumos de agua potable  |
|                     |                                      | M.A.2.1.3 Reducción de pérdidas y mejora de la eficiencia en las redes de agua potable                                 | A.A.2.1.3 Reducción de pérdidas y mejora de la eficiencia en las redes de agua potable   |
|                     |                                      | M.E.1.1 Alcanzar coberturas de agua y saneamiento en el medio rural superiores al 80% y 60% respectivamente            | A.E.1.1.1 Desarrollo, transferencia y apropiación de paquetes tecnológicos en materia de agua (captación de agua de lluvia, aprovechamientos subsuperficiales, bombeo, almacenamiento, potabilización, uso y aprovechamiento y tratamiento de aguas residuales). |
|                     |                                      | M.E.1.2 Reducir el impacto de las enfermedades hídricas a los estándares de los países desarrollados                   | A.E.1.2.1 Promover e impulsar los sistemas y programas apropiados para la potabilización, saneamiento y disposición de los desechos sólidos en zonas marginadas y en condiciones de pobreza extrema.   |

| Agenda 2030 |  | Plan Rector   |  |
|-------------|--|---|--|
| Desafío     | Componentes básicas                              | Metas generales   | Acciones Generales   |
|             | Organismos operadores funcionando eficientemente | M.D.1.1 Lograr la autosostenibilidad de los organismos operadores | A.D.1.1.1 Establecimiento de tarifas y sistemas de cobro y pago apropiados y eficientes para el fortalecimiento económico, técnico e institucional de los organismos |

**Tabla 101.** Vinculación del desafío Asentamientos Seguros frente a Inundaciones Catastróficas de la Agenda 2030 con las metas y acciones generales del Plan Rector

| Agenda 2030   |   | Plan Rector   |  |
|---|---|---|--|
| Desafío   | Componentes básicas   | Metas generales   | Acciones Generales   |
| Asentamientos seguros frente a inundaciones catastróficas | Eficaz ordenamiento territorial                                     | M.C.1.1 Regular el crecimiento urbano   | A.C.1.1.2 Promoción, desarrollo e implementación de ordenamientos territoriales  |
|   | Zonas inundables libres de asentamientos urbanos                    | M.C.1.1 Regular el crecimiento urbano   | A.C.1.1.1 Delimitación de la zona federal  |
|   | Sistemas de alertamiento y prevención con tecnologías de punta      | M.G.1.1 Minimizar las afectaciones ocasionadas por la ocurrencia de fenómenos extremos    | A.G.1.1.1 Desarrollar, adaptar, transferir tecnologías con fines de prevención   |
|   |   |   | A.G.1.1.2 Definir obras y acciones preventivas   |
|   |   |   | A.G.1.1.3 Elaborar/actualizar mapas de riesgos y vulnerabilidad y programas de protección civil  |
|   |   | M.G.1.2 Incrementar la capacidad de recuperación ante los impactos por fenómenos extremos | A.G.1.2.1 Programa integral de infraestructura y equipo para la atención inmediata y de corto plazo de las necesidades básicas de la población |
| M.H.1.2 Preparar los escenarios de adaptación             | A.H.1.2.1 Desarrollar, adaptar, transferir herramientas predictivas |   |  |

El Plan Rector, vislumbra e identifica metas y acciones, y consecuentemente proyectos específicos, que van más allá de la agenda 2030; esto es debido a que contempla no solamente la atención del recurso agua, sino de otros recursos naturales asociados como lo son el suelo, la selva y el bosque; además de que profundiza con mayor detalle en lo que se refiere a la interacción y participación social, dando un peso específico significativo a los aspectos de cultura

y conciencia social. Lo que aquí se comenta se puede clarificar y entender, de mejor manera, a través de la revisión y análisis de la Tabla 102 (Estructura básica del Plan rector en materia de agua para la protección, conservación y recuperación ambiental de la PY. Diagnóstico e identificación de retos y problemas, estrategias, objetivos acciones y proyectos prioritarios).

**Tabla 102.** Estructura básica del Plan Rector en materia de agua para la protección, conservación y recuperación ambiental de la PY. Diagnóstico e identificación de retos y problemas, estrategias, objetivos, acciones y proyectos prioritarios.

| Problemas prioritarios                         | Objetivos estratégicos                      | Metas generales   | Acciones Generales   |
|--|---|---|--|
| A. Reducción de la cantidad y calidad del agua | OE.A.1 Saneamiento integral de la península | M.A.1.1 Tratar y reducir las descargas de aguas residuales existentes | A.A.1.1.1 Instalación de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales<br><br>A.A.1.1.2 Complementar infraestructura para el tratamiento de aguas residuales, y rehabilitar y operar la existente<br><br>A.A.1.1.3 Mejorar los procesos productivos (fertilizantes biodegradables, sistemas de separación, etc.)   |
|  |   | M.A.1.2 Incremento de la cobertura de alcantarillado                  | A.A.1.2.1 Instalación de drenaje sanitario<br><br>A.A.1.2.2 Conexiones domiciliarias e industriales a la red de alcantarillado   |
|  |   | M.A.1.3 Eliminar la contaminación por desechos y residuos solidos     | A.A.1.3.1 Construcción de rellenos sanitarios acordes con la normatividad vigente<br><br>A.A.1.3.2 Promover buenas practicas de separación, disposición, transporte, compactación y reciclamiento de la basura<br><br>A.A.1.3.3 Limpieza de playas, selva, bosque, manglares, humedales, cuerpos de agua superficial<br><br>A.A.1.3.4 Control de tiraderos a cielo abierto |
|  |   | M.A.1.4 Control de las malezas acuáticas y                            | A.A.1.4.1 Control de malezas acuáticas   |

| Problemas prioritarios                 | Objetivos estratégicos   | Metas generales   | Acciones Generales  |
|--|--|---|---|
|  |  | manejo de sedimentos en cuerpos de agua   | A.A.1.4.2 Retiro, tratamiento y disposición adecuada de sedimentos<br><br>A.A.1.4.3 Aprovechamiento de malezas acuáticas y sedimentos   |
|  | OE.A.2 Establecer un equilibrio entre la disponibilidad del recurso agua y su aprovechamiento productivo | M.A.2.1 Evitar la sobreexplotación de fuentes de abastecimiento de agua y eficientar su uso, manejo y aprovechamiento       | A.A.2.1.1 Incrementar la eficiencia en el uso y manejo del recurso agua en los servicios y sectores productivos<br><br>A.A.2.1.2 Incrementar y mejorar las coberturas, dotaciones y consumos de agua potable<br><br>A.A.2.1.3 Reducción de las pérdidas y mejora de la eficiencia en las redes de agua potable<br><br>A.A.2.1.4 Promover e incentivar el empleo de aguas residuales tratadas en los procesos productivos de industrias, así como en el riego de jardines y limpieza de camellones<br><br>A.A.2.1.5 Uso y aprovechamiento de sistemas de captación de agua de lluvia |
| B. Deterioro de los recursos naturales | OE.B.1 Incrementar la cantidad y calidad de la cobertura vegetal   | M.B.1.1 Conservación de la cobertura vegetal  | A.B.1.1.1 Implementación de prácticas de conservación de microcuencas   |
|  |  |   | A.B.1.1.2 Incremento de la sobrevivencia de las reforestaciones   |
|  |  |   | A.B.1.1.3 Eliminar las prácticas agrícolas erosivas y contaminantes   |
|  |  | M.B.1.2 Introducir programas y acciones de protección de los ecosistemas existentes en la Península, bosque, selva, manglar | A.B.1.2.1 Prevención y control de incendios<br><br>A.B.1.2.2 Detener la sobreexplotación y extracción de recursos naturales   |

| Problemas prioritarios            | Objetivos estratégicos  | Metas generales   | Acciones Generales  |  |
|-----------------------------------|---|---|---|--|
|                                   |   |   | A.B.1.2.3 Aprovechamiento sustentable de recursos naturales   |  |
|                                   | OE.B.2 Recuperar las especies nativas   | M.B.2.1 Conservación y protección de especies nativas                               | A.B.2.1.1 Mejoras al establecimiento de las áreas naturales protegidas y reservas existentes en la Península  |  |
|                                   |   | M.B.2.2 Incrementar las poblaciones y las áreas que ocupan                          | A.B.2.2.1 Establecer zonas de reproducción de especies nativas  |  |
|                                   |   |   | A.B.2.2.2 Aprovechamiento y control de especies introducidas  |  |
| C. Crecimiento urbano desordenado | OE.C.1 Lograr el desarrollo urbano sustentable  | M.C.1.1 Regular el crecimiento urbano   | A.C.1.1.1 Delimitación de la zona federal   |  |
|                                   |   |   | A.C.1.1.2 Promoción, desarrollo e implementación de ordenamientos territoriales   |  |
|                                   |   | M.C.1.2 Aprovechamiento sustentable de los recursos                                 | A.C.1.2.1 Establecer los límites de aprovechamiento para cada recurso natural   |  |
|                                   |   |   | A.C.1.2.2 Definir los mecanismos para el aprovechamiento de cada recurso natural  |  |
| D. Rezagos sociales y económicos  | OE.D.1 Fomentar el desarrollo económico, mejorar el nivel de vida y calidad de los servicios asociados con los recursos naturales | M.D.1.1 Lograr la autosostenibilidad de los órganos operadores                      | A.D.1.1.1 Establecimiento de tarifas y sistemas de cobro y pago apropiados y eficientes para el fortalecimiento económico, técnico e institucional de los organismos operadores |  |
|                                   |   | M.D.1.2 Fomentar el desarrollo en equilibrio con la conservación del medio ambiente | A.D.1.2.1 Pago por servicios ambientales o esquemas similares   |  |
|                                   |   |   | A.D.1.2.2 Promover programas de empleo temporal para acciones de conservación en la Península   |  |
|                                   | OE.D.2 Impulsar el desarrollo socio-económico sustentable en sectores prioritarios (actividades productivas)                      | M.D.2.1 Ordenar el turismo y revitalizar el ecoturismo en la región                 |   | A.D.2.1.1 Desarrollo de áreas de ecoturismo                                  |
|                                   |   |   | M.D.2.2 Mejorar e incrementar la  | A.D.2.2.1 Introducción de sistemas de riego tecnificado y alta productividad |
|                                   |   |   |   |  |

| Problemas prioritarios   | Objetivos estratégicos  | Metas generales   | Acciones Generales   |
|--|---|---|--|
|  |   | producción hidroagrícola y forestal   |  |
|  |   | M.D.2.3 Promover y fomentar la introducción de industrias limpias   | A.D.2.3.1 Proyectos de desarrollo rural para activos productivos   |
| E. Pobreza extrema y deterioro de la salud y bienestar públicos  | OE.E.1 Agua y saneamiento para comunidades rurales y periurbanas marginadas             | M.E.1.1 Alcanzar coberturas de agua y saneamiento en el medio rural superiores al 80% y 60% respectivamente | A.E.1.1.1 Desarrollo, transparencia y apropiación de paquetes tecnológicos en materia de agua (captación de agua de lluvia, aprovechamientos subsuperficiales, bombeo, almacenamiento, potabilización, uso y aprovechamiento y tratamiento de aguas residuales)  |
|  |   | M.E.1.2 Reducir el impacto de las enfermedades hídricas a los estándares de los países desarrollados        | A.E.1.2.1 Promover e impulsar sistemas y programas apropiados para la potabilización, saneamiento y disposición de los desechos sólidos en zonas marginadas y en condiciones de pobreza extrema<br><br>A.E.1.2.2 Programas de mejoramiento y saneamiento de escuelas y áreas comunes en zonas marginadas                       |
|  | OE.E.2 Abatir los problemas de desnutrición y de opciones productivas en el medio rural | M.E.2.1 Introducir sistemas de producción para el autoconsumo y la micro comercialización                   | A.E.2.1.1 Sistemas de aprovechamiento integral avícolas y pecuarios (captación de metano, producción de abono orgánico, etc.)<br><br>A.E.2.1.2 Sistemas de producción y comercialización agrícola a escala familiar y comunitarios<br><br>A.E.2.1.3 Implementar sistemas de producción y comercialización piscícola y acuícola |
| F. Legislación insuficiente, reducida conciencia y participación | OE.F.1 Incrementar la participación y el compromiso socio-ambiental de los pobladores   | M.F.1.1 Incrementar la comunicación y participación ciudadana   | A.F.1.1.1 Promover la participación social de los habitantes   |
|  |   |   | A.F.1.1.2 Impulsar y fomentar la participación de los medios de comunicación masivos (locales, regionales, nacionales e  |

| Problemas prioritarios          | Objetivos estratégicos  | Metas generales  | Acciones Generales   |
|---------------------------------|---|--|--|
| social y baja cultura ambiental |   |  | internacionales) en temas ambientales  |
|                                 |   |  | A.F.1.1.3 Promover y fomentar la participación de las organizaciones de la sociedad civil  |
|                                 |   |  | A.F.1.1.4 Implementar acciones de concientización y cultura sobre la problemática ambiental de la Península                                    |
|                                 | OE.F.2 Complementación e implementación del marco legal normativo   | M.F.2.1 Establecer un marco legal normativo específico para la Península               | A.F.1.2.1 Actualización, a nivel de Península, del marco legal y normativo   |
|                                 |   |  | A.F.1.2.2 Contar con un sistema de seguimiento y rendición de cuentas  |
|                                 |   |  | A.F.1.2.3 Definir las funciones y atribuciones de cada uno de los niveles de Gobierno  |
| G. Fenómenos extremos           | OE.G.1 Disminuir la vulnerabilidad a fenómenos extremos             | M.G.1.1 Minimizar las afectaciones ocasionadas por la ocurrencia de fenómenos extremos | A.G.1.1.1 Desarrollar, adaptar, transferir tecnologías con fines de prevención   |
|                                 |   |  | A.G.1.1.2 Definir obras y acciones preventivas   |
|                                 |   |  | A.G.1.1.3 Elaborar/actualizar los mapas de riesgos y vulnerabilidad y programas de protección civil  |
|                                 |   |  | A.G.1.1.4 Mantener la comunicación y actualización de la información a la población  |
| H. Cambio climático             | OE.H.1 Aumentar la capacidad de adaptación ante el cambio climático | M.H.1.1 Aprovechar sustentablemente las afectaciones por el cambio climático           | A.G.1.2.1 Programa Integral de Infraestructura y equipo para la atención inmediata y de corto plazo de las necesidades básicas de la población |
|                                 |   |  | A.H.1.1.1 Dimensionar los efectos del cambio climático   |
|                                 |   |  | A.H.1.1.2 Definir estrategias de adaptación y mitigación   |

| Problemas prioritarios  | Objetivos estratégicos   | Metas generales  | Acciones Generales  |
|---|--|--|---|
|   |  | M.H.1.2 Preparar los escenarios de adaptación  | A.H.1.2.1 Desarrollar, adaptar y transferir herramientas predictivas  |
| I. Insuficiencias en el monitoreo e información socio-ambiental | OE.I.1 Mejorar la calidad y cantidad de la información ambiental | M.I.1.1 Instrumentar la Península con tecnología de monitoreo de punta<br><br>M.I.1.2 Coordinación, análisis y difusión de la información ambiental para la toma de decisiones | A.I.1.1.1 Desarrollar y establecer una red de monitoreo ambiental eficiente y confiable<br><br>A.I.1.2.1 Establecer un sistema de monitoreo y evaluación (indicadores)<br><br>A.I.1.2.2 Establecer un esquema adecuado de coordinación, difusión y toma de decisiones |

Fuente: Plan Rector (2019).

El Plan Rector es un instrumento de gestión y de toma de decisiones, cuya cartera de proyectos se vislumbra como uno de los principales insumos para alcanzar las metas de la Agenda 2030. De esta manera la ejecución puntual y ordenada de acciones y proyectos adecuadamente jerarquizados detonará beneficios concretos y tangibles en pro de los retos asociados con los cuatro desafíos que sustentan las componentes básicas de la agenda. Dicha cartera es a la vez un importante insumo para el PHR Visión 2030 y los correspondientes Programas Hídricos Estatales. Bajo este marco de referencia el Plan Rector se constituye como un documento de soporte, referencia e insumo obligado en el Consejo de Cuenca para los instrumentos anteriormente citados y es a la vez una herramienta que orienta y facilita la toma de decisión en lo que se refiere a la selección y priorización de acciones y proyectos bajo un marco que considera tanto el impacto regional, estatal y local como los beneficios sociales y ambientales, y por supuesto los costos de implementación, ejecución y operación.

En total son nueve los problemas prioritarios que fueron identificados derivados del diagnóstico mediante un proceso de consenso, sustentado y respaldado por el intercambio y análisis de información, y la realización de entrevistas y reuniones de trabajo (Figura 139)

A partir de este grupo de problemas, y del estudio de los requerimientos para su solución, se elaboró una matriz en la cual se consignan estrategias y acciones ligadas a una serie de objetivos y metas generales para lograr su atenuación y en la medida de lo posible su solución. Tomando dicha matriz como plataforma de trabajo se establecieron una serie de criterios para identificar y consignar, mediante fichas especiales, las acciones y proyectos específicos a realizar y ejecutar para alcanzar las metas generales.

Tomando dicha matriz como plataforma de trabajo se establecieron una serie de criterios para identificar y consignar, mediante fichas especiales, las acciones y proyectos específicos a realizar y ejecutar para alcanzar las metas generales.

**Figura 139.** Problemas prioritarios en la PY



Fuente: Plan Rector (2019).

### 4.4. Indicadores de seguimiento y gestión ambiental

Para el adecuado seguimiento y evaluación práctica y confiable del impacto de los proyectos y acciones que se implementen en el Plan Rector para la protección, conservación y recuperación ambiental de la PY, es necesario establecer una batería de indicadores de sustentabilidad ambiental. La batería de indicadores que aquí se propone es el resultado de la consulta con los representantes de instancias de diversos sectores: gubernamental, sociedad civil organizada y academia. Se seleccionaron 15 indicadores de gestión, en promedio dos indicadores por problema prioritario como lo muestra la Tabla 103.

El Plan Rector incluye una breve descripción de cada uno de los indicadores de acuerdo con el Sistema Nacional de Indicadores de la SEMARNAT (SNIA), los cuales no se incluyen en este documento.

**Tabla 103.** Indicadores de gestión ambiental

| Problema Prioritario   | Indicador 1                           | Indicador 2  |
|--|---------------------------------------|--|
| Reducción de la cantidad y calidad del agua                  | Grado de presión                      | Agua residual tratada                              |
| Deterioro de los recursos naturales                          | Cambio de uso de suelo                | Ordenamientos territoriales                        |
| Crecimiento urbano desordenado                               | Ordenamientos ecológicos municipales  | Programa de desarrollo urbano municipal            |
| Rezagos sociales y económicos                                | Índice de rezago social               | -  |
| Pobreza extrema y deterioro de la salud y bienestar públicos | Población con acceso a alcantarillado | Población con acceso a servicios públicos de salud |

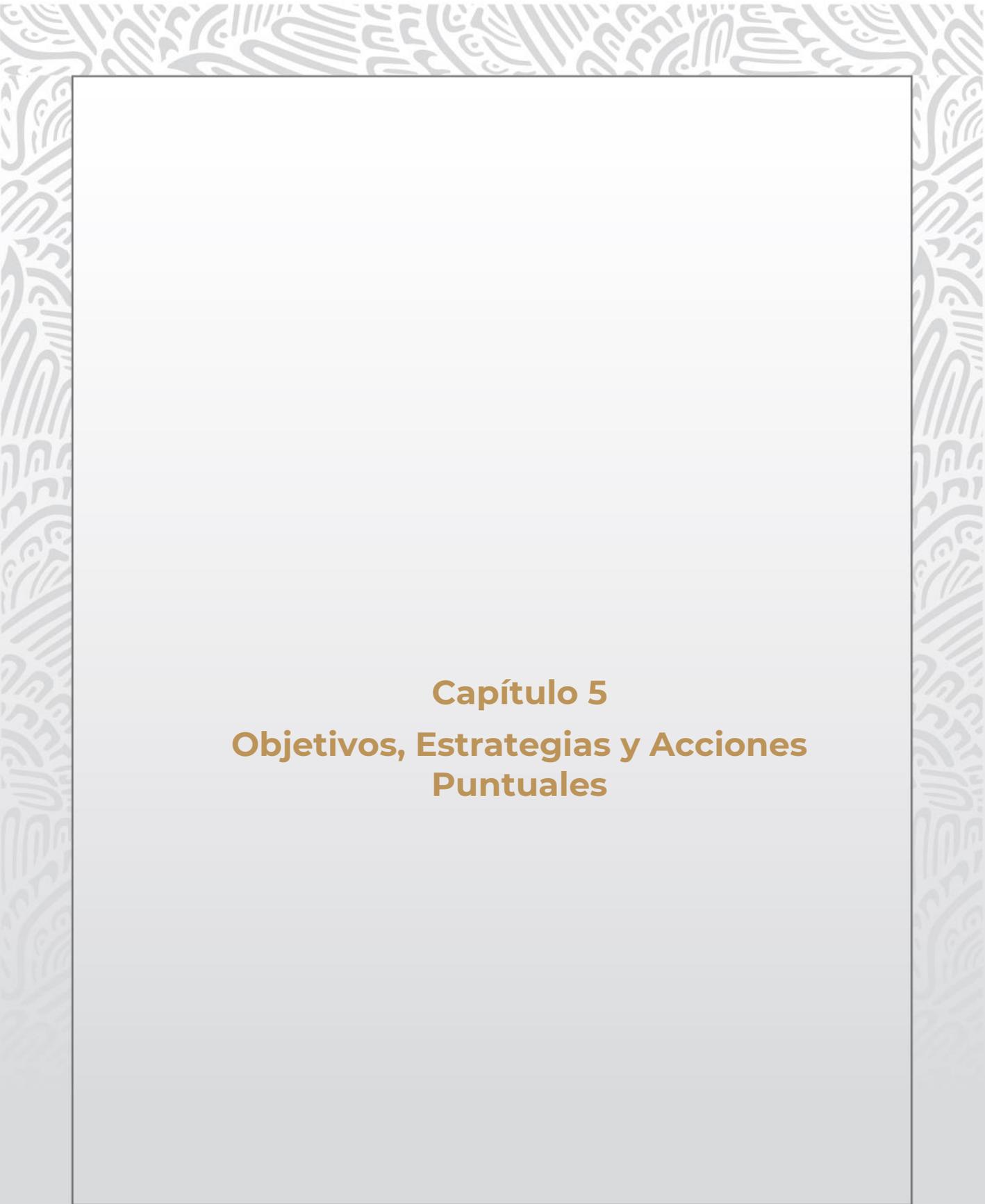
| Problema Prioritario   | Indicador 1                                      | Indicador 2   |
|--|--|---|
| Legislación ambiental insuficiente reducida conciencia y participación social y baja cultura ambiental | Reciclaje de residuos sólidos urbanos            | Mecanismos de participación implementados a partir de inspecciones, operativos y resoluciones ambientales |
| Fenómenos extremos y cambio climático  | Índice de aseguramiento de bienes                | Inversión en acciones de mitigación y adaptación ante el cambio climático                                 |
| Insuficiencia en el monitoreo e información socioambiental   | Número de estaciones de monitoreo hidroambiental | Numero de sistemas con acceso a información hidroambiental  |

## 4.5. Programa de Agua Potable, Drenaje y Tratamiento de Aguas Residuales (PROAGUA)

Este Programa busca incrementar o sostener la cobertura y mejorar la eficiencia en la prestación de servicios de agua potable, drenaje y saneamiento, al apoyar acciones que permitan avanzar en el cumplimiento del derecho al acceso, disposición y saneamiento del agua, con especial énfasis en localidades y zonas con alto y muy alto grado de marginación e indígena. El Anexo 12 resume las Reglas de Operación para el Programa de agua potable, drenaje y tratamiento a cargo de la CONAGUA, aplicables a partir de 2021 (PROAGUA).

## 4.6. Programa de apoyo a la Infraestructura Hidroagrícola

Este Programa se orienta a apoyar proyectos de rehabilitación, tecnificación y equipamientos para los Distritos de Riego o de Temporal Tecnificado, así como a las Unidades de Riego y algunos otros apoyos especiales y estratégicos. En el Anexo 13 se presentan las Reglas de Operación para el programa de apoyo a la infraestructura hidroagrícola, a cargo de la CONAGUA, aplicables a partir de 2021.



**Capítulo 5**  
**Objetivos, Estrategias y Acciones**  
**Puntuales**

Considerando el diagnóstico técnico y participativo (Capítulo 1) y en alineación con la política nacional en materia de agua (Capítulo 4), se presentan cinco objetivos prioritarios (OP), que se subdividen en 14 estrategias prioritarias (EP) de las cuales se identifican 74 acciones puntuales (AP) necesarias (Figura 140). Estos tres niveles de detalle se priorizaron a escala peninsular, identificando las diferencias entre las unidades de planeación (UP).

**Figura 140.** Jerarquización de retos y necesidades del PHR



Fuente: Elaboración propia.

Las EPs se distribuyeron de acuerdo con los cinco objetivos prioritarios (OP) con base en el PNH (Tabla 104). Los primeros cuatro OP se enfocan en el derecho al agua potable y al saneamiento, a la eficiencia en el uso productivo del agua, la protección contra inundaciones y sequías y finalmente en calidad y cantidad de agua respectivamente. Estos cuatro OP se priorizaron en el proceso participativo mediante las respuestas a la pregunta “¿Cuáles son las principales medidas en materia de agua que se deberían implementar en tu UP?”. Cada respuesta se alinea con alguno de los OP, ello permitió identificar qué porcentaje de los participantes señalan cada objetivo como prioritario (Tabla 104).

Por otro lado, el OP 5, enfocado en la gobernanza hídrica, se priorizó y analizó de manera distinta debido a que las medidas enfocadas en gobernanza buscan contribuir con el cumplimiento de alguno o varios de los otros cuatro OP. Por lo tanto, este OP se consolidó como transversal y no se le asignó un porcentaje de priorización.

En la (Tabla 104), se presentan los cinco OP de este PHR 2021-2024, así como la distribución de la priorización a escala peninsular para los primeros cuatro OP, de acuerdo con el proceso participativo.

Para atender las problemáticas locales de cada UP, preservando los recursos compartidos en la región, se reconocieron 14 Estrategias prioritarias (EP) para la PY. Reconociendo la diversidad social y ambiental al interior de la región, para cada EP se señala la distribución de la priorización entre las UP.

En el Anexo 15, se encuentra el análisis específico para cada UP, el cual se propone sea una guía para la planeación hídrica de los estados y municipios, así como para actores sociales y de la academia en cada UP.

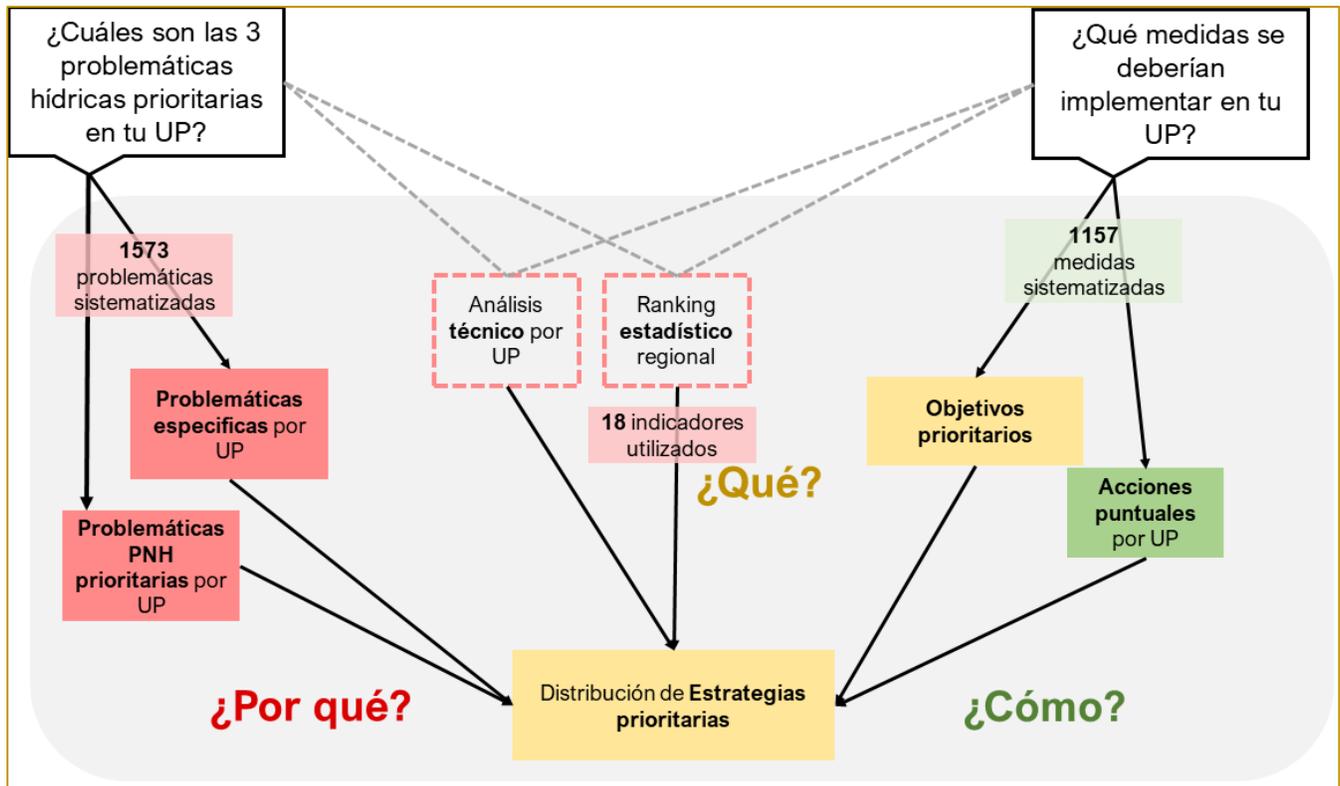
La identificación y priorización de EP resulta de la integración del proceso participativo y los análisis técnicos y estadísticos (Figura 141). Al combinar estas tres herramientas de análisis, se consolidó un instrumento con alto grado de inclusividad, considerando la complejidad de las problemáticas, así como las necesidades actuales y futuras.

**Tabla 104.** Objetivos prioritarios priorizados a escala peninsular

|     |  |
|-----|--|
| 41% | 1.- Garantizar progresivamente los <b>derechos humanos al agua y al saneamiento</b> , especialmente en la población desatendida históricamente.                        |
| 7%  | 2.- Aprovechar eficientemente el agua para contribuir al <b>desarrollo sostenible</b> de los sectores productivos.   |
| 11% | 3.- Reducir la <b>vulnerabilidad</b> de la población ante <b>inundaciones y sequías</b> , con énfasis en pueblos indígenas y población marginada.                      |
| 37% | 4.- Preservar la <b>integralidad del ciclo del agua</b> a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan cuencas y acuíferos.                                |
|     | 5.- Mejorar las <b>condiciones para la gobernanza</b> regional y local del agua a fin de fortalecer la toma de decisiones, la transparencia y la participación social. |

**Fuente:** Elaboración propia mediante el proceso participativo. **Nota:** Los porcentajes representan la proporción de los participantes que señalaron como prioritarias medidas que pertenecen a alguno de los cuatro primeros OP. El OP 5 se priorizó de manera independiente por considerarse transversal.

**Figura 141.** Esquema de la integración de las EP



En alineación con el PND 2019-2024, en este PHR se priorizó la atención a la población más vulnerable y desatendida históricamente. **Para la PY, este grupo se define como la población en más marginada<sup>2</sup> o indígena a la cual se hará referencia de aquí en adelante como población desatendida.** Dicha población representa el 31% de las viviendas totales de las cuales el 28% es marginada, el 24% es indígena y el 21% es marginada e indígena (INEGI, 2020).

Por otro lado, de acuerdo con la disponibilidad de datos, la distribución de EP se dividió entre la población rural y urbana debido a que muchas de las problemáticas hídricas se enfrentan de manera distinta en estos dos medios. Dichos análisis se realizaron mediante los datos del censo de población y vivienda de INEGI (2020) a escala localidad o municipio.

Para cada EP, se detallaron las acciones puntuales derivadas del proceso participativo, así como el número de actores que las señalaron como un indicador del nivel de prioridad percibida por los participantes. En la Tabla 105 se muestran las EP y la proporción de actores del proceso participativo que las señalaron como una de sus tres principales prioridades en materia de agua.

**Tabla 105. Estrategias prioritarias EP por objetivo y proporción de actores del proceso participativo que señalaron cada una.**

|  |     |
|--|-----|
| EP 1.1 Reducir el rezago en el acceso al suministro de agua potable de calidad especialmente para la población desatendida.  | 31% |
| EP 1.2 Reducir el rezago en el acceso a drenaje y sanitarios.  | 19% |
| EP 2.1 Optimizar el uso del agua en el sector agrícola para evitar la sobreexplotación local y contribuir a la seguridad alimentaria y el bienestar de la población y ecosistemas. | 2%  |
| EP 2.2 Optimizar el uso del agua en el sector servicios para evitar la sobreexplotación local y contribuir a la equidad y justicia hídrica.  | 1%  |
| EP 3.1 Proteger a la población e infraestructura de inundaciones.  | 10% |
| EP 3.2 Proteger los medios de subsistencia tradicionales de inundaciones y sequías.  | 1%  |
| EP 4.1 Reducir descargas e infiltración de aguas residuales sin tratamiento apropiado a los cuerpos de agua  | 14% |
| EP 4.2 Reducir la contaminación de cuerpos de agua por agroquímicos.   | 6%  |
| EP 4.3 Evitar la contaminación de cuerpos de agua por actividad pecuaria.  | 3%  |
| EP 4.5 Controlar la contaminación de cuerpos de agua por residuos sólidos.   | 7%  |
| EP 4.6 Preservar zonas de recarga y sanear cuerpos de agua.  | 6%  |
| EP 5.1 Fortalecer la gobernanza hídrica local y articularla a nivel regional.  |     |
| EP 5.2 Fortalecer y diversificar el financiamiento para atender las prioridades hídricas y reforzar las capacidades de gestión del agua.   |     |
| EP 5.3 Incrementar el conocimiento sobre el comportamiento del acuífero y vincularlo con la gestión hídrica.   |     |

**Nota:** Las tres EP del OP5 no cuentan con un porcentaje de priorización debido a que están integradas de manera transversal en los demás OP. Cada Objetivo está representado por su respectivo color.

<sup>2</sup> Por falta de valores Índice de Marginación (IM) a escala de localidad al 2020, se identificaron las localidades con la mayor proporción de población analfabeta, sin primaria completa, sin refrigerador, y con piso de tierra como se detalla en la metodología de CONAPO (2010) para obtener un aproximado de las localidades con nivel de marginación alto y muy alto.

A continuación, se describe a detalle los retos y necesidades y su distribución entre las UP para cada uno de los cinco OP.

## 5.1. OP 1: Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población más vulnerable y desatendida

En esta sección se presenta el OP1 que se relaciona con el derecho humano al agua potable y saneamiento. El 41% de las acciones señaladas como necesarias por los participantes del proceso participativo se relacionan con este OP que fue el más priorizado. En este capítulo se resume la problemática relacionada con el acceso a agua potable y saneamiento de calidad, particularmente para población desatendida, y se presenta la distribución de las necesidades entre las UP. Además, se señalan dos estrategias prioritarias (EP) que incluyen una serie de acciones puntuales para cumplir con dicho OP.

Según datos del Censo de población y vivienda (CPV) 2020 del INEGI, en la PY el 98.1% de las viviendas cuentan con acceso a agua potable de la red pública y 95.7% cuentan con drenaje en la PY. Sin embargo, una proporción de esta población no dispone de un servicio o sistemas de calidad suficiente.

Algunas problemáticas destacadas en el proceso, relacionadas con la calidad en el servicio fueron: el suministro de agua por tandeo excesivo, la falta o exceso de cloración, fugas en la red de agua potable, malos olores, exceso de minerales, potencia insuficiente, y falta de cobranza. Éstas son situaciones que deberán ser atendidas para mantener y mejorar el servicio que se brinda a la población. Algunas medidas incluyen el mantenimiento y actualización de infraestructura hidráulica y de saneamiento, así como la mejora continua de los mecanismos de gestión, por ejemplo, en los Organismos Operadores.

Por otro lado, es necesario proveer los servicios de agua potable y saneamiento a la población carente de ellos, particularmente la población marginada e indígena. Derivado del proceso participativo, combatir el rezago en el acceso al agua potable de calidad y al saneamiento digno, se consolidaron como las dos EPs dentro del Objetivo 1. Por lo cual se identificaron acciones puntuales asociadas a cada EP (Tabla 106).

**Tabla 106.** Estrategias prioritarias y acciones puntuales planteadas en el proceso participativo para cumplir con el OP 1

| 1.1 Reducir el rezago en el acceso al agua potable y mejorar la calidad del servicio particularmente para la población desatendida.                  | 1.2 Reducir el rezago en el acceso a drenaje y sanitarios particularmente para la población desatendida.                   |
|--|--|
| Incrementar el acceso a la red de agua potable de calidad.   | Fomentar la implementación y uso adecuado de ecotecnias a nivel familiar o comunitario para el manejo de aguas residuales. |
| Incrementar y mejorar infraestructura de extracción y bombeo de agua.  | Evitar, identificar, controlar y/o regularizar asentamientos humanos irregulares sin acceso a servicios.                   |
| Asegurar la calidad del agua para consumo humano en comunidades marginadas.  | Incrementar el acceso a alcantarillado.  |
| Mejorar la planeación, control y vigilancia de las asignaciones de extracción de agua basada en monitoreo geohidrológico e investigación científica. | Mejorar la capacitación técnica de operadores  |
| Vigilar, monitorear y reducir fugas en la red de agua potable a través de estudios, financiamiento y planes de respuesta inmediata.                  |  |
| Mejorar las capacidades de cobranza y control de los operadores.   |  |

**1.1 Reducir el rezago en el acceso al agua potable y mejorar la calidad del servicio particularmente para la población desatendida.**

**1.2 Reducir el rezago en el acceso a drenaje y sanitarios particularmente para la población desatendida.**

Implementar y mejorar sistemas de captación de agua pluvial.

Monitorear, estudiar y prevenir la salinización del acuífero y el aumento del nivel del mar.

Fortalecer la gobernanza de los organismos operadores.

De igual forma, para atender este OP, se identificaron los principios y criterios tomados en cuenta para diseñar acciones enfocadas en alcanzar este objetivo, en alineación con la política nacional en materia de agua y desarrollo (Tabla 107).

**Tabla 107. Alineación del objetivo 1 del PHR con los principios rectores y criterios del PND**

| Criterio del PND 2019-2024                               | Descripción en el PNH y en el PHR   |
|--|---|
| Principal población objetivo                             | UP con mayor rezago per cápita y respecto a los totales peninsulares, destacando las UP en Yucatán.   |
|  | Población marginada y/o indígena históricamente desatendida, como en el caso del Oriente Yucatán.   |
|  | Mujeres y población infantil de zonas marginadas en el medio rural y urbano.  |
|  | Población de periferias urbanas y asentamientos humanos irregulares.  |
| Principios rectores incluidos en el objetivo prioritario | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Por el bien de todos, primero los pobres.</li> <li>• No dejar a nadie atrás, no dejar a nadie afuera.</li> <li>• El respeto al derecho ajeno es la paz.</li> </ul>   |
| Contribución al nuevo modelo de desarrollo               | Búsqueda del bienestar de grupos marginados.  |
|  | Se favorece el goce y el ejercicio de los derechos humanos, particularmente el derecho al agua potable y el saneamiento.  |
|  | Disminución de la brecha de acceso al agua y al saneamiento entre estados, regiones y grupos de población.  |
|  | Reconocimiento y fortalecimiento de la labor de las Organizaciones Comunitarias de Servicios de Agua y Saneamiento (OCSAS).   |
| Proyectos o programas prioritarios                       | Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (PROAGUA, Pp S074). El cual está orientado a incrementar o mantener la cobertura y mejorar la eficiencia de dichos servicios especialmente en localidades con altos índices de marginación y grupos indígenas.   |
| Cambios esperados  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejoras en la proporción de población con acceso al agua todos los días y saneamiento mejorado.</li> <li>• Prestadores de servicios comunitarios y municipales con condiciones para apoyar la implementación de los derechos humanos al agua potable y saneamiento.</li> </ul> |

| Criterio del PND 2019-2024 | Descripción en el PNH y en el PHR   |
|----------------------------|---|
|                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Disminución en los problemas de salud relacionados con el agua, a través de reducir o evitar la contaminación del agua. Como en la zona VI, (ver clasificación de la PY con diferentes influencias químicas en Capítulo I), donde se presenta un mayor desarrollo urbano, actividad industrial y porcícola, factores con impacto en la contaminación de las aguas subterráneas, a través de distintos elementos nocivos para la salud.</li> <li>Infraestructura mejorada en zonas de atención prioritaria.</li> <li>Avances en la implementación de derechos humanos al agua y saneamiento.</li> </ul> |
| Transversalidad            | La CONAGUA coordinará acciones puntuales con el Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas (INPI), Salud, la Secretaría de Educación Pública (SEP), el Instituto Mexicano de Tecnología del agua (IMTA), el Instituto Nacional de las Mujeres (Inmujeres), el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS) y con los gobiernos estatales y municipales.   |

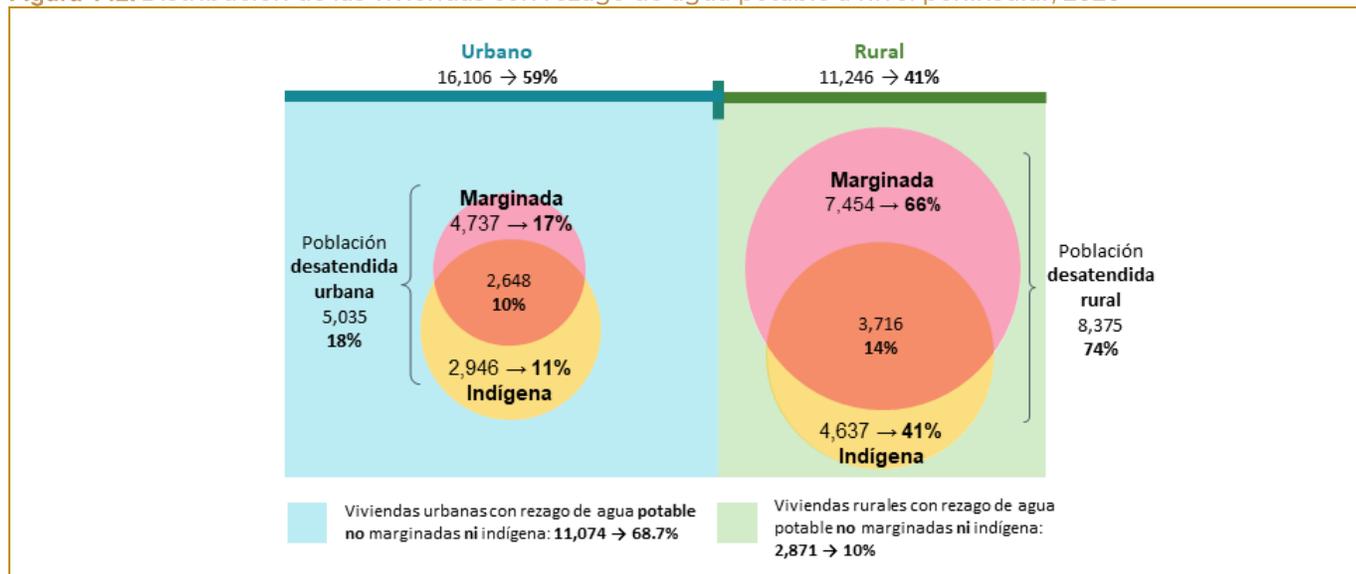
A continuación, se detallan los retos y necesidades y su distribución entre las UP para las dos EP contempladas para el OP 1.

### 5.1.1. EP 1.1 - Reducir el rezago en el acceso al agua potable y mejorar la calidad del servicio especialmente para la población desatendida

Esta EP fue la principal señalada durante el proceso participativo. De acuerdo con datos del Censo de población y vivienda (CPV), en el 2020, 1.5% de las viviendas no contaban con acceso a agua potable de la red pública en toda la PY (INEGI, 2020)<sup>3</sup>. Esto equivale a 27,352 viviendas o aproximadamente 79,055 habitantes (Figura 142).

Aunque a nivel peninsular el rezago de agua potable es bajo, la población desatendida concentra el 49% del rezago total. Particularmente en el medio rural, donde el 75.5% de las viviendas sin acceso a agua potable, pertenecen a población desatendida (Figura 142).

**Figura 142.** Distribución de las viviendas con rezago de agua potable a nivel peninsular, 2020

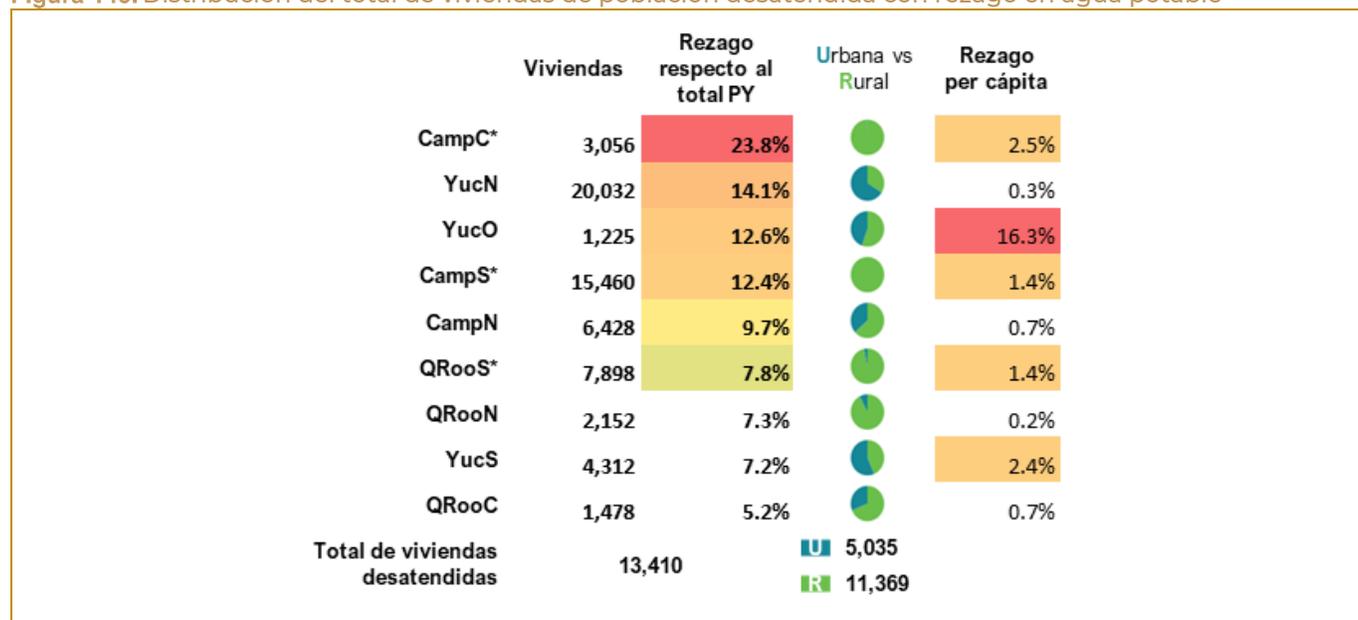


Fuente: Elaboración propia mediante datos del CPV (INEGI, 2020).

<sup>3</sup>Datos del censo disponibles en: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>

A nivel peninsular, el 23.8% de la población desatendida (INEGI, 2020) sin agua potable se encuentra en Candelaria Campeche, de esta población casi el 100% se encuentra en el medio rural (Figura 143). En siete UP, la mayor parte de la población desatendida con rezago de agua potable se encuentra en el medio rural. Sin embargo, el rezago en materia de agua potable en Yucatán se concentra en el medio urbano. Por lo tanto, para atender el rezago de agua potable en Yucatán, es necesario un enfoque particular en localidades urbanas rezagadas, principalmente en zonas periurbanas y en asentamientos humanos irregulares (Tabla 108).

**Figura 143. Distribución del total de viviendas de población desatendida con rezago en agua potable**



Fuente: Elaboración propia con datos del CPV (INEGI, 2020)

Notas: \*UP con excesos de sales minerales en las aguas subterráneas que limitan la calidad de agua para consumo humano.

En materia de la calidad del agua suministrada, no se cuenta con una base de datos que permita comparar y priorizar la problemática a nivel peninsular. En las UP del sur de la PY (CampS, CampC y QRooS), se presenta el caso específico de las aguas con altas concentraciones de sales minerales, derivadas de los procesos naturales de dilución. En estas UP, la necesidad de plantas desalinizadoras fue identificada como prioritaria para proveer a la población de agua potable.

**Tabla 108. Acciones puntuales para reducir el rezago en el acceso al agua potable (EP 1.1)**

#### Incrementar el acceso a la red de agua potable de calidad.

- Incrementar el monitoreo de la calidad del agua suministrada e implementar tecnologías de potabilización en donde sea necesario.
- Extender la cobertura de la red de agua potable en el medio periurbano y rural.
- Priorizar la atención a las localidades con mayor población indígena y marginada.
- Preveer el crecimiento urbano en el diseño de nueva infraestructura hidráulica.

#### Incrementar y mejorar infraestructura de extracción y bombeo de agua.

- Sondear y actualizar equipo obsoleto.
- Incrementar la profundidad de la extracción en pozos con contaminantes detectados.
- Implementar energías renovables para reducir costos y aumentar la resiliencia de cárcamos de bombeo.

#### Asegurar la calidad del agua para consumo humano en comunidades marginadas.

- Incrementar la capacidad de bombeo para abastecer a todas las casas de la comunidad.
- Implementar programas de distribución de filtros residenciales para potabilizar agua.
- Reforzar la gobernanza hídrica comunitaria.

- Buscar cofinanciamiento para la implementación de infraestructura en comunidades.

**Mejorar la planeación, control y vigilancia de las asignaciones de extracción de agua basada en monitoreo geohidrológico e investigación científica.**

- Vincular un sistema de monitoreo en tiempo real de la precipitación y evapotranspiración para tener mayor control sobre el establecimiento de vedas y asignación de concesiones.

**Vigilar, monitorear y reducir fugas en la red de agua potable a través de estudios, financiamiento y planes de respuesta inmediata.**

- Capacitar operadores con métodos de detección de fugas que no requieran exponer las tuberías.
- Implementar programas de detección y atención de fugas intra y extradomiciliarias.

**Mejorar las capacidades de cobranza y control de los operadores.**

**Implementar y mejorar sistemas de captación de agua pluvial.**

- Implementar programas de apoyo para el mantenimiento de sistemas de captación tradicionales aprovechando financiamiento filantrópico e internacional.
- Implementar programas de instalación y valorización de sistemas de captación.

**Monitorear, estudiar y prevenir la salinización del acuífero y el aumento del nivel del mar.**

- Implementar sistemas de monitoreo de la conductividad del agua para identificar tendencias de salinización e implementar acciones preventivas.
- Incrementar la investigación científica sobre la salinización costera y su relación con el cambio climático.

**Fortalecer la gobernanza de los organismos operadores.**

- Fortalecer programas de apoyo para el diseño e implementación de planes de gestión.
- Reforzar a los organismos operadores mediante Organos Auxiliares y Alianzas Intermunicipales a nivel UP.<sup>4</sup>

**5.1.2. EP 1.2 - Reducir el rezago en el acceso a drenaje y sanitarios particularmente para la población desatendida**

Esta EP se enfoca en el acceso a drenaje y sanitarios como un derecho humano a contar con instalaciones y servicios que eliminen los desechos humanos sin riesgo a la salud. En la EP 4.1 se trata el tema de drenaje y saneamiento como un riesgo de contaminación de cuerpos de agua que atenta contra el derecho a un ambiente sano. En el 2020 para la PY, el 4.2% de las viviendas no contaban con drenaje<sup>5</sup>, equivalente a 74,147 viviendas y aproximadamente 214,307 habitantes (Figura 144). Los resultados observados indican la existencia de más viviendas sin acceso a drenaje, que viviendas sin acceso al agua potable de la red pública, aunque fue una problemática menos priorizada por los participantes del proceso.

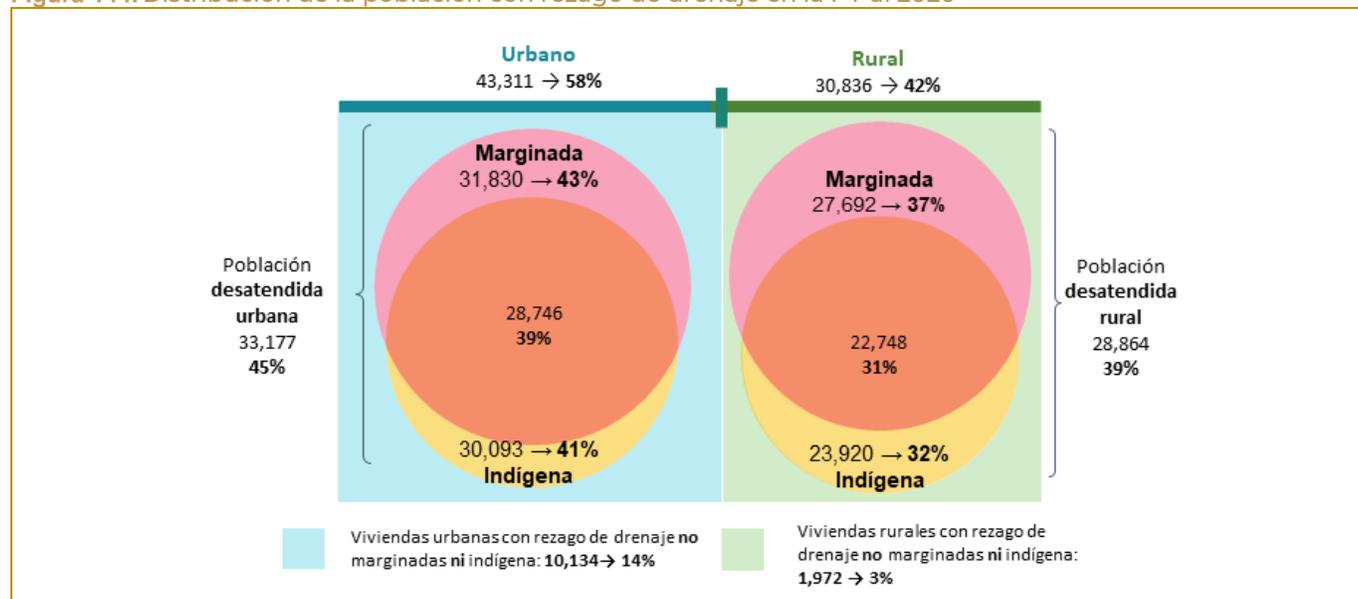
La población indígena y la población marginada, históricamente desatendida, concentra el 82% del rezago total en materia de drenaje a nivel peninsular, equivalente a 62,041 viviendas.

<sup>4</sup> Ver actividad colectiva 1 en el capítulo 7

<sup>5</sup> Definidas por INEGI como: Viviendas particulares habitadas que no tienen drenaje conectado a la red pública, una fosa séptica, tanque séptico (biodigestor) ni una tubería que va a dar a una barranca o grieta, río, lago o mar.

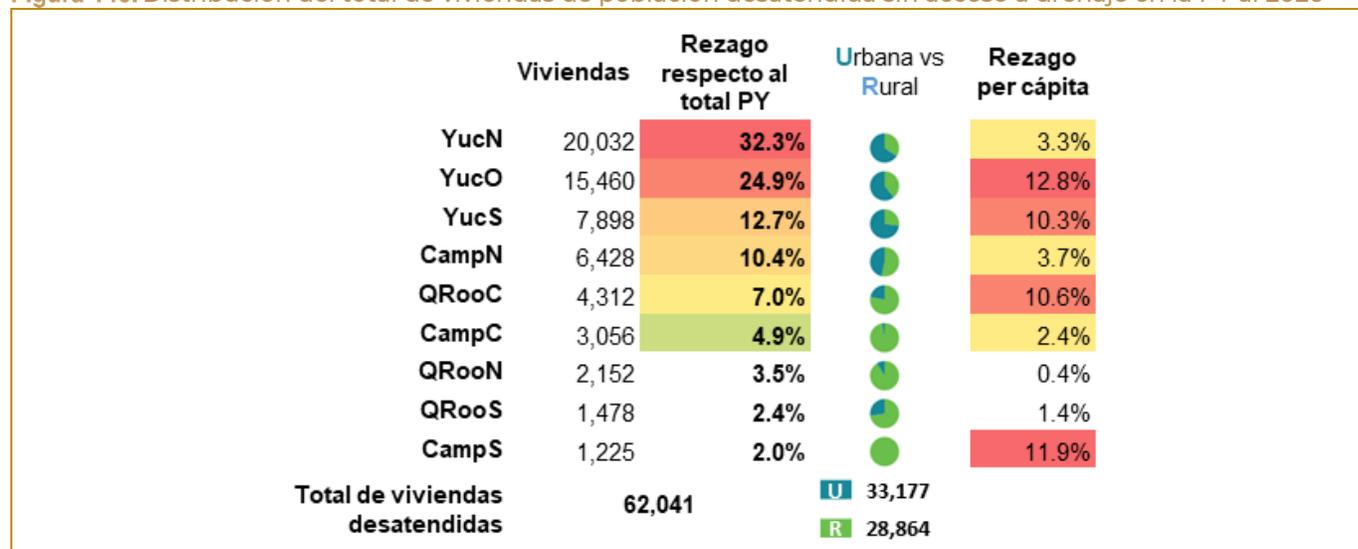
En la PY, el 69.9% de las viviendas de población desatendida, sin acceso a drenaje, se concentra en Yucatán, donde la mayor parte se encuentra en el medio urbano (Figura 144). En los otros dos Estados la mayor parte de la población desatendida sin acceso a drenaje se encuentra en el medio rural.

**Figura 144.** Distribución de la población con rezago de drenaje en la PY al 2020



Fuente: Elaboración propia mediante datos del CPV (INEGI, 2020).

**Figura 145.** Distribución del total de viviendas de población desatendida sin acceso a drenaje en la PY al 2020



Fuente: Elaboración propia mediante datos del CPV (INEGI, 2020).

El análisis respecto al total de viviendas de población desatendida con rezago de drenaje de la PY revela las prioridades de asignación de recursos a nivel peninsular. Sin embargo, es necesario analizar el rezago per cápita para profundizar en las problemáticas locales. Por ejemplo, en la UP Sur Quintana Roo se concentra sólo el 2% de las

viviendas desatendidas rezagadas de la PY. Esta UP tiene el mayor rezago de drenaje per cápita para la población desatendida y por lo tanto atender a esta población debe ser una prioridad local (Figura 145).

La mayor parte de los participantes del proceso participativo propusieron medidas enfocadas a la implementación de sistemas de drenaje alternativos para combatir el rezago. Incrementar el acceso a la red de drenaje también fue priorizado, en Yucatán y Campeche. Las acciones puntuales para reducir el rezago en el acceso a drenaje y sanitarios para la población desatendida se mencionan en la Tabla 109.

**Tabla 109. Acciones puntuales para reducir el rezago en el acceso a drenaje y sanitarios (EP 1.2)**

**Fomentar la implementación y uso adecuado de ecotecnias a nivel familiar o comunitario para el manejo de aguas residuales.**

- Implementar programas de instalación de ecotecnias (baños secos, con biodigestor o biofiltro) y gobernanza para asegurar su correcta apropiación y mantenimiento.
- Complementar el financiamiento público la implementación de ecotecnias con asociaciones civiles e internacionales.

**Evitar, identificar, controlar y/o regularizar asentamientos humanos irregulares sin acceso a servicios.**

- Monitorear el crecimiento urbano para identificar asentamientos irregulares en desarrollo.
- Implementar programas de regularización de la tierra para facilitar el acceso a programas gubernamentales de apoyo a la vivienda.

**Incrementar el acceso a drenaje de la red pública.**

- Implementar programas de apoyo para la conexión al drenaje.
- Incrementar la cobertura de la red pública de drenaje.

**Mejorar la capacitación técnica de operadores**

## 5.2. OP 2 - Aprovechar eficientemente el agua para contribuir al desarrollo sostenible de los sectores productivos

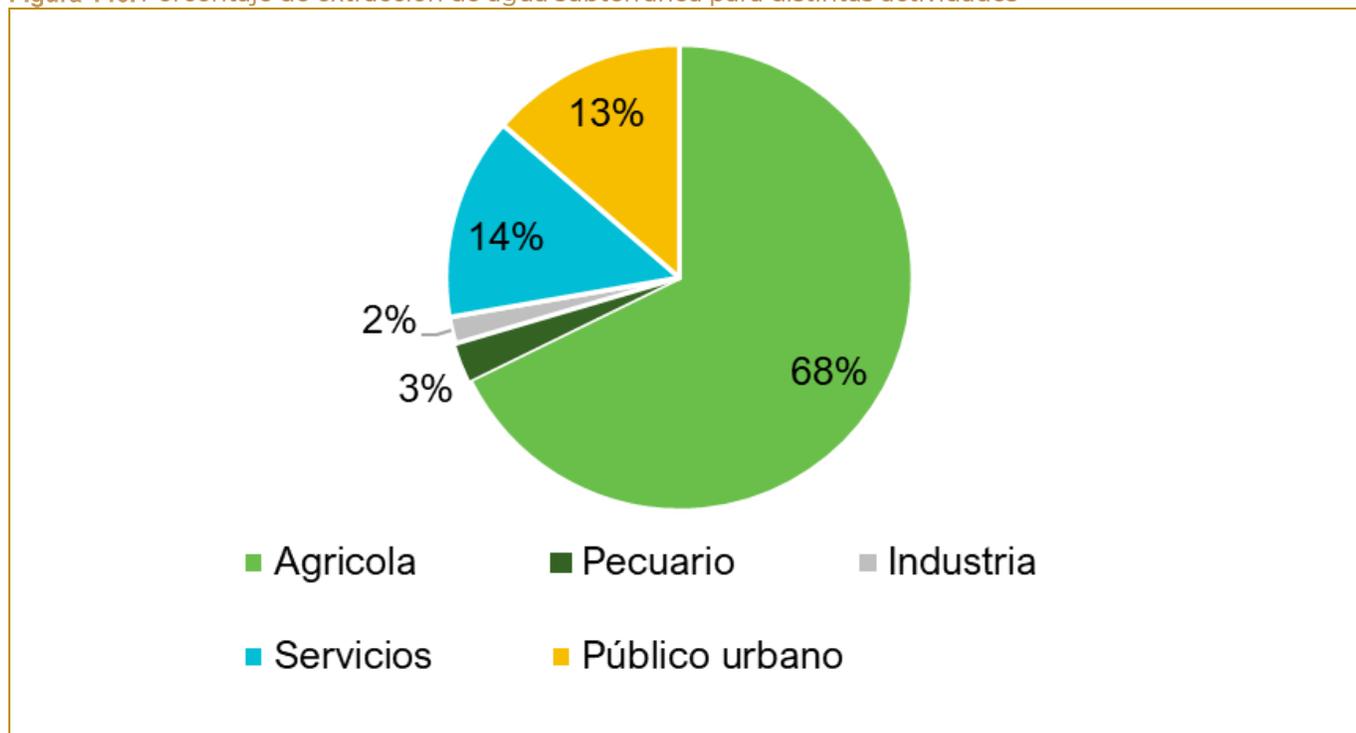
Actualmente los niveles de extracción a escala de acuífero se encuentran dentro de los límites naturales<sup>6</sup> (DOF, 2018). Sin embargo, como se detalla en el Capítulo 1, existe un riesgo de extracción de agua destinada a la conservación ambiental en algunas UP si no se consideran escenarios de cambio climático y de crecimiento demográfico a la planeación hídrica de los próximos años. Esta extracción excesiva podría implicar riesgos sociales y ambientales como salinización del acuífero, escasez, incremento de la concentración de contaminantes entre otros.

En consideración de lo anterior, aún si este objetivo fue el menos priorizado por los participantes del proceso, es necesario impulsar acciones para optimizar el uso del agua en algunas regiones para evitar riesgos sociales y ambientales en el mediano y largo plazo. A través de algunas acciones como optimizar el uso del agua para reducir los volúmenes de extracción, aprovechar el agua de lluvia o fomentar la reinyección de aguas tratadas que cumplan con los parámetros adecuados para suelos kársticos, entre otras que se mencionan a continuación (Tabla 110 y Tabla 111).

Estas acciones deberán enfocarse, principalmente, en el sector agropecuario, principal consumidor de la región (Figura 146), y en el sector servicios, cuyo consumo en la UP Norte de Quintana Roo actualmente provoca el consumo de las aguas destinadas a la Descarga Natural Comprometida (DNC) correspondiente a su extensión territorial y que espera un crecimiento acelerado en los próximos años (Capítulo 1).

<sup>6</sup> De acuerdo con la NOM 011, esto se define como que existe una disponibilidad positiva y por lo tanto no se extrae agua destinada a la Descarga Natural Comprometida (Diario Oficial de la Federación, 2002).

**Figura 146.** Porcentaje de extracción de agua subterránea para distintas actividades



Fuente: Elaboración propia con datos del REPDA (2020).

**Tabla 110.** Tabla de estrategias prioritarias y acciones puntuales para cumplir con el OP2

| 2.1 Optimizar el uso del agua en el sector agrícola para contribuir a la seguridad alimentaria y el bienestar de la población y ecosistemas. | 2.2 Optimizar el uso del agua en el sector servicios para contribuir a la equidad y justicia hídrica y evitar riesgos ambientales. |
|--|--|
| Reducir el uso de variedades altamente consumidoras de agua.   | Incrementar la regulación y vigilancia de límites de consumo permisibles.  |
| Mantener y modernizar sistemas de riego.   | Implementar esquemas de cobro paramétrico y multas.  |
| Capacitar agricultores sobre el uso y cuidado del agua.  | Aprovechar el uso de agua salobre.   |
| Eficientar el cobro de agua para la agricultura intensiva.   | Fomentar la implementación o actualización de sistemas ahorradores.  |
| Capacitar a miembros de asociaciones agrícolas para mejorar las capacidades de organización y gestión.                                       | Fomentar el reciclaje de agua para aprovechar las aguas tratadas.  |

**Tabla III.** Alineación del objetivo 2 del PHR con los principios rectores y criterios del PND

| Criterio del PND 2019-2024                               | Descripción en el PNH y en el PHR  |
|--|--|
| Principal población objetivo                             | Sectores de uso agrícola, industrial, energético, turístico.<br>Productores agropecuarios. En donde la actividad porcícola, es la tercera actividad generadora de ingresos para el sector agropecuario para Yucatán.<br>Pequeños productores hidroagrícolas en zonas vulnerables.<br>Grupos de mujeres productoras del sector agrícola en zonas de atención prioritaria.   |
| Principios rectores incluidos en el objetivo prioritario | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Economía para el bienestar.</li> <li>● Por el bien de todos, primero los pobres.</li> <li>● No dejar a nadie atrás, no dejar a nadie fuera.</li> <li>● No más migración por hambre o por violencia.</li> </ul>  |
| Contribución al nuevo modelo de desarrollo               | Colaboración intersectorial para prevenir degradación de cuencas y acuíferos.<br>Bienestar mediante el uso eficiente del agua en todos los sectores.<br>Creación de condiciones para la seguridad alimentaria mediante el uso eficiente del agua en la agricultura.<br>Reducción de la inequidad en el acceso al agua con fines productivos para todos los usos; entre regiones y tipo de productores.   |
| Proyectos prioritarios                                   | “Producción para el Bienestar”<br>“Sembrando Vida”   |
| Cambios esperados  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Mejora en la eficiencia del uso del agua en los sectores agrícola (ej: CampN, YucN, YucO), industrial y turístico (por ejemplo, QRooN).</li> <li>● Reutilización de aguas residuales tratadas en diferentes sectores, ya que hasta ahora esta actividad se implementa prácticamente en grandes ciudades.</li> <li>● Infraestructura mejorada para la producción de alimentos.</li> <li>● Sistemas de producción eficientes y sostenibles.</li> <li>● Mejora de las condiciones de sectores productivos primarios menos favorecidos y pequeños productores y productoras de zonas vulnerables.</li> <li>● Avances para el logro de la seguridad alimentaria y la seguridad hídrica.</li> </ul> |
| Transversalidad  | La CONAGUA coordinará acciones puntuales con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), el Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), el Instituto Nacional de las Mujeres (Inmujeres), la Secretaría de Bienestar, el Instituto Mexicano de Tecnología del agua (IMTA), la Secretaria de Turismo (SECTUR), la Secretaría de Economía (SE) y con gobiernos estatales y municipales.  |

### 5.2.1. EP 2.1 - Optimizar el uso de agua en el sector agrícola para construir a la seguridad alimentaria y el bienestar de la población y ecosistemas

El sector agrícola representa el 68% del agua total concesionada en la PY (REPDA, 2020). Lograr hacer más eficiente el uso del agua en este sector, especialmente en las UP con riesgo de extracción de las aguas destinadas a la conservación, es necesario para evitar problemáticas ambientales y sociales asociadas. Por ejemplo, las UP Norte Campeche, Norte Yucatán y Sur Yucatán tienen una presión sobre la disponibilidad que excede el 50% y su volumen concesionado para uso agrícola suma el 41.9% del agua total concesionada en la PY para todos los usos (Tabla 112). Ello indica que estas tres UP son clave a nivel peninsular para promover medidas de eficiencia en el riego.

La UP Oriente de Yucatán, a pesar de ocupar el segundo lugar en términos de concesión de agua para uso agrícola, aún se encuentra dentro de los límites naturales establecidos en el Diario Oficial de la Federación (2018), por lo que el nivel de prioridad de las medidas de eficiencia es menor. Las acciones de reducción de uso de agroquímicos son prioritarias en esta UP para asegurar la calidad del agua subterránea.

**Tabla 112.** Volumen concesionado para uso agrícola y presión sobre la disponibilidad por UP al 2020

| UP              | Volumen concesionado | Presión sobre la disponibilidad |
|-----------------|----------------------|---------------------------------|
| CampN           | 17.4%                | 54.3%                           |
| YucO            | 13.3%                | 26.1%                           |
| YucN            | 12.4%                | 74.7%                           |
| YucS            | 12.2%                | 70.3%                           |
| QRooS           | 6.3%                 | 27.6%                           |
| CampC           | 5.0%                 | 10.9%                           |
| QRooC           | 0.7%                 | 4.6%                            |
| QRooN           | 0.3%                 | 116.7%                          |
| CampS           | 0.1%                 | 1.6%                            |
| <b>Total PY</b> | <b>68%</b>           | <b>34.7%</b>                    |

Fuente: Elaboración propia mediante datos de REPDA (2020) y Bauer-Gottwein et al. (2011).

Más del 84% del agua concesionada para el sector agrícola se encuentra en concesiones de más de 100,000 m<sup>3</sup>/año (Figura 147) (REPDA, 2020). Estos volúmenes de agua están principalmente asociados a productores medianos y grandes intensivos, para los cuales algunas de las medidas de eficiencia en el riego, particularmente las relacionadas con infraestructura de alta tecnificación, serán más accesibles. Dentro de las medidas propuestas en el proceso participativo se encuentran incentivos económicos, como subsidios y cobros paramétricos del agua para fomentar la actualización a sistemas de riego de alta eficiencia (Tabla 113).

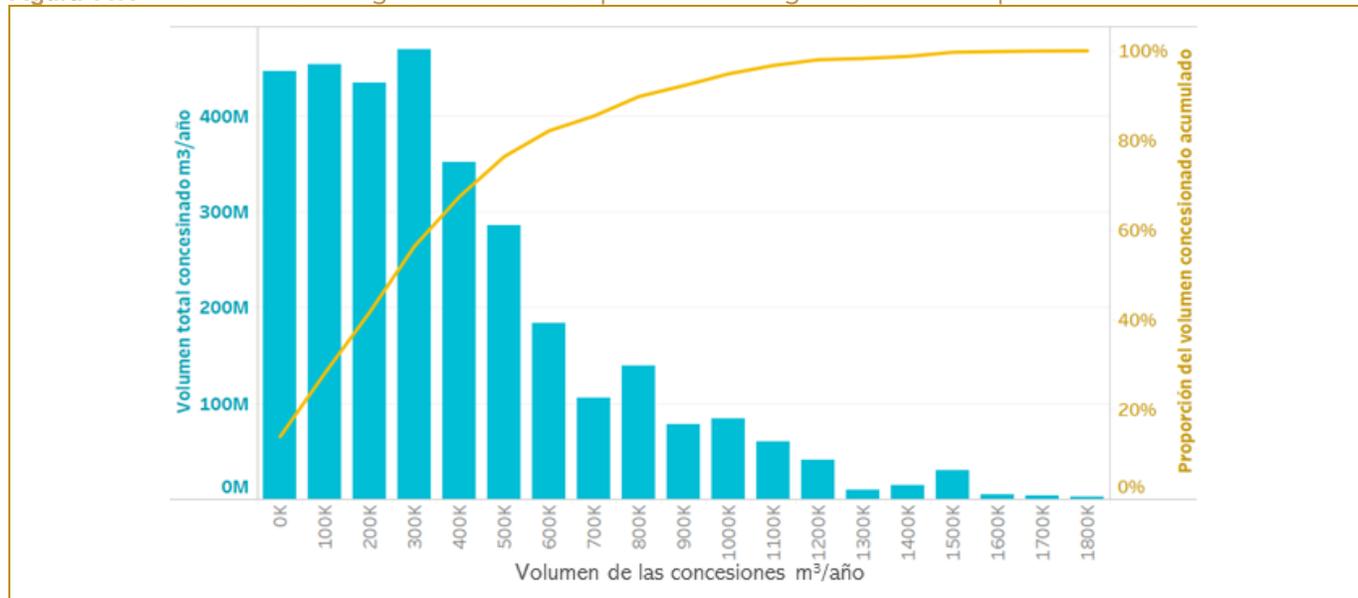
Otras de las medidas propuestas se enfocan en la capacitación a agricultores con técnicas de riego y sembrado más eficientes, como riego por goteo y agroecología. Se propuso también la regulación de los cultivos altamente consumidores de agua, como la palma de aceite o la soja.

A pesar de que los pequeños productores no representan la mayor proporción del consumo de agua agrícola de la región, algunas de las medidas enfocadas en hacer más eficientes los procesos de riego, pueden aportar mejoras a su calidad de vida y a la reducción del impacto ambiental asociado a la producción. Por ejemplo, capacitaciones en agroecología, agricultura silvopastoril o instalación de sistemas de riego eficientes, pueden representar ahorros económicos y una mayor producción generando un impacto positivo.

### 1.1.1. EP 2.2 - Optimizar el uso del agua en el sector de servicios para construir a la equidad y justicia hídrica y evitar riesgos ambientales

Esta EP fue identificada sólo por 7 participantes del proceso participativo. Sin embargo, a partir del análisis de la disponibilidad local actual y futura, se identificó que esta medida es prioritaria en la UP QRooN. En esta UP, el sector de servicios concentra el 78% de la demanda estatal (Figura 148) y el 13.4% de todo el volumen asignado para la PY (REPDA, 2020) y en el 2020 presentó una presión sobre la disponibilidad del 117%. Al 2050 según escenarios de cambio climático, la problemática a nivel UP se intensificará, con una presión sobre la disponibilidad proyectada del 266% considerando efectos del cambio climático y el crecimiento demográfico (Capítulo 1). Los niveles del CADNC local pueden incrementar los riesgos de salinización costera, comprometiendo el 81% de toda el agua concesionada para la UP Norte Quintana Roo.

**Figura 147.** Volumen total de agua concesionada para el sector agrícola a nivel PY por volumen de concesión



Fuente: Elaboración propia mediante datos del REPDA (2020).

**Tabla 113.** Acciones puntuales para optimizar el uso del agua en el sector agrícola (EP 2.1)

**Reducir el uso de variedades altamente consumidoras de agua.**

- Controlar el establecimiento de monocultivos a gran escala de soja, palma de aceite y sorgo.

**Mantener y modernizar sistemas de riego.**

- Implementar programas para fomentar el riego por goteo y riego automatizado.

**Capacitar agricultores sobre el uso y cuidado del agua.**

- Implementar programas de capacitación sobre técnicas eficientes de riego y sobre el valor del agua en la región.

**Eficientar el cobro de agua para la agricultura intensiva.**

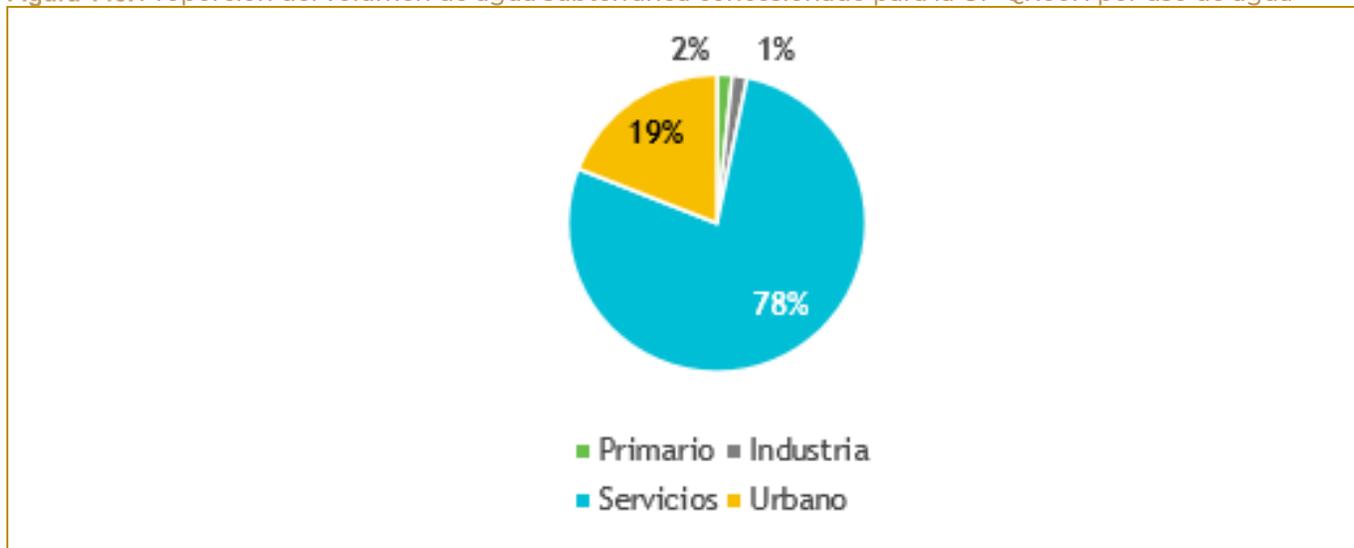
- Mejorar el monitoreo de la extracción y la aplicación de sanciones para productores que con medidores fuera de regla.

**Capacitar a miembros de asociaciones agrícolas para mejorar las capacidades de organización y gestión.**

- Implementar programas de apoyo para mejorar la gobernanza de las asociaciones agrícolas.

Distintas acciones puntuales y medidas se identificaron para evitar los riesgos sociales y ambientales asociados al CADNC local en Norte Quintana Roo por el sector de servicios (Tabla 114).

**Figura 148.** Proporción del volumen de agua subterránea concesionado para la UP QRooN por uso de agua



Fuente: Elaboración propia mediante datos del REPDA (2020)

**Tabla 114.** Medidas propuestas para optimizar el consumo de agua en el sector servicios (EP 2.2)

Incrementar regulación y límites de consumo permisibles para el sector.

- Implementar cobro paramétrico
- Regular concesiones de agua en relación con la disponibilidad

Fomentar cultura del agua en trabajadores y usuarios.

Fomentar la actualización a sistemas ahorradores de agua.

Fomentar el uso y comercio de aguas tratadas y salobres.

### 5.3. OP 3 - Reducir la vulnerabilidad de la población ante inundaciones y sequías, con énfasis en pueblos indígenas y población marginada

Los principales riesgos hidrometeorológicos enfrentados por la PY de competencia para este instrumento son las inundaciones, esencialmente asociadas a huracanes y tormentas, y las sequías. La PY es altamente impactada por ambos fenómenos (INECC, 2019). Sin embargo, los daños y pérdidas generadas no sólo dependen de la intensidad de los fenómenos, sino también de las condiciones socioambientales locales. A este conjunto de condiciones se le conoce como vulnerabilidad.

Modificar dichas condiciones constituye un área de oportunidad para proteger a la población, ecosistemas e infraestructura de la región. En general, la población en condiciones de marginación y la población indígena tanto en el medio rural como urbano son las más vulnerables a sufrir más daños y afectaciones en inundaciones.

La intensidad y frecuencia de estos fenómenos es variable en la PY. Por ejemplo, la UP Norte Quintana Roo es la que recibe mayor impacto de huracanes (NOAA, 2020). Es importante señalar que la intensidad de los huracanes puede aumentar debido al cambio climático.

Las condiciones de vulnerabilidad son muy distintas en la región, ya sea por las condiciones diferenciadas de marginación, las distintas capacidades gubernamentales de atención y respuesta, así como por la ubicación y ocupación de la población, entre otras variables. Por lo tanto, es necesario que las medidas para enfrentar inundaciones y sequías se prioricen y diseñen de manera distinta en cada UP. Además, se deben articular las acciones y encontrar oportunidades de colaboración entre municipios y a escala regional entre UP.

El riesgo más priorizado en el proceso participativo es el de las inundaciones, particularmente para la población desatendida, por lo que constituye la principal EP.

Los medios de subsistencia tradicionales como la agricultura, ganadería y apicultura destacaron como altamente vulnerables a inundaciones y sequías, con potenciales consecuencias sociales importantes. Por lo tanto, la protección de los medios de subsistencia tradicionales ante estos fenómenos se consolidó como la segunda EP del Objetivo 3.

Como resultado, en esta sección se identificaron las principales acciones puntuales para las dos EP de este Objetivo. Las cuales se alinean con distintos principios y criterios a ser tomados en cuenta para priorizar y diseñar dichas acciones puntuales (0 y Tabla 116)..

**Tabla 115. Estrategias prioritarias y acciones puntuales para cumplir con el OP3**

| 3.1 Proteger a la población, particularmente población desatendida, e infraestructura de inundaciones.              | 3.2 Proteger los medios de subsistencia tradicionales de inundaciones y sequías. |
|---|--|
| Mejorar e incrementar cobertura de drenaje pluvial.   | Atención a agricultores y otros sectores afectados por inundaciones.             |
| Desarrollar o actualizar mapas de riesgo y vincularlos con el ordenamiento territorial.                             | Atención a agricultores afectados por sequías.                                   |
| Evitar, identificar, atender o reubicar asentamientos humanos irregulares en zonas vulnerables.                     | Implementar o mejorar de infraestructura para zonas de producción agropecuaria.  |
| Capacitar a la población para la prevención y atención de desastres.  | Implementar mecanismos monitoreo comunitario de variables ambientales.           |
| Proteger, restaurar y recuperar ecosistemas costeros y terrestres para reducir inundaciones pluviales y costeras.   |  |
| Atención a población afectada por inundaciones.   |  |
| Mejorar el análisis y prevención de riesgos en las manifestaciones de impacto ambiental y asegurar su cumplimiento. |  |
| Identificar y equipar infraestructura pública y privada en riesgo por inundación.                                   |  |
| Mejorar protocolos y planes de respuesta y atención a desastres.  |  |
| Sanear o reparar pozos afectados por inundaciones.  |  |
| Implementar zonas inundables y de infiltración en ciudades.   |  |
| Implementación o mejora de sistemas de alerta temprana.   |  |
| Fomentar la investigación científica sobre inundaciones y sequías.  |  |
| Coordinar esfuerzos de monitoreo meteorológico a nivel regional.  |  |

**Tabla 116. Alineación del objetivo 3 del PHR con los principios rectores y criterios del PND**

| Criterio del PND 2019-2024                               | Descripción en el PNH y del PHR   |
|--|---|
| Principal población objetivo                             | Grupos vulnerables en zonas con mayor propensión a sequías e inundaciones. Para el caso de sequías destacan las UP Sur, Oriente y Norte Yucatán, mientras que para las inundaciones son las zonas costeras al largo de la PY. Municipios con mayor vulnerabilidad a la sequía y alta y muy alta vulnerabilidad climática. Regiones, centros de población y sistemas productivos expuestos al impacto de eventos hidrometeorológicos extremos.   |
| Principios rectores incluidos en el objetivo prioritario | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Por el bien de todos, primero los pobres</li> <li>● No dejar a nadie atrás, no dejar a nadie afuera</li> </ul>   |
| Contribución al nuevo modelo de desarrollo               | Construcción de capacidades institucionales y sociales para enfrentar desastres. Disminución de afectaciones materiales y humanas por impactos de la variabilidad del clima.<br>Construcción de comunidades resilientes a los cambios del clima.<br>Creación de capacidades nacionales de adaptación al cambio climático.   |
| Proyectos o programas prioritarios                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Planeación hídrica mejorada con información sobre el clima.</li> <li>● Vulnerabilidad social disminuida frente a los impactos de eventos extremos del tiempo y el clima.</li> <li>● Políticas hídricas que integran información climática.</li> <li>● Implementación de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) y soluciones de infraestructura verde.</li> <li>● Infraestructura mejorada en zonas de alta y muy alta vulnerabilidad frente a cambios del clima.</li> <li>● Gestión de riesgos de desastre mejorada al considerar esquemas de planeación democrática.</li> <li>● Centros de población y zonas productivas protegidas al disminuir condiciones de riesgo frente a eventos hidrometeorológicos extremos (como el caso de Quintana Roo, que en los últimos 100 años es el estado que más eventos de huracán ha enfrentado).</li> </ul> |
| Cambios esperados  | Para el logro de este objetivo prioritario se requiere de la concurrencia de esfuerzos de muy diversas secretarías de estado. La CONAGUA coordinará acciones puntuales con la Secretaría de Gobernación (SEGOB), el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA), Comisión Federal de Electricidad (CFE), la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y la Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano (SEDATU); así como con gobiernos estatales y municipales.  |

### 1.2.1. EP 3.1 - Proteger a la población, particularmente población desatendida, e infraestructura de inundaciones

Los riesgos asociados a las inundaciones dependen de la intensidad del fenómeno y de las condiciones de la población en esa zona, lo cual determina la susceptibilidad a sufrir daños o afectaciones por dicho fenómeno.

En general, la población en condiciones de marginación y la población indígena, tanto en el medio rural como urbano, son las más susceptibles a sufrir más daños y afectaciones en inundaciones. Sin embargo, en 2020 se evidenció que la creciente construcción de infraestructura subterránea (pasos a desnivel, estacionamientos, etc.) hace vulnerables también a zonas de mayor nivel socioeconómico.

Mediante el índice de vulnerabilidad a inundación del Atlas Nacional de Vulnerabilidad (INECC, 2019), se estimaron promedios ponderados de vulnerabilidad actual a inundación, considerando el tamaño de la población desatendida en cada municipio (Tabla 117). Así, se determinaron las UP con mayor proporción de población desatendida vulnerable a inundaciones. Las UP en donde las medidas de prevención de riesgos por inundación para población desatendida son prioritarias, son Sur y Centro Quintana Roo y Sur Yucatán en la zona de cerros y valles.

**Tabla 117. Vulnerabilidad a inundaciones para la población desatendida por UP**

| UP    | Índice de vulnerabilidad |
|-------|--------------------------|
| QRooS | 0.93                     |
| QRooC | 0.66                     |
| YucS  | 0.58                     |
| QRooN | 0.53                     |
| CampC | 0.51                     |
| YucO  | 0.49                     |
| YucN  | 0.46                     |
| CampN | 0.46                     |
| CampS | 0.32                     |

**Fuente:** Elaboración propia mediante datos del Atlas Nacional de Vulnerabilidad (INECC, 2019)

Las inundaciones costeras son ocasionadas por la marea de tormenta y el incremento del oleaje asociado a los vientos derivados de huracanes (Rosengaus-Moshinsky et al., 2002). La falta de barreras naturales como manglares y dunas primarias incrementan la penetración del agua de mar incrementando los riesgos a las personas, la infraestructura y los ecosistemas. Este tipo de inundaciones costeras, generalmente interactúan con otras amenazas como inundaciones pluviales y vientos huracanados. Algunas medidas para evitar estos riesgos son la conservación o restauración de las barreras costeras naturales, como arrecifes, dunas primarias y manglares, la implementación de barreras costeras grises<sup>7</sup>; el equipamiento de infraestructura con elementos resistentes a inundación y el ordenamiento territorial con un enfoque de riesgos, considerando las proyecciones de cambio climático. Las zonas con mayor vulnerabilidad a inundaciones pluviales son las cercanas a escurrimientos permanentes o de temporal como es el caso, por ejemplo, de las zonas de humedales sobre la fractura de Holbox y de otras zonas inundables ligadas a fallas y fracturas en el sur de Quintana Roo y Campeche (Tabla 118)

Los riesgos de inundación incrementan con la urbanización y la deforestación. Algunas de las medidas para reducir estos riesgos son: evitar asentamientos humanos y construcción de infraestructura (ie. Carreteras, vías férreas) en zonas de escurrimientos, implementar y mejorar drenaje pluvial en zonas urbanas, reubicar asentamientos en casos extremos, combatir y revertir la deforestación y establecer zonas de sacrificio inundables. Debido a la novedad del fenómeno, la investigación relacionada con las inundaciones por sobrepaso de los niveles freáticos es aún escasa. No obstante, las experiencias del verano del 2020 vividas en la PY permiten definir algunas medidas preventivas: evitar construcciones subterráneas en zonas de baja altitud, equipar con sistemas de bombeo a las obras subterráneas existentes; capacitar a la población en prevención y atención de desastres; e identificar zonas en riesgo. Continuar con la investigación en la materia es necesario para evitar riesgos futuros.

<sup>7</sup> Aunque dichas barreras si no se implementan dentro de un contexto de manejo costero regional, pueden generar mayor erosión y deterioro de las costas

**Tabla 118.** UP prioritarias para la implementación de acciones puntuales para proteger a la población por inundaciones

| Tipo                   | Urbano | Rural |
|------------------------|--------|-------|
| Inundaciones costeras  | QRooN  | QRooC |
|                        | CampN  | QRooS |
|                        | CampC  | YucN  |
| Inundaciones pluviales | YucN   | CampS |
|                        | YucS   | YucS  |
|                        | CampN  | YucS  |
| Inundaciones freáticas | YucN   | YucN  |
|                        | YucO   | YucO  |

**Fuente:** Elaboración propia mediante la caracterización geohidrológica presentada en el Capítulo 1, la distribución de la población realizada mediante datos de INEGI (2020) y el proceso participativo.

Las tendencias socioambientales como la urbanización, el crecimiento poblacional y la deforestación y cambio del uso del suelo en la región, provocan que los riesgos por inundación sean cada vez mayores. Este riesgo fue el principal riesgo identificado por los participantes del proceso, asociado con la percepción de riesgos por cambio climático. Para esta sección se identificaron algunas medidas para proteger a la población e infraestructura de inundaciones (Tabla 119).

### 1.2.2. EP 3.2 - Proteger los medios de subsistencia tradicionales de inundaciones y sequías

La agricultura, ganadería y apicultura tradicional son altamente vulnerables a inundaciones y sequías. En el proceso participativo, particularmente por representantes indígenas, se mencionaron problemáticas como pérdidas de cosechas, semillas y de colmenas por inundaciones. También, el efecto directo de la falta de lluvias y la reducción del suministro de agua durante sequías, se mencionaron como riesgos para estos modos de vida.

Para comparar la distribución de los riesgos para los medios de subsistencia por sequías en la PY, el análisis se centró en la población rural desatendida, considerando que una proporción considerable de esta población depende de medios de subsistencia tradicionales. Mediante el indicador de magnitud de sequía, calculado a partir de los datos del monitor de sequía de México (IMTA, 2019) y de la población desatendida rural, se estimó un índice de riesgo de sequías para medios de subsistencia (Tabla 120).

**Tabla 119.** Acciones puntuales para proteger a la población de inundaciones (OP 3.1)

**Mejorar y actualizar Atlas de Riesgos y vincularlos con el ordenamiento territorial.**

- Realizar un modelo digital de elevación de resolución suficiente para identificar las zonas de mayor vulnerabilidad
- Publicar atlas de riesgos regionales para contar con mayores capacidades de análisis
- Incluir perspectiva de cambio climático
- Implementar monitoreo satelital para el seguimiento y evaluación del respeto al ordenamiento territorial

**Incrementar y mejorar drenaje pluvial.**

- Extender la cobertura del drenaje pluvial urbano
- Diseñar drenaje pluvial para evitar bloqueos que faciliten inundaciones

**Evitar, identificar, controlar y regularizar asentamientos humanos irregulares en zonas vulnerables.**

- Realizar un mapeo detallado de los asentamientos humanos irregulares en zonas de riesgo
- Implementar programas para regularizar la tenencia de la tierra
- Reubicar, en casos extremos, a poblaciones altamente vulnerables

**Proteger y restaurar hábitats costeros y terrestres para reducir riesgos de inundación.**

- Restaurar manglares para proteger ciudades y comunidades
- Regenerar dunas costeras y su vegetación natural
- Asegurar el respeto a la zona marítimo terrestre, particularmente en zonas de alta exposición a mareas de tormenta

La UP con mayor población rural desatendida está en Norte Yucatán (22% del total peninsular según el CPV INEGI (2020)), sin embargo, al no ser una UP altamente impactada por sequías, no ocupa los primeros lugares para esta EP. Por otro lado, estos datos no consideran los riesgos potenciales futuros asociados al cambio climático que podrían cambiar la distribución de las sequías en la PY en el mediano y largo plazo.

**Tabla 120.** Índice de exposición a sequías y sus componentes

| UP    | Índice de sequías para población desatendida | Proporción de la población rural desatendida peninsular | Meses equivalentes de sequía severa |
|-------|--|---|-------------------------------------|
| CampC | 0.87   | 12.7%   | 112                                 |
| YucS  | 0.85   | 6.5%  | 102                                 |
| QRooC | 0.85   | 9.2%  | 106                                 |
| CampN | 0.79   | 13.4%   | 95                                  |
| YucO  | 0.79   | 16.4%   | 97                                  |
| CampS | 0.78   | 3.7%  | 97                                  |
| YucN  | 0.75   | 22.0%   | 91                                  |

| UP   | Índice de sequías para población desatendida | Proporción de la población rural desatendida peninsular | Meses equivalentes de sequía severa |
|--|--|---|-------------------------------------|
| QRooN  | 0.74   | 6.2%  | 86                                  |
| QRooS  | 0.64   | 9.9%  | 74                                  |
| Total de viviendas rurales de pEnrique población desatendida |  | 165 813   |                                     |

**Fuente:** Elaboración propia mediante datos del CPV (INEGI, 2020) y el Monitor de Sequía de México (IMTA, 2019) entre 1980 y 2021.

El Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía (CONAGUA, 2014) constituye la principal herramienta para articular acciones para atender esta EP (Tabla 121).

**Tabla 121.** Acciones puntuales para proteger medios de subsistencia tradicionales de sequias (EP 3.2)

#### Incrementar el monitoreo y prevención de riesgos.

- Establecer sistemas de alerta temprana.
- Incrementar la investigación científica sobre el tema con enfoque de cambio climático.

#### Eficientar el consumo de agua.

- Promover el uso de sistemas ahorradores y ecotecnias.
- Promover el reúso de aguas tratadas.

#### Evitar afectaciones a los bienes de los productores tradicionales.

- Construir sistemas de almacenamiento de agua.
- Fomentar el uso de variedades y sistemas agroforestales más tolerantes a sequías.
- Capacitación a productores sobre el aprovechamiento del agua durante sequías.
- Construir o rehabilitar pozos para riego y suministro de agua.
- Proveer a productores con alimento o agua para ganado.

#### Medidas para atender población afectada

- Implementar bancos de semillas.
- Proveer o facilitar el acceso a productores de semilla para replantar, colmenas, ganado entre otros para mitigar pérdidas.
- Establecer mecanismos de compensación por pérdidas en cosechas, colmenas, ganado y equipo.

## 5.4. OP 4 - Preservar la integralidad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan cuencas y acuíferos

El principal riesgo para la disponibilidad de agua subterránea se relaciona con su calidad, la cual se ve afectada por la contaminación por las aguas residuales, la actividad agrícola y pecuaria y la mala disposición de residuos sólidos. La actividad industrial no fue identificada por los participantes en este proceso de planeación como una fuente de contaminación actual con relevancia regional, por lo que sólo se identificaron cuatro EP relacionadas con calidad de agua (Tabla 122).

Las selvas, humedales y arrecifes de la región proveen valiosos servicios hídricos, ecosistémicos y de resiliencia; por ello su conservación es prioritaria para mantener la integralidad del ciclo hidrológico y asegurar el derecho a un ambiente sano.

**Tabla 122.** Alineación del objetivo 4 del PHR con los principios rectores y criterios del PND

| Criterio del PND 2019-2024                 | Descripción en el PNH y del PHR  |
|--|--|
| Principal población objetivo               | Pueblos y comunidades.<br>Propietarios y actores locales relacionados con el manejo de áreas importantes para la preservación de servicios ambientales y la recarga de acuíferos, y la actividad productiva.<br>Población de regiones y municipios con mayor estrés hídrico, particularmente comunidades rurales marginadas de la zona sur y centro de la PY (CampC, CampS, QrooS, YucS) que cuentan con el mayor rezago en el acceso a agua potable y presentan baja calidad de agua. |
| Principios rectores incluidos en el OP     | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Por el bien de todos, primero los pobres</li> <li>● No dejar a nadie atrás, no dejar a nadie fuera</li> </ul>   |
| Contribución al nuevo modelo de desarrollo | Preservación de la base natural que otorga bienestar a los mexicanos, a través de la provisión de servicios ambientales hidrológicos.<br>Se protege la salud de la población y de los ecosistemas frente a situaciones de contaminación o de emergencias hidroecológicas.  |
| Proyectos o programas prioritarios         | “Sembrando Vida”<br>Autosuficiencia Alimentaria y rescate del campo  |
| Cambios esperados                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Preservación de ecosistemas que hacen posible el ciclo del agua.</li> <li>● Mantenimiento de servicios ambientales hidrológicos.</li> <li>● Gestión integrada de recursos hídricos mejorada.</li> <li>● Protección a poblaciones y ecosistemas.</li> <li>● Creación de condiciones para garantizar la seguridad hídrica.</li> </ul>   |
| Transversalidad                            | La CONAGUA coordinará acciones puntuales con CONAFOR, ASEDATU, SEDENA, SEGOB, CONANP, SEMAR, PROFEPA, COFEPRIS, la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural SADER, SENER, SEMARNAT, INECC, SCT; así como con gobiernos municipales y estatales.  |

Los principios y criterios considerados para el análisis y el diseño de medidas relacionadas con este objetivo se muestran en la Tabla 123, al igual que su alineación con el nuevo modelo de desarrollo plasmado en el PND 2019-2024.

**Tabla 123. Estrategias prioritarias y acciones para cumplir con el OP4**

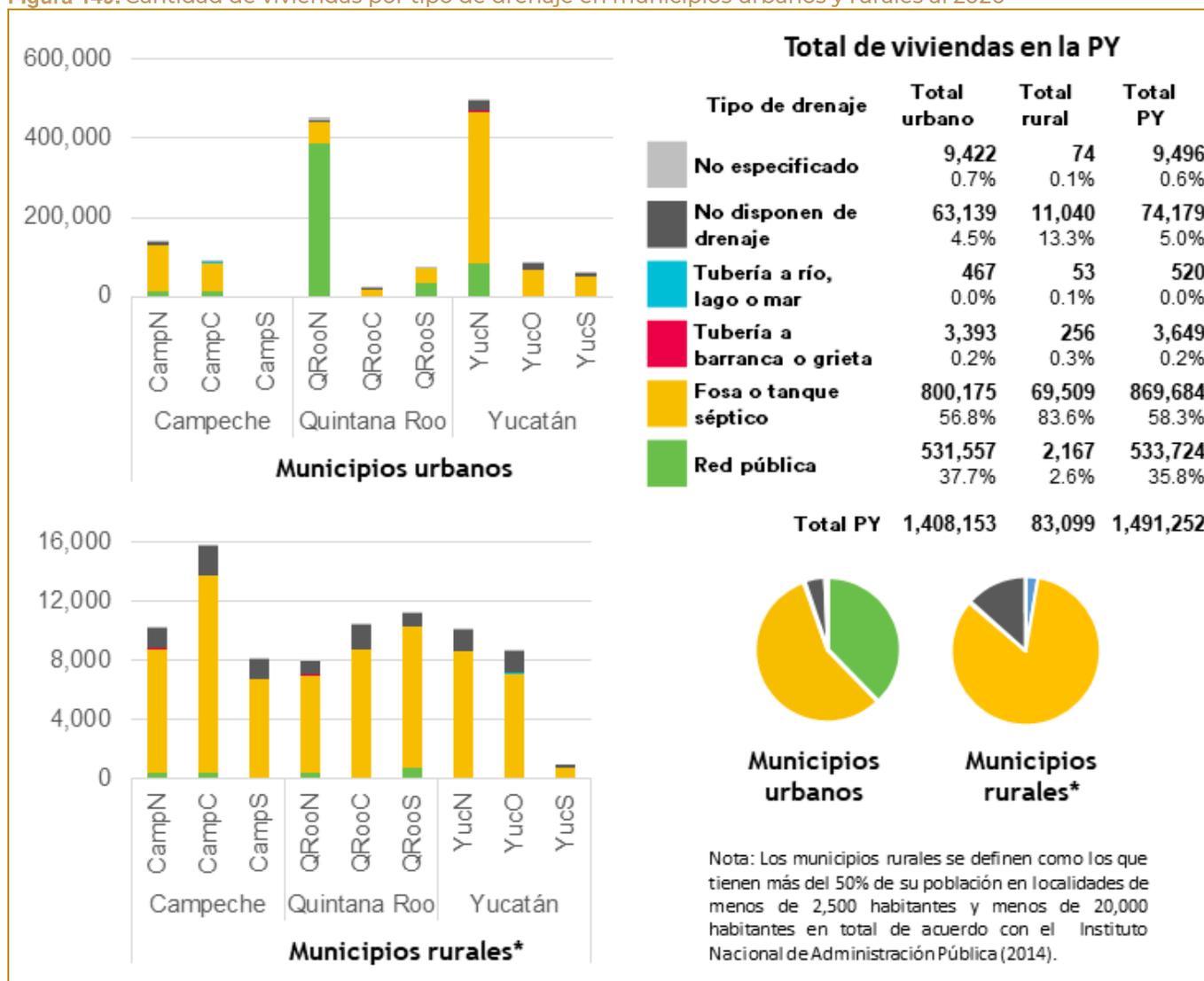
|  |   |   |  |  |   |
|--|---|---|--|--|---|
| <b>4.1 Reducir descargas e infiltración de aguas residuales no tratadas.</b> | Incrementar el tratamiento de aguas residuales en plantas de tratamiento.                             | Implementar o mejorar sistemas de tratamiento alternativos en el medio rural.                     |  |  |   |
| <b>4.2 Reducir la contaminación por agroquímicos.</b>                        | Fomentar la reducción de uso de agroquímicos.   | Evitar la mala disposición final de contenedores de agroquímicos.                                 |  |  |   |
| <b>4.3 Reducir la contaminación por actividad pecuaria.</b>                  | Aplicar tratamiento terciario para reducir contaminación de granjas porcícolas, avícolas y ganaderas. | Alinear la zonificación pecuaria con las características geohidrológicas del suelo.               |  |  |   |
| <b>4.4 Reducir la contaminación por residuos sólidos.</b>                    | Evitar el flujo de basura a cuerpos de agua.  | Evitar la infiltración de lixiviados derivada de la mala disposición final de residuos orgánicos. |  |  |   |
| <b>4.5 Preservar zonas de recarga y cuerpos de agua.</b>                     | Monitorear y sanear de cuerpos de agua.   | Combatir y revertir la deforestación y afectación a selvas.                                       | Elaborar, actualizar o respetar ordenamiento urbano y ecológico con perspectiva hidrológica. | Establecer y proteger zonas de recarga y reservas geohidrológicas <sup>8</sup> . | Proteger y restaurar hábitats costeros. |

### 1.3.1. EP 4.1 - Reducir descargas e infiltración de aguas residuales no tratadas

La principal fuente de contaminación del acuífero identificada en el proceso participativo fue la falta de tratamiento de aguas residuales. Los distintos tipos de drenaje (Figura 149) presentan distintos riesgos de contaminación por aguas residuales, por ejemplo, las viviendas que no disponen de drenaje tienen una eficiencia del tratamiento nula, mientras que las fosas sépticas y las plantas de tratamiento presentan una eficiencia aproximada promedio entre el 40% y 60% y superior al 90% respectivamente (Capítulo 1).

<sup>8</sup> Ello es particularmente importante en las grandes estructuras kársticas regionales (anillo de cenotes de Chicxulub, Fractura de Holbox, Fractura Río Hondo – Bacalar, etc.)

Figura 149. Cantidad de viviendas por tipo de drenaje en municipios urbanos y rurales al 2020



Fuente: Elaboración propia con datos del Censo de Población y Vivienda 2020. Cuestionario Básico. (INEGI, 2020)

Para identificar las acciones puntuales necesarias para reducir este tipo de contaminación, se dividirá el análisis entre contaminación por fosas sépticas deficientes, contaminación por deficiencias en la red pública de drenaje, y contaminación por tipos de drenaje inapropiados o inexistentes.

#### 5.4.1.1 Contaminación por fosas sépticas deficientes

El 58.3% de las aguas residuales de la PY se encasan a fosas o tanques sépticos. Aunque no se cuentan con datos cuantitativos, los Programas Hídricos Estatales 2014-2018 de los tres estados mencionan que las fosas sépticas mal construidas y/o mal mantenidas son una de las principales fuentes de contaminación de la región. Norte Yucatán concentra el 45.2% del total de viviendas con fosa séptica de la PY seguida por Norte y Sur Campeche con 14.5% y 10.0% respectivamente (Tabla 124). Todas las UP, excepto Norte y Sur Quintana Roo, cuentan con más del 75% de drenaje mediante fosas o tanques sépticos.

**Tabla 124.** Distribución de viviendas con fosa o tanque séptico al 2020

| UP              | Viviendas      | Respecto al total PY | Respecto al total de viviendas por UP |
|-----------------|----------------|----------------------|---------------------------------------|
| YucN            | 392 795        | 45.20%               | 77.70%                                |
| CampN           | 126 519        | 14.50%               | 85.60%                                |
| CampC           | 87 331         | 10.00%               | 83.60%                                |
| YucO            | 73 719         | 8.50%                | 81.20%                                |
| QRooN           | 59 348         | 6.80%                | 12.90%                                |
| YucS            | 51 179         | 5.90%                | 84.60%                                |
| QRooS           | 44 981         | 5.20%                | 55.20%                                |
| QRooC           | 27 099         | 3.10%                | 85.30%                                |
| CampS           | 6 713          | 0.80%                | 83.70%                                |
| <b>Total PY</b> | <b>869 684</b> |                      | <b>58.30%</b>                         |

Fuente: Elaboración propia con datos del Censo de Población y Vivienda 2020. Cuestionario Básico. (INEGI, 2020)

Para reducir la contaminación por aguas residuales ocasionada por la construcción o mantenimiento de fosas sépticas se proponen tres acciones puntuales (Tabla 125).

**Tabla 125.** Acciones puntuales para reducir contaminación por fosas sépticas deficientes (EP 4.1)

**Evitar infiltración de aguas residuales por fosas sépticas mal diseñadas o mal mantenidas.**

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incrementar la vigilancia de la construcción apropiada de nuevas fosas sépticas.</li> <li>• Implementar programas de educación y de apoyo financiero para fomentar el mantenimiento y reparación de fosas sépticas.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asegurar la correcta construcción de los pozos de absorción de profundidad suficiente.</li> <li>• Adecuar reglamentos de construcción municipales de fosas sépticas y normas oficiales a las condiciones del suelo kárstico de la PY mediante investigación científica.</li> </ul> |
|---|---|

**Asegurar la recolección periódica y disposición final adecuada de lodos.**

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incrementar la vigilancia y certificación de empresas dedicadas a la recolección de lodos.</li> <li>• Construir más plantas de tratamiento que contemplen la recolección de lodos.</li> <li>• Construir registros de fosas sépticas para facilitar la recolección.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar programas de incentivos para empresas recolectoras para incrementar la recolección y disposición final adecuada, particularmente en zonas urbanas y rurales en crecimiento.</li> </ul> |
|--|---|

**Incrementar la cobertura y conexión a drenaje de la red pública.**

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prever en reglamento de construcción municipal que las fosas sépticas estén al frente de la casa para facilitar procesos eventuales de conexión a red pública.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar programas de apoyo financiero para la conexión a la red pública.</li> </ul> |
|--|--|

### 5.4.1.2 Contaminación por deficiencias en la red pública de drenaje

A nivel peninsular, el 35.8% de las viviendas cuentan con acceso a la red pública de drenaje. La mayor proporción de dichas viviendas se concentra en QRooN con el 72% del total de viviendas de la PY con acceso a la red pública de drenaje (Tabla 126).

**Tabla 126.** Distribución de viviendas con acceso a drenaje de la red pública al 2020

| UP              | Viviendas con drenaje de la red pública | Porcentaje respecto al total PY | Porcentaje respecto al total de viviendas por UP |
|-----------------|---|---------------------------------|--|
| QRooN           | 388 977                                 | 72.90%                          | 84.40%   |
| YucN            | 83 418                                  | 15.60%                          | 16.50%   |
| QRooS           | 34 307                                  | 6.40%                           | 42.10%   |
| CampN           | 12 638                                  | 2.40%                           | 8.60%  |
| CampC           | 11 791                                  | 2.20%                           | 11.30%   |
| YucS            | 1 208                                   | 0.20%                           | 2.00%  |
| YucO            | 1 094                                   | 0.20%                           | 1.20%  |
| QRooC           | 236                                     | 0.00%                           | 0.70%  |
| CampS           | 55                                      | 0.00%                           | 0.70%  |
| <b>Total PY</b> | <b>533 724</b>                          |                                 | <b>35.80%</b>                                    |

**Fuente:** Elaboración propia con datos del Censo de Población y Vivienda 2020. Cuestionario Básico. (INEGI, 2020)

Los municipios con mayor cobertura de la red pública de drenaje se encuentran en QRooN, destacando la alta cobertura de Cozumel, Solidaridad y Benito Juárez. El municipio de Mérida destaca por tener la mayor cantidad de viviendas y población, pero presentar una cobertura del 23% (Tabla 127).

**Tabla 127.** Municipios con mayor cobertura de la red pública de drenaje 2020

| Municipio       | UP    | Cobertura de la red | Viviendas totales |
|-----------------|-------|---------------------|-------------------|
| Cozumel         | QRooN | 94.60%              | 26 324            |
| Solidaridad     | QRooN | 90.90%              | 110 641           |
| Benito Juárez   | QRooN | 86.70%              | 286 716           |
| Isla Mujeres    | QRooN | 61.60%              | 6 726             |
| Puerto Morelos  | QRooN | 51.40%              | 8 709             |
| Othón P. Blanco | QRooS | 47.80%              | 70 293            |
| Tulum           | QRooN | 43.00%              | 13 905            |
| Mérida          | YucN  | 23.40%              | 303 526           |
| Umán            | YucN  | 19.60%              | 19 347            |
| Carmen          | CampC | 15.60%              | 71 947            |

**Fuente:** Elaboración propia con datos del Censo de Población y Vivienda 2020. Cuestionario Básico. (INEGI, 2020)

Los municipios urbanos con la mayor cantidad de viviendas sin acceso a la red pública son Mérida, Campeche y Carmen. Benito Juárez destaca por contar con una cobertura de saneamiento alta (87%) pero aun así ser el cuarto municipio de la PY con más viviendas sin acceso a la red pública (Tabla 128). Por lo tanto, en estos municipios es donde existe la mayor necesidad de incrementar la cobertura de la red pública.

**Tabla 128.** Municipios urbanos con mayor cantidad de viviendas sin acceso a la red pública al 2020

| Municipio              | UP    | Viviendas sin red pública | Cobertura de la red pública |
|------------------------|-------|---------------------------|-----------------------------|
| Mérida                 | YucN  | 232 473                   | 23.40%                      |
| Campeche               | CampN | 74 046                    | 13.10%                      |
| Carmen                 | CampC | 60 756                    | 15.60%                      |
| Benito Juárez          | QRooN | 38 168                    | 86.70%                      |
| Othón P. Blanco        | QRooS | 36 705                    | 47.80%                      |
| Kanasín                | YucN  | 34 357                    | 14.10%                      |
| Valladolid             | YucO  | 21 384                    | 2.80%                       |
| Champotón              | CampN | 21 252                    | 0.90%                       |
| Felipe Carrillo Puerto | QRooC | 21 199                    | 0.80%                       |
| Tizimín                | YucO  | 21 044                    | 0.80%                       |

**Fuente:** Elaboración propia con datos del Censo de Población y Vivienda 2020. Cuestionario Básico. (INEGI, 2020)

Por otro lado, en el proceso participativo se mencionó que cierta proporción de las aguas residuales recolectadas por la red pública no son tratadas apropiadamente, debido a fugas en los drenajes y deficiencias o falta de plantas de tratamiento. Por lo tanto, aún en los municipios con una alta cobertura de la red pública de drenaje existen riesgos de contaminación.

Para identificar dichos riesgos, se puede utilizar como indicador el **volumen de agua tratado por vivienda conectada a la red pública** calculado mediante el caudal de agua tratado por estado y el número de viviendas conectadas a la red pública.

Destaca Yucatán con un volumen dos veces menor que Quintana Roo lo cual sugiere que en este estado existen mayores retos para asegurar el tratamiento de las aguas recolectadas por la red pública.

Quintana Roo y Yucatán cuentan con el mayor número de plantas de tratamiento (PTAR) (32 y 29 respectivamente), sin embargo, el caudal tratado en Quintana Roo es casi diez veces mayor que en Yucatán debido a una mayor capacidad de sus plantas de tratamiento. Además, Yucatán presenta el menor factor de planta de la PY, tratando un caudal equivalente al 46.2% de su capacidad de tratamiento instalada (Tabla 129).

**Tabla 129.** Situación del tratamiento de aguas residuales estatales al 2020

| Estado          | PTARs     | Caudal tratado |                     | Factor de planta* | Viviendas con acceso a la red pública | Volumen tratado por vivienda conectada a la red m <sup>3</sup> /año |
|-----------------|-----------|----------------|---------------------|-------------------|---------------------------------------|---|
|                 |           | l/s            | m <sup>3</sup> /año |                   |                                       |   |
| Campeche        | 19        | 94             | 2 966 414           | 62.30%            | 24 484                                | 121   |
| Quintana Roo    | 32        | 2 343          | 73 964 703          | 70.40%            | 423 520                               | 175   |
| Yucatán         | 29        | 235            | 7 416 036           | 46.20%            | 85 720                                | 87  |
| <b>Total PY</b> | <b>80</b> | <b>2 673</b>   | <b>84 347 153</b>   |                   | <b>533 724</b>                        | <b>158</b>  |

**Fuente:** Elaboración propia con datos al 2019 del reporte Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (CONAGUA, 2020) para Campeche y Yucatán, y de información proporcionada por CAPA al 2020 para Quintana Roo.

**Nota:** El factor de planta representa la proporción del caudal de la capacidad instalada que es tratado.

Las acciones puntuales mencionadas en el proceso participativo para reducir la contaminación por un sistema de drenaje de la red pública deficiente o insuficiente se mencionan en la Tabla 130. La mayor parte de los riesgos de contaminación para la población que cuenta con drenaje de la red pública se relaciona con la carencia o deficiencias de las PTAR municipales.

**Tabla 130. Acciones puntuales para reducir contaminación por plantas de tratamiento deficientes (EP 4.1)**
**Mejorar e incrementar plantas de tratamiento.**

- Incrementar el financiamiento para la construcción y operación de nuevas PTAR.
- Mejorar la capacitación de operadores y actualizar equipo.
- Fomentar la investigación científica y el desarrollo tecnológico para eficientar PTAR.
- Incrementar la vigilancia a PTAR de industria autoabastecida (hoteles e industria).
- Promover sistemas de mayor capacidad en áreas donde existan PTAR con caudales menores a 10l/s.

**Reducir fugas en la red de drenaje.**

- Incrementar el financiamiento para detectar y atender fugas en la red de drenaje.
- Capacitar técnicos para detectar y atender fugas intra y extradomiciliarias.

**5.4.1.3 Contaminación por sistemas de drenaje inadecuados o inexistentes**

Los mayores riesgos de contaminación por aguas residuales se presentan en las viviendas que cuentan con drenaje mediante tuberías que descargan directamente al ambiente y las viviendas que no cuentan con drenaje y por lo tanto hacen uso de letrinas o de fecalismo al aire libre. A nivel peninsular, el 5.3% de las viviendas están en esta situación (Tabla 131).

**Tabla 131. Distribución de viviendas con sistemas de drenaje inadecuados o inexistentes al 2020**

| UP              | Viviendas     | Porcentaje respecto al total PY | Porcentaje respecto al total de viviendas por UP |
|-----------------|---------------|---------------------------------|--|
| YucN            | 28 318        | 36.10%                          | 5.60%  |
| YucO            | 15 919        | 20.30%                          | 17.50%   |
| CampN           | 8 350         | 10.70%                          | 5.70%  |
| YucS            | 8 017         | 10.20%                          | 13.30%   |
| QRooN           | 5 816         | 7.40%                           | 1.30%  |
| QRooC           | 4 386         | 5.60%                           | 13.80%   |
| CampC           | 4 286         | 5.50%                           | 4.10%  |
| QRooS           | 2 004         | 2.60%                           | 2.50%  |
| CampS           | 1 252         | 1.60%                           | 15.60%   |
| <b>Total PY</b> | <b>78 348</b> |                                 | <b>5.30%</b>                                     |

Fuente: Elaboración propia con datos del Censo de Población y Vivienda 2020. Cuestionario Básico. (INEGI, 2020)

Los municipios rurales cuentan con la mayor proporción de viviendas con sistemas de drenaje inadecuados o inexistentes. Destaca un 13.3% de las viviendas en municipios rurales que no disponen de drenaje y por lo tanto, además de presentar altos riesgos de contaminación, no cuentan con el derecho humano al saneamiento (Tabla 132).

**Tabla 132.** Proporción de viviendas con sistemas de drenaje inadecuados o inexistentes por tipo de localidad al 2020

|                    | Tubería a barranca o grieta | Tubería a río, lago o mar | No disponen de drenaje | Total  |
|--------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|--------|
| Municipios urbanos | 0.20%                       | 0.00%                     | 4.50%                  | 4.80%  |
| Municipios rurales | 0.30%                       | 0.10%                     | 13.30%                 | 13.70% |

**Fuente:** Elaboración propia con datos del Censo de Población y Vivienda 2020. Cuestionario Básico. (INEGI, 2020)

**Nota:** Los municipios rurales se definen como los cuales contienen más del 50% de su población en localidades indígena y tienen menos de 20,000 habitantes (Instituto Nacional de Administración Pública, 2014).

Asegurar el saneamiento y tratamiento apropiado para las 78,348 viviendas en esta condición debe ser una prioridad, particularmente para Yucatán y Norte Campeche. Algunas de las medidas propuestas para atender esta prioridad se mencionan en la Tabla 133. Las medidas relacionadas con sistemas de tratamiento alternativos basados en ecotecnias son particularmente sujetas a financiamiento de asociaciones civiles nacionales y financiamiento internacional, además del financiamiento público como se detalla en el Capítulo 8.

**Tabla 133.** Acciones puntuales para reducir contaminación en sistemas de drenaje inadecuados o inexistentes (EP 4.1)

**Implementar o mejorar sistemas de tratamiento alternativos en el medio rural a escala familiar o comunitaria.**

- Implementar programas de apoyo económico para la construcción y mantenimiento de biodigestores, biofiltros y baños secos.
- Fomentar la gobernanza local para catalizar la construcción y mantenimiento de sistemas de drenaje alternativos.

**Incrementar acceso a la red de drenaje en el medio urbano y periurbano.**

- Implementar programas de fomento a la conexión al drenaje, particularmente en zonas marginadas.
- Construir alcantarillado sanitario en zonas periurbanas conectado a PTAR.

### 1.3.2. EP 4.2 - Reducir la contaminación por agroquímicos

La contaminación por agroquímicos representa la principal fuente de contaminación difusa de la PY (Albornoz-Euán & González-Herrera, 2017; Polanco et al., 2019; Torres-Díaz et al., 2014). Aunque no se cuenta con un monitoreo extensivo de contaminantes provenientes de la infiltración de agroquímicos de toda la PY, se han detectado contaminantes en distintos puntos de medición y hasta en fluidos humanos, particularmente en Yucatán (Polanco-Rodríguez, 2017; Polanco-Rodríguez et al., 2017). A fin de entender en dónde se deben enfocar las medidas para reducir el consumo de agroquímicos y a su vez, reducir la contaminación de cuerpos de agua para proteger a la población y a los ecosistemas, se analizó la distribución del consumo de agua agrícola y la vulnerabilidad intrínseca del acuífero. El 82% del volumen concesionado total para uso agrícola de la PY se concentra en Norte Campeche y en las tres UP de Yucatán (Tabla 134). Además, estas tres UPs presentan una vulnerabilidad intrínseca alta y muy alta en la mayor parte del área dedicada a la producción agrícola, facilitando la infiltración de agroquímicos (Figura 150). Por lo tanto, estas UPs son prioritarias para enfocar acciones para los riesgos de contaminación por agroquímicos en la PY.

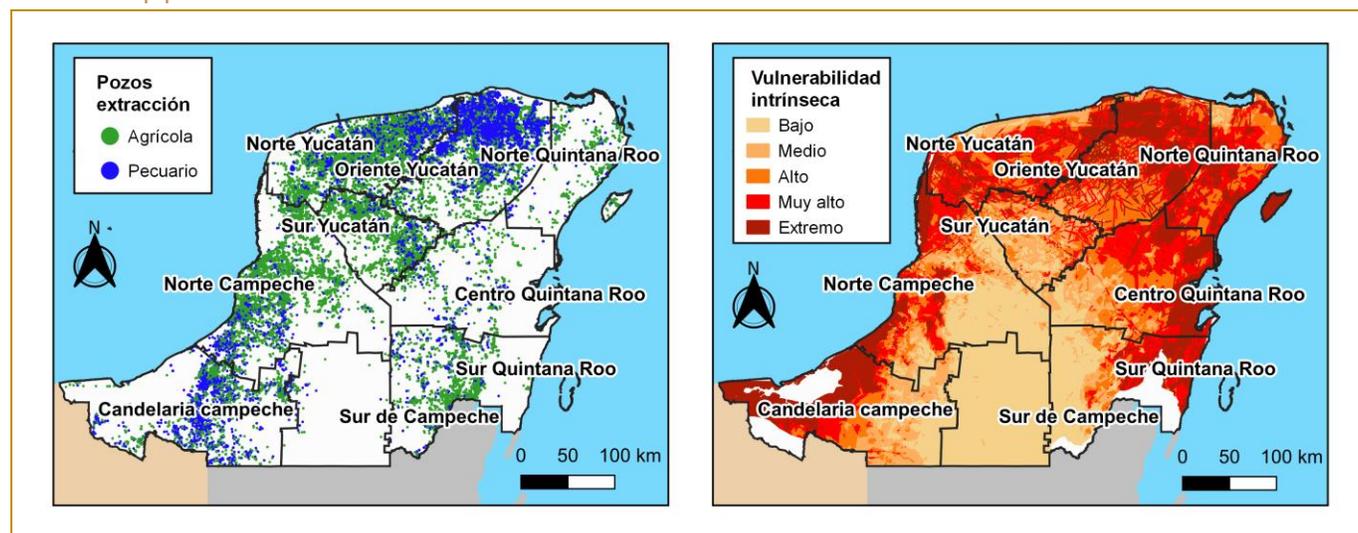
**Tabla 134.** Distribución del consumo para uso agrícola en millones de m<sup>3</sup> por año al 2020

| UP              | Volumen concesionado | Porcentaje respecto al total PY |
|-----------------|----------------------|---------------------------------|
| CampN           | 823.0                | 26%                             |
| YucO            | 627.4                | 20%                             |
| YucN            | 585.1                | 18%                             |
| YucS            | 575.0                | 18%                             |
| QRooS           | 296.4                | 9%                              |
| CampC           | 236.5                | 7%                              |
| QRooC           | 33.3                 | 1%                              |
| QRooN           | 13.0                 | 0%                              |
| CampS           | 6.4                  | 0%                              |
| <b>Total PY</b> | <b>3,196.0</b>       |                                 |

Fuente: Elaboración propia con datos del REPDA (2020).

Además de la contaminación difusa, derivada de la dispersión de agroquímicos por distintas fuentes, en el proceso participativo, se mencionó a la contaminación ocasionada por la mala disposición de envases de agroquímicos. Esta problemática genera flujo directo de agroquímicos a cuerpos de agua superficiales. La mayor parte del consumo de agroquímicos se lleva a cabo en monocultivos extensivos, y, por lo tanto, deben ser el enfoque principal para proteger el acuífero de este tipo de contaminación. Por otro lado, reducir el consumo de agroquímicos de pequeños productores y campesinos puede contribuir a la conservación ambiental local y a evitar problemas de salud de poblaciones locales. Además, puede conllevar a otros beneficios sociales, como el fortalecimiento de la soberanía productiva.

**Figura 150.** Comparación de grado de vulnerabilidad a la contaminación con la ubicación de pozos dentro de la PY



Fuente: Elaboración propia mediante datos de extracción del REPDA.

El principal enfoque de las medidas propuestas por los participantes para abordar esta problemática está dirigido hacia el fomento y la capacitación en prácticas alternativas de producción como agroecología, agroforestería y agricultura orgánica. Ellas incluyen, entre otros, el uso de fertilizantes e insecticidas de origen natural, el control integral de plagas y el policultivo.

Durante el proceso participativo, se mencionó también la necesidad de incrementar la regulación y vigilancia de las cantidades y tipos de agroquímicos permitidos. Por último, se señaló la importancia de implementar programas para evitar la contaminación por envases de agroquímicos que incluyen programas de recolección y multas a quienes dispongan de ellos de manera inadecuada.

**Tabla 135. Acciones puntuales para reducir la contaminación por agroquímicos (EP 4.2)**

#### Fomentar la reducción de uso de agroquímicos

- Implementar programas para fomentar prácticas alternativas de producción como agroecología, agroforestería y agricultura orgánica, incluyendo uso de fertilizantes e insecticidas de origen natural, el control integral de plagas y el policultivo
- Incrementar la regulación y vigilancia del tipo y volúmenes de agroquímicos permitidos en suelos kársticos.
- Implementar programas de capacitación a agricultores para hacer uso más eficiente de agroquímicos

#### Evitar la mala disposición final de contenedores de agroquímicos

- Implementar programas de recolección de envases de agroquímicos.
- Incrementar la vigilancia y sanciones a la mala disposición de envases de agroquímicos.
- Aumentar el número de sitios de disposición final equipados para recibir envases de agroquímicos.

### 1.3.3. EP 4.3 - Evitar la contaminación por actividad pecuaria

Los usuarios del agua del proceso participativo de las UP Norte Yucatán y Sur Yucatán fueron quienes más señalaron la necesidad de reducir la contaminación del agua, particularmente la proveniente de las granjas porcícolas.

En efecto, la mayor parte de la actividad porcícola se concentra en Yucatán, con el 93% de todas las cabezas porcinas de la PY (Tabla 136) (SADER, 2021). Esta problemática se concentra principalmente en las UP Norte y Oriente Yucatán con más del 80% de las cabezas porcinas de la PY (SADER, 2021). Estas UP, además, cuentan con una alta vulnerabilidad intrínseca del acuífero (Figura 16), por lo que evitar la infiltración de lixiviados es altamente prioritario.

En años recientes, se han implementado programas en Yucatán para equipar granjas porcícolas con recolectores de lixiviados y biodigestores (Pérez-Espejo & Cervantes-Hernández, 2018). Sin embargo, distintos participantes del proceso participativo mencionaron situaciones en las que su implementación no fue apropiada, por falta de mantenimiento y el abandono de los sistemas. Para este proceso de planeación, no se tuvo acceso a bases de datos para identificar la proporción y distribución de granjas porcícolas y avícolas que cuenten o no con la tecnología necesaria para reducir su impacto sobre el acuífero por lo que será importante recopilar datos y realizar estudios al respecto.

Algunas de las medidas mencionadas en el proceso participativo para reducir la contaminación por actividad pecuaria se mencionan en la Tabla 137.

**Tabla 136.** Número de cabezas de actividad pecuaria al 2019

| UP              | Porcinas         | Avícolas           | Bovinas        |
|-----------------|------------------|--------------------|----------------|
| YucN            | 1 098 339        | 84 621 484         | 20 925         |
| YucO            | 446 750          | 217 234            | 102 784        |
| YucS            | 189 577          | 448 417            | 11 835         |
| CampN           | 43 777           | 12 265 614         | 63 041         |
| CampC           | 25 587           | 243 885            | 59 826         |
| QRooC           | 25 533           | 1 696 405          | 3 481          |
| QRooS           | 19 724           | 2 495 229          | 14 375         |
| QRooN           | 6 708            | 59 559             | 2 046          |
| CampS           | 3 870            | 74 128             | 12 369         |
| <b>Total PY</b> | <b>1 859 865</b> | <b>102 121 955</b> | <b>290 682</b> |

Fuente: Elaboración propia mediante datos de la herramienta SIACOM de SADER (2020)

**Tabla 137.** Acciones puntuales para reducir la contaminación por actividad pecuaria (4.3)

#### Aplicar tratamiento terciario para reducir contaminación de granjas porcícolas, avícolas y ganaderas.

- Incrementar la vigilancia y sanciones a granjas que incumplan con las regulaciones de densidad de ganado y de tratamiento terciario de aguas residuales.
- Incrementar la normativa de tratamiento de aguas residuales en granjas porcícolas y avícolas.
- Implementar programas de comercio de productos secundarios del tratamiento de las aguas residuales como gas metano y abono para fomentar el tratamiento.

#### Alinear la zonificación pecuaria con las características geohidrológicas del suelo.

- Reducir las concesiones de actividad porcícola en el Anillo de Cenotes.
- Incrementar la investigación científica y el monitoreo del impacto ambiental y social de la contaminación por actividad pecuaria.

### 1.3.4.EP 4.4 - Controlar la contaminación por residuos sólidos

La población que no cuenta con el servicio de recolección de basura es de 532 179 personas, es decir, el 10% del total (Tabla 138). La contaminación de cuerpos de agua asociada a residuos sólidos tiene dos componentes. Por un lado, la infiltración de lixiviados derivada de una mala disposición de residuos orgánicos. Por el otro lado, el flujo de basura a cuerpos de agua por falta de recolección y mala disposición final. Para ambas problemáticas se requiere de manejo apropiado de los residuos por parte de autoridades y ciudadanos.

Distintos participantes de comunidades rurales mencionaron una falta de recolección en sus localidades como uno de los principales riesgos de contaminación. Por otro lado, también se señalaron esfuerzos recientes exitosos con nuevos camiones y expansión de las rutas de recolección particularmente en Quintana Roo.

La UP con más cantidad de viviendas que no cuentan con recolección de basura es CampN, seguida por CampC y YucN que son las UP más pobladas. QRooN y YucN son las UP con una mayor cobertura de la recolección de basura (96% y 95% respectivamente), en las demás UP aún existe un rezago importante, particularmente en Campeche.

**Tabla 138.** Porcentaje de población que cuenta con el servicio de recolección de basura al 2019

| UP              | Proporción de la población sin recolección de basura | Población sin recolección de basura |
|-----------------|--|-------------------------------------|
| CampN           | 34%  | 182 625                             |
| CampC           | 25%  | 90 477                              |
| YucN            | 5%   | 86 862                              |
| YucO            | 24%  | 85 723                              |
| QRooN           | 4%   | 57 343                              |
| YucS            | 16%  | 37 131                              |
| CampS           | 20%  | 6 343                               |
| QRooC           | n/d  | n/d                                 |
| QRooS           | n/d  | n/d                                 |
| <b>Total PY</b> | <b>10%</b>   | <b>532 179</b>                      |

**Fuente:** Elaboración propia con datos de disposición final Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales (INEGI, 2019) y datos de población al 2020 del CPV (INEGI, 2020).

**Nota:** INEGI (2019) no cuenta con datos de recolección de basura para los municipios de QRooC y QRooS.

Para evitar la contaminación por infiltración de lixiviados se requiere de sitios de disposición final con sistemas de captación, extracción y tratamiento de lixiviados. Sistemas impermeables para evitar infiltración durante inundaciones también permiten evitar riesgos de contaminación. A nivel peninsular al 2019 (Tabla 139), el 82% de los sitios de disposición final no cuentan con sistemas de captación y extracción de lixiviados.

**Tabla 139.** Números de los sitios de disposición final al 2019

| UP              | Sitios de disposición final | Sitios de disposición por cada 10,000 habitantes | Proporción de sitios de disposición final sin impermeabilización | Proporción de sitios de disposición final sin captación de lixiviados |
|-----------------|-----------------------------|--|--|---|
| CampN           | 6                           | 8.9  | 50%  | 83%   |
| CampC           | 3                           | 12.1   | 67%  | 67%   |
| CampS           | 2                           | 1.6  | 50%  | 100%  |
| QRooN           | 12                          | 12.2   | 58%  | 58%   |
| QRooC           | 11                          | 1.1  | 91%  | 100%  |
| QRooS           | 41                          | 0.7  | 51%  | 49%   |
| YucN            | 68                          | 2.6  | 93%  | 94%   |
| YucO            | 36                          | 1.0  | 92%  | 92%   |
| YucS            | 18                          | 1.3  | 94%  | 100%  |
| <b>Total PY</b> | <b>197</b>                  | <b>2.6</b>                                       | <b>80%</b>   | <b>82%</b>  |

**Fuente:** Elaboración propia con datos de disposición final Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales (INEGI, 2019) y datos de población al 2020 del CPV (INEGI, 2020).

**Notas:** Los sistemas de impermeabilización considerados son arcilla compactada, geomembrana, otros y no especificado. Los sistemas de captación y extracción de lixiviados considerados son recirculación, tratamiento, otros y no especificado

Las medidas enfocadas en reducir la contaminación por residuos sólidos se detallan en la Tabla 140. Los participantes del proceso mencionaron principalmente acciones para reducir el flujo de basura a cuerpos de agua incrementando la recolección y mejorando la disposición final. Se mencionaron también medidas para reducir la infiltración de lixiviados al acuífero tanto por residuos orgánicos de consumo humano como por sargazo recolectado.

**Tabla 140. Acciones puntuales para controlar la contaminación por residuos sólidos (EP 4.4)**

**Evitar el flujo de basura a cuerpos de agua.**

- Incrementar la cobertura de la recolección de residuos sólidos, particularmente en localidades rurales.
- Identificar y sancionar tiraderos clandestinos.
- Aplicar multas a individuos y empresas que tienen basura
- Controlar el uso de plásticos de un solo uso.
- Implementar programas de educación ambiental.
- Implementar programas de limpieza de playas y humedales.
- Preparar tiraderos para evitar flujos de basura durante inundaciones.

**Evitar la infiltración de lixiviados derivada de la mala disposición final de residuos orgánicos**

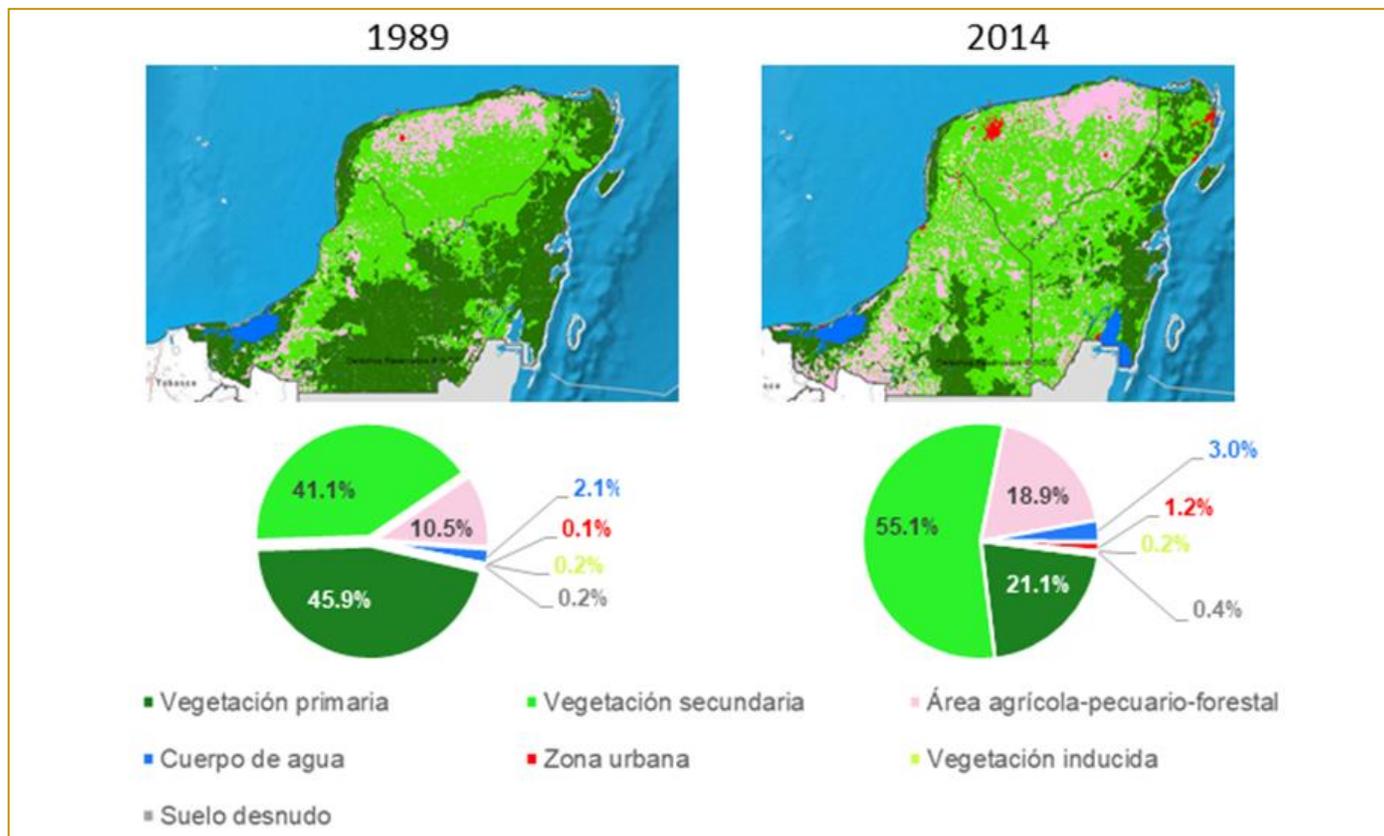
- Publicar un manual de buenas prácticas para la ubicación, diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios en la PY.
- Mejorar la disposición final de sargazo en tiraderos equipados con captación de lixiviados.

**1.3.5. EP 4.5 - Preservar zonas de recarga y sanear cuerpos de agua**

Los cuerpos de agua de la región, principalmente cenotes y lagunas, están fuertemente presionados por contaminación diluida, basura, eutrofización, especies invasoras como el pez diablo y el sargazo, entre otras amenazas para la flora, fauna y el aprovechamiento de dichos cuerpos de agua (Capítulo 1). En CampS, CampC y QRooS esta problemática se presenta en los ríos que reciben contaminantes locales y de otras regiones. En el caso específico del Río Hondo, que cruza la frontera de Guatemala y delimita la frontera entre México y Belice, se arrastra una fuerte carga de contaminantes provenientes de la actividad agrícola y urbana de los tres países. Las UP Oriente Yucatán y Sur Campeche, son las principales zonas de recarga a nivel peninsular (Bauer-Gottwein et al., 2011). Ambas regiones han perdido la mayor parte de su vegetación primaria por la actividad agrícola y la explotación forestal poniendo en riesgo su contribución a los volúmenes de recarga del acuífero regional (Figura 151).

Como parte de las tendencias observadas en los cambios de uso del suelo a partir de 1985, destacan las aperturas de superficies a la actividad agricultura-pecuaria-forestal (al pasar de 10.5 a 18.9%), lo cual se encuentra principalmente en el oriente de Yucatán y norte de Campeche; el incremento en la superficie con vegetación secundaria (creció de un 41.1 al 55.1%), así como la expansión de las manchas urbanas (de un 0.1 a 1.2%), como son los casos del área metropolitana de Mérida y la ciudad de Cancún.

Figura 151. Cambio de uso de suelo en la PY



Fuente: Elaboración propia mediante datos de INEGI, 1984 y 2014

Entre las acciones puntuales a emprender en este rubro (Tabla 141), se plantea el que los ecosistemas costeros como manglares y arrecifes, ambos proveedores de servicios ecosistémicos y de resiliencia, deben ser protegidos y restaurados. Algunas de las afectaciones a estos ecosistemas se deben a la acción directa del ser humano, como la deforestación o la interrupción de la hidrología por la construcción de infraestructura. Otros riesgos se presentan por la acción indirecta, como la contaminación de los cuerpos de agua que generan problemáticas como el síndrome blanco en arrecifes.

## 5.5. OP 5: Mejorar las condiciones para la gobernanza del agua con el fin de fortalecer la toma de decisiones y combatir la corrupción

Este objetivo prioritario, de carácter transversal (Tabla 142), permite atender los otros cuatro OP a través de estrategias prioritarias (EP) y acciones puntuales que faciliten y articulen el trabajo de secretarías federales, gobiernos locales, instituciones académicas, fundaciones, OSC, organismos públicos descentralizados, población en general y organismos internacionales, entre otros actores.

En el PNH 2020-2024, se entiende como gobernanza del agua a un nuevo estilo de gobierno que privilegia la cooperación e interacción entre los diferentes actores sociales para transformar la gestión del agua en el país. En el proceso participativo, se mencionaron acciones enfocadas en mejorar la gobernanza como herramientas para atender las EP de los demás objetivos. Por lo tanto, no es posible analizar estas acciones del mismo modo que las demás.

**Tabla 141.** Acciones puntuales para preservar zonas de recarga y cuerpos de agua (EP 4.5)

#### Monitorear y sanear cuerpos de agua.

- Monitorear y limpiar cenotes.
- Limpiar playas y disponer correctamente de basura y sargazo.
- Monitorear y sanear lagunas como la Laguna de Términos, Nichupté, etc.
- Controlar plásticos de un solo uso y vigilar el cumplimiento de la legislación.

#### Combatir y revertir la deforestación y afectación a selvas

- Continuar impulsando programas para reducir el cambio de uso de suelo forestal como Sembrando Vida.
- Fomentar proyectos de comercio de carbono para financiar proyectos de conservación de selvas y reforestación.

#### Proteger, restaurar y recuperar ecosistemas costeros.

- Instalar drenajes en carreteras e infraestructura que interrumpe la conectividad hidrológica de humedales.
- Proteger y sanear manglares aprovechando financiamiento para conservación, para adaptación al cambio climático y resiliencia costera.

#### Establecer y proteger zonas de recarga y reservas geohidrológicas.

- Fomentar la investigación científica coordinada para fortalecer el entendimiento de las zonas de recarga y los flujos subterráneos.
- Incorporar a la población en general y, particularmente a comunidades indígenas, en el manejo de las áreas de conservación.

#### Elaborar, actualizar o respetar ordenamiento territorial con una perspectiva hidrológica.

- Incrementar la capacidad de la autoridad para vigilar el cumplimiento de los ordenamientos territoriales.
- Fortalecer la vinculación de la investigación geohidrológica al ordenamiento territorial.

**Tabla 142. Alineación del objetivo 1 del PHR con los principios rectores y criterios del PND**

| Criterio del PHR 2021-2024                                 | Descripción en el PNH y del PHR  |
|--|--|
| Principal población objetivo                               | Todos los sectores sociales vinculados con el cuidado del agua, autoridades, usuarios, organización civil y ciudadanía en general.                           |
| Principios rectores vinculados con el objetivo prioritario | Honradez y honestidad.   |
|  | Al margen de la ley.   |
|  | Economía para el bienestar.  |
| Contribución al nuevo modelo de desarrollo                 | Consolidación del sistema de planeación democrática.   |
|  | Construcción de gobernabilidad democrática en la gestión del agua.   |
|  | Justicia ambiental en materia de agua.   |
|  | Toma de decisiones sustentadas en la mejor información disponible.   |
| Cambios esperados  | Mejorar el sistema financiero para los derechos humanos.   |
|  | Sociedad y gobierno colaboran de manera informada en la gestión del agua.  |
|  | Marco jurídico del agua actualizado y acorde con los nuevos retos de gobernanza.   |
|  | Mejores condiciones financieras en el sector hídrico.  |
|  | Mecanismos efectivos para la resolución de conflictos.   |
| Transversalidad  | Creación de condiciones para la seguridad hídrica.   |
|  | La CONAGUA coordinará acciones puntuales con SEMARNAT, el CCPY y sus órganos auxiliares, gobiernos estatales y municipales, oscs y centros de investigación. |

Las distintas acciones puntuales mencionadas en el proceso participativo y las identificadas en el proceso técnico se detallan a continuación (Tabla 143).

**Tabla 143. Estrategias prioritarias y acciones puntuales para cumplir el OP5**

|  |   |  |
|--|---|--|
| 5.1 Fortalecer la gobernanza hídrica local y articularla a nivel regional.   | 5.2 Fortalecer y diversificar el financiamiento para atender las prioridades hídricas y reforzar las capacidades de gestión del agua. | 5.3 Incrementar el conocimiento sobre el comportamiento del acuífero y vincularlo con la gestión hídrica.          |
| Modernizar los instrumentos de comunicación para incrementar la participación informada de la población.               | Impulsar mecanismos financieros para el desarrollo sustentable y proyectos de conservación ambiental.                                 | Mejorar el acceso a la información de la gestión del agua para facilitar los procesos de investigación científica. |
| Fortalecer mecanismos para la coordinación y cooperación para proyectos hídricos al interior de cada UP y entre ellas. | Fomentar la economía circular de aguas tratadas y residuos sólidos para controlar fuentes de contaminación.                           | Ampliar la capacitación de funcionarios con un enfoque de cuenca y de cuenca al arrecife, conocimiento             |

|  |  |  |
|--|--|--|
| <b>5.1 Fortalecer la gobernanza hídrica local y articularla a nivel regional.</b>  | <b>5.2 Fortalecer y diversificar el financiamiento para atender las prioridades hídricas y reforzar las capacidades de gestión del agua.</b>                                 | <b>5.3 Incrementar el conocimiento sobre el comportamiento del acuífero y vincularlo con la gestión hídrica.</b>   |
| Asegurar la representatividad en los procesos participativos para la elaboración de instrumentos de gestión y proyectos en materia de agua particularmente de mujeres, población indígena y población marginada. | Hacer más eficientes los mecanismos de pago y cobro del servicio de agua potable, concesiones de aguas nacionales, así como de multas y sanciones por parte de la autoridad. | geohidrológico y entendimiento del cambio climático.<br>Aumentar y coordinar los esfuerzos de monitoreo de la calidad de agua para entender fuentes e impactos de contaminación, riesgos a la salud de la población y ecosistemas y comportamiento de los flujos subterráneos. |
| Fortalecer las capacidades de funcionarios para la atención de pueblos indígenas en el sector agua.  | Fortalecer la cooperación internacional y la participación del sector en iniciativas regionales y globales.  | Monitorear la extracción, calidad y volúmenes de aguas subterráneas y poner los datos a disposición de la población.   |
| Transparentar el proceso de otorgamiento de concesiones de extracción de agua.   | Asegurar la transparencia en el uso de los recursos para facilitar el financiamiento mixto.  |  |
| Mejorar la vinculación intersectorial y la implementación conjunta de acciones.  | Establecer hojas de ruta para la diversificación de fuentes de financiamiento para proyectos regionales y locales.   |  |
| Fortalecer los mecanismos de gobernanza comunitaria.<br>Fortalecer los Espacios de cultura del agua.   |  |  |
| Fortalecer y articular al Consejo de Cuenca y sus Órganos Auxiliares con una visión local y regional, así como inclusión social y de género.   |  |  |
| Fortalecer los mecanismos de gestión hídrica en islas para atender sus problemáticas particulares.   |  |  |

### 5.5.1. EP 5.1 - Fortalecer la gobernanza hídrica local y articularla a nivel regional

En general, los distintos niveles de gobernanza hídrica en la PY presentan cierto grado de desarticulación. Un ejemplo de ello es que la demarcación de UP como unidades de gestión hídrica no es utilizada por los Órganos auxiliares del CCPY ni gobiernos locales. Además, muchos municipios carecen de capacidades técnicas, humanas, administrativas, económicas, financieras y ambientales; por lo que cada tres años, cuando se renueva la

administración municipal, se empieza de cero generando una falta de memoria acumulada. Hay una gobernanza hídrica desarticulada, que no genera procesos de corresponsabilidad entre los tres órdenes de gobierno.

Además, las características de la región hacen muy importante la articulación regional. Existen problemáticas, como la contaminación del acuífero, cuyas causas pueden ser locales pero sus impactos regionales o se pueden manifestar en otros municipios o UP. Por ejemplo, en el proceso participativo se mencionó que la contaminación por agroquímicos generada en la UP Sur Yucatán se desplaza a la UP Centro Quintana Roo mediante los flujos subterráneos. Aunque dichos flujos aún no son del todo caracterizados, este tipo de fenómenos de desplazamiento de problemáticas es ampliamente reconocido en la PY.

Por otro lado, en algunos casos la similitud en las características socioambientales, generan una oportunidad de cooperación entre municipios y UP en la PY, a fin de sumar esfuerzos y enfrentar problemáticas en conjunto. Un ejemplo claro del potencial de cooperación regional son las Alianzas Intermunicipales, entre las cuales destaca la JIBIOPUUC que fue uno de los proyectos más identificados como destacables en el proceso participativo.

Uno de los temas más mencionados en el proceso participativo fue la participación ciudadana. Muchas de las problemáticas identificadas se perciben como consecuencia de una limitada cultura del agua en la población y de la falta de interés y herramientas para participar en la gestión del agua. En el proceso participativo se señalaron distintos proyectos enfocados en la promoción a la cultura del agua, como principales proyectos destacables. Por ejemplo, campañas en comunidades, en escuelas y enfocadas en agricultores.

Uno de los mecanismos más importantes para la concertación de la sociedad en temas de agua es el CCPY y sus órganos auxiliares. Sin embargo, la cobertura de órganos auxiliares no es homogénea. En algunas UP, como Norte Quintana Roo, donde se cuenta con un gran número de órganos auxiliares, no forzosamente trabajan en conjunto. En contraste, algunas UP como el Sur de Yucatán, no cuenta con órganos auxiliares del CCPY.

### **5.5.2. EP 5.2 - Fortalecer y diversificar el financiamiento para atender las prioridades hídricas y reforzar las capacidades de gestión del agua**

Una de las principales cuestiones identificadas como limitantes para la gestión hídrica en la región fue la falta de financiamiento. Por un lado, se señaló la falta de recursos gubernamentales, particularmente de la federación y los estados, pero también la necesidad de otras fuentes de financiamiento. Algunas de estas fuentes son la recaudación de pagos por el servicio de agua potable, recaudación filantrópica por parte de OSC, cobros y multas a empresas, financiamiento internacional y cofinanciamiento, entre otros.

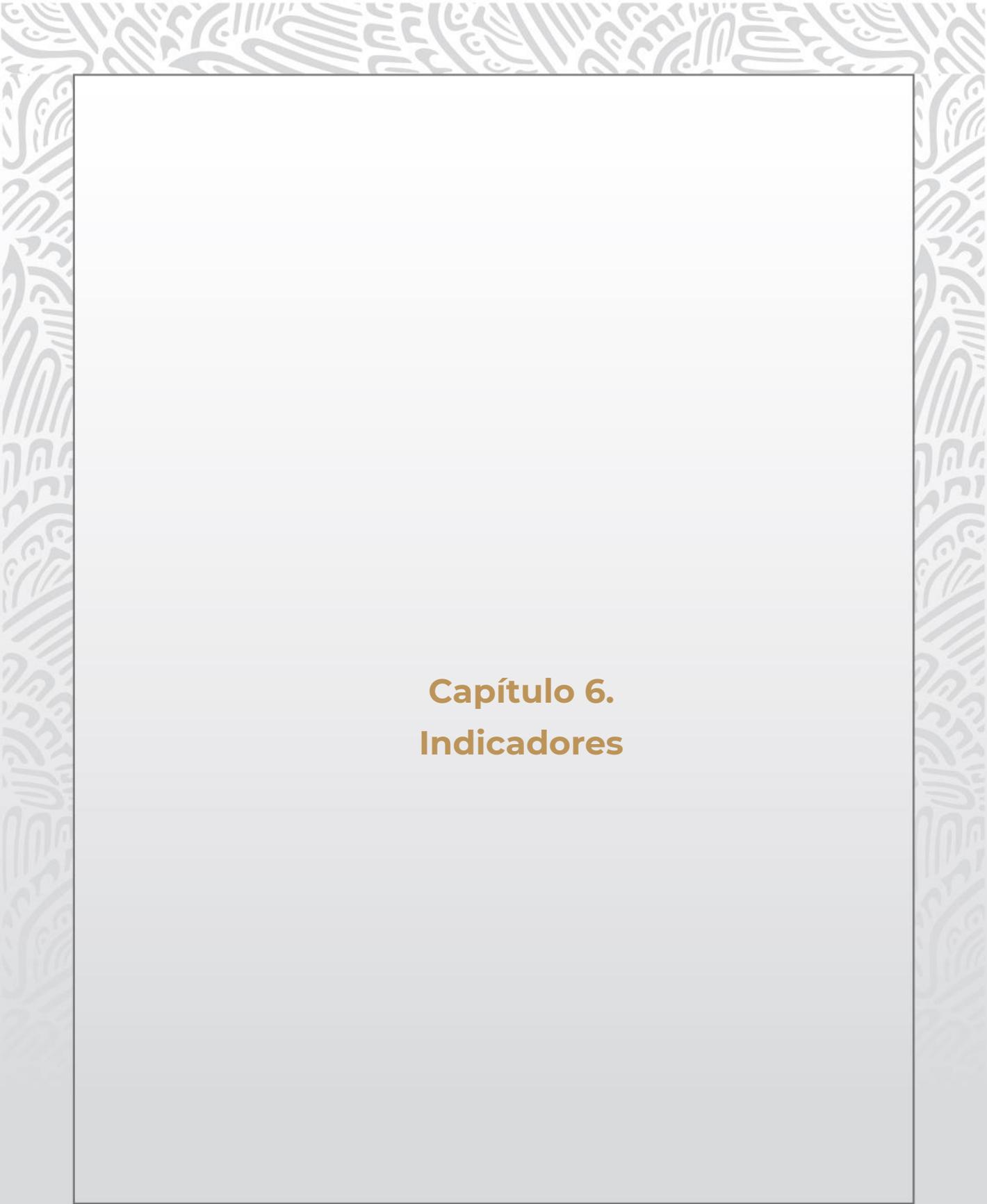
En el Capítulo 6 se detalla un análisis de la distribución de los distintos presupuestos y necesidades estimadas de financiamiento para las UP y entre los OP, así como posibles fuentes alternativas de financiamiento para las EP descritas en este capítulo.

### **5.5.3. EP 5.3 - Incrementar el conocimiento hidrológico y geológico de la PY y vincularlo con la gestión del agua**

El acuífero kárstico de la PY es único en el mundo. Las complejas dinámicas geohidrológicas actuales aun no son entendidas por completo. Por otro lado, los cambios futuros en el clima y las condiciones socioambientales de la región pueden tener efectos con grandes implicaciones para la población y ecosistemas (Sección 1.8).

Vacíos en relación con la información sistematizada sobre el régimen hidrológico impide tener una visión integral de la estructura y funcionamiento de los acuíferos a nivel peninsular, pero más específicamente, a nivel de UP. Existe un vacío de conocimiento sobre características clave del sistema hídrico que se detallan en la actividad colectiva relacionada con esta EP.

Para poder llevar a cabo una gestión y planeación hídrica apropiada, es necesario cerrar algunas brechas de conocimiento sobre el comportamiento del acuífero actual y futuro. Además, es importante robustecer los mecanismos que permiten que este conocimiento científico permee en la gestión hídrica a todos los niveles.



## **Capítulo 6. Indicadores**

Como se presentó en el Capítulo 3, apartado 3 y siguientes, y derivado del proceso del diagnóstico participativo, se tomaron los 5 Objetivos Prioritarios (OP) del Programa Nacional Hídrico 2020-2024 y se definieron 14 Estrategias Prioritarias (EP) y 54 acciones puntuales necesarias (ver Tabla 144).

Los primeros cuatro OP se enfocan en el derecho al agua potable y al saneamiento, a la eficiencia en el uso productivo del agua, a la protección contra inundaciones y sequías y finalmente en preservar la calidad y cantidad de agua respectivamente. El quinto OP se enfoca en la gobernanza hídrica.

Este capítulo presenta entonces los indicadores para medir los alcances de las metas establecidas en cada Objetivo Prioritario (OP) y Estrategia Prioritaria (EP), siendo estas las herramientas para facilitar el seguimiento de las acciones y prioridades descritas en este instrumento. De aquí que primero se presenta en una tabla resumen la alineación de cada OP del PNH con las diversas EP derivadas del proceso participativo, seguido de la descripción del indicador (Tabla 144). Posteriormente, se desarrolla en forma de tabla cada uno de los indicadores en extenso y se presenta su descripción, su objetivo prioritario, su metodología, su fuente y la línea base del indicador.

En el Capítulo 7, se describirán las acciones colectivas, derivadas del diagnóstico técnico, y se guiarán por una hoja de ruta que marcará los alcances propuestos para la gobernanza y gestión hídrica.

**Tabla 144. Resumen de indicadores por objetivo prioritario y estrategia**

| Estrategia Prioritaria  | Indicador  |
|---|--|
| <b>OP 1. Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población desatendida históricamente</b>     |  |
| 1.1 Reducir el rezago en el acceso al suministro de agua potable de calidad especialmente para la población desatendida.                            | Número de viviendas de población desatendida que no tiene acceso al agua entubada o a ecotecnias alternativas en las UP.                             |
| 1.2 Reducir el rezago en el acceso a drenaje y sanitario especialmente para la población desatendida.   | Número de viviendas de población desatendida que no tiene acceso a drenaje y sanitario, ya sea público o mediante ecotecnias alternativas en las UP. |
| <b>OP 2. Aprovechar eficientemente el agua para contribuir al desarrollo sostenible de los sectores productivos</b>                                 |  |
| 2.0 Transversal - Uso eficiente y sustentable en sectores productivos   | Grado de presión sobre la disponibilidad del recurso hídrico   |
| 2.1 Optimizar el uso del agua en el sector agrícola para contribuir a la seguridad alimentaria y el bienestar de la población y de los ecosistemas. | Rendimiento de cultivos básicos en zonas con infraestructura de riego.   |
| 2.2 Optimizar el uso del agua en el sector servicios para evitar el CADNC local y contribuir a la equidad y justicia hídrica.                       | Eficiencia en el uso del agua medida como el cociente de valor agregado bruto entre agua utilizada.  |
| <b>OP 3. Reducir la vulnerabilidad de la población ante inundaciones y sequías, con énfasis en pueblos indígenas y población marginada.</b>         |  |
| 3.0 Transversal - Inundaciones y sequías  | Número de UP con Atlas de Riesgo actualizado   |
| 3.1 Proteger a la población e infraestructura de inundaciones, particularmente a la población desatendida.  | Número de habitantes protegidos contra inundaciones en zonas de riesgo.  |
| 3.2 Proteger los medios de subsistencia tradicionales frente a inundaciones y sequías.  | Superficie productiva protegida contra inundaciones y sequías.   |
| <b>OP 4. Preservar la integralidad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan humedales, selvas y acuíferos.</b> |  |

| Estrategia Prioritaria   | Indicador   |
|--|---|
| 4.0 Transversal - Contaminación y conservación ambiental   | Número de bases de datos de monitoreo integradas en una plataforma de gestión de información socio-ambiental por UP.  |
| 4.1 Reducir descargas e infiltración de aguas residuales sin tratamiento apropiado a los cuerpos de agua.  | Proporción del agua residual municipal y de servicios que es recolectada y que es tratada, con relación a la dotación de agua para servicio público concesionada.         |
| 4.2 Reducir la contaminación de cuerpos de agua por agroquímicos.  | Número de UP que tienen centros de acopio temporal de residuos tóxicos peligrosos derivados de la actividad agropecuaria.   |
| 4.3 Evitar la contaminación de cuerpos de agua por actividad pecuaria.   | Número de granjas porcícolas que tiene sistema terciario para el tratamiento de agua residual por UP.   |
| 4.4 Controlar la contaminación de cuerpos de agua por residuos sólidos.  | Proporción de sitios controlados con relleno sanitario.   |
| 4.5 Preservar zonas de recarga y sanear cuerpos de agua.   | Decretar Zonas de Recarga de cada UP para la preservación y conservación de la calidad ambiental y el saneamiento generalizado  |
| OP 5. Mejorar las condiciones para la gobernanza regional y local del agua a fin de fortalecer la toma de decisiones, la transparencia y la participación social |   |
| 5.0 Transversal - Gobernanza Hídrica   | Número de órganos auxiliares del consejo de cuenca que cuentan con integrantes de equidad de género y grupos sociales que no estaban incorporados en la gestión del agua. |
| 5.1 Fortalecer la gobernanza hídrica local y articularla a nivel regional.   | Integración de Órganos Auxiliares por UP del CCPY.  |
| 5.2 Fortalecer y diversificar el financiamiento para atender las prioridades hídricas y reforzar las capacidades de gestión del agua.                            | Recursos financieros para atender las prioridades en la gestión del agua por UP.  |
| 5.3 Incrementar el conocimiento sobre el comportamiento del acuífero y vincularlo con la gestión hídrica.  | Número de proyectos de monitoreo e investigación para la gestión del agua apoyados y en operación   |

A continuación, se desglosan a manera de tablas los indicadores propuestos en este PHR 2021-2024 por Estrategia Prioritaria para cada uno de los cinco Objetivos Prioritarios. En algunos casos se presenta un indicador transversal que permite evaluar el avance en el cumplimiento de todas las EP del OP. En Anexo 14 su correspondencia con el PNH 2020-2024, el Plan Rector (2015 y 2019) y el PHR 2014-2018.

## 6.1 Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población desatendida históricamente

Para evaluar el avance de este OP se plantea un indicador para cada una de las dos EP.

| OP 1. Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población desatendida históricamente |  |
|--|--|
| EP 1.1 - Reducir el rezago en el acceso al suministro de agua potable de calidad especialmente para la población desatendida.            |  |
| Indicador  | Número de viviendas que no tiene acceso al agua entubada o a ecotecnias alternativas en las UP más rezagadas   |
| Descripción  | Se busca conocer el número de viviendas de la población desatendida (pueblos indígenas y población marginada) sin acceso a servicios de agua potable de calidad.   |
| Objetivo   | Reducir el rezago de población desatendida a servicios de agua potable.  |
| Metodología  | <p>El indicador se expresará como el porcentaje de viviendas totales que no cuentan con agua entubada o a ecotecnias alternativas diferenciadas en el medio urbano y rural. En acorde con los principios del PND 2019-2024 se privilegiará la atención a las localidades de población desatendida definidas como marginadas y/o indígena. El resultado porcentual tenderá a cero cuando no existan viviendas con rezago. El número total de viviendas de población desatendida con rezago y las urbanas y rurales con rezago están en la línea de base.</p> <p>Localidades de población desatendida: aquellas consideradas indígena (con una proporción de población en hogares indígena del 40% o más mediante el indicador PHOG_IND del Censo) y/o que tienen un grado de marginación alto o muy alto según el Índice de Marginación por localidad más reciente publicado por CONAPO.</p> <p>VDesSAguaU= viviendas urbanas (en localidades con población total&gt;2500) de población desatendida sin acceso al agua entubada (VPH_AguaFV en el Censo) o a ecotecnias alternativas (miles de viviendas).</p> <p>VDesSAguaR= viviendas rurales (en localidades con población total≤2500) sin acceso al agua entubada (VPH_AguaFV en el Censo) o a ecotecnias alternativas.</p> <p>VTotale= Viviendas habitadas (TVIVHAB en el Censo) dentro de la UP.</p> $P (\%) = \frac{VDesSAguaU}{VTotale} \times 100$ $P (\%) = \frac{VDesSAguaR}{VTotale} \times 100$ <p>Fuente: Elaboración propia a partir del Programa Nacional Hídrico 2020 – 2024 y los principios del PND 2019-2024.</p> |
| Fuente   | Comisión Nacional del Agua (CONAGUA -SIAN, PROAGUA), Organismo Operador de Agua (por entidad federativa o municipal, PROAGUA) Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, censos quinquenales)   |
| Línea base del indicador   | <p>Distribución de viviendas con rezago de agua potable en la PY (INEGI, 2020).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Viviendas habitadas: 1,773,059</li> <li>• Viviendas Urbanas con rezago = 16,106</li> <li>• <b>Viviendas con población (urbana) desatendida = 5,035</b></li> <li>• Viviendas Rurales con rezago= 11,246</li> <li>• <b>Viviendas con población (rural) desatendida = 8,375</b></li> </ul>   |

| OP 1. Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población desatendida históricamente |  |
|--|--|
| EP 1.2 - Reducir el rezago en el acceso a drenaje y sanitario  |  |
| <b>Indicador</b>   | Número de viviendas con población que no tiene acceso a drenaje y sanitario, ya sea público o mediante ecotecnias alternativas en las UP.  |
| <b>Descripción</b>   | Se busca conocer el número de viviendas de la población desatendida (particularmente indígena y en condiciones de marginación) sin acceso a drenaje y sanitario.   |
| <b>Objetivo</b>  | Ampliar la cobertura de drenaje y servicios sanitarios en la región.   |
| <b>Metodología</b>   | <p>El indicador se expresará como el porcentaje de viviendas totales que no cuentan con agua sistemas de drenaje o a ecotecnias alternativas diferenciadas en el medio urbano y rural. En acorde con los principios del PND 2019-2024 se privilegiará la atención a las localidades de población desatendida definidas como marginadas y/o indígena. El resultado porcentual tenderá a cero cuando no existan viviendas con rezago. El número total de viviendas de población desatendida con rezago y las urbanas y rurales con rezago están en la línea de base.</p> <p>Localidades de población desatendida: aquellas consideradas indígena (con una proporción de población en hogares indígena del 40% o más mediante el indicador PHOG_IND del Censo) y/o que tienen un grado de marginación alto o muy alto según el Índice de Marginación por localidad más reciente publicado por CONAPO.</p> <p>VDesSDrenU= viviendas urbanas (en localidades con población total&gt;2500) de población desatendida sin acceso al agua entubada (VPH_NoDRen en el Censo) o a ecotecnias alternativas (miles de viviendas).</p> <p>VDesSDrenR= viviendas rurales (en localidades con población total≤2500) sin acceso al agua entubada (VPH_NoDRen en el Censo) o a ecotecnias alternativas.</p> <p>VTotal= Viviendas habitadas (TVIVHAB en el Censo) dentro de la UP.</p> $P (\%) = \frac{VDesSDrenU}{VTotal} \times 100$ $P (\%) = \frac{VDesSDrenR}{VTotal} \times 100$ <p>Fuente: Elaboración propia a partir del Programa Nacional Hídrico 2020 – 2024 y los principios del PND 2019-2024.</p> |
| <b>Fuente</b>  | CONAGUA _SIAN, (PROAGUA), Organismo Operador de Agua por entidad federativa o municipal (PROAGUA) INEGI. Censos quinquenales   |
| <b>Línea base del indicador</b>  | Distribución de viviendas con rezago de drenaje a nivel PY según el CENSO (INEGI 2020). <ul style="list-style-type: none"> <li>• Viviendas habitadas: 1,773,059</li> <li>• Viviendas Totales con rezago = 74,147</li> <li>• Viviendas Urbanas con rezago = 43,311</li> <li>• <b>Viviendas con población urbana desatendida rezagada = 33,117</b></li> <li>• Viviendas Rurales con rezago= 30,836</li> <li>• <b>Viviendas con población rural desatendida = 28,864</b></li> </ul>   |

## 6.2 Aprovechar eficientemente el agua para contribuir al desarrollo sostenible de los sectores productivos

Para evaluar el avance en este OP se plantea un indicador transversal y uno para la EP 2.2.

| OP 2.- Aprovechar eficientemente el agua para contribuir al desarrollo sostenible de los sectores productivos |  |
|---|--|
| Indicador transversal del OP 2  |  |
| Indicador   | Grado de presión sobre el recurso hídrico  |
| Descripción   | . Es la proporción del agua renovable (recarga) que representan los usos consuntivos, estimados a partir del agua concesionada o asignada, en las diferentes UP.   |
| Objetivo  | Uso eficiente del agua en distintos sectores y usos en la región.  |
| Metodología   | <p>El grado de presión sobre el recurso hídrico (GP) se calcula a partir de las siguientes variables, las cuales se expresan en millones de metros cúbicos por año (Mm<sup>3</sup>/año):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Volumen de agua concesionada o asignada para usos consuntivos (VUC) por UP</li> <li>2. Volumen de agua renovable (VAREC), que integra el escurrimiento superficial y la recarga de acuíferos por UP</li> </ol> <p>Para obtener el grado de presión, se considera el cociente de la suma de los valores de estas variables en las UP y se multiplica por 100, esto es:</p> $\text{Grado de presión} = \frac{VUC}{VAREC} \times 100$ <p>Donde:</p> <p>GP = Grado de presión sobre el recurso hídrico de las UP de la Península de Yucatán.</p> <p>Fuente: Programa Nacional Hídrico 2020-2024</p> |
| Fuente  | <p>CONAGUA, SEMARNAT.</p> <p>El cálculo de la Disponibilidad de un acuífero se basa en la NOM-011- CONAGUA -2015 "Conservación del recurso agua", y que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales" publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 27 de marzo de 2015. De la última publicación de la Disponibilidad del 17 de septiembre de 2020, se consideraron para la península de Yucatán como Línea Base.</p> <p>Es necesario reconocer por CONAGUA la existencia de 9 zonas hidrogeológicas para realizar la evaluación a nivel de Unidades de Planeación.</p>  |
| Línea base  | <p>Línea Base a nivel Península de Yucatán</p> <p>VAREC = Volumen de agua de recarga total = 25,315 Mm<sup>3</sup>/año.</p> <p>VUC = Volumen de agua concesionada Total = 4,965.25 Mm<sup>3</sup>/año.</p> <p>GP = Grado de Presión al recurso hídrico = 19.61 %</p> <p>Fuente: DOF 2020. Cálculo de Disponibilidad de agua</p>  |

| OP 2.- Aprovechar eficientemente el agua para contribuir al desarrollo sostenible de los sectores productivos                           |   |
|---|---|
| <b>EP 2.2</b> - Optimizar el uso del agua en el sector turismo para evitar el CADNC local y contribuir a la equidad y justicia hídrica. |   |
| <b>Descripción</b>  | Es la eficiencia en el uso del agua determinado como el cociente obtenido al dividir el valor agregado bruto de las actividades económicas de abastecimiento de agua potable, industria autoabastecida y termoeléctricas (millones de pesos) entre la cantidad de agua utilizada (millones de m <sup>3</sup> /año) multiplicado por un factor de conversión a pesos de 2010 a partir del índice nacional de precios al consumidor del año 2010 y del año de análisis. En el cálculo de la eficiencia del uso del agua, se consideran únicamente las actividades relacionadas al abastecimiento público, industria autoabastecida (incluye servicios) y termoeléctricas. La eficiencia en el uso del agua se expresa en pesos constantes del 2010 / m <sup>3</sup> .   |
| <b>Objetivo</b>   | Aprovechar eficientemente el agua para contribuir al desarrollo sostenible de los sectores productivos.   |
| <b>Metodología</b>  | <p>Es el cociente obtenido al dividir el valor agregado bruto (VAB) entre la cantidad de agua utilizada (TOTAL_USOAGUA), ambas variables referidas únicamente a las actividades relacionadas al abastecimiento público, industria autoabastecida y termoeléctricas, multiplicado por un factor de conversión a pesos de 2010 a partir del índice nacional de precios al consumidor del año 2010 y del año de análisis. Las variables se expresan en millones de pesos y millones de metros cúbicos respectivamente.</p> $E_{USOAGUA} = \left( \frac{VAB}{TOTAL\_USOAGUA} \right) \times \frac{INPC_{2010}}{INPC_{Año\ i}}$ <p>Donde:<br/>                     E_USOAGUA = Eficiencia en el uso del agua (pesos constantes del 2010/m<sup>3</sup>)<br/>                     INPC2010 = Índice Nacional de Precios al Consumidor del año 2010<br/>                     Fuente: Programa Nacional Hídrico (2020-2024).</p> |
| <b>Fuente</b>   | <p>Se utiliza el INPC promedio de cada año para la conversión de precios corrientes a constantes. Este indicador se vincula con el ODS 6.4.1. El cálculo de eficiencia en el uso del agua está referido únicamente a las actividades relacionadas al abastecimiento público, industria autoabastecida (incluye servicios) y termoeléctricas</p> <p>CONAGUA, Registro Público de Derechos del Agua (REPDA).</p>  |
| <b>Línea base del indicador</b>   | <p>Total, de uso de agua 4,963.57 Mm<sup>3</sup>/año</p> <p>Valor agregado bruto (VAB):</p> <p>Industria Autoabastecida: 15 %</p> <p>Público Urbano: 13 %</p> <p>Termoeléctrica: 0.30 %</p> <p>INPC2010 = Índice Nacional de Precios al Consumidor del año 2010 de 73.4</p> <p>Eficiencia en el uso del agua (pesos constantes del 2010/m<sup>3</sup>) = \$418.63/m<sup>3</sup> al 2018</p> <p>Fuente: Programa Nacional Hídrico (2020-2024); Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas Económicas y Ecológicas de México, 2018; Base de Datos del Registro Público de Derechos del Agua. Octubre 2020 de CONAGUA Sitio web: <a href="https://app.conagua.gob.mx/ConsultaRepda.aspx">https://app.conagua.gob.mx/ConsultaRepda.aspx</a></p>   |

## 6.3 Reducir la vulnerabilidad de la población ante inundaciones y sequías, con énfasis en pueblos indígenas y población marginada.

Para evaluar el avance de este OP se plantean tres indicadores, de los cuales uno es transversal y uno para cada una de las dos EP.

| OP 3 - Reducir la vulnerabilidad de la población ante inundaciones y sequías, con énfasis en pueblos indígenas y población marginada. |   |
|---|---|
| Indicador transversal del OP3   |   |
| <b>Indicador</b>  | Número de UP con atlas de riesgo actualizado.   |
| <b>Descripción</b>  | Cada Comité Técnico de Aguas Subterráneas y Comisiones de Agua, junto con las Unidades Estatales y Municipales de Protección Civil deberán gestionar la elaboración del Atlas de Riesgos para cada UP y/o municipios prioritarios.                                      |
| <b>Objetivo</b>   | Identificar las zonas con mayor susceptibilidad de inundaciones en áreas rurales y urbanas, así como aquellas áreas con mayor frecuencia de sequías para cada UP.   |
| <b>Metodología</b>  | UP TOT= Todas las UP<br><br>#UP ATLAS= Cada uno de las UP que cuentan con Atlas de Riesgo<br><br>%CUMP= %de cumplimiento<br><br>$\%CUMP = \frac{\#UP\ ATLAS}{UP\ TOT} \times 100$   |
| <b>Fuente</b>   | Órganos Auxiliares del CCPY por UP, CONAGUA. Unidades de Protección Civil.  |
| <b>Línea base</b>   | No se encontró antecedentes sobre este indicador en ninguno de los Programas consultados: PNH 2020-2024, Plan Rector, 2015, 2019, y PHR 2014-2018.<br><br>La Línea Base al año 2020 es = 0 (cero)<br><br>Meta al año 2024= 5 (cinco Atlas de Riesgo en UP Prioritarias) |

**OP 3 - Reducir la vulnerabilidad de la población ante inundaciones y sequías, con énfasis en pueblos indígenas y población marginada.**

**EP 3.1 - Proteger a la población e infraestructura de inundaciones, particularmente a la población desatendida.**

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| <b>Indicador</b>                | Habitantes protegidos contra inundaciones.   |
| <b>Descripción</b>              | Este indicador mide la proporción de habitantes totales que viven en zonas inundables con relación a los habitantes protegidos con infraestructura hidráulica para prevenir y/o mitigar el riesgo de inundaciones con acciones de atención de emergencias y del Fondo de Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN), se incluyen labores de planeación y de prevención para reducir la vulnerabilidad de la población de las distintas UP de la Región peninsular.   |
| <b>Objetivo</b>                 | Reducir la vulnerabilidad de la población ante inundaciones y sequías, con énfasis en la población desatendida (grupos marginados y pueblos indígenas)   |
| <b>Metodología</b>              | <p>Habitante Protegido= es aquel que se identificó, se evitó un asentamiento, se atendió o se reubico asentamientos humanos (irregulares o no) en las zonas vulnerables a la inundación</p> <p>NUMZI_TOT= Número total de habitantes en zonas inundables.</p> <p>NUM_HABIT= Número de habitantes protegidos contra inundaciones (habitantes protegidos).</p> $\%CUMP = \frac{NUM\_HABIT}{NUMZI\_TOT} \times 100$ <p>=</p> <p>Se consideran, como fuente de información las declaratorias de emergencia por inundaciones, donde es posible observar que la mayor afectación está en las UP en que prevalece la marginación y alto porcentaje de miembros del pueblo Maya originario, cercanos a la costa, pero también en las zonas de cerros y valles del sur de la Región Peninsular.</p> <p>Fuente: Programa Nacional Hídrico 2020-2024.</p> |
| <b>Fuente</b>                   | Registros administrativos de la Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola de la CONAGUA,<br>Declaratorias de Emergencia Hidrometeorológica (inundaciones y sequías).   |
| <b>Línea base del indicador</b> | <p>La Línea Base a nivel de la Región Peninsular de acuerdo al Programa Hídrico Regional 2014-2018 establece lo siguiente:</p> <p>Número de Habitantes Protegidos 2012 = 12,916</p> <p>Número de Habitantes Protegidos 2018= 68,518</p> <p>Incremento anual de 9,267 habitantes protegidos.</p> <p>Meta de habitantes protegidos al año 2024 = 124,120</p> <p>Fuente del Indicador: Programa Hídrico Regional 2014-2018.</p>   |

**OP 3 - Reducir la vulnerabilidad de la población ante inundaciones y sequías, con énfasis en pueblos indígenas y población marginada.**

**EP 3.2 - Proteger los medios de subsistencia tradicionales de inundaciones y sequías.**

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| <b>Indicador</b>                | Superficie productiva protegida contra inundaciones.   |
| <b>Descripción</b>              | El establecimiento de este indicador tiene como objetivo disminuir las condiciones de riesgo y vulnerabilidad a que está sujeta la superficie productiva hidroagrícola ante la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos (inundaciones) y los posibles efectos del cambio climático, para contribuir así al desarrollo sustentable del país. El indicador medirá el número de hectáreas que son protegidas por las acciones de las diferentes instancias e involucrados.                                      |
| <b>Objetivo</b>                 | Reducir la vulnerabilidad de la población ante inundaciones y sequías, con énfasis en la población desatendida (grupos marginados y pueblos indígenas).  |
| <b>Metodología</b>              | <p>Proteger, restaurar y recuperar ecosistemas costeros y terrestres para reducir inundaciones pluviales y costeras y realizar un mapeo detallado de los espacios utilizados por la agricultura y milpa en zonas de riesgo.</p> <p>NUM_HECTP = Número de hectáreas protegidas de los impactos de inundaciones (hectáreas protegidas).</p> <p>NUM_TOTHA= Número total de hectáreas en zonas inundables</p> $\%CUMP = \frac{NUM\_HECTP}{NUM\_TOTHA} \times 100$ <p><b>Fuente:</b> Programa Hídrico Nacional 2020-2024.</p> |
| <b>Fuente</b>                   | Registros administrativos de la Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola de la CONAGUA.<br>Declaratorias de Emergencia Hidrometeorológica (inundaciones y sequías)  |
| <b>Línea base del indicador</b> | <p>La Línea Base a nivel de la Región Peninsular es de acuerdo con el Programa Hídrico Regional 2014-2018 que establece lo siguiente:</p> <p>Número de Hectáreas Protegidas 2012 = 128,011</p> <p>Número de Hectáreas Protegidos 2018= 133,190</p> <p>Incremento anual de 863 hectáreas protegidas.</p> <p>Meta de hectáreas protegidas al año 2024 = 138,368</p> <p><b>Fuente del Indicador:</b> Programa Hídrico Regional 2014-2018.</p>   |

## 6.4 Preservar la integralidad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan humedales, selvas y acuíferos.

Para evaluar el avance de este OP se plantean seis indicadores, de los cuales uno es transversal y uno para cada una de las cinco EP.

| OP 4 - Preservar la integralidad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan humedales, selvas y acuíferos. |   |
|---|---|
| Indicador transversal del OP 4  |   |
| Indicador   | Número de bases de datos de monitoreo integradas en una plataforma de gestión de información socio-ambiental por UP.  |
| Descripción   | Se busca conocer las condiciones actuales de la red de monitoreo climatológico y de calidad del agua que operan las diversas instancias de gobierno, federal, estatal y municipal, así como Universidades y Centros de Investigación por UP, con la finalidad de integrar plataformas de gestión de información socio ambiental.  |
| Objetivo  | Implementar plataformas de gestión de información acordadas entre la CONAGUA, Organismos Operadores de Agua, COFEPRIS, Laboratorios estatales de agua, Universidades y Centros de Investigación, derivados de los sistemas de monitoreo que realiza cada entidad por UP.  |
| Metodología   | <p>Si bien, este indicador tiene su fuente en el Plan Rector 2019, con el fin de contar con información ideal cuyo análisis facilite la toma de decisiones para la gestión del acuífero de la Península de Yucatán, es un indicador nuevo.</p> <p>El indicador representa la proporción de plataformas de gestión (%NUMPLAT).</p> <p>%NUMPLAT = Es el valor relativo de cumplimiento de tener una Plataforma de Gestión con sistemas de monitoreo de calidad de agua y meteorológicas acordadas entre los actores gubernamentales y no gubernamentales, con respecto al total de UP.</p> <p>Se elaborarán nueve plataformas de Gestión de Información, uno para cada UP (9).</p> <p>% CUMP= es el valor relativo de cumplimiento de tener una Plataforma por cada una de las UP.</p> <p>#deUPPLATGES= Unidad de Planeación con Plataforma de Gestión acordada.</p> <p>TOTUP=Total de las Unidades de Planeación = 9</p> $\% CUMP = \frac{\#deUPPLATGES}{TOTUP} * 100$ <p>Fuente: Plan Rector 2019-2024.</p> |
| Fuente  | Consejo de Cuenca PY,<br>CONAGUA,<br>Centros de Investigación, Universidades y Tecnológicos.  |
| Línea base  | Dado a que actualmente no existe ninguna plataforma de gestión de información, el valor de Línea Base será 0.<br>Meta 2024 = 50 %<br>Fuente: Plan Rector 2019-2024  |

**OP 4 - Preservar la integralidad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan humedales, selvas y acuíferos.**

**EP 4.1 - Reducir descargas e infiltración de aguas residuales sin tratamiento apropiado a los cuerpos de agua**

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| <b>Indicador</b>                | Proporción del agua residual municipal y de servicios que es recolectada y que es tratada, con relación a la dotación de agua para servicio público concesionada.  |
| <b>Descripción</b>              | Describir las condiciones de las descargas actuales en los cuerpos de agua dentro de la UP. Este indicador es considerado como parámetro del Objetivo 4 del Programa de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PROMARNAT ) y se vincula con el ODS 6.3.1, proporción de aguas residuales tratadas de manera adecuada.  |
| <b>Objetivo</b>                 | Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población más vulnerable   |
| <b>Metodología</b>              | <p>La proporción de agua residual recolectada que es tratada (P_ART) con relación al caudal concesionado para uso público urbano, se determina multiplicando por 100 el cociente de las variables siguientes:</p> <p>ARMT = Caudal de agua residual municipal tratada con drenaje o alcantarillado por UP (millones de metros cúbicos por año).</p> <p>ADCPU = Caudal de agua dulce concesionada para uso público urbano por UP (millones de metros cúbicos por año).</p> $\% \text{Agua tratada} = \frac{ARMT}{ADCPU} \times 100$ <p>Donde: P_ART = Proporción del agua residual municipal recolectada que es tratada, con respecto al total concesionado al uso público urbano%.</p> <p>La proporción de agua residual recolectada que es tratada (P_ART) con relación al caudal concesionado para el uso en servicios, se determina multiplicando por 100 el cociente de las variables siguientes:</p> <p>ADCSER = Caudal de agua dulce y salobre concesionada para uso servicios por UP (millones de m<sup>3</sup> / año</p> <p>ARMSEr= Caudal de agua residual de servicios tratada con drenaje o alcantarillado público o privado por UP (millones de m<sup>3</sup>)</p> $\% \text{Agua tratada} = \frac{ARMSEr}{ADCSER} \times 100$ <p>Donde: P_ART = Proporción del agua residual de servicios recolectada que es tratada, con respecto al total concesionado %.</p> <p>Fuente: Programa Nacional Hídrico 2020-2024. Plan Rector 2019.</p> |
| <b>Fuente</b>                   | Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (CONAGUA, 2020)   |
| <b>Línea base del indicador</b> | <p>Las descargas de aguas residuales derivadas del servicio Público Urbano descritas en el REPDA (2020) provienen de:</p> <p>163 pozos de inyección vinculados a plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, con una descarga total concesionada de 97.76 Mm<sup>3</sup>/año. Dichos pozos se encuentran principalmente en la UP QRooN, con descargas de 81.45 Mm<sup>3</sup> anuales (el 83.31% del total). La extracción peninsular total de agua para uso Público Urbano es de 633.64 Mm<sup>3</sup>/año al año 2020 (Fuente REPDA, 2020). La proporción del agua residual de uso público urbano y servicios recolectada que es tratada, con respecto al total concesionado para el año 2020 = 15.42 %.</p> <p>Meta 2024 = 30 %</p> <p>Fuente: Programa Nacional Hídrico 2020-2024</p>  |

|  |  |
|--|--|
| <b>OP 4 - Preservar la integralidad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan humedales, selvas y acuíferos.</b> |  |
| <b>EP 4.2 - Reducir la contaminación de cuerpos de agua por agroquímicos.</b>  |  |
| <b>Indicador</b>   | Número de UP que tienen Centros de Acopio Temporal de residuos tóxicos peligrosos derivados de la actividad agropecuaria.  |
| <b>Descripción</b>   | Promover la construcción de infraestructura para la recolección, el manejo, tratamiento y disposición adecuado de los residuos tóxicos – peligrosos y biológicos – infecciosos por UP.   |
| <b>Objetivo</b>  | Contar con sitios de acopio vinculado a una red de recolección apoyado por los productores agropecuarios.  |
| <b>Metodología</b>   | <p>En el Plan Rector 2019, se retoma y ajusta el indicador para las aguas residuales agrícolas, por el Número de Centros de Acopio de Residuos Tóxico-Peligrosos. Se calcula como el porcentaje de UP con centro de acopio con respecto al total de UP, y se expresa como porcentaje de cumplimiento.</p> <p>CATUP = Centro Acopio Temporal de residuos tóxicos peligrosos agropecuarios por UP (incluye terreno, nave, servicios de luz, compactadora, estacionamiento para maniobras).</p> <p>#de UP = Número de Unidades de Planeación</p> $\%CUMP = \frac{CATUP}{\#deUP} \times 100$ |
| <b>Fuente</b>  | Consejo Estatal de Sanidad Vegetal y Animal. CESVyA,<br>Subgrupos de Tóxicos Peligrosos CCPY,<br>Campo Limpio A.C.   |
| <b>Línea base del indicador</b>  | <p>En la actualidad, de acuerdo con Campo Limpio AC, existen solo 2 Centros de Acopio Temporal, uno en la Ciudad de Chetumal, y otro en Campeche.</p> <p>El indicador de Línea Base para el año 2020 es de 22.2 %</p> <p>Meta al 2024 = 75 %</p> <p>Fuente: Plan Rector 2019.</p>  |

|  |  |
|--|--|
| OP4 - Preservar la integralidad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan humedales, selvas y acuíferos. |  |
| EP 4.3 - Evitar la contaminación de cuerpos de agua por actividad pecuaria   |  |
| <b>Indicador</b>   | Número de Granjas Porcícolas que tiene sistema terciario para el tratamiento de agua residual por UP.  |
| <b>Descripción</b>   | Promover la creación de infraestructura para el tratamiento de agua residual a granjas porcícolas chicas, medianas, grandes y megas.   |
| <b>Objetivo</b>  | Construir sistemas de tratamiento en 460 granjas chicas y medianas y manejar adecuadamente las aguas tratadas.   |
| <b>Metodología</b>   | <p>En el Plan Rector 2019, se retoma y ajusta el indicador para las aguas residuales porcícolas.</p> <p>Se calcula como la proporción de plantas de tratamiento terciario de aguas residuales de una Línea Base de 460 granjas chicas, medianas y grandes, y se expresa como porcentaje de cumplimiento.</p> <p>%CUMP= Cantidad relativa de granjas con sistemas terciarios de tratamiento de agua residual.</p> <p>#GRA-TRAT-TER= Numero de granjas con sistemas terciarios de tratamiento de agua.</p> <p>TOTGRA= Número total de granjas porcícolas.</p> $\%CUMP = \frac{\#GRATRAT - TER}{TOTGRA} \times 100$ |
| <b>Fuente</b>  | CONAGUA,<br>Secretarías de Desarrollo Rural y secretarías de medio ambiente, en el ámbito federal como estatal.  |
| <b>Línea base del indicador</b>  | Hasta el año 2020, solo existen 2 granjas porcícolas con sistemas terciarios en su manejo de agua residual.<br>Línea Base = 0.43 %<br>Meta 2024 = 32 %<br>Fuente SDS. 2020; Plan Rector 2019   |

|  |  |
|--|--|
| OP4 - Preservar la integralidad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan humedales, selvas y acuíferos. |  |
| EP 4.4 - Controlar la contaminación de cuerpos de agua por residuos sólidos.   |  |
| Indicador  | Proporción de sitios controlados con rellenos sanitarios.  |
| Descripción  | Generar infraestructura para el manejo integral de los residuos sólidos urbanos (RSU). Si bien Quintana Roo tiene el control del 100% de sus RSU mediante la técnica del relleno sanitario. Yucatán tiene el control de los RSU mediante el relleno sanitario en solo el 61 %. Campeche cubre el 82 % de sus RSU en rellenos sanitarios.   |
| Objetivo prioritario   | Construir Sitios de Disposición Final y de tratamiento con la infraestructura adecuada y recursos humanos y económicos suficientes para operarlos, de acuerdo con la NOM 083 SEMARNAT.<br><br>Pueden ser para un municipio como para una alianza intermunicipal con un organismo operador reconocido con proyecto microregional, para el manejo de los RSU, que incluya centros de acopio y transferencia, relleno microregional, recolección y reciclamiento, generación de composta.   |
| Metodología  | El Plan Rector 2019 contempla indicadores sobre el tema de reciclaje y construcción y operación de rellenos sanitarios.<br><br>Aquí se ajusta al número de sitios de disposición controlados de acuerdo a la NOM 083 SEMARNAT, relacionados con el número total de municipios.<br><br>#MUNISD= se refiere al número de sitios de disposición de acuerdo con la NOM = (#SEMARNAT).<br><br>MUN_TOT= es el número total de Municipios en la Península de Yucatán = 128<br><br>$%CUMP = \frac{\#MUNSID}{MUN\_TOT} \times 100$<br><br>En el caso de diseños micro regionales, el cálculo es nuevo, no hay antecedentes en otros Programas:<br><br>SIS_MR= Sistema de Manejo de RSU para cada UP.<br><br>#de UP = Número de UP (9).<br><br>$%CUMP = \frac{SIS\_MR}{\#deUP} \times 100$<br><br>Fuente: Plan Rector 2019-2024; Secretaria de Medio Ambiente de las entidades federativas |
| Fuente   | SEMARNAT<br>Secretarías de medio ambiente estatales  |
| Línea base del indicador   | Quintana Roo = 11 Municipios con relleno sanitario<br>Yucatán: 10 Municipios con relleno sanitario<br>Campeche con 9 Municipios con relleno sanitario.<br>Meta al 2024 = 22 municipios más con rellenos sanitarios<br>Yucatán = 20 rellenos sanitarios<br>Campeche = 2 rellenos sanitarios.<br>Fuente: secretarías de Medio Ambiente de entidades federativas.   |

|   |  |
|---|--|
| <b>OP4 - Preservar la integralidad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan humedales, selvas y acuíferos.</b> |  |
| <b>EP 4.5 - Preservar zonas de recarga y sanear cuerpos de agua.</b>  |  |
| <b>Indicador</b>  | Decretar Zonas de Recarga de cada UP para la preservación y conservación de la calidad ambiental y el saneamiento generalizado.  |
| <b>Descripción</b>  | Preservar la integridad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan cuencas y acuíferos. Cada una de las UP constan de zonas de recarga, tránsito y de descarga (generalmente la zona costera).  |
| <b>Objetivo</b>   | Identificar las zonas de recarga de cada UP para el fomento de Reservas Hídricas y su saneamiento.   |
| <b>Metodología</b>  | <p>El Programa Nacional Hídrico 2020-2024, establece el impulso al número de cuencas y acuíferos reglamentados. En este sentido, este indicador reflejara el número de zonas de recarga como Reservas Hídricas para su protección y fomentar su saneamiento.</p> <p>ZREC_SANEA= Zona de recarga con decreto de protección y saneamiento para cada UP.</p> <p>#de UP = Número de UP (9).</p> $\%CUMP = \frac{ZREC\_SANEA}{\#deUP} \times 100$ |
| <b>Fuente</b>   | Órganos Auxiliares del CCPY,<br>CONAGUA,<br>Alianza Intermunicipal.  |
| <b>Línea base del indicador</b>   | <p>Hasta ahora solo hay una Reserva Hidrológica en la UP YucN, y es de competencia estatal, falta refrendo federal.</p> <p>La Línea Base al año 2020 es de 11.11 %</p> <p>Meta 2024 = 33.3 %</p> <p>Fuente: Programa Nacional Hídrico 2020-2024.</p> <p>Fuente: Plan Rector 2019</p>   |

## 6.5 Mejorar las condiciones para la gobernanza regional y local del agua a fin de fortalecer la toma de decisiones, la transparencia y la participación social

OP 5 - Mejorar las condiciones para la gobernanza regional y local del agua a fin de fortalecer la toma de decisiones, la transparencia y la participación social.

| Indicador transversal del OP 5 |   |
|--------------------------------|---|
| Indicador                      | Número de órganos auxiliares del consejo de cuenca que cuentan con vocalía de equidad de género y grupos sociales que no estaban incorporados en la gestión del agua.   |
| Descripción                    | El Programa Nacional Hídrico 2020-2024, en su objetivo prioritario número 5 habla sobre la necesidad de incorporar la equidad de género y grupo para la gestión integrada del recurso hídrico por UP, por lo que hace referencia expresa a este indicador propuesto por este PHR.   |
| Objetivo                       | Mejorar las condiciones para la gobernanza del agua a fin de fortalecer la toma de decisiones y combatir la corrupción, así como incrementar la participación social, productiva, y normativa con equidad de género y grupos dentro de los órganos auxiliares por UP.   |
| Metodología                    | <p>Si bien la fuente es el Programa Nacional Hídrico 2020-2024, se han realizado ajustes pequeños para la información generada en este trabajo. El indicador se calcula como el porcentaje de cumplimiento derivado del cociente entre los órganos auxiliares con vocalía de género y el número total de Órganos Auxiliares del CCPY (9)</p> <p>#ORGAUX_EQUID= Órganos Auxiliares y Consejo de Cuenca con equidad de género y de grupo conformado por el sector social transversal, como mujeres, indígenas, jóvenes, academia, investigación, entre otros que se consideren de interés, como niños y derechos humanos.</p> <p>ORGAX_TOT= Número de Órganos Auxiliares (9).</p> $\%CUMP = \frac{\#ORGAUX\_EQUID}{ORGAX\_TOT} \times 100$ <p>Fuente: Programa Nacional Hídrico 2020-2024</p> |
| Fuente                         | Registros administrativos de la Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola de la CONAGUA.<br>Actas de Instalación de órganos auxiliares creados y operando. CCPY.  |
| Línea base                     | <p>El Programa Hídrico Regional 2021-2024 propone la reestructuración del Consejo de Cuenca y sus Órganos Auxiliares. Son Acciones colectivas previstas en el capítulo 5 y van en la consolidación de las Unidades de Planeación. Por lo que la Línea Base al 2020 es = 0</p> <p>Meta a 2024= 44.4 %</p> <p>Fuente: Programa Hídrico Regional 2021-2024. Este indicador modificado es nuevo, derivado del perfeccionamiento de la estructura del Consejo de Cuenca.</p>   |

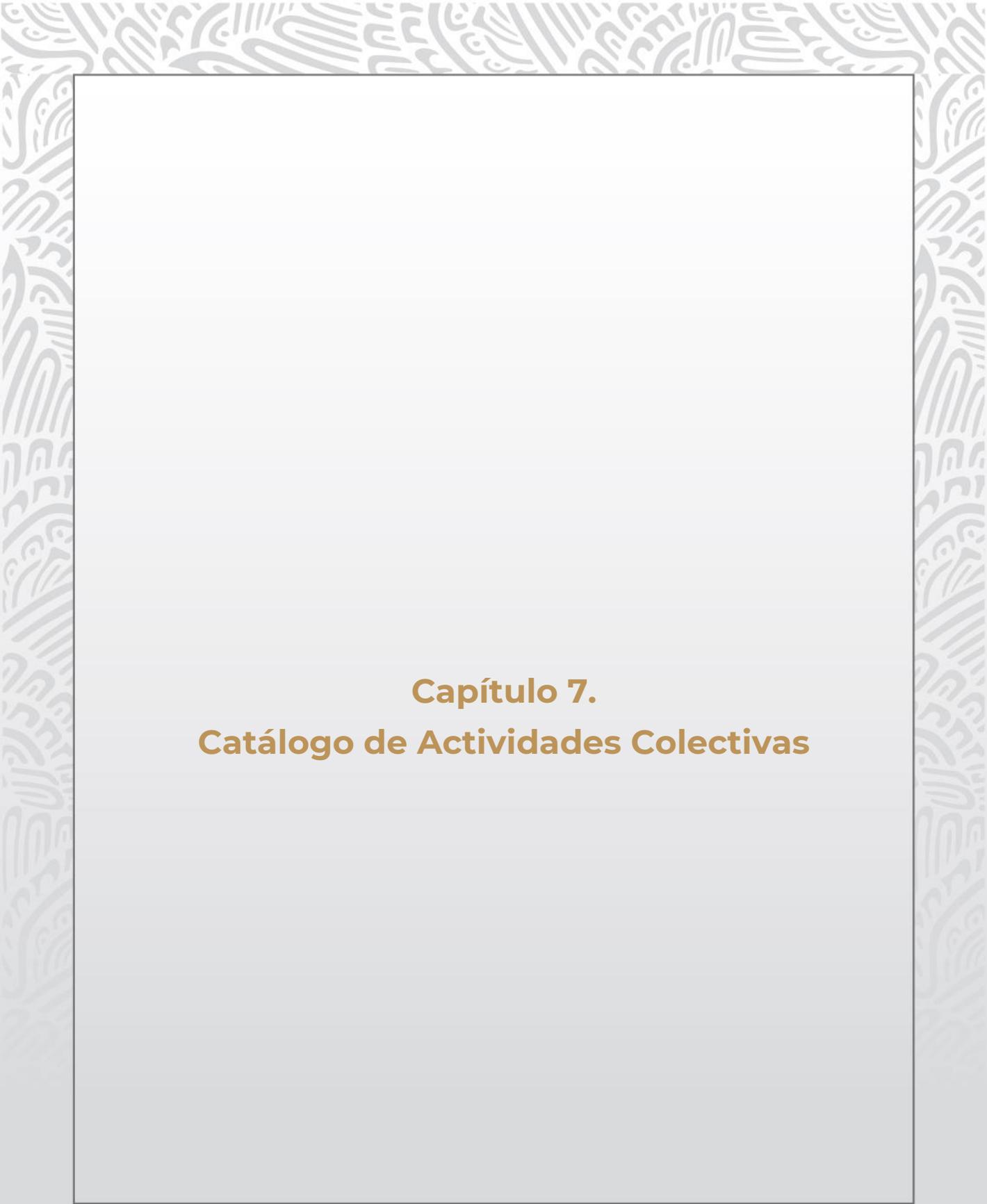
|   |   |
|---|---|
| <b>OP 5 - Mejorar las condiciones para la gobernanza regional y local del agua a fin de fortalecer la toma de decisiones, la transparencia y la participación social.</b> |   |
| <b>EP 5.1 - Fortalecer la gobernanza hídrica local y articularla a nivel regional.</b>  |   |
| <b>Indicador</b>  | Creación de Órganos Auxiliares por UP del CCPY.   |
| <b>Descripción</b>  | Constitución de Órganos Auxiliares por UP del CCPY con la asamblea de usuarios, participación de sociedad civil organizada, la Alianza Intermunicipal y las representaciones de los gobiernos estatal y federal para la gestión integrada del recurso hídrico por UP.   |
| <b>Objetivo</b>   | Crear la estructura para la gobernanza hídrica a nivel de UP.   |
| <b>Metodología</b>  | <p>Si bien la fuente es el Programa Nacional Hídrico 2020-2024, se han realizado ajustes pequeños para la información generada en este trabajo. El indicador se calcula como el porcentaje de cumplimiento derivado de la creación y operación de los órganos auxiliares en cada UP</p> <p>#ORGAUX_CCPY= Órganos Auxiliares del Consejo de Cuenca conformados con todos los sectores: municipios, usuarios, participación social con equidad de género y de grupo, y representaciones de gobierno federal y estatal.</p> <p>ORGAX_TOT= Número de Órganos Auxiliares (9)</p> $\%CUMP = \frac{\#ORGAUX\_CCPY}{ORGAX\_TOT} \times 100$ |
| <b>Fuente</b>   | Consejo de Cuenca PY,<br>Actas de Acuerdos de Asambleas<br>CONAGUA.   |
| <b>Línea base del indicador</b>   | <p>La reestructuración y perfeccionamiento de los Órganos Auxiliares como los Comités Técnicos de Agua Subterránea y las Comisiones de Cuenca particularmente en Candelaria, Campeche están dentro de las Acciones Colectivas, por lo que al 2020 la Línea Base es = 0</p> <p>Meta para el 2024 = 44.4%</p>   |

**OP 5 - Mejorar las condiciones para la gobernanza regional y local del agua a fin de fortalecer la toma de decisiones, la transparencia y la participación social.**

**EP 5.2 - Fortalecer y diversificar el financiamiento para atender las prioridades hídricas y reforzar las capacidades de gestión del agua.**

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| <b>Indicador</b>                | Recursos financieros para atender las prioridades en la gestión del agua por UP.  |
| <b>Descripción</b>              | Monto ejercido de diversas fuentes públicas y privadas para cubrir las prioridades hídricas de la región.   |
| <b>Objetivo</b>                 | Conocer el presupuesto federal asignado, lo recaudado por derechos de agua y las inversiones privadas realizados para lograr hacer uso eficiente del financiamiento disponible y atender prioridades hídricas de cada UP y garantizar su operación.   |
| <b>Metodología</b>              | <p>Este indicador no tiene referente en ninguno de los tres programas (PNH 2020-2024, Plan Rector (2015,2019) y PHR 2014-2018) por lo que se propone para este PHR.</p> <p>Se calcula mediante la suma de cada fuente detectada en este PHR (PEF, recaudados y otras aportaciones):</p> <p>PREP_TOT= Recursos económicos y financieros de diversas fuentes para cumplir los objetivos prioritarios de PHR.</p> <p>PEF-AÑO= Es la asignación de recursos financieros del Presupuesto de Egresos de la Federación por UP.</p> <p>MONT_REC = Es la cantidad de recursos recaudados por los pagos de derechos de agua.</p> <p>REC_PRIV= Son los recursos económicos derivados de aportaciones de fundaciones, empresas, ONG ´s, entre otros, nacionales o internacionales.</p> $PREP_{TOT} = PEF_{AÑO} + MONT_{REC} + REC_{PRIV}$ |
| <b>Fuente</b>                   | Registros administrativos de la Coordinación General de Recaudación y Fiscalización de la CONAGUA.  |
| <b>Línea base del indicador</b> | <p>La información analizada en este PHR brinda los valores de Línea Base al año 2020.</p> <p>PREP_TOT = 768.9 Millones de pesos/año</p> <p>PEF= \$ 513.2 Millones de pesos / año</p> <p>MON_REC= \$ 207.50 Millones de pesos /año</p> <p>REC_PRIV= \$ 48.2 Millones de pesos/año</p> <p>Meta al 2024 = 1,150 Millones de pesos /año</p>   |

|  |   |
|--|---|
| OP 5 - Mejorar las condiciones para la gobernanza regional y local del agua a fin de fortalecer la toma de decisiones, la transparencia y la participación social. |   |
| EP 5.3 - Incrementar el conocimiento sobre el comportamiento del acuífero y vincularlo con la gestión hídrica.   |   |
| Indicador  | Número de proyectos de monitoreo e investigación para la gestión del agua apoyados.   |
| Descripción  | Incrementar el conocimiento sobre la estructura y funcionamiento del acuífero y aguas superficiales. Además, contar con una herramienta para conocer la calidad del agua subterránea y superficial de la PY en tiempo real de libre acceso, con el objetivo de apoyar la gestión hídrica, la investigación científica y la exigencia social.  |
| Objetivo   | Conocer la disponibilidad de agua subterránea y la variabilidad espacial y temporal de la lluvia en las 9 UP. Con el objetivo de mejorar la planeación sobre las extracciones (local y regional), así como también el conocimiento de la dinámica hídrica de la región. En este sentido, se asegura el derecho humano al agua a futuro por UP, así mismo la salud de los ecosistemas locales y la calidad del agua subterránea de la región peninsular.   |
| Metodología  | <p>Este indicador no tiene referente en ninguno de los tres programas (PNH 2020-2024, Plan Rector (2015,2019) y PHR 2014-2018) por lo que se propone para este PHR.</p> <p>Integrar una herramienta de libre acceso con el monitoreo a nivel de órganos auxiliares en las UP del CCPY y capacitación técnica a actores de gestión en los Órganos Auxiliares.</p> <p>Proporción entre el número total de proyectos que llevan a cabo los centros de investigación y universidades, públicas y privadas, que operan en cada UP entre el número de proyectos vinculados con las necesidades para la gestión hídrica sustentable.</p> <p>COOP_ACAD = Proyectos de investigación y capacitación con la cooperación académica en la UP (Proyectos conjuntos o no, entre Universidades, Centros de Investigación, Tecnológicos.</p> <p>ART_INV-ORAU= Articulación de la investigación con los mecanismos de planeación y toma de decisiones de los distintos niveles (número de proyectos de investigación, capacitación solicitada específicamente por el órgano auxiliar sobre cobertura espacial de su UP</p> <p>Cuando el valor tiende a cero (0) la cobertura de investigación aplicada a necesidades planteadas en el órgano auxiliar del CCPY se estarán satisfaciendo las necesidades de generación de conocimiento para la gestión hídrica.</p> <p>#PROY_UP = Número de proyectos vinculados a la necesidad de conocimiento de la UP para la gestión eficiente del agua.</p> $ART_{INV} - ORAY = \frac{COOP\_ACAD}{\#PROY\_UP}$ |
| Fuente   | Órganos Auxiliares del CCPY,<br>Vocales sector academia e investigación<br>CONACYT -Gobierno del Estado.<br>Comisión Regional de Cambio Climático.  |
| Línea base del indicador   | <p>Actualmente en el Plan Rector 2019, se prevén \$ 34 Millones de pesos.</p> <p>Dado que no hay referente en el PNH 2020-2024, Plan Rector 2015,2019, PHR 2021-2024, y la necesidad de consolidar la restructuración y perfeccionamiento de los órganos Auxiliares del CCPY para ajustarlos a las UP es que se presenta este nuevo indicador. Por lo que el valor del indicador de Líneas Base es = 0</p> <p>Meta al 2024 = 2.5</p>  |



**Capítulo 7.**  
**Catálogo de Actividades Colectivas**

Las acciones colectivas que se mencionan aquí se enfocan como una propuesta para la reestructuración y evolución hacia nuevas estructuras de gestión con base en las Unidades de Planeación (UP). Cada acción colectiva impacta de manera diferenciada sobre cada una de las problemáticas prioritarias establecidas en este Programa Hídrico Regional.

La acción colectiva se refiere a:

- los proyectos identificados por el equipo o propuestos en el proceso participativo y priorizados por el PHR,
- contar con la participación y coordinación de distintas dependencias,
- contar con aportaciones de más de una de las siguientes instancias del gobierno federal, estatal, o municipal y sector privado, social, comunitario y academia, y
- para comenzar a implementarse antes del 2024 y cuya finalización se puede extender a mediano y largo plazo.

De aquí que en este capítulo se presenta la propuesta de actividades colectivas y se estructura de la siguiente manera:

Se inicia con una breve descripción sobre el objetivo general de las acciones colectivas y la relación de cada una con las problemáticas prioritarias identificadas en este Programa Hídrico Regional 2021-2024.

Posteriormente, se profundiza en cada acción colectiva y se presenta una ficha donde se incluye justificación, objetivo, metas, descripción, actores principales, proceso de implementación, alineación con objetivos del Programa Nacional Hídrico (PNH) y el plazo.

Además, se incluye una ficha adicional donde se muestra una propuesta de cronograma (2021-2024) de acciones específicas con una estimación general de costos sugerida, derivado de la experiencia en estas actividades, sin embargo, los proyectos ejecutivos específicos con costos reales serán necesarios para llevar a buen puerto las acciones colectivas y ajustar los presupuestos. El enfoque hacia las Unidades de Planeación (UP) reconoce la problemática diferenciada existente en la región; por lo que ayuda a identificar e implementar las soluciones colectivas para lograr el bienestar de la población y el derecho humano al agua, fundamentalmente.

El diagnóstico (Capítulo 1 y 3) priorizo la identificación de la problemática abordada de forma participativa y su alineación con los Objetivos Prioritarios (OP) del Programa Nacional Hídrico (PNH) 2020-2024 y los principios establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2019-2024 (Ver Tabla 145), en donde se considera como temas esenciales la atención hacia la población en condiciones de pobreza y hacia los pueblos originarios, así como atender los retos asociados con el cambio climático para el sistema hidrológico de la región, y garantizar el derecho humano al agua en cantidad y calidad. El análisis propuesto a nivel de UP (el cual es un nivel operativo) permite obtener un diagnóstico y una proyección de los volúmenes ofrecidos para los distintos usos del agua, así como la demanda estimada para la Región hacia el 2050, incluyendo la principal fuente de información. Este nivel de análisis optimiza las soluciones, facilita la toma de decisiones y permite integrar a los usuarios del agua en la implementación de acciones colectivas para una gestión del agua sostenible y resiliente.

**Tabla 145.** Alineación con el PNH y PND

| Instrumento | Objetivo  | Criterios de Priorización a Escala Municipal o por UP   | Fuentes                          |
|-------------|---|---|----------------------------------|
| PNH         | 1.- Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población más vulnerable    | Rezago hídrico en materia de agua potable, alcantarillado y baños. Inversiones en materia de agua | Censos INEGI                     |
| PNH         | 2.- Aprovechar eficientemente el agua para contribuir al desarrollo sostenible de los sectores productivos                    | Volúmenes de concesión del agua para sector primario, industria y servicios                       | REPDA 2019                       |
| PNH         | 3.- Reducir la vulnerabilidad de la población ante inundaciones y sequías, con énfasis en pueblos indígenas y afromexicanos   | Índices de vulnerabilidad y riesgo; número de declaratorias de desastre                           | Atlas nacional de vulnerabilidad |
| PNH         | 4.- preservar la integridad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan cuencas y acuíferos | Usos del agua; eficiencia del tratamiento de agua   | Análisis técnico participativo   |
| PNH         | 5.- mejorar las condiciones para la gobernanza del agua a fin de fortalecer la toma de decisiones y combatir la corrupción    | Presencia del Órgano Auxiliar   | Análisis técnico participativo   |
| PND         | Primero los pobres  | Índice de marginación por municipio   | CONAPO                           |
| PND         | Atención a poblaciones indígenas  | Ups indígenas*  | CDI                              |

\* Los municipios indígenas son aquellos donde 40 % y más de su población es indígena

En la Tabla 146 se muestra las acciones colectivas propuestas, y de forma transversal, mediante el número y color, se relacionan con el Objetivo Prioritario (OP) que impactan.

De aquí que, mediante el análisis técnico estadístico y participativo llevado a cabo en este PHR 2021-2024, desarrollado en diversos capítulos de este documento, es posible desprender, en el esquema general de alineación a partir de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, a nivel internacional, el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2024, el Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PROMARNAT), el Programa Nacional Hídrico 2020-2024, el Programa Hídrico Regional Visión 2030, y del Plan Rector 2019, la propuesta de 8 Acciones Colectivas. Estas acciones colectivas se relacionan con lo establecido en el Plan Rector de la Península de Yucatán, incluyendo la lista de proyectos (Tabla 146).

**Tabla 146.** Actividades colectivas para la PY y su impacto transversal a los Objetivos Prioritarios (OP)

|     |   |   |
|-----|---|---|
| 41% | 1.- Garantizar progresivamente los <b>derechos humanos al agua y al saneamiento</b> , especialmente en la población desatendida históricamente. | 1. Revisar la estructura de Conformación de los órganos Auxiliares del CCPY a nivel UP<br><span style="background-color: #00AEEF; color: white; padding: 2px;">1</span> <span style="background-color: #76B82A; color: white; padding: 2px;">4</span> <span style="background-color: #555555; color: white; padding: 2px;">5</span>   |
| 7%  | 2.- Aprovechar eficientemente el agua para contribuir al <b>desarrollo sostenible</b> de los sectores productivos.                              | 2. Reforzar y alinear las alianzas intermunicipales a nivel UP<br><span style="background-color: #00AEEF; color: white; padding: 2px;">1</span> <span style="background-color: #76B82A; color: white; padding: 2px;">4</span> <span style="background-color: #555555; color: white; padding: 2px;">5</span>   |
| 11% | 3.- Reducir la <b>vulnerabilidad</b> de la población ante <b>inundaciones y sequías</b> , con énfasis en pueblos indígenas y marginados.        | 3. Mejorar el entendimiento sobre la disponibilidad de agua a nivel UP<br><span style="background-color: #00AEEF; color: white; padding: 2px;">1</span> <span style="background-color: #FFC000; color: white; padding: 2px;">2</span> <span style="background-color: #76B82A; color: white; padding: 2px;">4</span> <span style="background-color: #555555; color: white; padding: 2px;">5</span>   |
| 37% | 4.- Preservar la <b>integralidad del ciclo del agua</b> a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan cuencas y acuíferos.         | 4. Instrumentar un sistema de monitoreo a nivel UP en tiempo real para generar una cobertura peninsular del sistema hidrológico<br><span style="background-color: #00AEEF; color: white; padding: 2px;">1</span> <span style="background-color: #76B82A; color: white; padding: 2px;">4</span> <span style="background-color: #555555; color: white; padding: 2px;">5</span>  |
|     | 5.- Mejorar las <b>condiciones para la gobernanza</b> del agua a fin de fortalecer la toma de decisiones y combatir la corrupción.              | 5. Apoyar y articular líneas de investigación para incrementar el entendimiento del sistema hídrico y la capacidad de respuesta para la gestión hídrica resiliente y sustentable<br><span style="background-color: #00AEEF; color: white; padding: 2px;">1</span> <span style="background-color: #FFC000; color: white; padding: 2px;">2</span> <span style="background-color: #D9534F; color: white; padding: 2px;">3</span> <span style="background-color: #76B82A; color: white; padding: 2px;">4</span> <span style="background-color: #555555; color: white; padding: 2px;">5</span> |
|     |   | 6. Fomentar la capacitación multinivel para el manejo de cuencas hidrológicas<br><span style="background-color: #D9534F; color: white; padding: 2px;">3</span> <span style="background-color: #76B82A; color: white; padding: 2px;">4</span> <span style="background-color: #555555; color: white; padding: 2px;">5</span>  |
|     |   | 7. Alinear el ordenamiento territorial con un enfoque hídrico y de riesgos a nivel UP y promover un sistema de alerta temprana con perspectiva de cambio climático a nivel peninsular<br><span style="background-color: #00AEEF; color: white; padding: 2px;">1</span> <span style="background-color: #D9534F; color: white; padding: 2px;">3</span> <span style="background-color: #76B82A; color: white; padding: 2px;">4</span>  |
|     |   | 8. Incorporar la visión regional al proceso de negociación y asignación de presupuestos federales en materia de agua potable y saneamiento en poblaciones históricamente desatendidas.<br><span style="background-color: #D9534F; color: white; padding: 2px;">3</span> <span style="background-color: #76B82A; color: white; padding: 2px;">4</span>   |

**Tabla 147.** Relación de las acciones colectivas con los objetivos prioritarios del ODS, PND, con ejes temáticos, objetivos y estrategias de PROMARNAT, PNH 2020-2024, PHR 2030, PHR 2021-2024, y Plan rector.

| Objetivos de Desarrollo Sostenible   | PND   | PROMARNAT   | PNH   | PHR 2030   | PHR 2021-2024  | Plan Rector   |
|--|---|---|---|--|--|---|
| 6. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.  | 2.1 Brindar atención prioritaria a grupos históricamente discriminados mediante acciones que permitan reducir las brechas de desigualdad sociales y territoriales.<br>2.6 Promover y garantizar el acceso incluyente al agua potable en calidad y cantidad y al saneamiento, priorizando a los grupos históricamente discriminados, procurando la salud de los ecosistemas y cuencas.   | Agua como Pilar para el Bienestar<br>3. Fortalecer la gestión integral y sustentable del agua, garantizando su acceso a la población y a los ecosistemas                              | 1.- Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento especialmente en la población más vulnerable.  | 4. Promover el acceso adecuado a toda población a los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, dentro de un marco de desarrollo urbano ordenado y sustentable. | <b>Actividad Colectiva</b><br>8.- Incorporar la visión regional al proceso de negociación y asignación de presupuestos federales en materia de agua potable y saneamiento en poblaciones históricamente desatendidas.                  | OE.A.1 Saneamiento integral de la Península<br>OE.E.1 Agua y saneamiento para comunidades rurales y periurbanas marginadas  |
| 8. Fomentar el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo, y el trabajo decente para todos. | 2.4. Promover y garantizar el acceso efectivo, universal y gratuito de la población a los servicios de salud, la asistencia social y los medicamentos, bajo los principios de participación social, competencia técnica, calidad médica, pertinencia cultural y trato no discriminatorio.<br>3.3. Promover la innovación, la competencia, la integración en las cadenas de valor y la generación de un mayor valor agregado en todos los sectores productivos bajo un enfoque de sostenibilidad | Conservación y restauración de los ecosistemas y biodiversidad<br>1. Promover y facilitar el crecimiento sostenido y sustentable de bajo carbono con equidad y socialmente incluyente | 2.- Aprovechar eficientemente el agua para contribuir al desarrollo sostenible de los sectores productivos.                 | 1. Conservar las cuencas y acuíferos, para garantizar su equilibrio, evitando el desperdicio y las pérdidas de agua en todos los usos.   | <b>Actividad Colectiva</b><br>3.- Mejorar el entendimiento sobre la disponibilidad de agua en cada Unidad de Planeación (2021-2024)  | OE.A.2 Establecer un equilibrio entre la disponibilidad del recurso agua y su aprovechamiento productivo<br>OE.D.2 Impulsar el desarrollo socio-económico sustentable en sectores prioritarios (actividades productivas)        |
| 12. Garantizar las pautas de consumo y de producción sostenibles.  | 3.8. Desarrollar de manera sostenible e incluyente los sectores agropecuario y acuícola-pesquero en los territorios rurales, y en los pueblos y comunidades indígenas y afroamericanas.<br>3.9. Posicionar a México como un destino turístico competitivo, de vanguardia, sostenible e incluyente.  |   | 5.- Mejorar las condiciones para la gobernanza del agua a fin de fortalecer la toma de decisiones y combatir la corrupción. | 2. Fortalecer el desarrollo regional mediante la planeación hídrica participativa y el desarrollo de proyectos productivos   | <b>Actividad Colectiva</b><br>2.- Reforzar las Alianzas Intermunicipales por UP para la gestión integrada y corresponsable del agua y los servicios ambientales, preferentes de las comunidades originarias principalmente (2021-2024) | OE.E.2 Abatir los problemas de desnutrición y de opciones productivas en el medio rural<br>OE.D.1 Fomentar el desarrollo económico, mejorar el nivel de vida y la calidad de los servicios asociados con los recursos naturales |

| Objetivos de Desarrollo Sostenible   | PND  | PROMARNAT  | PNH  | PHR 2030   | PHR 2021-2024   | Plan Rector  |
|--|--|--|--|--|---|--|
| <p>9. Desarrollar infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación.</p> <p>11. Consegui que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles</p> | <p>1.9. Construir un país más resiliente, sostenible y seguro.</p> | <p>Adaptación al cambio climático y reducción de emisiones</p> <p>2. Incrementar la resiliencia a efectos del cambio climático y disminuir las emisiones de compuestos y gases de efecto invernadero</p> | <p>3.- Reducir la vulnerabilidad de la población ante inundaciones y sequías con énfasis en pueblos indígenas y afromexicanos.</p> | <p>5. Reducir los riesgos y fomentar una cultura de prevención, para mitigar los efectos nocivos asociados con los fenómenos hidrometeorológicos extremos.</p> | <p><b>Actividad Colectiva</b></p> <p>7.- Alinear los Ordenamientos Territoriales a la gestión hídrica y con enfoque de riesgo (2021-2024)</p> | <p>OE.G.1 Disminuir la vulnerabilidad a fenómenos extremos</p> |

14. Conservar y utilizar de forma sostenible los océanos, mares y recursos marinos para lograr el desarrollo sostenible.

15. Proteger, restaurar y promover la utilización sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar de manera sostenible los bosques, combatir la desertificación y detener y revertir la degradación de la tierra, y frenar la pérdida de diversidad biológica.

2.5. Garantizar el derecho a un medio ambiente sano con enfoque de sostenibilidad de los ecosistemas, la biodiversidad, el patrimonio y los paisajes bioculturales.

Conservación y restauración de los ecosistemas y biodiversidad

Entorno libre de contaminación del aire, agua y suelo.

4. Recuperar la funcionalidad de cuencas y paisajes a través de la conservación, restauración y aprovechamiento sustentablemente del patrimonio natural

5. Detener y revertir la pérdida de capital natural y la contaminación del agua, aire y suelo

4.- Preservar la integralidad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan cuencas y acuíferos.

3. Preservar la calidad del agua en cauces, acuíferos y playas, para contribuir al restablecimiento de los ecosistemas.

**Actividad Colectiva**

6.- Fomentar la capacitación multinivel para el manejo de cuencas o zonas geohidrológicas y agrobiodiversidad asociada (2021-2024)

OE.B.1 Incrementar la cantidad y calidad de la cobertura vegetal

OE.B.2 Recuperar las especies nativas

OE.F.1 Incrementar la participación y el compromiso socio-ambiental de los pobladores



| Objetivos de Desarrollo Sostenible  | PND  | PROMARNAT  | PNH   | PHR 2030  | PHR 2021-2024  | Plan Rector   |
|---|--|--|---|---|--|---|
| 17. Fortalecer los medios de ejecución y reavivar la alianza mundial para el desarrollo sostenible. | 2.8. Fortalecer la rectoría y vinculación del ordenamiento territorial y ecológico de los asentamientos humanos y de la tenencia de la tierra, mediante el uso racional y equilibrado del territorio, promoviendo la accesibilidad y la movilidad eficiente. | Gobernanza ambiental a través de la participación ciudadana<br>6. Desarrollar, promover y aplicar instrumentos de política, información, investigación, educación, capacitación, participación y derechos humanos para fortalecer la gobernanza ambiental. | 5.- Mejorar las condiciones para la gobernanza del agua a fin de fortalecer la toma de decisiones y combatir la corrupción. | 7. Propiciar la gestión integrada de los recursos hídricos, para mejorar la gobernabilidad regional.<br>8. Programar y procurar el financiamiento suficiente y oportuno para la gestión integrada de los recursos hídricos. | <b>Actividad Colectiva</b><br>1.- Conformar Órganos Auxiliares del Consejo de Cuenca a nivel de Unidad de Planeación para la gestión integrada del recurso hídrico (2021-2024)<br><b>Actividad Colectiva</b><br>4. Instrumentar un sistema de monitoreo a nivel UP en tiempo real para general una cobertura peninsular del sistema hidrológico<br><b>Actividad Colectiva</b><br>5. Apoyar y articular líneas de investigación mediante educación formal a nivel posgrado con participación de Consejo de Cuenca y el Sector Investigación y academia. (2021-2024) | OE.F.2 Complementación e implementación del marco legal y normativo<br>OE.I.1 Mejorar la calidad y cantidad de la información ambiental |
| 13. Tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.                         |  | Adaptación al cambio climático y reducción de emisiones  | 3.- Reducir la vulnerabilidad de la población ante inundaciones y sequías con énfasis en pueblos indígenas y afroamericanos | 6. Evaluar los efectos del cambio climático y plantear medidas de adaptación.   | <b>Actividad Colectiva</b><br>7.- Promover un sistema de alerta temprana para la gestión del agua ante el cambio climático. (2021-2024)  | OE.H.1 Aumentar la capacidad de adaptación ante el cambio climático<br>OE.C.1 Lograr el desarrollo urbano sustentable                   |



## 7.1 Actividad colectiva 1.- Revisar la estructura y conformación de los Órganos Auxiliares del Consejo de Cuenca Península de Yucatán (CCPY) para cada UP.

La primera acción colectiva priorizada tiene que ver con la necesidad de articular una gobernanza hídrica, con capacidades locales para la gestión integrada del agua para lograr los siguientes objetivos (Tabla 148 y Tabla 149):

- Impulsar una mayor participación ciudadana local en la toma de decisiones.
- Lograr decisiones informadas de manera colectiva al impulsar la generación de información de calidad.
- Mejorar el acceso, la sistematización, la difusión y el uso de la información sobre el agua en la Región.

En cuanto al Plan Rector impacta en 2 objetivos estratégicos (OE) que fortalecen la complementación e implementación del marco legal y normativo (OEF2), así como mejorar la calidad y cantidad de la información ambiental (OEII).

De aquí la importancia de impulsar acciones que transformen, se perfeccionen y evolucionen de forma más integral los Órganos Auxiliares, los Grupos Especializados y los Comités de Playas Limpias, para crear 7 Comités Técnicos de Aguas Subterráneas (COTAS) y perfeccionar y fortalecer al actual Comité Técnico de Aguas Subterráneas de la Zona Metropolitana del anillo de cenotes de Yucatán (COTASMEY) de la Unidad de Planeación Norte de Yucatán. Estos COTAS se implementarán en todas la Unidades de Planeación de la Península de Yucatán, excepto la Unidad de Planeación de Candelaria Campeche, el cual perfeccionara la Comisión de Cuenca del Río Candelaria para expandir su territorio de actuación a toda la Unidad de Planeación. La Comisión de Cuenca del Río Hondo es una cuenca de tipo transfronterizo, de influencia para el Sur de Campeche y Quintana Roo.

**Tabla 148. Actividad colectiva 1: Revisar la estructura y conformación de los Órganos Auxiliares del CCPY a nivel UP**

| 1).- Revisar la estructura y conformación de los Órganos Auxiliares del CCPY a nivel UP |  |
|---|--|
| <b>Justificación</b>  | Las UP, definidas con criterios administrativos y geohidrológicos, son actualmente sólo un instrumento de análisis, no están consolidadas en ningún organismo de gobernanza hídrica (Capítulo 2).                        |
|   | Esta desarticulación limita la capacidad de una gestión integrada local al interior de cada UP y con un enfoque regional, disminuyendo las posibilidades de cooperación y alineación entre las UP.                       |
|   | Por otro lado, la composición actual de los órganos auxiliares, en algunos casos, se definió con base en límites municipales o estatales y no con criterios de cuenca o geohidrológicos.                                 |
|   | Al mismo tiempo, se tienen cada vez más restricciones presupuestales que limitan las capacidades administrativas de los órganos auxiliares existentes. Incluso cuentan con la participación duplicada de muchos actores. |
|   | Una reestructuración de los órganos auxiliares con base en las UP dará una mayor eficiencia administrativa, financiera y logística a su operación.   |
| <b>Objetivo</b>   | Lograr la gestión hídrica integral a nivel de UP.  |
| <b>Metas</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reestructurar y consolidar Órganos Auxiliares (OA) con base en las nueve UP.</li> </ul>   |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Actualizar o Elaborar Programas de Gestión de cada OA integrales y articulados a nivel regional articulados con el PHR por UP</li> </ul>  |

### 1).- Revisar la estructura y conformación de los Órganos Auxiliares del CCPY a nivel UP

|   |   |
|---|---|
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Promover la Actualización de las Reglas Generales de Integración, Organización y Funcionamiento del CCPY y promover que reglas específicas para los propios Órganos Auxiliares</li> </ul>  |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Establecer estrategias para que en los Órganos Auxiliares de cada UP, participen los sistemas comunitarios de agua de las organizaciones y localidades mayas presentes.</li> </ul>   |
| <p><b>Descripción</b></p>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Incrementar el alcance de algunos OA para cubrir todas las UP.                         <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Expandir el COTASMEY a toda la región del Anillo de Cenotes (UP YucC).</li> <li>○ Expandir el alcance a la Comisión de Cuenca de Río Candelaria (UP CampC).</li> <li>○ Expandir el alcance del Comité de Cuenca del Sistema Bacalar (UP QRoos).</li> </ul> </li> <li>● Integrar OAs para generar un organismo de gestión a nivel UP.                         <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Comités de Cuenca de Solidaridad y Tulum (UP QRoosN).</li> </ul> </li> <li>● Crear OA en UP donde no haya.                         <ul style="list-style-type: none"> <li>○ UP QRoosC.</li> <li>○ UP CampS.</li> <li>○ UP CampN.</li> <li>○ UP YucO.</li> <li>○ UP YucS.</li> </ul> </li> <li>● Gestionar la conformación de la Comisión Internacional de la Cuenca del Río Hondo (México-Belice-Guatemala) para enfrentar el flujo de agua contaminada.</li> <li>● Desarrollar un análisis de la situación actual de la totalidad de los OA, su composición, situación administrativa y financiera para que, desde el CCPY se apoye a los órganos auxiliares a su reestructuración y, en su caso, a la creación de nuevos órganos.</li> </ul> |
| <p><b>Actores principales</b></p>       | <p>CCPY, órganos auxiliares, Gobiernos estatales y municipales, Gobierno Federal (Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE), usuarios del agua, organizaciones de la sociedad civil, academia y centros de investigación.</p>   |
| <p><b>Proceso de implementación</b></p> | <p>Reuniones para establecer el proceso de transición para la conformación de los nuevos Órganos Auxiliares.</p> <p>Dar aviso al Comité de Vigilancia (COVI) del CCPY de las decisiones tomadas.</p> <p>Proceder a la instalación del Órgano Auxiliar donde estén representados los usuarios, organizaciones de la sociedad civil, academia a nivel local, y los tres órdenes de gobierno.</p>  |

**1).- Revisar la estructura y conformación de los Órganos Auxiliares del CCPY a nivel UP**

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <b>Alineación con Objetivos PNH</b> | 1. Reducir el rezago en agua potable y saneamiento al permitir la gestión por UP. |
|                                     | 4. Alinear acciones entre zonas generadoras y receptoras de contaminantes.        |
|                                     | 5. Articulación y visión multiescala de las problemáticas y gestión hídrica.      |
| <b>Plazo</b>                        | 2021-2022   |

**Tabla 149.** Hoja de ruta para la Actividad Colectiva 1 (2021 – 2024)

| Actividades   | 2021       | 2022       |            | 2023 | 2024 | Costo estimado \$ MXP |
|---|------------|------------|------------|------|------|-----------------------|
|   | Semestre 2 | Semestre 1 | Semestre 2 |      |      |                       |
| El CCPY emite una solicitud a la Covi para que valide la creación y reestructuración de COTAS y Comisión de Cuenca de Candelaria.   | X          |            |            |      |      | No aplica.            |
| Validación por parte de la Covi de la creación y reestructuración de COTAS y Comisión de Cuenca de Río Candelaria.  | X          |            |            |      |      | No aplica.            |
| Reuniones para preparar la participación de los usuarios del agua y sociedad organizada.  | X          |            |            |      |      |                       |
| Formalización de los integrantes de la Asamblea de Usuarios y sociedad organizada de cada UP.   | X          |            |            |      |      | \$900 000             |
| Reuniones para preparar la participación de las diferentes dependencias Federales, estatales y municipales.   | X          |            |            |      |      |                       |
| Formalización de los integrantes del Grupo Técnico Consultivo de cada UP.   | X          | X          |            |      |      |                       |
| Sesión del Covi para la Instalación de los Comités Técnicos de Aguas Subterráneas y de la Comisión de Cuenca de Río Candelaria y elección de presidente, secretario y vocales. Constituir el Comité Técnico de Evaluación y Seguimiento (COTESE), nombrar y contratar al gerente operativo y los auxiliares necesarios para llevar a cabo las funciones encomendadas. Nombramiento del representante del Organismo de Cuenca como secretario técnico. | X          | X          |            |      |      | \$450 000             |
| Elaborar el Programa de Gestión Integrada del Agua para cada UP.  |            | X          | X          | X    |      | \$3 600 000           |

## 7.2 Actividad colectiva 2.- Reforzar y alinear las alianzas intermunicipales a nivel UP

El reforzamiento y alineación de las Alianzas Intermunicipales para la gestión del agua a nivel de UP (Tabla 150 y 0), busca:

- Reforzar las capacidades de gobernanza hídrica local.
- Coordinar las acciones entre los distintos niveles de gobierno para garantizar el acceso al agua potable y saneamiento.
- Coordinar las acciones de tratamiento de agua y manejo de residuos.

Esta acción colectiva impacta en los objetivos estratégicos del Plan Rector, enfocados a reducir los problemas de desnutrición y de opciones productivas en el medio rural (OE.E.2), así como a Fomentar el desarrollo económico, mejorar el nivel de vida y la calidad de los servicios asociados con los recursos naturales (OE.D.1)

Como se presentó en el Capítulo 2, es notorio observar que la participación de los municipios en el rezago en materia de agua potable y saneamiento se presentan fundamentalmente en aquellas Unidades de Planeación en donde se concentran condiciones de marginación, y población indígena, generando violaciones importantes al derecho humano al agua en calidad y cantidad.

Estos municipios se encuentran dentro de las Unidades de Planeación del Sur de Campeche (quien además recibe la menor cantidad de agua para uso público urbano), el Centro de Quintana Roo, y en las Unidades del Oriente y Sur de Yucatán.

**Tabla 150.** Actividad colectiva 2: Reforzar y alinear las alianzas intermunicipales a nivel UP

| Acción colectiva 2.- Reforzar y alinear las alianzas intermunicipales a nivel UP |  |
|--|--|
| <b>Justificación</b>   | <p>La participación representativa en el CCPY de los municipios no asegura la alineación de las políticas públicas a nivel municipal para la gestión del recurso hídrico (Ver Capítulo 1 y 3).</p> <p>Además, como se mencionó en el Capítulo 3, numerosos municipios de carácter rural requieren fortalecer las capacidades necesarias para llevar a cabo el manejo de residuos sólidos, el tratamiento de aguas residuales, la actualización de la infraestructura de agua potable, el cuidado del medio natural y las actividades de prevención y atención a desastres entre otras.</p> |
| <b>Objetivo</b>  | Fortalecer la participación y corresponsabilidad de los municipios en la gestión del agua a nivel de UP.   |
| <b>Metas</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Fortalecer la incidencia municipal en el ámbito de su competencia en materia de aguas residuales y residuos sólidos, entre otros.</li> <li>● Generar una visión regional de manejo de residuos y saneamiento.</li> <li>● Alinear acciones entre zonas generadoras y receptoras de agua y contaminación.</li> </ul>  |

### Acción colectiva 2.- Reforzar y alinear las alianzas intermunicipales a nivel UP

|  |  |
|--|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestionar acuerdos para que se considere como prioridad estratégica el cumplimiento de esta acción por parte de las alianzas existentes y de los organismos públicos descentralizados intermunicipales.</li> </ul>                      |
| <b>Descripción</b>                           | Consolidar Alianzas intermunicipales alineadas con la extensión territorial de las UP.   |
| <b>Actores principales</b>                   | El CCPY y las Juntas Intermunicipales pero instrumentada por los presidentes municipales y gobiernos estatales con el apoyo del Gobierno federal.  |
| <b>Proceso de implementación</b>             | Diálogo con presidentes municipales y con alianzas intermunicipales ya existentes. Autorización en cabildos para iniciar negociaciones de conformación o consolidación de alianzas intermunicipales. Elaborar acta de acuerdos. Publicarlos en el Diario Oficial de cada Estado. |
| <b>Potenciales fuentes de financiamiento</b> | Organizaciones Civiles y Fundaciones, así como los gobiernos estatales mediante el PEF<br>Evaluar la existencia de los programas de apoyo para las Alianzas Intermunicipales en ellos (Congresos estatal y federal).   |
| <b>Alineación con Objetivos PNH</b>          | 1. Coordinar acciones para garantizar el acceso a agua potable y saneamiento.<br>4. Coordinar acciones de tratamiento de agua y manejo de residuos.<br>5. Reforzar la gobernanza hídrica local.  |
| <b>Plazo</b>                                 | 2021-2024  |

**Tabla 151.** Hoja de Ruta para la Actividad Colectiva 2 (2021 – 2024)

| Actividades   | 2021       | 2022       |            | 2023 | 2024 | Costo estimado |
|---|------------|------------|------------|------|------|----------------|
|   | Semestre 2 | Semestre 1 | Semestre 2 |      |      | \$ MXP         |
| Convocatoria a los presidentes municipales de cada UP para iniciar sesiones de trabajo.   | X          |            |            |      |      | No aplica.     |
| Solicitud de los presidentes Municipales a los Cabildos correspondientes para acordar crear un Organismo Público Descentralizado Intermunicipal denominado como Junta Intermunicipal de agua potable y saneamiento. Crear una cuenta bancaria para el financiamiento de las acciones que sea alimentada por las aportaciones municipales. | X          |            |            |      |      | No aplica.     |

| Actividades   | 2021       | 2022       |            | 2023 | 2024 | Costo estimado |
|---|------------|------------|------------|------|------|----------------|
|   | Semestre 2 | Semestre 1 | Semestre 2 |      |      | \$ MXP         |
| Reuniones en cada UP con los presidentes Municipales y sus representantes para generar acuerdos previos en cuanto a los integrantes del Consejo de Administración, la vinculación con la Asamblea de Usuarios y la sociedad civil organizada. Crear una Dirección con sus áreas de apoyo:<br>-Coordinación de planeación<br>-Coordinación administrativa<br>-Jefatura de Proyectos<br>-Personal operativo y de apoyo. | X          | X          |            |      |      | \$900 000      |
| Firma del convenio que tiene como objeto establecer una asociación intermunicipal con el carácter de Organismo Público Descentralizado. Con la finalidad de lograr el manejo integral del agua público-urbana en cada UP.   | X          | X          |            |      |      | \$450 000      |
| Publicación del Decreto correspondiente en el Diario Oficial del Estado.  | X          | X          |            |      |      |                |

### 7.3 Actividad colectiva 3.- Mejorar el entendimiento sobre la disponibilidad de agua a nivel UP

Esta acción colectiva surge de la necesidad de mejorar el entendimiento sobre la disponibilidad de agua a nivel UP (Tabla 152 y 0), a fin de:

- Asegurar el acceso al agua potable de calidad.
- Prevenir enfermedades de origen hídrico, como las diarreas (Capítulo 1).
- Fortalecer la gestión del agua para actividades productivas, proteger los humedales, evitar la salinización costera, limitar el aumento de concentraciones de contaminantes.
- Informar la asignación de agua potable con una visión regional y de cambio climático, para asegurar la justicia social de las generaciones actuales y futuras.

Esta acción colectiva tiene un impacto en el Plan Rector, particularmente sobre los objetivos estratégicos que impulsan el establecimiento de un equilibrio entre la disponibilidad del recurso agua y su aprovechamiento productivo (OE.A.2), así como el impulsar el desarrollo socioeconómico sustentable en sectores prioritarios (actividades productivas, OE.D.2).

Es necesario actualizar los valores de disponibilidad de agua a nivel PY y UP, ya que no existen estudios sistemáticos suficientes para mejorar el entendimiento sobre la disponibilidad de agua en cada una de las UP y de las interdependencias por flujos subterráneos a nivel regional.

**Tabla 152. Actividad colectiva 3: Mejorar el entendimiento sobre la disponibilidad de agua a nivel UP**
**Acción colectiva 3.- Mejorar el entendimiento sobre la disponibilidad de agua a nivel UP**

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Justificación                      | <p>El análisis de disponibilidad de agua se estudia a nivel acuífero, desligado de las fronteras administrativas y geohidrológicas, y no ha sido actualizado en 10 años.</p> <p>Aunque a la escala del acuífero los volúmenes de extracción se mantienen dentro de los límites naturales, si se evalúa a nivel UP encontramos zonas con utilización de las Descargas Naturales Comprometidas (DNC), con el potencial de generar riesgos sociales y ambientales en su UP y en las UP aledañas.</p> |
| Objetivo                           | <p>Conocer la disponibilidad de agua subterránea de las nueve UP para informar la planeación de las asignaciones de extracción a nivel local y regional, asegurando tanto el derecho humano al agua actual y futuro, como la salud de los ecosistemas locales y la calidad del agua subterránea.</p>  |
| Metas                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Calcular con mayor precisión la DNC para asegurar la salud de los ecosistemas y la calidad del agua.</li> <li>• Establecer un mecanismo para calcular los volúmenes de recarga a partir de los datos anuales de precipitación y temperatura entre otras variables.</li> <li>• Incorporar este instrumento a la toma de decisiones relativa a las concesiones de extracción y vedas.</li> </ul>   |
| Descripción                        | <p>Elaborar un instrumento que permita, a través de lo que establece la NOM-011 CNA, conocer la disponibilidad de agua por UP de forma anual.</p> <p>Esto implica poder calcular la precipitación, la evapotranspiración, la DNC y la extracción social anualmente mediante datos tomados en campo o de manera remota y de otras bases de datos.</p>  |
| Actores principales                | <p>Subgerencia de evaluación y ordenamiento de acuíferos de la Subdirección General Técnica de la CONAGUA.</p> <p>El CCPY en conjunto con cada Órgano Auxiliar de las UP y la CONAGUA deberá licitar el proyecto para el diseño de la herramienta de cálculo.</p>   |
| Posibles fuentes de financiamiento | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CONAGUA, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).</li> <li>• Comisión Regional de Cambio Climático, Fondo de Cambio Climático de la PY.</li> <li>• Organizaciones de la Sociedad Civil.</li> </ul>  |
| Proceso de implementación          | <p>CONAGUA y CCPY acuerdan y aseguran recursos y gestionan la licitación para el proyecto basados en la NOM-011.</p>  |
| Alineación con Objetivos PNH       | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Asegurar el derecho al agua potable.</li> <li>2. Fortalecer la gestión del agua para actividades productivas.</li> <li>4. Proteger humedales, evitar salinización costera, limitar el aumento de concentración de contaminantes.</li> <li>5. Informar la asignación de agua potable con una visión regional y de cambio climático para asegurar la justicia social de las generaciones actuales y futuras.</li> </ol>                                   |
| Plazo                              | 2022-2024   |

**Tabla 153.** Hoja de Ruta para la Actividad Colectiva 3 (2021 – 2024)

| Actividades  | 2021       | 2022       |            | 2023 | 2024 | Costo estimado<br>\$ MXP |
|--|------------|------------|------------|------|------|--------------------------|
|  | Semestre 2 | Semestre 1 | Semestre 2 |      |      |                          |
| El CCPY, junto con el Organismo de Cuenca de la PY convocará a reunión por medio de la Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos de la Subdirección General Técnica de la CONAGUA, para la revisión de la NOM 011 CNA y acuerdo para iniciar reuniones de trabajo. | X          |            |            |      |      | No aplica                |
| El CC PY convocará a los Centros de Investigación y Universidades y Tecnológicos de carácter nacional, estatal y por UP para el desarrollo metodológico que permita profundizar en el conocimiento por UP.   | X          | X          |            |      |      | \$2 000 000              |
| Calcular con mayor precisión la DNC para asegurar la salud de los ecosistemas y la calidad del agua, con la visión de recurso natural preferente de las comunidades originarias y de justicia ambiental.   |            | X          | X          |      |      | \$750 000                |
| Establecer un mecanismo para calcular los volúmenes de recarga a partir de los datos anuales de precipitación y temperatura entre otras variables.   |            |            |            |      |      |                          |
| El CCPY en conjunto con cada Órgano Auxiliar de las UP y la CONAGUA deberá licitar el proyecto para el diseño de la herramienta de cálculo.  |            |            | X          | X    |      | \$150 000                |
| Incorporar este instrumento a la toma de decisiones relativa a las concesiones de extracción y vedas por UP.   |            |            | X          | X    | X    | \$300 000                |

## 7.4 Actividad colectiva 4.- Instrumentar un sistema de monitoreo (hidrológico y calidad del agua) a nivel UP en tiempo real para generar una cobertura peninsular del sistema hidrológico

En los capítulos anteriores se ha resaltado la importancia de generar herramientas de apoyo a la gestión hídrica, dentro de las cuales está el implementar un Sistema de Monitoreo a nivel de UP en tiempo real, para generar una cobertura peninsular del sistema hidrológico que permita tener información adecuada para (Tabla 154 y Tabla 155):

- Mejorar el acceso al agua y su calidad.
- Prevenir enfermedades de origen hídrico.
- Identificar y combatir fuentes de contaminación.
- Brindar a la población, academia, gobiernos y organismos de gobernanza hídrica las herramientas para combatir fuentes de contaminación y monitorear el desempeño de las medidas.

Esta acción colectiva tiene un impacto en el Plan Rector, particularmente sobre el objetivo estratégico que tiende a mejorar la calidad y cantidad de la información ambiental (OE11), en dos áreas específicas, como son la instrumentación en la Península de Yucatán con tecnología de monitoreo de punta (MI11) y coordina, analizar, y difundir información ambiental para la toma de decisiones (MI12).

También esta acción colectiva se nutre del número de bases de datos de monitoreo integradas en una plataforma de gestión de información socio-ambiental por UP, descrito en el Capítulo 4. Además de la CONAGUA, diversas dependencias realizan actividades de monitoreo de calidad de agua, con objetivos propios cada una de ellas. Entre estas dependencias se encuentran los Organismos Operadores de Agua Potable y Saneamiento (JAPAY, CAPA, entre otras), Universidades y Centros de Investigación, y el Sector Salud, principalmente.

La comprensión del Sistema Hidrológico en la Península de Yucatán y en sus 9 Unidades de Planeación es fundamental para las políticas públicas de gestión del agua. Por lo que un proceso deseado del monitoreo de la calidad del agua en cada Unidad de Planeación implica una recolección de datos sobre calidad de agua a tiempo real (para generar conocimiento sobre procesos de salinización de acuíferos), con recopilación de datos en periodos determinados, para generar una cobertura peninsular del sistema hidrológico, basado en la Unidad de Planeación.

**Tabla 154.** Actividad colectiva 4: Instrumentar un sistema de monitoreo a nivel UP en tiempo real para generar una cobertura peninsular del sistema hidrológico

**Acción colectiva 4.- Instrumentar un sistema de monitoreo a nivel UP en tiempo real para generar una cobertura peninsular del sistema hidrológico**

|   |   |
|---|---|
| <b>Justificación</b>                      | Actualmente existen distintos esfuerzos de monitoreo desarticulados en la PY. En razón de las características del suelo y la presencia de flujos subterráneos, se necesita un mayor entendimiento local de la calidad del agua subterránea para enfrentar diferentes problemáticas.   |
| <b>Objetivo</b>                           | Contar con una herramienta para conocer la calidad del agua subterránea de la PY en tiempo real y de libre acceso para apoyar la gestión hídrica, la investigación científica y la exigencia social.  |
| <b>Metas</b>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lograr una cobertura de monitoreo en tiempo real para todas las UP.</li> <li>• Integrar una herramienta de libre acceso con el monitoreo a nivel PY.</li> <li>• Incorporar el monitoreo comunitario y consolidar brigadas comunitarias en las UP que requieran dada la problemática prioritaria que presenten.</li> <li>• Estandarizar protocolos de monitoreo</li> <li>• Interpretación de los datos y su impacto en el acuífero a nivel UP.</li> </ul> |
| <b>Descripción</b>                        | <p>Una plataforma virtual que integre los datos de variables hídricas a nivel UP, la CONAGUA, gobiernos locales y universidades entre otros.</p> <p>Algunas de las variables que deberán medirse incluyen: precipitación, niveles piezométricos, salinidad, coliformes fecales, organoclorados, glifosato, medicamentos, nitritos, nitratos, fosfatos, salinidad, entre otros, para entender los impactos de la actividad humana y el cambio climático en el acuífero.</p>                        |
| <b>Actores principales</b>                | <p>Responsable: OC y CCPY</p> <p>Órganos Auxiliares por UP,</p> <p>Comisión Regional de Cambio Climático, FCPY,</p> <p>Secretaría de Desarrollo Sustentable (SDS) Yucatán, Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) Campeche, SEMA Q Roo</p> <p>Organismos operadores de agua potable y alcantarillado</p> <p>Universidades y centros de investigación</p> <p>Organizaciones de la sociedad civil</p>   |
| <b>Proceso de implementación</b>          | Reuniones con CONAGUA, centros de investigación y universidades, sector salud, CONAGUA y Órganos Auxiliares para conocer los esfuerzos de monitoreo en cada una de las UP. Elaborar proyecto para monitoreo integral del acuífero a tiempo real. Licitación o asignar proyecto.   |
| <b>Posibles fuentes de financiamiento</b> | <p>CONAGUA, CONACYT</p> <p>FCPY, Comisión Regional de Cambio Climático</p> <p>Organizaciones de la Sociedad Civil (OSC) o fundaciones nacionales y fuentes internacionales (por ejemplo, <i>Green Climate Fund</i>).</p>  |
| <b>Alineación con Objetivos PNH</b>       | <p>1. Asegurar el acceso a agua potable de calidad, prevenir enfermedades de origen hídrico.</p> <p>4. Identificar y combatir fuentes de contaminación.</p> <p>5. Brindar a la población, academia, gobiernos y organismos de gobernanza hídrica las herramientas para combatir fuentes de contaminación y monitorear el desempeño de las medidas.</p>  |
| <b>Plazo</b>                              | 2021-2024   |

**Tabla 155.** Hoja de Ruta para la Actividad Colectiva 4 (2021 – 2024)

| Actividades   | 2021          | 2022          |               | 2023 | 2024 | Costo estimado<br>\$ MXP |
|---|---------------|---------------|---------------|------|------|--------------------------|
|   | Semestre<br>2 | Semestre<br>1 | Semestre<br>2 |      |      |                          |
| El CCPY, convocará a los Órganos Auxiliares por UP, a la Comisión Regional de Cambio Climático, Fondo Climático de la PY, las entidades ambientales de los tres estados   |               | X             |               |      |      | \$25 000                 |
| SDS Yucatán, SEDEMA Campeche, SEDEMA Q Roo y a Universidades y centros de investigación.  |               |               |               |      |      |                          |
| Reuniones con centros de investigación y universidades, sector salud, CONAGUA, Organismos Operadores de Agua Potable, para conocer los esfuerzos de monitoreo en cada una de las UP.  |               | X             | X             |      |      | \$500 000                |
| Elaborar proyecto para monitoreo integral del acuífero a tiempo real.   |               |               |               |      |      |                          |
| Algunas de las variables que deberán medirse incluyen: precipitación, niveles piezométricos, salinidad, coliformes fecales, organoclorados, glifosato, medicamentos, entre otro. La finalidad es entender los impactos de la actividad humana y el cambio climático en el acuífero. |               | X             | X             |      |      | \$500 000                |
| El CCPY gestionará el financiamiento del proyecto y licita o asigna el proyecto.  |               |               | X             |      |      | \$150 000                |
| Lograr una cobertura de monitoreo en tiempo real para todas las UP.   |               |               | X             | X    | X    | \$90 000 000             |
| Integrar una herramienta de libre acceso con el monitoreo a nivel PY, a nivel del CCPY, así como de las UP.   |               |               |               | X    | X    | \$500 000                |

## **7.5 Actividad colectiva 5.- Apoyar y articular líneas de investigación para incrementar el entendimiento del sistema hídrico y la capacidad de respuesta para la gestión hídrica resiliente y sustentable**

Esta acción colectiva podrá impactar de manera favorable a través de (Tabla 156, Tabla 157 y Tabla 158):

- Contar con más estudios de la geohidrología, calidad de agua, disponibilidad de recursos hídricos, fuentes de contaminación, etc.
- Incrementar el conocimiento sobre cambio climático y su impacto.
- Identificar las dinámicas y tendencias que influyen en la cantidad y calidad del agua y la salud de los ecosistemas.
- Articular la planeación y gestión hídrica con la investigación científica.

Como se mencionó en el Capítulo 1, es relevante incrementar el conocimiento sobre la estructura y funcionamiento del acuífero y aguas superficiales, además de contar con una herramienta para conocer la calidad del agua subterránea y superficial de la PY en tiempo real de libre acceso, con el objetivo de apoyar la gestión hídrica, la investigación científica y la exigencia social.

**Tabla 156.** Actividad colectiva 5: Apoyar y articular líneas de investigación para incrementar el entendimiento del sistema hídrico y la capacidad de respuesta para la gestión hídrica resiliente y sustentable

**5.- Apoyar y articular líneas de investigación para incrementar el entendimiento del sistema hídrico y la capacidad de respuesta para la gestión hídrica resiliente y sustentable**

|   |   |
|---|---|
| <b>Justificación</b>                      | Existen aún grandes vacíos de conocimiento sobre las especificidades geohidrológicas y socioambientales de la región. Está situación limita la capacidad de llevar a cabo una planeación y gestión efectiva del agua.   |
| <b>Objetivo</b>                           | Fomentar la investigación científica en temas estratégicos para la planeación y gestión del agua en la PY.  |
| <b>Metas</b>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Incrementar el financiamiento a las líneas de investigación propuestas y mencionadas en la Tabla 11.</li> <li>Incrementar la cooperación académica en la región.</li> <li>Establecer los mecanismos para la articulación de la investigación con los mecanismos de planeación y toma de decisiones de los distintos niveles.</li> </ul>  |
| <b>Descripción</b>                        | <p>A partir del análisis y el proceso participativo llevado a cabo para la elaboración de este instrumento, se identificaron una serie de líneas de investigación que son clave para la gestión hídrica actual y la planeación a futuro. Algunas de estas líneas de investigación se enlistan a continuación, no siendo limitativa:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cómo calcular la DNC?</li> <li>Procesos de almacenamiento superficial que influyen en la recarga, el papel de la vegetación, suelos y zona vadosa.</li> <li>Influencia del Cambio De Uso De Suelos De Terrenos Forestales (CUSTF), pérdida de suelos, crecimiento ciudades, y cambio climático.</li> <li>Modelado de flujos a partir del monitoreo de variables hídricas subterráneas.</li> <li>Cartografía y modelaje geohidrológico en zonas de cuevas inundables, grandes estructuras kársticas, etc.</li> <li>Modelaje de impactos futuros del cambio climático como salinización costera, zonas inundables por aumento del nivel del mar y Fenómenos Hidrometeorológicos Extremos (FHE), proceso de disolución y fracturamiento.</li> <li>Fuentes y manejo adecuado de sargazo para evitar impactos hídricos.</li> <li>Incorporar la variable de cambio climático a la gestión del agua para las negociaciones en flujo de agua y problemáticas.</li> <li>Planeación y colaboración entre UP.</li> </ul> |
| <b>Actores principales</b>                | Universidades y centro de investigación con el apoyo de la CONAGUA, CONACYT, OSC, y fuentes de financiamiento internacional, particularmente las enfocadas en conservación, desarrollo sostenible y cambio climático.   |
| <b>Proceso de implementación</b>          | Los distintos grupos de investigación y las universidades pueden buscar apoyo de distintas fuentes de financiamiento. Esto al demostrar la alineación con las líneas de investigación estratégicas identificadas en este instrumento.   |
| <b>Posibles fuentes de financiamiento</b> | Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo sobre el Agua, OSC, fondos internacionales.   |
| <b>Alineación con Objetivos PNH</b>       | <p>4. Identificar dinámicas y tendencias que influyen en la cantidad y calidad del agua y la salud de los ecosistemas.</p> <p>5. Articular la planeación y gestión hídrica con la investigación científica.</p>   |
| <b>Plazo</b>                              | 2021-2024   |

A continuación, se observa en la Tabla 157 las líneas de investigación prioritarias propuestas por investigadores y académicos para generar conocimiento mayor de la dinámica y funcionamiento del sistema hidrológico.

**Tabla 157.** Líneas de investigación propuestas

| Temas                             | Líneas de investigación prioritarias   | ID |
|-----------------------------------|--|----|
| Efectos de cambio climático       | Modelaje de escenarios de intrusión salina para zonas costeras de la PY y caracterización de riesgos y medidas preventivas.                                  | 1  |
|                                   | Estimación de disponibilidad de agua local actual y futura considerando escenarios de extracción y efectos del cambio climático.                             | 2  |
|                                   | Estudios paleo climáticos y peleo hidrológicos de la PY.   | 3  |
|                                   | Impactos, riesgos y medidas preventivas frente a fenómenos hidrometeorológicos extremos y su relación con el cambio climático.                               | 4  |
| Fuentes y flujos de contaminantes | Caracterización de flujos subterráneos y difusión de contaminantes.  | 5  |
|                                   | Monitoreo y caracterización de calidad de agua subterránea y fuentes de contaminación.   | 6  |
| Gestión del agua                  | Tecnologías eficientes y de bajo costo para potabilización de aguas contaminadas o con exceso de minerales.  | 7  |
|                                   | Caracterización de la recarga del acuífero bajo cambios de uso de suelo.   | 8  |
|                                   | Herramientas de comunicación científica para la vinculación del conocimiento con la toma de decisiones y concientización de la sociedad.                     | 9  |
| Salud ecosistémica y humana       | Cálculo de la descarga natural comprometida para zonas kársticas a escala acuífero y UP.   | 10 |
|                                   | Adecuación de normas de descarga para zonas kársticas.   | 11 |
|                                   | Impactos ecosistémicos y a la salud humana de calidad de agua subterránea y superficial.   | 12 |
|                                   | Saneamiento de cuerpos de agua para reducir concentraciones de contaminantes y reducir impacto ecosistémico  | 13 |
|                                   | Impacto y orígenes de arribazones de sargazo.  | 14 |
| Uso eficiente del agua            | Tecnologías y prácticas eficientes en el uso agropecuario, de servicios y urbano.  | 15 |
|                                   | Tecnologías eficientes, de bajo costo y fácil apropiación de saneamiento a escala familiar o comunitaria para las condiciones socioambientales de la región. | 16 |
|                                   | Tecnologías eficientes y de bajo costo de saneamiento a escala municipal.  | 17 |

**Tabla 158.** Hoja de Ruta para la Actividad Colectiva 5 (2021 – 2024)

| Actividades   | 2021       | 2022       |            | 2023 | 2024 | Costo estimado<br>\$ MXP |
|---|------------|------------|------------|------|------|--------------------------|
|   | Semestre 2 | Semestre 1 | Semestre 2 |      |      |                          |
| El CCPY convoca a las Universidades y Centros de investigación con el apoyo de la CONAGUA, CONACYT, Organizaciones de la Sociedad Civil, y fuentes de financiamiento internacional y nacional, particularmente las enfocadas en conservación, desarrollo sostenible y cambio climático. |            | X          |            |      |      | \$325 000                |
| Establecer los mecanismos para la articulación de la investigación con los mecanismos de planeación y toma de decisiones de los distintos niveles.  |            | X          | X          |      |      | \$1 000 000              |
| Incrementar el financiamiento a las líneas de investigación mencionadas en el proceso participativo.  |            | X          | X          | X    |      | \$1 000 000              |
| Incrementar la cooperación académica en la región.  |            |            |            |      |      |                          |
| Operar un Programa de Investigación Científica y Educación Superior en temas estratégicos para la planeación y gestión del agua en la PY y en las UP.   |            |            | X          | X    | X    | \$5 000 000              |

## 7.6 Actividad colectiva 6.- Fomentar la capacitación multinivel para el manejo de cuencas hidrológicas

Esta acción colectiva busca incrementar el conocimiento y las capacidades para la gestión del agua. Por lo anterior, es importante fomentar la capacitación multinivel para el manejo de cuencas hidrológicas (Tabla 159 y 0), a fin de:

- Profesionalizar el personal responsable de la gestión hídrica con una perspectiva multidisciplinaria e interdisciplinaria y multinivel.

Existen esfuerzos importantes por impulsar acciones para generar y fortalecer las capacidades personales, a través de los Espacios de Cultura del Agua, los colectivos y asociaciones civiles en ciertas comunidades. Actualmente se vive un deterioro acelerado del medio ambiente por acciones de origen antrópico (como se mencionó en el capítulo 1), como el rápido crecimiento poblacional conllevando a la creación de Infraestructuras y cambios radicales en el paisaje geográfico, así como un deterioro paulatino de los recursos hídricos en ciertas Unidades de Planeación, por lo que es urgente formar cuadros científicos-técnicos a nivel de diplomado y postgrado en gestión de cuencas y acuíferos.

**Tabla 159. Actividad colectiva 6: Fomentar la capacitación multinivel para el manejo de cuencas hidrológicas**
**6.- Fomentar la capacitación multinivel para el manejo de cuencas hidrológicas**

|   |   |
|---|---|
| <b>Justificación</b>                      | Necesidad de incrementar el conocimiento de la estructura y funcionamiento de los acuíferos regionales para cada uno de los diferentes miembros de los Órganos Auxiliares, responsables de los tres órdenes de gobierno y otros participantes de los organismos de gestión hídrica.   |
| <b>Objetivo</b>                           | Desarrollar las capacidades técnicas de los diferentes actores que participan en la gestión hídrica de cada una de las UP y el CCPY.  |
| <b>Metas</b>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Conformar un comité técnico responsable del contenido de las capacitaciones.</li> <li>● Elaborar las herramientas educativas y de apoyo.</li> <li>● Emitir la convocatoria para las capacitaciones.</li> <li>● Vincular las acciones con los planes estatales de educación ambiental de las tres entidades federativas.</li> <li>● Impulsar una estrategia de comunicación diferenciada que permita dar a conocer y hacer partícipe los diferentes sectores de la ciudadanía en el PHR.</li> </ul> |
| <b>Descripción</b>                        | Elaborar una serie de instrumentos formativos.  |
| <b>Responsable</b>                        | CCPY,UP y vincular a los Grupos Especializados de Trabajo en Educación Comunicación y Cultura del Agua (GETECCA)  |
| <b>Actores principales y rol</b>          | Espacios de Cultura del Agua, CONAGUA, sector salud,<br>Universidades y Centros de Investigación.<br>CONACYT y otras fuentes de financiamiento nacionales e internacionales. OSC  |
| <b>Proceso de implementación</b>          | Presentar propuesta a la academia y a los centros de investigación para generar el cuadro básico de capacitadores y formas de participación cuando se trate de maestrías y doctorados   |
| <b>Posibles fuentes de financiamiento</b> | CONAGUA, CONACYT, OSC, fondos internacionales.  |
| <b>Alineación con Objetivos PNH</b>       | 5. Fomentar la profesionalización del personal responsable de la gestión hídrica con una perspectiva multidisciplinaria y multinivel.   |
| <b>Plazo</b>                              | 2022-2024   |

**Tabla 160.** Hoja de Ruta de Actividad Colectiva 6 (2021 – 2024)

| Actividades  | 2021       | 2022       |            | 2023 | 2024 | Costo estimado \$ MXP |
|--|------------|------------|------------|------|------|-----------------------|
|  | Semestre 2 | Semestre 1 | Semestre 2 |      |      |                       |
| El CCPY convocará a los Gerentes de los Órganos Auxiliares de las UP, a los Espacios de Cultura del Agua Municipales, al personal de CONAGUA y del Organismo de Cuenca relacionado, Organismos Operadores Municipales, al Sector Salud, Universidades y Centros de Investigación, así como al CONACYT y otras instituciones que puedan significar fuentes de financiamiento. |            | X          |            |      |      | \$125 000             |
| Establecer acuerdos para fortalecer y desarrollar las capacidades técnicas de los diferentes actores que participan en la gestión hídrica de cada una de las UP y el CCPY.   |            | X          | X          |      |      | \$750 000             |
| Conformar un comité técnico responsable del contenido de las capacitaciones.   |            | X          | X          | X    |      | \$3 500 000           |
| Elaborar las herramientas educativas y de apoyo.   |            |            |            |      |      |                       |
| El CCPY lanza la convocatoria para las capacitaciones.   |            |            | X          |      |      | \$150 000             |
| Se inicia la profesionalización del personal responsable de la gestión hídrica con una perspectiva multidisciplinaria, interdisciplinaria y multinivel.  |            |            | X          | X    | X    | \$5 000 000           |
| Presentar propuesta a la vocalía de la academia y a la vocalía de Investigación para generar el cuadro básico de capacitadores y formas de participación cuando se trate de maestrías y doctorados.  |            |            |            | X    | X    | 250 000               |

## **7.7 Actividad colectiva 7.- Alinear el ordenamiento territorial con un enfoque hídrico y de riesgos a nivel UP y promover un sistema de alerta temprana con perspectiva de cambio climático regional.**

La acción colectiva para mejorar la gestión de riesgos regional y la respuesta ante el cambio climático tendría como posibles impactos (Tabla 161 y Tabla 162):

- Alinear el ordenamiento territorial con la disponibilidad de agua a nivel de UP.
- Establecer un sistema de alerta temprana con perspectiva de cambio climático a nivel de UP y de la PY.
- Mejorar las capacidades gubernamentales y sociales para la prevención de riesgos de desastre.

El impacto que tendría esta acción sobre los Objetivos Estratégicos recae en 2 de ellos, principalmente, el primero tiene que ver con disminuir la vulnerabilidad a fenómenos extremos (OEG1) y el segundo tiene que ver con incrementar la capacidad de adaptación ante el cambio climático (OEHI).

Existe una gran variedad de instrumentos de planeación territorial como los Programas de Ordenamiento Ecológico del Territorio, a diferentes niveles, el General del Territorio, el Costero y Regional del Golfo de México y el Caribe, el costero del estado de Yucatán, el estatal de Yucatán; los programas de ordenamiento municipales de Campeche y Quintana Roo, los cuales requieren previsiones expresas sobre los riesgos por Cambio Climático y el aumento en la Población y su derecho humano al agua en cantidad y calidad.

**Tabla 161.** Actividad colectiva 7: Alinear el ordenamiento territorial con un enfoque hídrico y de riesgos a nivel UP y promover un sistema de alerta temprana con perspectiva de cambio climático a nivel peninsular

|   |  |
|---|--|
| Acción colectiva 7.- Alinear el ordenamiento territorial con un enfoque hídrico y de riesgos a nivel UP y promover un sistema de alerta temprana con perspectiva de cambio climático a nivel peninsular |  |
| <b>Justificación</b>  | Las tendencias de aumento poblacional en la PY y en los daños asociados a FHE generan un reto cada vez mayor para la prevención de riesgos.<br><br>Actualmente no toda la PY cuenta con un atlas de riesgos actualizado, ni con las capacidades para asegurar tanto el cumplimiento de los ordenamientos territoriales, como para incorporar la perspectiva de cambio climático a estos instrumentos.  |
| <b>Objetivo</b>   | Proteger a la población, ecosistemas e infraestructura de los riesgos asociados a los FHE potenciados por distintas tendencias socioambientales.   |
| <b>Metas</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Gestionar la elaboración de atlas de riesgos para las UP consolidadas.</li> <li>● Identificar y atender las poblaciones en zonas de alta vulnerabilidad a inundación identificadas en el proceso de elaboración de los Atlas de Riesgos.</li> <li>● Promover la actualización de los ordenamientos territoriales con los Atlas de Riesgos en las UP consolidadas.</li> <li>● Incorporar a la mejora de capacidades gubernamentales y sociales para la prevención de riesgos de desastres, las capacidades adaptativas tanto a nivel gubernamental como social.</li> </ul> |
| <b>Descripción</b>  | A partir de las alianzas intermunicipales, alinear esfuerzos para generar o actualizar atlas de riesgos con componente de cambio climático y alinearlos con el ordenamiento territorial urbano y ecológico.<br>Modelo de elevación digital para la identificación de zonas más expuestas.<br>Identificación de asentamientos humanos irregulares altamente vulnerables.<br>Seguimiento de las tendencias y los impactos climáticos regionales.   |
| <b>Responsable</b>  | Proceso liderado por las JIMAS de las UP consolidadas con el apoyo de la CRCC, Consejos estatales de Protección Civil, Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y los gobiernos estatales y municipales, universidades y centros de investigación, OSC, usuarios del agua. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).   |
| <b>Proceso de implementación</b>  | Partiendo de la consolidación de la gobernanza a nivel UP, llevar a cabo el proceso de asignación de recursos y licitación para la elaboración de los atlas de riesgos a nivel UP. Así como su alineación con el ordenamiento territorial, diseño y desarrollo de un sistema de alerta temprana (salinización del acuífero, entre otros).  |
| <b>Posibles fuentes de financiamiento</b>   | Fondos estatales y municipales, OSC. PNUD,   |
| <b>Alineación con Objetivos PNH</b>   | 3. Mejorar atlas de riesgos y alinearlos con el ordenamiento territorial, incrementar las capacidades gubernamentales de prevención de riesgos y atención a desastres en el medio urbano y rural.  |
| <b>Plazo</b>  | 2023-2024  |

**Tabla 162.** Hoja de Ruta para las Actividades Colectivas (2021 – 2024)

| Actividades  | 2021       | 2022       |            | 2023 | 2024 | Costo estimado<br>\$ MXP |
|--|------------|------------|------------|------|------|--------------------------|
|  | Semestre 2 | Semestre 1 | Semestre 2 |      |      |                          |
| El CCPY junto con las Juntas Intermunicipales de cada UP convocarán a la Comisión Regional de Cambio Climático, a los Consejos Estatales de Protección Civil, CENAPRED y los gobiernos estatales y otras representaciones federales, universidades y centros de investigación, OSCs, usuarios del agua, así como al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). |            |            | X          |      |      | \$125 000                |
| Impulsar la firma acuerdo para Proteger a la población, ecosistemas e infraestructura de los riesgos asociados a los FHE potenciados por distintas tendencias socioambientales   |            |            | X          |      |      | \$25 000                 |
| Elaborar los términos de referencia para generar o actualizar Atlas de Riesgos con componente de cambio climático por UP y alinearlos con el Ordenamiento territorial urbano y ecológico local, regional y general del territorio, apoyándose en:  |            |            |            |      |      |                          |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Modelo de elevación digital para la identificación de zonas más expuestas.</li> <li>Identificación de asentamientos humanos irregulares altamente vulnerables.</li> <li>Seguimiento de tendencias e impactos climáticos.</li> </ul>   |            |            | X          | X    |      | \$250 000                |
| Partiendo de la consolidación de la gobernanza a nivel UP, incidir en el proceso de asignación de recursos y licitación para la elaboración de los Atlas de Riesgos a nivel UP y su alineación con el ordenamiento territorial. Así como el diseño y desarrollo de un sistema de alerta temprana (salinización del acuífero, entre otros).                                     |            |            |            | X    | X    | \$3 600 000              |

## **7.8 Actividad colectiva 8.- Incorporar la visión regional al proceso de negociación y asignación de presupuestos federales en materia de agua potable y saneamiento en poblaciones históricamente desatendidas.**

Esta acción colectiva se asocia con los objetivos del PNH 2020-2024:

- Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población más vulnerable.
- Preservar la integralidad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan cuencas y acuíferos.

Del mismo modo esta acción impacta en los Objetivos Estratégicos del Plan Rector 2019, particularmente en el relacionado con el agua y saneamiento para comunidades rurales y periurbanas marginadas (OEE1) y en cuanto al saneamiento integral de la Península (OEA1).

Esta acción colectiva (Tabla 163) apunta a generar los acuerdos necesarios y la asignación de recursos económicos suficientes, con el fin de salvaguardar los derechos humanos al agua y al saneamiento, así como la salud humana y la de los ecosistemas, mediante el diálogo y la colaboración, así como validar los proyectos presentados en el Plan Rector que incidan sobre las condiciones de rezago y marginación con población originaria.

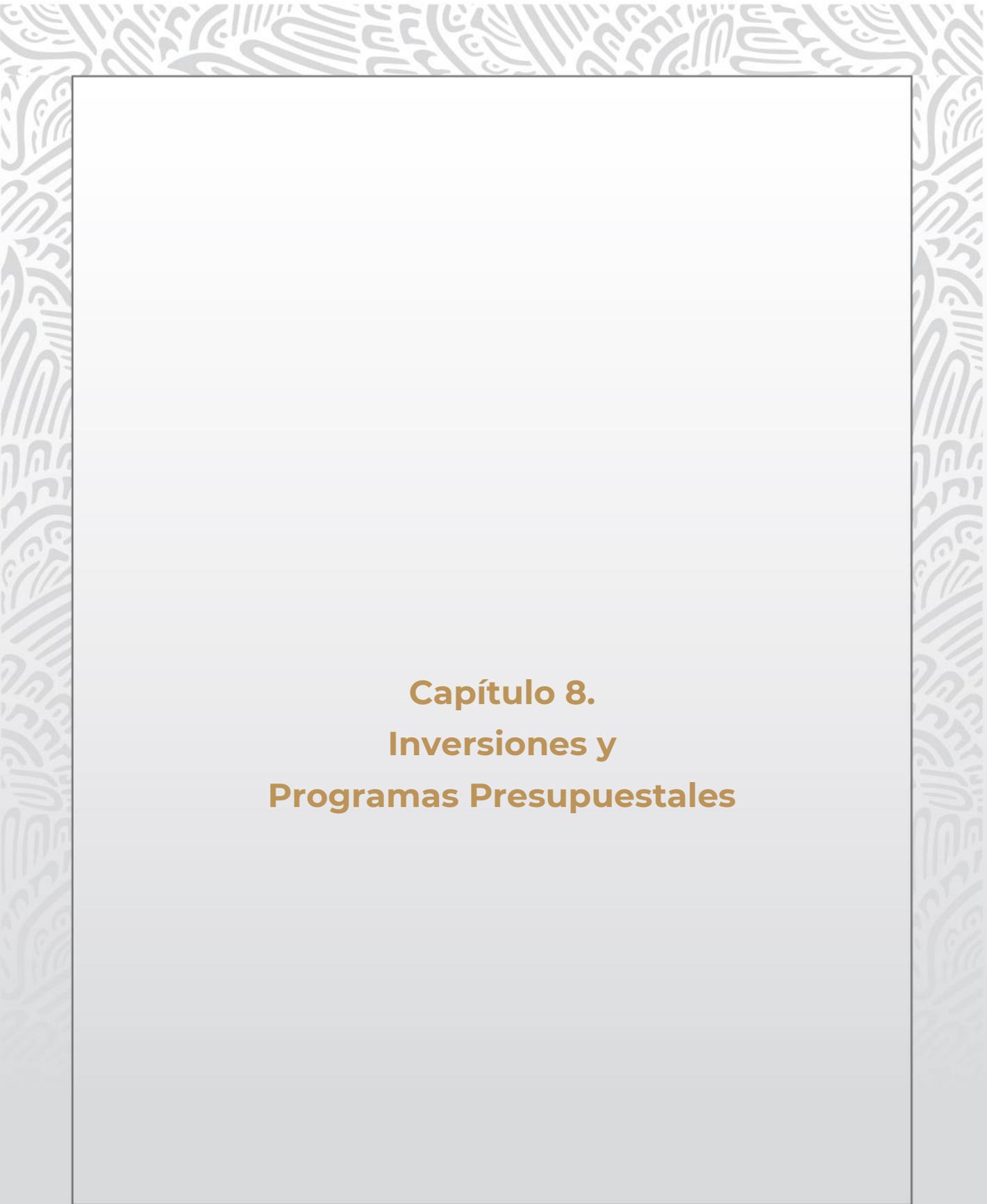
**Tabla 163.** Actividad colectiva 8: Incorporar la visión regional al proceso de negociación y asignación de presupuestos federales en materia de agua potable y saneamiento en poblaciones históricamente desatendidas

**Acción colectiva 8.- Incorporar la visión regional al proceso de negociación y asignación de presupuestos federales en materia de agua potable y saneamiento en poblaciones históricamente desatendidas.**

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <b>Justificación</b>                | Poblaciones históricamente desatendidas en la PY se encuentran rezagadas en su derecho humano al agua potable y uso doméstico, así como al saneamiento del agua residual.   |
| <b>Objetivo</b>                     | Generar las condiciones para priorizar la atención al grupo de la población que presenta el mayor rezago y marginación en materia de agua potable y saneamiento.  |
| <b>Metas</b>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Incidir en la asignación de recursos Federales y de la contraparte para atender a las poblaciones desatendidas.</li> <li>Contribuir en la atención de las viviendas en zonas rurales y urbanas para abatir los rezagos de agua potable, drenaje y saneamiento.</li> </ul>  |
| <b>Descripción</b>                  | <p>En materia de rezago en agua potable, con un total de 13,538 viviendas desatendidas, ubicadas 3,369 en zona urbana y 10,069 en zona rural, la principal prioridad a nivel de UP se distribuye de la siguiente manera:</p> <p>CampC con el 21%</p> <p>YucN con el 13%</p> <p>YucO con 12%</p> <p>CampS con 12%</p> <p>CampN con 9%</p> <p>QRooS con el 9%</p> <p>QRooN con 8%</p> <p>YucS con 8%</p> <p>QRooC con el 7%</p> <p>En materia de rezago en drenaje con un total de 60,583 viviendas desatendidas, ubicadas 31,262 en zona urbana y 29,321 en zona rural, la principal prioridad a nivel de UP se distribuye de la siguiente manera:</p> <p>YucN con el 30%</p> <p>YucO con 26</p> <p>YucS con 13%</p> <p>CampN con 11%</p> <p>QRooC con el 7%</p> <p>CampC con el 5%</p> <p>QRooN con 4 %.</p> <p>QRooS con el 3%</p> <p>CampS con 2%</p> |
| <b>Responsable</b>                  | Órganos Auxiliares y Alianzas Municipales, CCPY, CONAGUA, Organismos Operadores (CAPA, JAPAY CAPAE), Gobierno de Yucatán, Quintana Roo y Campeche, OSC  |
| <b>Proceso de implementación</b>    | <p>Realizar reuniones por UP para validar los proyectos presentados en el Plan Rector, que incidan sobre las condiciones de rezago y marginación con población originaria.</p> <p>Generar los convenios necesarios entre las alianzas intermunicipales y los gobiernos estatales para impulsar los proyectos ejecutivos de obra y asignación de recursos.</p>   |
| <b>Alineación con Objetivos PNH</b> | <p>1.- Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población más vulnerable.</p> <p>4.- Preservar la integralidad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan cuencas y acuíferos.</p>  |
| <b>Plazo</b>                        | 2021-2024   |

**Tabla 164.** Hoja de Ruta para la Actividad Colectiva 8 (2021 – 2024)

| Actividades  | 2021          | 2022          |            | 2023 | 2024 | Costo estimado<br>\$ MXP |
|--|---------------|---------------|------------|------|------|--------------------------|
|  | Semestre<br>2 | Semestre<br>1 | Semestre 2 |      |      |                          |
| Convocatoria conjunta entre los Órganos Auxiliares y Alianzas Municipales por UP, Organismos Operadores, el CCPY, CONAGUA, a los Gobiernos de los estados de Yucatán, Quintana Roo y Campeche, así como Organizaciones de la Sociedad Civil. |               | X             |            |      |      | \$125 000                |
| Realizar reuniones por UP para validar los proyectos presentados en el Plan Rector que incidan sobre las condiciones de rezago y marginación con población originaria, alineados con los proyectos estatales y federales.                    |               | X             | X          |      |      | \$1 500 000              |
| Generar los convenios necesarios entre las alianzas intermunicipales y los gobiernos estatales para impulsar los proyectos ejecutivos de obra y asignación de recursos.  |               |               | X          | X    | X    | \$600 000                |
| Generar las condiciones para priorizar la atención al grupo de la población que presenta el mayor rezago y marginación en materia de agua potable y saneamiento.   |               |               | X          | X    | X    | \$1 500 000              |



**Capítulo 8.  
Inversiones y  
Programas Presupuestales**

En este capítulo se analizan los presupuestos anuales promedio o estimados de acuerdo con cuatro instrumentos de análisis o fuentes de financiamiento para proyectos hídricos: 1) aportaciones federales, 2) aportaciones privadas e internacionales, 3) planeación de acuerdo con el Plan Rector en materia de agua (PR 2019-2024), y 4) el Programa Hídrico Regional visión 2030 (PHR 2030). Todos los presupuestos se alinearon con las Estrategias Prioritarias (EP) para poder discutir la distribución de recursos entre estados o Unidades del Planeación (UP) de acuerdo con la priorización de acciones presentada en el Capítulo 5.

En las subsecciones 8.1, y 8.2 se analizan los gastos recientes de las principales fuentes de financiamiento para proyectos hídricos en la Región. El presupuesto federal asignado y pagado se analiza por estado, tomando en cuenta el promedio del periodo entre 2016 y 2020. Este análisis permite tener un indicador del presupuesto federal anual potencial para los siguientes años para cada estado y también identificar brechas en la asignación de presupuestos o del gasto público que deberán ser atendidas en los siguientes años. Se analiza también el presupuesto invertido por Organizaciones de la Sociedad Civil (OSC).

En las subsecciones 8.3 y 8.4 se analizan dos instrumentos de programación hídrica para identificar la distribución de presupuestos necesaria de acuerdo con procesos técnicos y participativos. Por un lado, se analiza el Programa Hídrico Regional (PHR) Visión 2030, que establece una hoja de ruta presupuestaria para alcanzar un escenario de sustentabilidad al año 2030. Por el otro lado, a través del Plan Rector en materia de agua 2019-2024, se establece una extensa cartera de proyectos identificados como prioritarios en un proceso participativo. Dicha cartera se analiza para identificar prioridades y oportunidades, y se consolida también como un portafolio de proyectos que pueden ser implementados o apoyados por los gobiernos locales o miembros de las OSC.

En la subsección 8.5, se presentan algunas fuentes alternativas de financiamiento de acuerdo con un enfoque moderno de financiamiento de proyectos sociales y ambientales.

Finalmente, se concluye contrastando el presupuesto potencial disponible de fuentes federales con los dos instrumentos de programación hídrica (la cartera de proyectos y el PHR 2030). Esto con el fin de identificar las principales brechas de oportunidades para las fuentes de financiamiento de OSC, fundaciones, organismos internacionales y otros mecanismos de financiamiento.

## 8.1 Análisis de programas presupuestales públicos

Cada año a través de un esfuerzo del poder ejecutivo, intersecretarial y de la cámara de diputados se establecen los montos asignados a cada estado para la implementación de proyectos en materia hídrica en el Presupuesto de Egresos de la Federación (PEF). Dicho presupuesto se distribuye de acuerdo con criterios de etiquetado, entre los que destaca la función de protección ambiental, la subfunción hidroagrícola y la partida presupuestaria de agua potable, drenaje y tratamiento como las que han representado una mayor asignación de recursos (Tabla 165).

Para identificar los recursos que podrían asignarse a los proyectos enfocados en las EP (Capítulo 3) definidas en este PHR se contabilizó el presupuesto etiquetado bajo los siguientes conceptos: *subsidios y subvenciones; obra pública en bienes propios; productos químicos, farmacéuticos y de laboratorio; servicios de instalación, reparación, mantenimiento y conservación; y servicios profesionales, científicos, técnicos y otros servicios.*

El 70% del presupuesto pagado total está etiquetado bajo dichos conceptos, el resto, se destina al funcionamiento de los organismos públicos, por ejemplo, para sueldos y salarios de servidores públicos. La mayor parte del presupuesto que se destina para obra pública es para riego, agua potable y saneamiento y, en menor medida, para tratamiento de aguas residuales.

Se analizaron los presupuestos promedio entre 2016 y 2020 y se alinearon con los Objetivos prioritarios (OP) y las EP de acuerdo con los criterios de etiquetado (Tabla 166): Para el caso de los OP 1 y 2, la mayor parte del presupuesto se destina a la EP 1.1 que se enfoca en el abastecimiento de agua potable seguida de la EP 2.1 que se enfoca en el uso eficiente del agua en la producción agrícola (Tabla 166). Para el OP 4, la mayor parte del presupuesto se destina para la operación de sistemas meteorológicos y para obra pública de tratamiento.

**Tabla 165.** Distribución de presupuesto pagado entre 2016 y 2020 para la Península de Yucatán (PY) de acuerdo con criterios clave

| Función                                  |     | Subfunción   |     | Partida presupuestaria   |        |
|--|-----|--|-----|--|--------|
| Protección Ambiental                     | 48% | Hidroagrícola  | 30% | Agua Potable, Drenaje y Tratamiento  | 32.00% |
| Agropecuaria, Silvicultura, Pesca y Caza | 30% | Administración del Agua                                  | 27% | Gestión integral y sustentable del agua  | 31.00% |
| Vivienda y Servicios a la Comunidad      | 21% | Abastecimiento de Agua                                   | 21% | Programa de Apoyo a la Infraestructura Hidroagrícola                                   | 23.00% |
|  |     | Ordenación de Aguas Residuales, Drenaje y Alcantarillado | 21% | Programa de Devolución de Derechos   | 5.00%  |
|  |     | Ordenación de Desechos                                   | 0%  | Infraestructura para la modernización y rehabilitación de riego y temporal tecnificado | 3.00%  |
|  |     | Agropecuaria   | 0%  | Saneamiento de aguas residuales  | 3.00%  |
|  |     | Urbanización   | 0%  | Tratamiento de Aguas Residuales  | 0.90%  |
|  |     |  |     | Sistemas Meteorológicos e Hidrológicos   | 0.90%  |
|  |     |  |     | Capacitación Ambiental y Desarrollo Sustentable  | 0.30%  |
|  |     |  |     | Atención de emergencias y desastres naturales  | 0.30%  |
|  |     |  |     | Programa de desarrollo organizacional de los Consejos de Cuenca                        | 0.10%  |
|  |     |  |     | Conducción de las políticas hídricas   | 0.10%  |
|  |     |  |     | Programa de empleo temporal  | 0.10%  |
|  |     |  |     | Operación y mantenimiento de infraestructura hídrica                                   | 0.00%  |

Fuente: PEF consultado en julio del 2021.

El presupuesto asignado para el OP 3, bajo la Partida presupuestaria "Atención de emergencias y desastres naturales" es de \$800,000 de pesos por año y \$1.3 millones de pesos pagados por año. Estos montos representan el segundo OP con menos presupuesto asignado y pagado.

El OP 5 es el que menos presupuesto se le ha asignado, destaca un total de \$3,040,000 entre 2016 y 2020 para la operación del Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán (CCPY) que resulta en \$608,000 pesos por año en promedio.

Yucatán destaca como el que presenta un mayor presupuesto federal promedio asignado con \$216,000,000 (Tabla 167). Campeche y Quintana Roo cuentan con un presupuesto federal asignado promedio para proyectos hídrico similar con \$145,200,000 y \$151,700,000 anuales, respectivamente. La mayor diferencia de presupuesto entre Yucatán y los otros dos estados se presenta en el área hidroagrícola (EP 2.1), así como en temas de monitoreo ambiental (EP 4.0 Transversal).

En promedio Yucatán, Campeche y Quintana Roo ejercen el 83% de su presupuesto asignado, lo cual representa \$87,700,000 anuales. Este subejercicio puede asociarse a una falta de proyectos ejecutivos y a una falta de capacidades de gobiernos locales para ejecutar el presupuesto. Esta situación se acentúa para las EP relacionadas con inundaciones y sequías (3.0), monitoreo ambiental (4.0) y con el tratamiento de aguas residuales (4.1); que presentan un subejercicio promedio de 45%, 15% y 42%, respectivamente. En el tema de tratamiento de aguas residuales destaca Quintana Roo con \$ 5.8 millones de pesos asignados en promedio entre 2016 y 2020 y ningún ejercicio.

Por otro lado, entre 2016 y 2020 el presupuesto federal asignado se sobre ejerció en la implementación de proyectos hídricos para el Programa de Desarrollo Organizacional de los Consejos de Cuenca.

**Tabla 166.** Alineación de Estrategias prioritarias con criterios de etiquetado para el periodo de 2016 a 2020 de presupuestos del PEF en la PY, en millones de pesos M.N. por año en promedio.

| Objetivo PNH  | Estrategia prioritaria PHR   | Subfunción   | Partida presupuestaria                               | Promedio asignado | Promedio pagado |
|---|--|--|--|-------------------|-----------------|
| 1.- Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población más vulnerable. | 1.1 Reducir el rezago en el acceso al suministro de agua potable de calidad especialmente para la población desatendida. | Abastecimiento de Agua                                   | Agua Potable, Drenaje y Tratamiento                  | \$ 160.1          | \$ 97.5         |
|   |  |  | Programa de Devolución de Derechos                   | \$ 0.2            | \$ 16.0         |
|   |  | Administración del Agua                                  | Gestión integral y sustentable del agua              | \$ 156.0          | \$ 127.9        |
|   |  |  | Operación y mantenimiento de infraestructura hídrica | \$ 0.1            | \$ 0.0          |
|   | 1.2 Reducir el rezago en el acceso a drenaje y sanitario.  | Ordenación de Aguas Residuales, Drenaje y Alcantarillado | Agua Potable, Drenaje y Tratamiento                  | \$ 106.3          | \$ 73.9         |
|   |  |  | Gestión integral y sustentable del agua              | \$ 11.0           | \$ 10.6         |
|   |  |  | Programa de Devolución de Derechos                   | \$ 0.0            | \$ 5.0          |
|   |  |  | Saneamiento de aguas residuales                      | \$ 0.0            | \$ 9.9          |
|   |  | Gestión integral y sustentable del agua                  | \$ 0.0   | \$ 0.3            |                 |
| 2.- Aprovechar eficientemente el agua para contribuir al desarrollo   | 2.1 Optimizar el uso del agua en el sector agrícola para evitar el   | Agropecuaria   | Gestión integral y sustentable del agua              | \$ 0.0            | \$ 0.1          |
|   |  | Hidroagrícola  | Gestión integral y sustentable del agua              | \$ 19.7           | \$ 17.8         |

| Objetivo PNH   | Estrategia prioritaria PHR  | Subfunción   | Partida presupuestaria   | Promedio asignado | Promedio pagado |
|--|---|--|--|-------------------|-----------------|
| sostenible de los sectores productivos.  | CADNC local y contribuir a la seguridad alimentaria y el bienestar de la población y ecosistemas.         |  | Infraestructura para la modernización y rehabilitación de riego y temporal tecnificado | \$ 29.1           | \$ 17.4         |
|  |   |  | Operación y mantenimiento de infraestructura hídrica                                   | \$ 0.2            | \$ 0.0M         |
|  |   |  | Programa de Apoyo a la Infraestructura Hidroagrícola                                   | \$ 150.2          | \$ 109.7        |
| 3.- Reducir la vulnerabilidad de la población ante inundaciones y sequías, con énfasis en pueblos indígenas y afroamericanos.    | 3.0 Transversal - Inundaciones y sequías.   | Abastecimiento de Agua                                   |  | \$ 0.1            | \$ 0.1          |
|  |   | Administración del Agua                                  | Atención de emergencias y desastres naturales  | \$ 0.7            | \$ 1.1          |
| 4.- Preservar la integralidad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan cuencas y acuíferos. | 4.0 Transversal - Contaminación y conservación ambiental.   | Administración del Agua                                  | Capacitación Ambiental y Desarrollo Sustentable  | \$ 2.4            | \$ 1.5          |
|  |   |  | Sistemas Meteorológicos e Hidrológicos   | \$ 31.6           | \$ 4.8          |
|  | 4.1 Reducir descargas e infiltración de aguas residuales sin tratamiento apropiado a los cuerpos de agua. | Ordenación de Aguas Residuales, Drenaje y Alcantarillado | Tratamiento de Aguas Residuales  | \$ 13.8           | \$ 5.8          |
| 5.- Mejorar las condiciones para la gobernanza del agua a fin de fortalecer la toma de decisiones y combatir la corrupción.      | 5.0 Transversal - Gobernanza Hídrica.   | Administración del Agua                                  | Conducción de las políticas hídricas   | \$ 0.7            | \$ 0.4          |
|  | 5.1 Fortalecer la gobernanza hídrica local y articularla a nivel regional.                                | Administración del Agua                                  | Programa de desarrollo organizacional de los Consejos de Cuenca                        | \$ 0.3            | \$ 0.6M         |

Fuente: Elaboración propia mediante datos del PEF consultados en junio del 2021

**Tabla 167.** Presupuesto pagado y asignado promedio entre 2016 y 2020 según el PEF, en millones de pesos M.N

| Estrategias prioritarias  | Campeche        |                 | Quintana Roo    |               | Yucatán         |               | Total peninsular |                 |                    |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|------------------|-----------------|--------------------|
|   | Asignado        | Pagado          | Asignado        | Pagado        | Asignado        | Pagado        | Asignado         | Pagado          | Proporción gastada |
| 1.1 Reducir el rezago en el acceso al suministro de agua potable de calidad especialmente para la población desatendida.                    | \$ 53.0         | \$ 67.4         | \$ 36.5         | \$ 33.6       | \$ 50.2         | \$ 39.8       | \$ 139.7         | \$ 140.9        | 101%               |
| 1.2 Reducir el rezago en el acceso a drenaje y sanitario.   | \$ 32.0         | \$ 17.3         | \$ 38.5         | \$ 39.8       | \$ 44.5         | \$ 54.0       | \$ 115.1         | \$ 111.2        | 97%                |
| 2.1 Optimizar el uso del agua en el sector agrícola para contribuir la seguridad alimentaria y el bienestar de la población y ecosistemas.. | \$ 56.2         | \$ 33.6         | \$ 69.0         | \$ 53.9       | \$ 90.0         | \$ 75.0       | \$ 215.2         | \$ 162.5        | 76%                |
| 3.0 Transversal - Inundaciones y sequías.   | \$ 0.4          | \$ 0.1          | \$ 0.0          | \$ 0.1        | \$ 0.4          | \$ 0.1        | \$ 0.7           | \$ 0.3          | 45%                |
| 4.0 Transversal - Contaminación y conservación ambiental.   | \$ 1.0          | \$ 1.2          | \$ 1.7          | \$ 1.2        | \$ 25.6         | \$ 1.7        | \$ 28.3          | \$ 4.1          | 15%                |
| 4.1 Reducir descargas e infiltración de aguas residuales sin tratamiento apropiado a los cuerpos de agua.                                   | \$ 2.6          | \$ 2.3          | \$ 5.8          | \$ 0.0        | \$ 5.4          | \$ 3.5        | \$ 13.8          | \$ 5.8          | 42%                |
| 5.0 Transversal - Gobernanza Hídrica.   | \$ 0.0          | \$ 0.0          | \$ 0.0          | \$ 0.0        | \$ 0.0          | \$ 0.0        | \$ 0.1           | \$ 0.1          | 68%                |
| 5.1 Fortalecer la gobernanza hídrica local y articularla a nivel regional.  | \$ 0.0          | \$ 0.4          | \$ 0.1          | \$ 0.2        | \$ 0.1          | \$ 0.0        | \$ 0.3           | \$ 0.6          | 205%               |
| <b>Total</b>  | <b>\$ 145.2</b> | <b>\$ 122.3</b> | <b>\$ 151.7</b> | <b>\$ 129</b> | <b>\$ 216.2</b> | <b>\$ 174</b> | <b>\$ 513.2</b>  | <b>\$ 425.5</b> |                    |
| <b>Proporción gastada</b>   |                 | <b>84%</b>      |                 | <b>85%</b>    |                 | <b>81%</b>    |                  | <b>83%</b>      |                    |

Fuente: Elaboración propia mediante datos del PEF consultados en junio del 2021

### 8.1.1 Presupuestos estatales y de Organismos Operadores

Además de los presupuestos federales analizados en la sección anterior, los estados de la PY cuentan con presupuestos específicos para cofinanciar proyectos junto con el gobierno federal y para financiar proyectos independientemente.

El programa federal PROAGUA apoya la implementación de proyectos de agua potable y saneamiento en los municipios más rezagados. El programa contempla aportaciones federales y de los gobiernos locales. En 2019, el mayor presupuesto estatal fue ejecutado por Quintana Roo con \$46,469,728 pesos. En general, los estados y municipios invirtieron más recursos dentro del programa PROAGUA para proyectos de agua potable, a excepción de Yucatán que invirtió una cantidad similar en agua potable y saneamiento con \$14,975,676 y \$15,939,396 respectivamente (Tabla 168).

**Tabla 168.** Presupuesto estatal y municipal ejecutado para proyectos de agua potable y saneamiento, 2020

| Estado          | Agua potable        | Saneamiento         | Total               |
|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                 | (EP 1.1)            | (EP 1.2)            |                     |
| Campeche        | \$5 400 000         | \$0                 | \$5 400 000         |
| Quintana Roo    | \$43 114 332        | \$3 355 396         | \$46 469 728        |
| Yucatán         | \$14 975 676        | \$15 939 000        | \$30 914 676        |
| <b>Total PY</b> | <b>\$63 490 007</b> | <b>\$19 294 396</b> | <b>\$82 784 403</b> |

**Fuente:** Elaboración propia mediante la información enviada al CCPY en junio 2021 por CAPA para Quintana Roo y JAPAY para Yucatán y el Gobierno del Estado de Campeche con presupuestos del programa PROAGUA para los municipios de Calakmul y Carmen.

**Nota:** Estos presupuestos no representan el total de la inversión realizada por los gobiernos estatales y municipales.

## 8.2 Presupuestos ejecutados por fundaciones y organizaciones de la sociedad civil nacionales e internacionales

Las OSC, fundaciones, organismos de cooperación multilaterales y bilaterales para el desarrollo, y empresas invierten sumas importantes de recursos en la Región para proyectos sociales y ambientales relacionados con el agua y a cuenca. Las inversiones se destinan en gran medida para apoyar proyectos con enfoque ambiental y social, particularmente proyectos con enfoque de equidad de género, atención a comunidades marginadas, preservación ambiental y cultural, así como hacia temas innovadores y con mayor incertidumbre como es el cambio climático. También apoyan en gran medida la formulación de políticas públicas e instrumentos de planeación para reforzar capacidades y mecanismos locales de gobernanza, investigación.

Desde 2019, diversas fundaciones, empresas y organismos internacionales han realizado inversiones filantrópicas significativas en la PY con una suma total de \$ 175,9 millones de pesos con tiempos de implementación de uno a cinco años (Tabla 169). En promedio se estima una inversión privada e internacional de 48.2 millones de pesos por año. Este listado no es exhaustivo y se pone a manera de ejemplo, pero da una idea de la importancia y potencial del financiamiento filantrópico para la ejecución del presente PHR, así como para complementar las inversiones públicas en materia hídrica.

La mayor parte de los proyectos analizados tienen un enfoque de conservación ambiental, y menor medida de rezago de alcantarillado y gobernanza hídrica (Tabla 170). Es importante señalar que esta lista no incluye todas las acciones que se implementan en la región pues no existe un registro sistematizado de este tipo de inversión.

**Tabla 169.** Inversión en proyectos hídricos por fundaciones y organismos internacionales desde el 2019 en la PY por tipo de institución, en millones de pesos M.N

| Organización                       | Monto total     | Monto anual promedio | Duración promedio en años |
|------------------------------------|-----------------|----------------------|---------------------------|
| Privado internacional (UICN)       | \$46.60         | \$15.50              | 3                         |
| Fundación (FGRA)                   | \$53.20         | \$13.30              | 4                         |
| Multilateral (BID, GIZ, GEF, PNUD) | \$48.50         | \$10.10              | 4                         |
| Empresa (Coca Cola)                | \$20.90         | \$5.90               | 3                         |
| Gobierno USA (NAWCC, AID)          | \$6.70          | \$3.30               | 2                         |
| Alianza WWF-FCS                    | \$224.06        | \$24.41              | 10                        |
| Summit Foundation                  | \$26.00         | \$13.00              | 2                         |
| <b>Total</b>                       | <b>\$425.96</b> | <b>\$85.51</b>       |                           |

Fuente: Información recopilada por el CCPY en junio del 2021

**Tabla 170.** Resumen de proyectos de organismos internacionales y fundaciones por OP. Montos en millones de pesos M.N. por año

| Objetivo | Descripción de proyectos  | Monto aproximado* |
|----------|---|-------------------|
| OP 1     | Identificación, selección, diseño, implantación, apropiación y monitoreo de ecotecnias para el saneamiento.   | \$5.30            |
| OP 2     | Apoyo al turismo sustentable.   | \$2.80            |
| OP 3     |   | \$ 0.00           |
| OP 4     | Conservación de ecosistemas costeros y terrestres, saneamiento de cenotes, ecotecnias para evitar contaminación, restauración de selva, humedales y arrecifes, turismo de bajo impacto, fortalecimiento de Áreas Naturales Protegidas (ANPs), educación ambiental, manejo sustentable de costas y pesquerías. | \$72.31           |
| OP 5     | Apoyo y acompañamiento a la gobernanza hídrica comunitaria, fortalecimiento de ANPs y su fortalecimiento de gobernanza.   | \$5.30            |

Fuente: Elaboración propia con información recopilada por el CCPY en junio del 2021.

Notas: Algunos proyectos contemplan acciones que se enfocan en más de uno de los objetivos prioritarios, en ese caso se distribuyó el recurso de manera homogénea para obtener un monto aproximado de millones de pesos por año por OP.

## 8.3 Presupuesto de acuerdo con cartera de proyectos del PHR

El Plan rector para la protección, conservación y recuperación ambiental de la Península de Yucatán 2019-2024 (PR 2019-2024) identificó y priorizó una matriz con 2,192 proyectos para los cuales se cuenta con los montos de implementación estimados entre otras características. En esta sección se presenta el proceso empleado para consolidar la cartera de proyectos de este PHR 2021-2024 que se basa en la matriz de proyectos del PR 2019-2024.

Al ser el resultado de un extenso proceso participativo, el análisis de dicha cartera de proyectos permite entender qué proyectos específicos son necesarios en cada UP, así como los montos totales necesarios. Además, distintos actores, como gobiernos locales y fundaciones donantes, pueden aprovechar la cartera de proyectos para identificar proyectos específicos para promover o financiar.

Para consolidar la cartera de proyectos de este PHR se aplicaron una serie de criterios de filtrado que permitieron obtener una lista de 1,474 proyectos alineados con los OP como se muestra en la Figura 152. Dicha cartera de proyectos se puede encontrar completa en el Anexo 15 y en la página web del PHR<sup>9</sup>, montada en una visualización dinámica que puede servir de apoyo para identificar proyectos a nivel peninsular, estatal y municipal (Figura 153).

Se observa que la mayor cantidad de proyectos y el mayor monto total se concentran en los OP 1 y 4. Sin embargo, el OP 3, que ocupa el tercer lugar en cuanto a número de proyectos, pasa al cuarto respecto a los montos invertidos por incluir proyectos con un monto menor en promedio (Figura 152). Esta distribución de los presupuestos con una mayor carga a los temas de agua potable, saneamiento y conservación ambiental, se alinea con la priorización realizada en este instrumento.

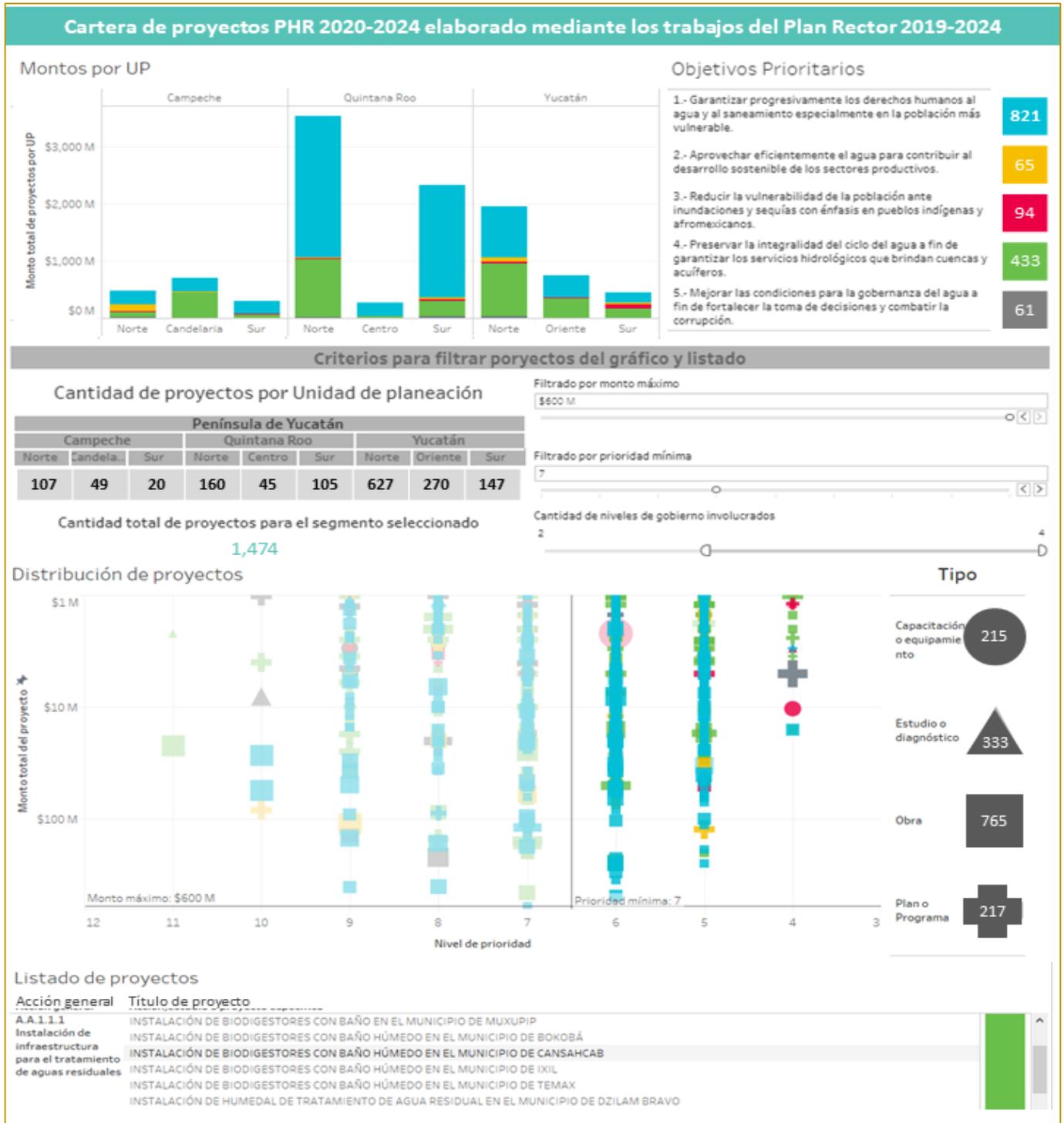
**Figura 152.** Consolidación de la cartera de proyectos PHR mediante criterios de filtrado

|              | Cantidad de proyectos por objetivo prioritario según criterios de filtrado aplicados a la matriz de proyectos del Plan Rector 2019-2024 |                          |                                     |                               | Cartera de proyectos del PHR 2020-2024 consolidada |                             |
|--------------|---|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|--|-----------------------------|
|              | Sin criterios de filtrado   | Solo proyectos aceptados | Prioridad alta (valores del 7 al 3) | Colectiva 2 a 4 financiadores | Monto total de proyectos                           | Monto promedio por proyecto |
| Objetivo 1   | 1,161   | 1,091                    | 995                                 | 821                           | \$6,984 M  | \$9 M                       |
| Objetivo 2   | 123   | 115                      | 85                                  | 65                            | \$319 M  | \$5 M                       |
| Objetivo 3   | 147   | 135                      | 124                                 | 94                            | \$199 M  | \$2 M                       |
| Objetivo 4   | 632   | 591                      | 531                                 | 433                           | \$4,598 M  | \$11 M                      |
| Objetivo 5   | 129   | 120                      | 85                                  | 61                            | \$123 M  | \$2 M                       |
| <b>TOTAL</b> | <b>2,192</b>  | <b>2,055</b>             | <b>1,820</b>                        | <b>1,474</b>                  | <b>\$12,223 M</b>                                  | <b>\$8 M</b>                |

Fuente: Elaboración propia mediante datos del Plan rector para la protección, conservación y recuperación ambiental de la Península de Yucatán 2019-2024.

<sup>9</sup> Disponible en [phr2024py.com](http://phr2024py.com)

Figura 153. Captura de pantalla de la herramienta de visualización de la cartera de proyectos disponible en [phr2024py.com](http://phr2024py.com)



Como se muestra en la Tabla 171, en términos generales, el 88.7% del monto total de la cartera son proyectos del tipo obra, particularmente para el OP 1 (relacionado con agua potable y saneamiento) que constituyen el 96.1% del monto total de proyectos de ese OP.

Algunos de los proyectos de obra más relevantes son la implementación de infraestructura de agua potable, saneamiento y tratamiento de aguas residuales. Los proyectos del tipo plan o programa suman el 9.3% del monto total, particularmente en el OP 2 y 3 (relacionados con eficiencia en el uso productivo del agua y con inundaciones y sequías respectivamente) que representan aproximadamente el 63% del monto total para los dos OP con proyectos como planes de ordenamiento y de manejo integral de desechos, Atlas de Riesgos y planes de cambio climático.

La mayor parte de proyectos del tipo estudio o diagnóstico son elaboración de proyectos ejecutivos para proyectos de agua potable y saneamiento, y en menor medida proyectos de monitoreo e investigación de temas de calidad de agua y de riesgos. Proyectos como capacitaciones sobre riego y cultivo eficiente para agricultores, así como cultura de prevención de desastres para funcionarios y población en general son algunos de los proyectos principales del tipo capacitación.

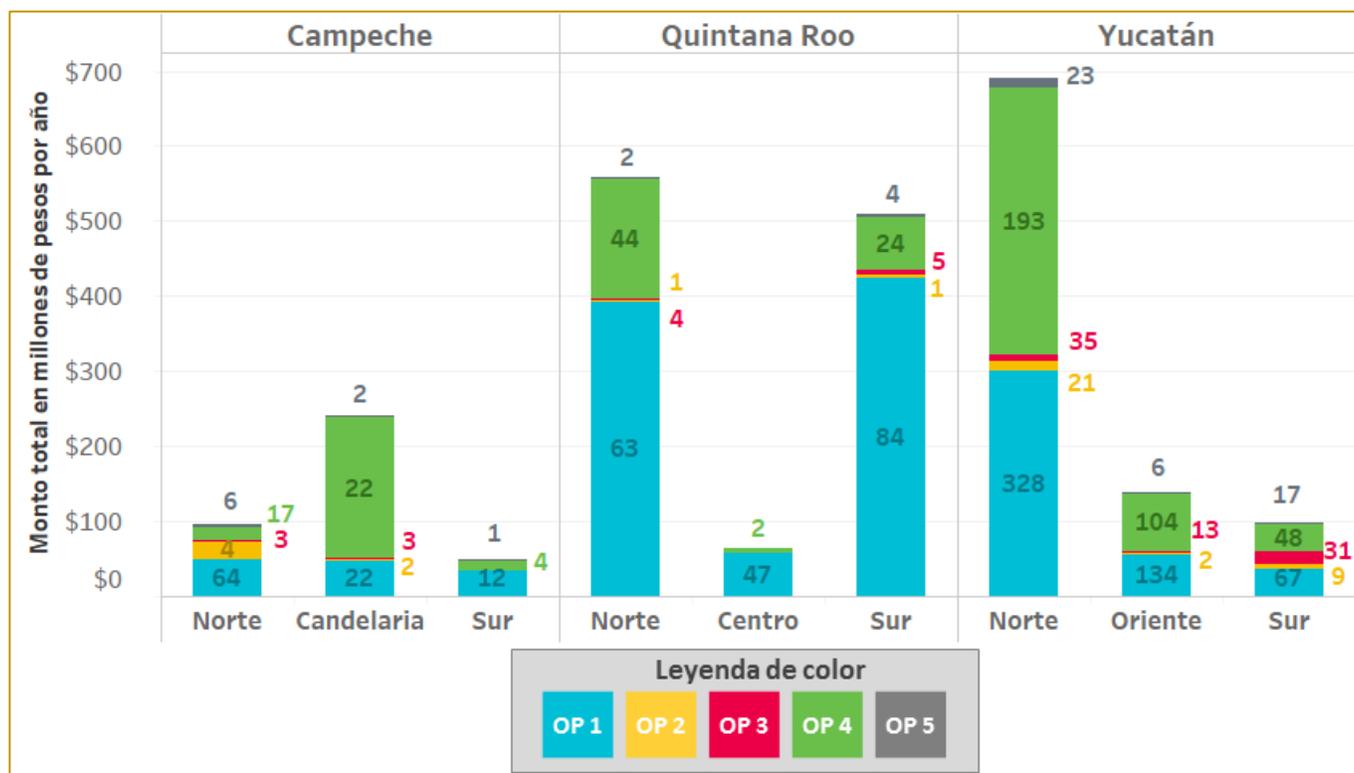
**Tabla 171.** Distribución de montos totales de la cartera de proyectos PHR en millones de pesos M.N.

| Objetivo prioritario                 | Obra             | Plan o Programa | Estudio o diagnóstico | Capacitación y equipamiento | TOTAL            |
|--------------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------------|------------------|
| OP 1<br>(agua potable y saneamiento) | \$1 286.6 M      | \$31.8          | \$20.0                | \$58.4                      | \$1 396.8        |
| OP 2<br>(eficiencia productiva)      | \$20.8           | \$31.3          | \$1.2                 | \$0.5                       | \$53.8           |
| OP 3<br>(inundaciones y sequías)     | \$17.7           | \$7.2           | \$5.8                 | \$9.1                       | \$39.8           |
| OP 4<br>(contaminación y ambiente)   | \$741.6          | \$131.4         | \$15.4                | \$41.2                      | \$929.5          |
| OP 5<br>(gobernanza hídrica)         | \$6.4            | \$14.9          | \$1.6                 | \$1.6                       | \$24.5           |
| <b>TOTAL</b>                         | <b>\$2 073.1</b> | <b>\$216.5</b>  | <b>\$44.0</b>         | <b>\$110.8</b>              | <b>\$2 444.5</b> |

Fuente: Elaboración propia mediante datos del Plan rector para la protección, conservación y recuperación ambiental de la Península de Yucatán 2019-2024.

La distribución de los montos y la cantidad de proyectos incluidos en la cartera de proyectos no es homogénea en a nivel regional. En la Figura 154, podemos observar que la cartera de proyectos asciende a un mayor monto en Quintana Roo, particularmente en las UP QRooN y QRooS, al igual que en YucN. El estado de Campeche cuenta con una menor cantidad de proyectos y un menor monto asignado, particularmente CampS.

**Figura 154.** Distribución de montos anuales y cantidad de proyectos de la cartera de proyectos por UP en millones de pesos por año



Fuente: Elaboración propia mediante datos del PR 2018-2024.

Se observa que la implementación de los proyectos enfocados en agua potable contemplados en la cartera de proyectos representa la mayor inversión en relación con las demás EP con un monto anual estimado de \$1,025.6 millones de pesos (Figura 155).

## 8.4 Planeación presupuestaria al 2030 en alineación con PHR 2030

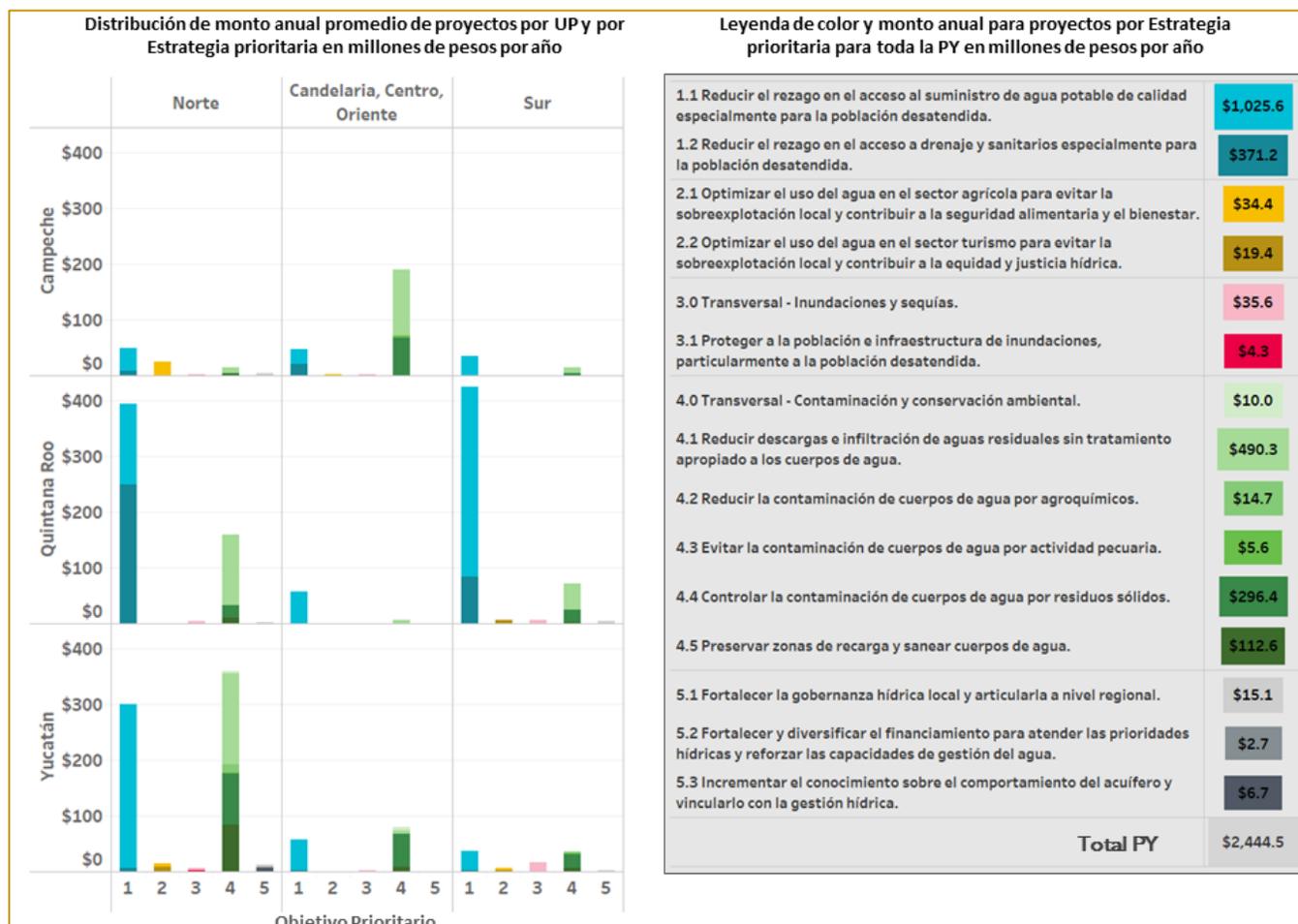
El Programa Hídrico Regional de la Península de Yucatán visión 2030 (PHR 2030), propone una hoja de ruta de acciones y el financiamiento, de distintas fuentes, necesaria para alcanzar un escenario de sustentabilidad en materia de agua en la PY al 2030. Esta programación presupuestaria es el resultado de análisis técnicos realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), con la finalidad de consolidar una cartera de proyectos a futuro con base en los rezagos actuales y proyecciones socioambientales y con un enfoque de cambio climático. Los presupuestos planteados se alinearon, en la medida de lo posible, con las EP del PHR 2021-2024 como se detalla en la Tabla 172.

Es importante destacar que no todas las acciones necesarias planteadas en el PHR 2030 se cuantificaron económicamente, por lo tanto, este análisis se plantea únicamente como un indicador de las inversiones necesarias para este periodo en acorde con la hoja de ruta hacia la sustentabilidad al 2030.

La principal inversión contemplada en el PHR 2030 se enfoca en el rezago en el acceso al agua potable y saneamiento con una cifra a escala peninsular de \$ 691.2 millones de pesos por año (Tabla 172). Algunos de los proyectos considerados en el PHR 2030 son la construcción de nuevos pozos profundos y someros, así como la ampliación de la red de agua potable y de drenaje. La mayor parte del presupuesto de estas acciones se concentran

en el medio urbano con una relación de 90% y 73% respectivamente para proyectos agua potable o saneamiento. El presupuesto estimado en el PHR 2030 para la implementación de proyectos en QRooN y YucN representa el 69.3% del presupuesto total para este OP mientras que concentran solo el 42.5% del rezago total en materia de agua potable y drenaje.

**Figura 155. Montos anuales para la implementación de la cartera de proyectos por EP y UP en millones de pesos por año**



Fuente: Elaboración propia mediante datos del PR 2018-2024.

La segunda inversión más importante para alcanzar un escenario de sustentabilidad al 2030, según el PHR 2030, es la instalación de nuevas plantas de tratamiento y, en menor medida, mejorar la eficiencia de las existentes (Tabla 172). Estas acciones se concentran en las UP YucN, YucS, QRooN y CampN lo cual se alinea a la priorización presentada en la sección 5.1.2, a excepción de la UP YucS que se posiciona en el séptimo lugar en términos de viviendas urbanas sin tratamiento.

Las acciones de optimización en los sectores productivos propuestas en el PHR 2030 se enfocan en el sector hidroagrícola, principalmente con riego de alta presión (Tabla 173). Dichas acciones se enfocan en la UP YucS lo cual presenta una brecha respecto a la priorización presentada en la sección 5.2.1 en donde YucS ocupa el tercer lugar después de las UP YucN y CampN. El PHR 2030 no contempla acciones específicas enfocadas en la eficiencia del sector servicios.

**Tabla 172.** Presupuesto durante 2018-2024 para las UP por EP según el PHR 2030 en millones de pesos M.N. por año

| Unidad de planeación | 1.1 Reducir el rezago en el acceso al agua potable y mejorar la calidad del servicio especialmente para la población desatendida. |                | 1.2 Reducir el rezago en el acceso a drenaje y sanitarios particularmente para la población desatendida. |                | 2.1 Optimizar el uso del agua en el sector agrícola para contribuir a la seguridad alimentaria y el bienestar de la población y ecosistemas. | 3.0 Transversal - Inundaciones y sequías. | 4.1 Reducir descargas e infiltración de aguas residuales no tratadas a los cuerpos de agua |
|----------------------|---|----------------|--|----------------|--|---|--|
|                      | Urbano  | Rural          | Urbano   | Rural          |  |   |  |
| CampN                | \$20.9  | \$3.3          | \$14.6   | \$12.3         | \$1.2  | \$2.3                                     | \$35.9   |
| CampC                | \$24.1  | \$6.6          | \$10.3   | \$7.5          | \$0.7  | \$1.8                                     | \$16.9   |
| CampS                | \$1.2   | \$0.6          | \$0.3  | \$3.0          | \$0.9  | -   | \$5.2  |
| QRooN                | \$208.8   | \$12.1         | \$101.2  | \$7.5          | -  | \$2.9                                     | \$45.4   |
| QRooC                | \$0.4   | \$1.1          | \$2.0  | \$6.2          | \$0.6  | -   | \$12.7   |
| QRooS                | \$0.5   | \$0.6          | \$0.6  | \$3.3          | -  | -   | \$11.1   |
| YucN                 | \$66.2  | \$4.2          | \$48.2   | \$22.0         | \$4.2  | \$2.7                                     | \$208.3  |
| YucO                 | \$7.0   | \$1.7          | \$6.4  | \$4.4          | -  | -   | \$9.9  |
| YucS                 | \$27.7  | \$10.2         | \$25.0   | \$20.1         | \$21.1   | -   | \$54.8   |
| <b>Total</b>         | <b>\$356.8</b>  | <b>\$40.3</b>  | <b>\$208.5</b>   | <b>\$86.3</b>  | <b>\$28.6</b>  | <b>\$9.7</b>                              | <b>\$400.2</b>   |
|                      |   | <b>\$397.1</b> |  | <b>\$294.8</b> |  |   |  |

Fuente: Elaboración propia mediante datos del PHR 2030.

En relación con asentamientos seguros frente a inundaciones catastróficas sólo se estiman los presupuestos de acciones para pronosticar y alertar ante emergencias (Tabla 172). No se consideran acciones enfocadas en drenaje pluvial, atlas de riesgos, barreras verdes, atención a la población ni fomento a la investigación científica, que fueron las más priorizadas en el proceso participativo de este instrumento. Por lo tanto, se estima que, para la el OP 3, relacionado con la protección ante inundaciones y sequías, la planeación presupuestaria del PHR 2030 debe enriquecerse con un presupuesto mayor enfocado en las acciones mencionadas, particularmente en las UP más vulnerables como las de tres de Quintana Roo, YucS y CampC.

El PHR 2030 señala la importancia de contar con fuentes alternativas y novedosas de financiamiento a parte de buscar incrementar el financiamiento federal para prevención de desastres hidrometeorológicos en la región (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2011). Este tipo de mecanismos se presentan en la sección 8.5 del presente capítulo.

## 8.5 Fuentes alternativas de financiamiento

Además de los programas presupuestales analizados en las secciones anteriores, existen otras fuentes de financiamiento que los gobiernos locales, empresas privadas y OSC pueden considerar para financiar proyectos y programas en materia hídrica.

**Tabla 173.** Alineación de presupuestos del PHR 2030 con EP del PHR 2021-2024. Montos en millones de pesos M.N.

| Estrategia prioritaria PHR 2021-2024                      | 1.1 Reducir el rezago en el acceso al suministro de agua potable de calidad especialmente para la población desatendida. |                         | 1.2 Reducir el rezago en el acceso a drenaje y sanitario |                           | 2.1 Optimizar el uso del agua en el sector agrícola.                        |       | 3.0 Transversal inundaciones y sequías                                  |      | 4.1 Reducir descargas e infiltración de aguas residuales sin tratamiento apropiado. |      |                                 |      |   |       |
|---|--|-------------------------|--|---------------------------|---|-------|---|------|---|------|---------------------------------|------|---|-------|
| Objetivo PHR 2030   | Cobertura universal  |                         |  |                           | Cuencas y acuíferos en equilibrio   |       | Asentamientos Seguros frente a inundaciones catastróficas               |      | Ríos limpios  |      |                                 |      |   |       |
| Eje PHR 2030  | Incrementar la cobertura de agua potable y alcantarillado en zonas urbanas y rurales                                     |                         |  |                           | Promover y aplicar tecnologías eficientes de bajo consumo en todos los usos |       | Pronosticar y alertar ante situaciones de emergencia hidrometeorológica |      | Sanear todas las aguas residuales   |      |                                 |      |   |       |
| Sector PHR 2030   | Agua potable zona urbana   | Agua potable zona rural | Alcantarillado zona urbana                               | Alcantarillado zona rural | Hidroagrícola   |       | -   |      | Tratamiento de las aguas residuales municipales                                     |      |                                 |      |   |       |
| Acciones principales y montos contemplados en el PHR 2030 | Ampliación de redes de agua potable en zonas urbanas   | \$357                   | Pozos profundos por municipio rural                      | \$20                      | Ampliación de redes de alcantarillado en zonas urbanas                      | \$208 | Ampliación de redes de alcantarillado por municipio rural               | \$86 | Riego de alta presión   | \$20 | Acciones de pronóstico y alerta | \$10 | Construcción de nueva infraestructura     | \$386 |
|   |  |                         | Pozos profundos por municipio rural                      | \$20                      |   |       |   |      | Labranza óptima de riego  | \$4  |                                 |      | Optimización de calidad de aguas tratadas | \$14  |
|   |  |                         |  |                           |   |       |   |      | Calendarización de riego  | \$3  |                                 |      |   |       |
|   |  |                         |  |                           |   |       |   |      | Riego por aspersión   | \$2  |                                 |      |   |       |
| <b>Total por EP</b>                                       | <b>\$397</b>   |                         | <b>\$295</b>   |                           | <b>\$28</b>   |       | <b>\$10</b>   |      | <b>\$400</b>  |      |                                 |      |   |       |

### 8.5.1 Financiamiento climático

El financiamiento climático es el conjunto de fondos, instituciones y normativas destinadas a apoyar proyectos para evitar o lidiar con los efectos del cambio climático. Se detona de los distintos acuerdos y marcos internacionales de cambio climático. Cuenta con diferentes agentes o mecanismos para canalizar e implementar recursos hacia las acciones de atención al cambio climático. A raíz de las distintas iniciativas para la recuperación económica verde de la crisis del COVID-19, el financiamiento climático se ha potenciado durante 2020 y 2021 lo cual representa una oportunidad particular para financiar proyectos hídricos en la región.

Se distinguen las siguientes cuatro categorías de financiamiento climático.

- **Mecanismos bilaterales**

Estos mecanismos representan acuerdos con países desarrollados que actúan a través de agencias o fondos. Algunas de ellas son: Agencia de la Cooperación Técnica Alemana (GIZ), Agencia Internacional de Cooperación de Japón (JICA) y Agencia Francesa de Desarrollo (AFD). Algunos de los fondos bilaterales relevantes son: Alianza Global para el Clima (GCCA), Iniciativa Climática Internacional (IKI), Fondo Francés para el Medio Ambiente Mundial (FFEM), Fondo Internacional para el Clima (ICF) y Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento (FCAS).

- **Mecanismos multilaterales**

Los mecanismos multilaterales son instituciones que tienen una base financiera (bancaria) en la que los países miembros que aportan fondos, generalmente se encuentran conformadas por tres o más países. Algunos de los fondos aplicables son: Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF), Fondo para la Adaptación (AF), y Fondo Verde para el Clima (GCF). Además, existen bancos multilaterales de desarrollo como el Banco Mundial, y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

- **Mecanismos regionales**

Se trata de instituciones que generalmente cuentan con fondos de distintas fuentes públicas, privadas e internacionales y se enfocan en una zona específica que puede o no ser transfronteriza. En la PY destaca el Fondo Climático de la Península de Yucatán (FCPY), como el principal mecanismo regional para canalizar fondos mixtos a proyectos de cambio climático.

### **8.5.2 Fundaciones y Organizaciones de la Sociedad Civil (OSC)**

Instituciones nacionales o internacionales no gubernamentales también participan en el financiamiento climático global mediante donaciones, procesos de cofinanciamiento y préstamos. Los mecanismos de financiamiento buscan otorgar recursos para proyectos que cuenten con los requisitos descritos en la Tabla 174.

### **8.5.3 Otras fuentes de financiamiento**

Conforme el ecosistema global de financiamiento crece y se desarrolla, cada vez surgen más mecanismos innovadores para apoyar proyectos ambientales y sociales, particularmente en el sur global. A continuación, se mencionan algunos de estos mecanismos.

- **Bonos Verdes**

El mercado de bonos verdes tiene como objetivo permitir y desarrollar el papel clave que los mercados de deuda pueden desempeñar en la financiación de proyectos que contribuyan a la sostenibilidad ambiental. Los bonos verdes son cualquier tipo de instrumento en el que los fondos se aplicarán exclusivamente para financiar, en parte o en su totalidad, proyectos verdes que estén alineados con los cuatro componentes principales de los Principios de los Bonos Verdes<sup>10</sup> (GBP, por sus siglas en inglés).

Los bonos verdes han surgido recientemente como un nuevo mecanismo que cataliza las inversiones por el medio ambiente. Los proyectos financiados por bonos verdes se han enfocado en una variedad de objetivos, desde incrementar la resiliencia de sistemas de agua hasta eficiencia energética. El involucramiento de bancos multilaterales de desarrollo ha expandido el interés en bonos verdes con agencias de gobierno, municipios y, más recientemente, empresas privadas.

---

<sup>10</sup> Disponibles para consulta en: <https://www.icmagroup.org/sustainable-finance/the-principles-guidelines-and-handbooks/green-bond-principles-gbp/>

**Tabla 174. Requisitos para el financiamiento climático de proyectos**

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| <b>Potencial para transformar</b>     | Demostrar cómo el proyecto logrará contribuir al objetivo general de crear un cambio de paradigma hacia un desarrollo bajo en emisiones y resiliente al clima en alineación con objetivos internacionales como la agenda 2030.                            |
| <b>Justificación climática</b>        | Integrar un argumento lógico que vincule el cambio climático y las intervenciones propuestas identificando los desafíos y describiendo cómo abordarlos a través del proyecto.   |
| <b>Sostenibilidad financiera</b>      | Capacidad de mantener los requerimientos financieros propios del proyecto durante su periodo de ejecución, previendo su continuidad con recursos propios o de otras fuentes.  |
| <b>Rentabilidad</b>                   | Capacidad de obtener beneficios o rendimientos por medio de la inversión, así como potencial de recuperar el total de la inversión a valor presente.  |
| <b>Costo-eficiencia</b>               | Capacidad de alcanzar el objetivo del proyecto al menor coste o en su caso obtener el máximo rendimiento de un volumen determinado de recursos.   |
| <b>Costo-efectividad</b>              | El proyecto representa la mejor estrategia para atender el problema o situación de acuerdo con los costos relativos a los resultados (efectos).   |
| <b>Costo beneficio</b>                | Es conveniente mediante la valoración en términos monetarios de los costos y beneficios asociados directa e indirectamente.   |
| <b>Escalabilidad / Replicabilidad</b> | El proyecto se puede escalar y/o replicar para llegar a un público más amplio, así como adaptarse a las realidades de otros países.   |
| <b>Adicionalidad</b>                  | Genera un valor agregado y no duplica esfuerzos públicos o privados y/o trata de realizar algo que está comprobado como ineficiente.  |
| <b>Cofinanciamiento</b>               | Tener recursos adicionales de la propia agencia ejecutora o por otras fuentes ajenas a la fuente de financiamiento principal que son esenciales para cumplir con los objetivos del proyecto.  |
| <b>Apalancamiento</b>                 | El proyecto permite movilizar recursos adicionales.   |
| <b>Innovador</b>                      | El proyecto presenta variantes novedosas e interesantes respecto a los enfoques corrientes para abordar el problema identificado.   |
| <b>Co-beneficios</b>                  | Genera efectos en el bienestar de la sociedad, el medioambiente y la economía. Especialmente, debe estar enfocado en mejorar la atención de grupos vulnerables.   |
| <b>Resultados medibles</b>            | El proyecto cuenta con resultados que se pueden medir en forma numérica, ya sea un porcentaje o una cifra absoluta. En el caso de proyectos asociados a cambio climático es importante que cuenten con elementos verificables de mitigación y adaptación. |
| <b>Enfoque de género</b>              | El proyecto considera las necesidades y diferencias de mujeres y hombres, además de la participación de las mujeres en las soluciones al problema que les afecta.   |

- **Mercados de carbono azul**

Este mecanismo busca financiar proyectos de conservación, mejoramiento o restauración de humedales costeros a través de los beneficios indirectos de captura de carbono y el incremento de la resiliencia a inundaciones. Alrededor del mundo existen cada vez más proyectos de este tipo financiados a través de créditos de carbono azul. En México el mercado de carbono azul es aún joven, pero se espera crezca en los

próximos años conforme se consolide el mercado convencional de carbono y se formulen instrumentos como la política nacional de carbono.

- **Bonos de impacto**

Se trata de modelos de coinversión para financiar metas ambientales y sociales orientadas, en parte, a la adaptación al cambio climático. Estos modelos buscan asignar un valor económico a acciones ambientales que generan un beneficio indirecto distribuido en un área o entre una población a escala local o hasta global. Dicho beneficio puede presentarse de manera inmediata (como la recolección de sargazo) o a largo plazo (como reforestaciones en zonas de recarga que incrementen las tazas de infiltración al acuífero). También pueden usarse para financiar proyectos cuyos beneficios se asocien a impactos con alta incertidumbre como la reforestación de manglares para proteger poblaciones de inundaciones asociadas al aumento del nivel del mar.

## 8.6 Comparación de presupuestos disponibles y necesarios

En general se puede observar que, para la mayor parte de los OP, los presupuestos necesarios para financiar la cartera de proyectos exceden los presupuestos promedio asignados en el PEF y los presupuestos estimados en la programación hídrica del PHR 2030 (Figura 156). Sin embargo, esta diferencia es mucho menor en el OP 2, en donde se observa que el presupuesto disponible podría financiar la mayor parte de la cartera de proyectos al igual que los proyectos identificados en el PHR 2030.

Las necesidades presupuestarias plasmadas en el Plan Rector 2019-2024 ascienden a \$2,444,600,000 al año. Sin embargo, los recursos disponibles para la PY que provienen del PEF son \$513,200,000 al año. De los cuales, los montos de recuperación fiscal por pago de derechos equivalen a un monto anual de \$207,500,000. Los estados y municipios en el 2019 proveyeron de al menos \$82,784,403 para proyectos de agua potable y saneamiento. Finalmente, las aportaciones privadas o de fundaciones se estiman en, por lo menos \$85,510,000 al año.

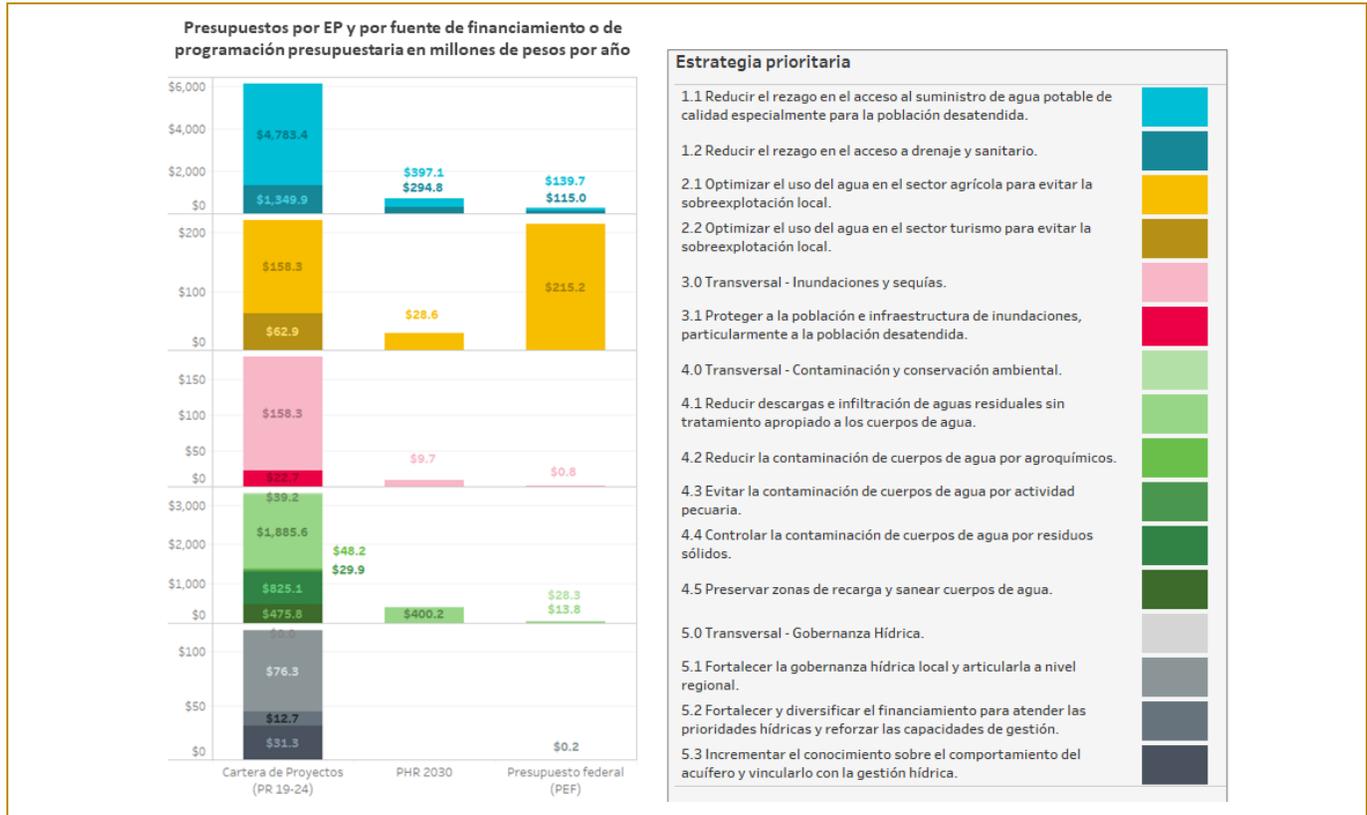
Todas estas fuentes de financiamiento suman un total de \$888,994,403 pesos por año, es decir, 36.4% de la necesidad plasmada en el PR 2019-2024. La brecha en este caso es de \$1,555,605,597 pesos al año. Por lo que es necesario diversificar y aumentar las fuentes de financiamiento para lograr cubrir las necesidades actuales y futuras de la población, asegurando el derecho humano al agua en cantidad y calidad y la optimización de procesos de saneamiento de los ecosistemas y control de contaminantes que afectan la salud. Por otro lado, en tema de gobernanza se requiere incrementar sustancialmente las aportaciones para reforzar las capacidades locales y articularlas a nivel regional.

A continuación, se analizan las principales brechas para cada OP entre los recursos disponibles y los identificados en la cartera de proyectos derivada del PR 2019-2024 y el PHR 2030 así como de la priorización identificada en este PHR. Se mencionan también las distintas oportunidades para complementar el financiamiento federal de tipos de proyectos específicos con OSC, organismos internacionales entre otras fuentes alternativas.

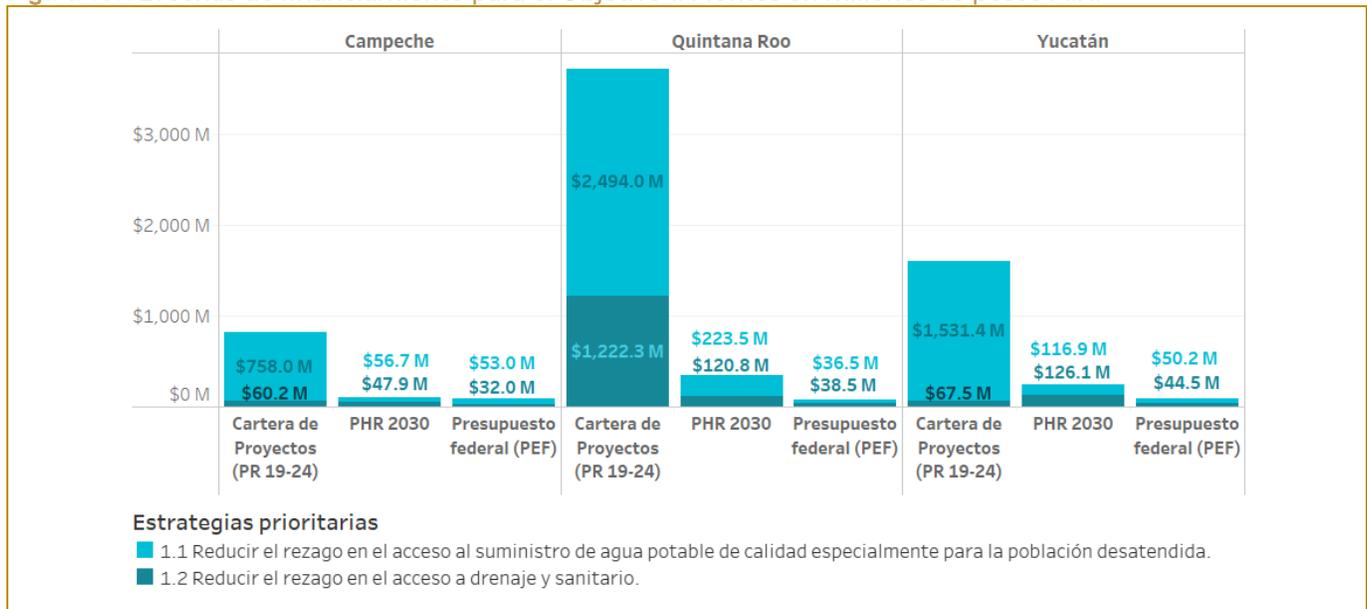
### 8.6.1 Análisis de presupuestos para el OP 1. Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población más vulnerable y desatendida.

Se observa que los presupuestos del PHR 2030 y el PEF presentan valores similares tanto a nivel de Objetivo como de EP. Sin embargo, dichos valores son aproximadamente 10 veces menores que los necesarios para implementar la cartera de proyectos descritos en el PR 2019-2024. Para los tres presupuestos, el que es destinado a agua potable es superior que el destinado a saneamiento, lo cual se alinea con la priorización del proceso participativo de este PHR 2021-2024 (Figura 157). En la cartera de proyectos se señala un presupuesto para Quintana Roo mayor que el de los otros dos estados (Figura 156), aunque en Capítulo 1 se describen mayores rezagos en Yucatán y Campeche.

**Figura 156.** Comparación de presupuestos estimados y presupuestos disponibles por EP en millones de pesos M.N al año.



**Figura 157.** Brechas de financiamiento para el Objetivo 1. Montos en millones de pesos M.N.



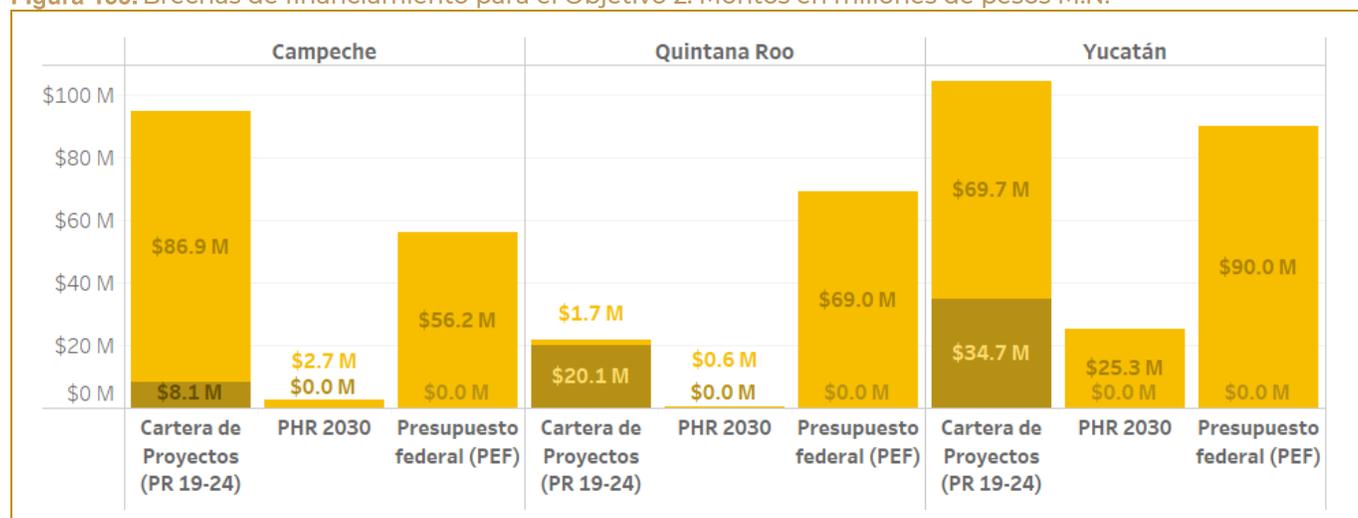
Fuente: Elaboración propia con datos del PEF, el PHR 2030 y el PHR 2021-2024.

Es necesario implementar más proyectos para estos dos estados y ampliar las fuentes de financiamiento para atender los requerimientos actuales y futuros en materia de agua potable y saneamiento. En el medio rural, proyectos integrales de agua potable y saneamiento pueden ser impulsados por gobiernos locales en coordinación con OSC y financiamiento internacional. Dichos proyectos deberán buscar integrar principios de equidad de género, vulnerabilidad actual y futura, y empujar la apropiación de las tecnologías a partir de diagnósticos detallados y procesos de monitoreo y acompañamiento.

### 8.6.2 Análisis de presupuestos para el OP 2. Aprovechar eficientemente el agua para contribuir al desarrollo sostenible de los sectores productivos.

Se observa que el presupuesto asignado por el PEF es muy similar al presupuesto requerido en el PHR 2021-2024 (Figura 158). En efecto, este OP representa el segundo monto más importante asignado por el PEF. El financiamiento de este OP es particularmente importante en cuanto a optimizar el uso de agua en el sector agrícola y en el sector turismo, este último, particularmente en la UP QRooN. La inversión agrícola se realiza principalmente en Yucatán y Campeche. La EP 2.1, relacionada con el sector agrícola, es la que cuenta con la mayor asignación de recursos federales (Figura 158). Por lo tanto, este Objetivo representa la menor brecha entre el presupuesto federal disponible y la cartera de proyectos. Sin embargo, ni el PHR 2030 ni el proceso participativo del presente PHR 2021-2024 identifican fuertes necesidades de implementación de proyectos con este objetivo.

**Figura 158.** Brechas de financiamiento para el Objetivo 2. Montos en millones de pesos M.N.

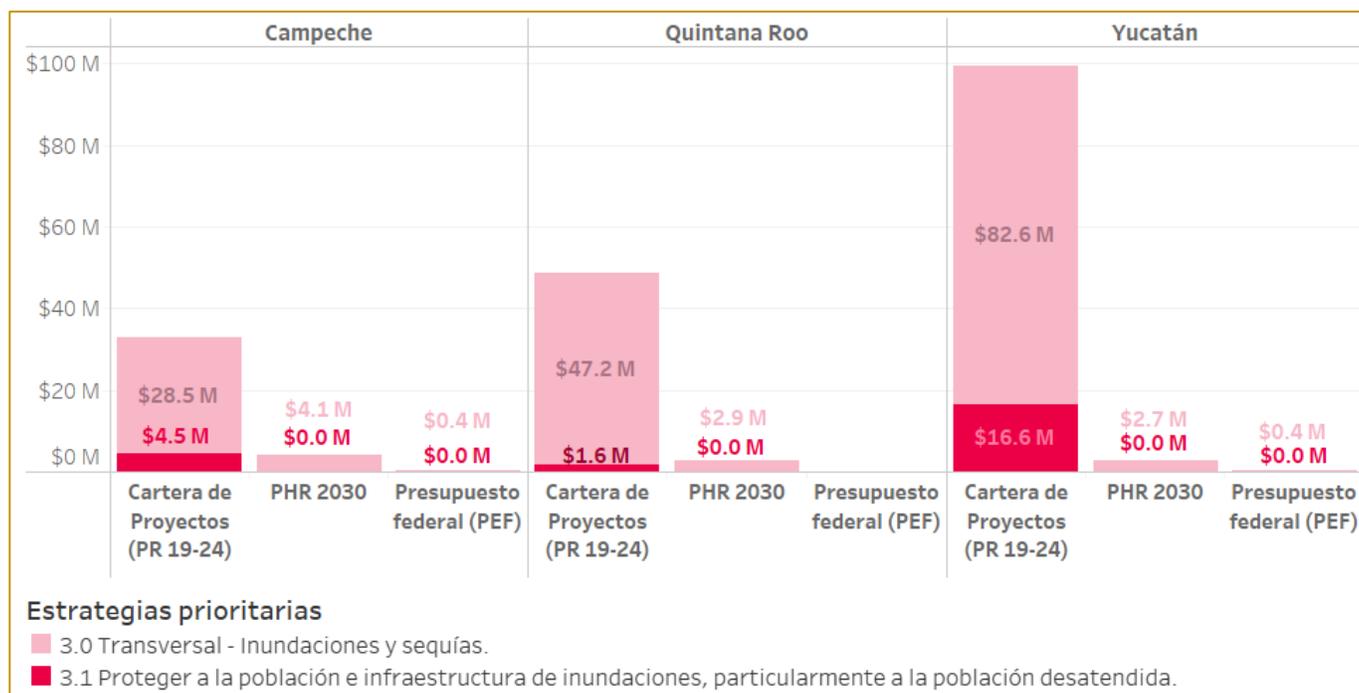


Fuente: Elaboración propia con datos del PEF, el PHR 2030 y el PHR 2021-2024.

Por otro lado, en el Capítulo 1 se señala la importancia de efficientar el consumo agrícola para evitar riesgos de salinización costera y extracción excesiva de aguas subterráneas, los cuales serán potenciados por la reducción de la recarga asociada al cambio climático. Además, los proyectos de mejora de la infraestructura de riego contemplados en la cartera de proyectos y el PHR 2030 también pueden impulsar la reducción de agroquímicos contribuyendo a la EP 4.3. Es necesario elaborar diagnósticos del avance en la tecnificación del riego para poder, eventualmente, relocalizar recursos hacia otras EP que actualmente no reciben suficientes recursos como las enfocadas en agua potable y saneamiento, control y monitoreo de la contaminación y protección ante inundaciones.

### 8.6.3 Análisis de presupuestos para el OP 3.- Reducir la vulnerabilidad de la población ante inundaciones y sequías, con énfasis en pueblos indígenas y población marginada.

Es clara la brecha que existe entre lo que se requiere en materia de protección a la población de inundaciones y sequías según la cartera de proyectos y lo disponible de presupuestos federales al igual que lo estimado por el PHR 2030 (Figura 159). Otros fondos federales, como el FONDEN se destinan a atender los impactos de eventos meteorológicos extremos, aunque generalmente se destinan a atender a la población afectada más que para prevenir afectaciones. El OP 3 ocupa el tercer lugar en términos de cantidad de proyectos definidos en el PR 2019-2024.

**Figura 159. Brechas de financiamiento para el Objetivo 3. Montos en millones de pesos M.N.**


Fuente: Elaboración propia con datos del PEF, el PHR 2030 y el PHR 2021-2024.

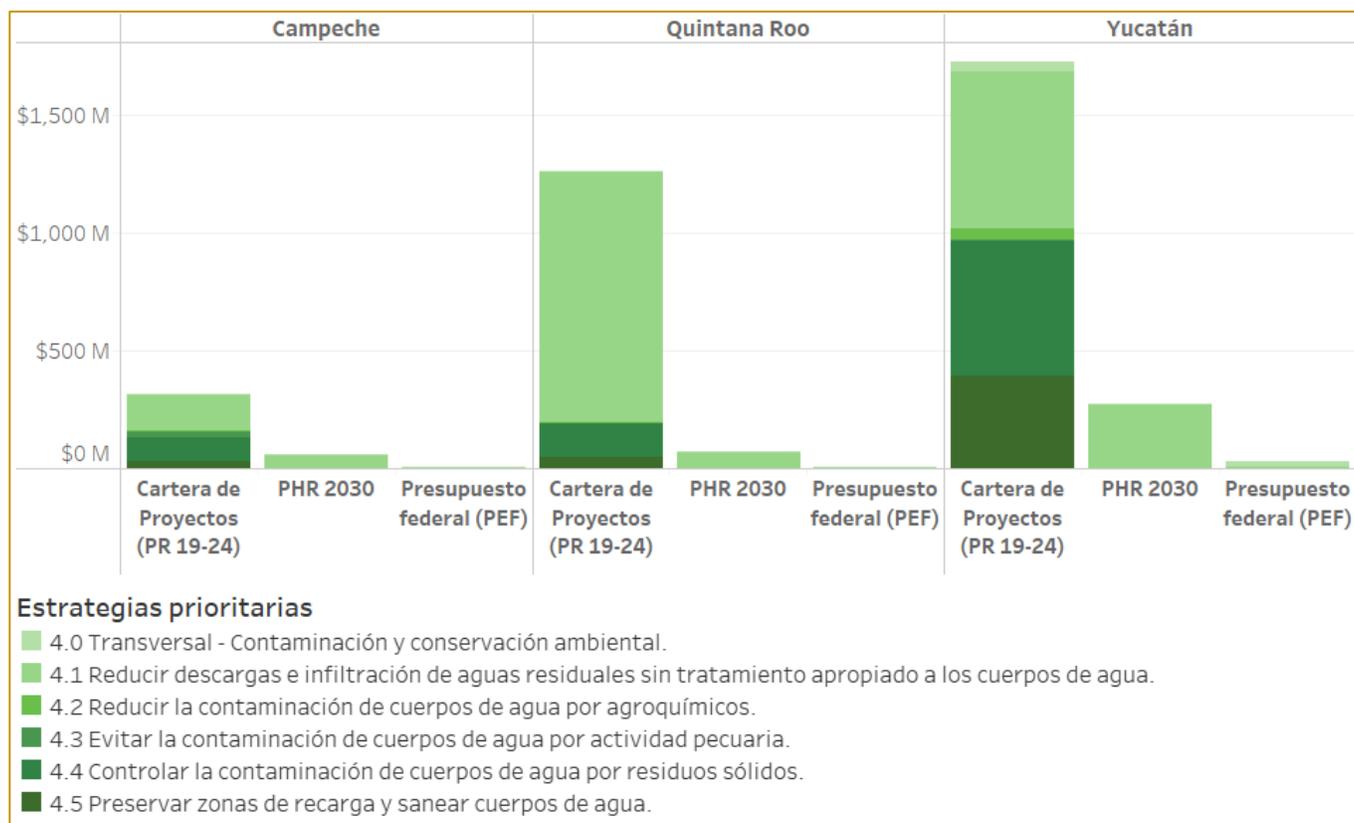
Para implementar proyectos enfocados en inundaciones y sequías, será necesario fortalecer este rubro con nuevas fuentes de financiamiento en materia de cambio climático como OSCs nacionales, financiamiento internacional y bonos de impacto para proyectos de adaptación. Algunos de los proyectos identificados son: la investigación científica para caracterizar riesgos futuros asociados al cambio climático (Actividad colectiva 6); sistemas de monitoreo ambiental articulados a escala PY y UP (Actividad colectiva 3); sistemas de alerta temprana (Actividad colectiva 8); e implementación de soluciones basadas en la naturaleza como barreras vivas costeras y zonas inundables.

Para proteger los medios de subsistencia tradicionales, las OSCs nacionales pueden jugar un papel importante en incrementar la resiliencia de comunidades de siembra tradicional, apicultura, ganadería y pesca de pequeña escala mediante capacitaciones, ecotecias, técnicas como la agroecología y el robustecimiento de la gobernanza y organización local.

#### 8.6.4 Análisis de presupuestos para el OP 4. Preservar la integralidad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan cuencas y acuíferos.

Se trata del segundo rubro más priorizado en este PHR. En la cartera de proyectos se contempla con la mayor inversión después del Objetivo 1, con la finalidad de reducir la contaminación y la conservación ambiental. Además, implica implementar acciones para controlar las descargas residuales público urbana, las descargas de agroquímicos, aguas residuales de la actividad porcícola y avícola y el control de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Sin embargo, existe una brecha de dos órdenes de magnitud entre los proyectos del Plan Rector y los presupuestos asignados en el PEF, y aún con los proyectados por el PHR 2030 (Figura 160).

La mayor brecha identificada en materia de tratamiento de aguas residuales existe en Campeche (CampC) y Yucatán, principalmente en las UP YucN y YucS por lo que es necesario canalizar más financiamiento para sistemas de tratamiento municipales y familiares. En Yucatán se requiere también de cerca de 500 millones de peso para financiar los proyectos enfocados en la reducción de la contaminación por la actividad pecuaria de la cartera de proyectos.

**Figura 160. Brechas de financiamiento para el Objetivo 4. Montos en millones de pesos M.N.**


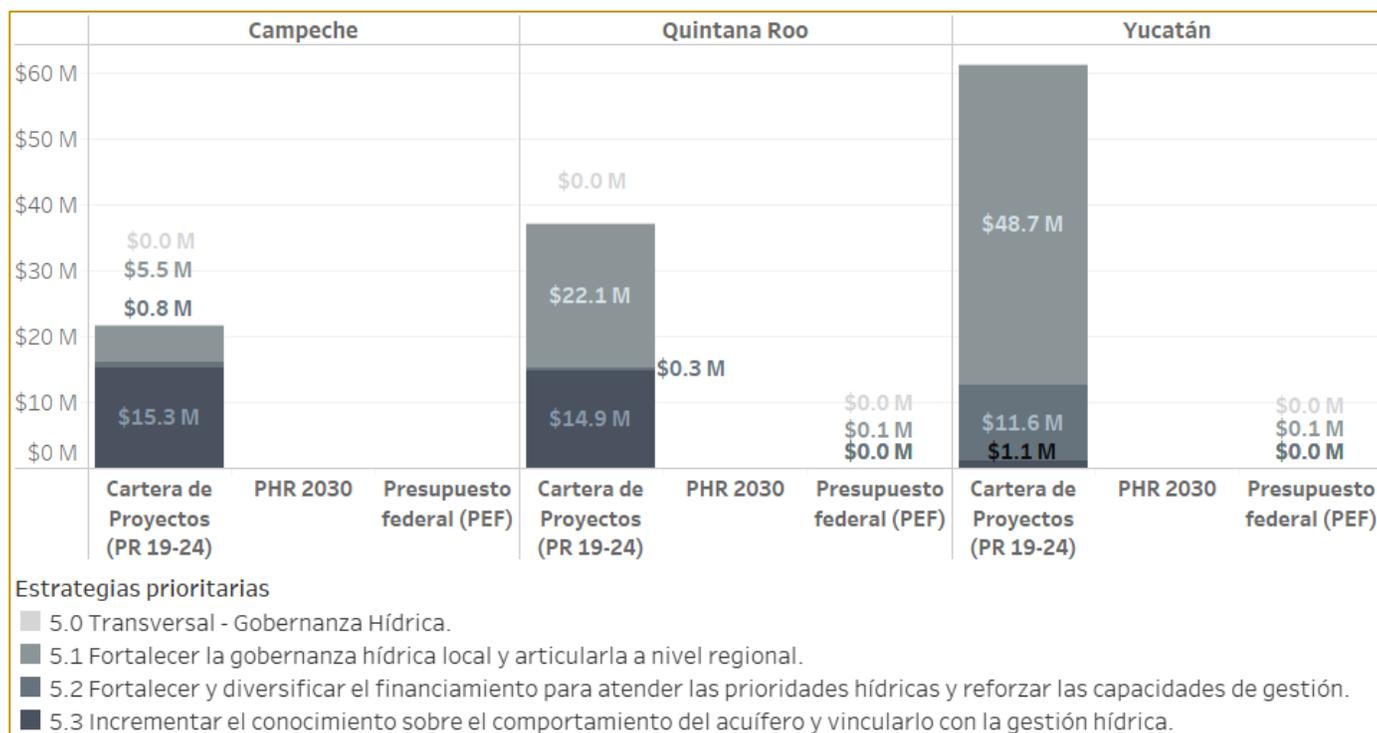
Fuente: Elaboración propia con datos del PEF, el PHR 2030 y el PHR 2021-2024.

Por otro lado, para controlar la deforestación y degradación de selvas, y humedales se requiere de aproximadamente 450 millones de pesos al año según la cartera de proyectos. Estos recursos pueden provenir de financiamiento federal como del programa Sembrando Vida y ser complementado con otras fuentes estatales, OSCs y financiamiento internacional. Estos proyectos pueden articularse con el Objetivo 3, y brindar empleo y beneficios inmateriales a las comunidades marginadas e indígenas de la PY con acciones que protejan el medio ambiente al mismo tiempo que incrementen la resiliencia a inundaciones y sequías de las comunidades e infraestructura local.

Finalmente, para consolidar una estrategia que permita controlar la contaminación de los cuerpos de agua subterráneos y superficiales y la degradación del territorio, así como para hacer frente al cambio climático, es necesario que se articule a escala de la PY y de cada UP, un sistema de monitoreo de aguas subterráneas entre otras variables ambientales para poder caracterizar los flujos de contaminación y monitorear el impacto sobre los recursos de los proyectos implementados (Actividad colectiva 4).

### 8.6.5 Análisis de presupuestos para el OP 5. Mejorar las condiciones de la gobernanza del agua a fin de fortalecer la toma de decisiones y combatir la corrupción.

Es evidente la brecha existente entre los proyectos identificados como necesarios en el PHR 2021-2024, que presenta proyectos por más de 24 millones de pesos al año, en contraste con la inversión real en el PEF llega a \$ 200,000.00 pesos al año (Figura 161). Esto limita el impulso de acciones que tienden a fortalecer la gobernanza hídrica local y articularla a nivel regional y de incrementar el conocimiento hidrológico y geohidrológico vinculado con la gestión hídrica. En este sentido, proyectos enfocados a la EP 5.2 cobran especial importancia, buscando generar las condiciones organizativas y de transparencia para fortalecer y diversificar el financiamiento que permita atender las prioridades hídricas y reforzar las capacidades de gestión.

**Figura 161. Brechas de financiamiento para el Objetivo 5. Montos en millones de pesos M.N.**


Es necesario fortalecer las acciones de gobernanza con mayores recursos para operar los Órganos Auxiliares del CCPY en cada UP, las alianzas intermunicipales, las representaciones de usuarios y sociedad civil organizada y representaciones de otros órdenes de gobierno (Actividad colectiva 1). Las OSCs y los organismos internacionales pueden apoyar con el fortalecimiento de capacidades gubernamentales, así como fortalecer y financiar los mecanismos de gobernanza hídrica comunitaria.

## 8.7 Conclusiones

Como se ha mostrado, las principales fuentes de financiamiento para proyectos hídricos en la Región (PEF, Pago de Derechos, PROAGUA y Fundaciones y OSC) se enfocan principalmente en riego, agua potable y saneamiento. Por otro lado, los temas de prevención de riegos ante inundaciones y sequías y de gobernanza hídrica tienen muy poco apoyo presupuestal. Sin embargo, es notorio que la participación y aportación de las diversas fundaciones y OSC se centra en apoyar ecotecnias, conservación y restauración de ecosistemas, monitoreo hidrológico y a consolidar la gobernanza hídrica comunitaria. En total, la suma de las aportaciones alcanza la cifra de \$ 888.99 millones de pesos.

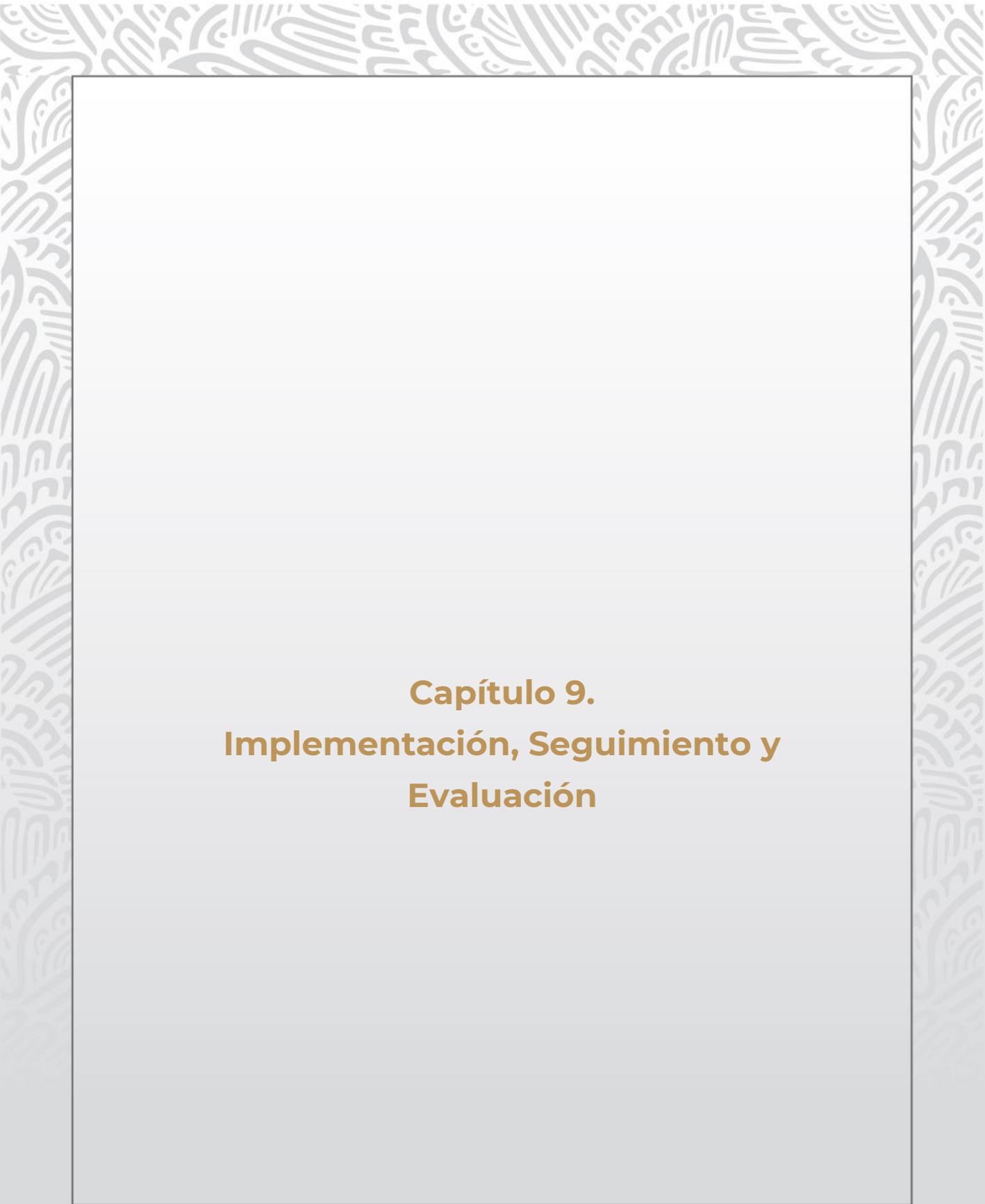
En contraste, los dos instrumentos de programación hídrica (PHR Visión 2030 y PHR 2021-2024) que identificaron la distribución de presupuestos necesaria para lograr los Objetivos Prioritarios (OP) propuestos en este PHR 2021-2024. En esta programación hídrica, se privilegia los temas de agua potable y saneamiento en ambos, seguidos por la conservación ambiental en el segundo y el tratamiento de aguas residuales. En ambos programas presupuestales se apoya también el tema de riesgos de inundaciones y sequías, pero sólo el PR 2019-2014 establece proyectos y presupuestos concretos para fortalecer acciones de gobernanza hídrica. Esto representa un avance en el tema de la gobernanza y prevención de riesgo, con visión de cambio climático al 2050.

Sin embargo, con los recursos económicos actuales existe una brecha del 63.6 % para poder cumplir con la distribución de presupuestos según la cartera de proyectos del Plan Rector 2019-2024, es decir, hay un déficit de \$ 1,555 Millones de pesos anuales. Esto es un gran reto para los gobiernos locales y las organizaciones civiles nacionales e internacionales. Si se considera que una meta posible es lograr cumplir con la distribución de presupuestos del PHR Visión 2030, la brecha disminuye a un 21.35 %, lo que requeriría de un incremento de \$ 241.41 Millones de pesos

al año del presupuesto total para proyectos en materia hídrica en la PY. Esta meta de cumplir en el corto plazo con un incremento anual de tal magnitud es factible y representaría una oportunidad para redirigir los presupuestos para cumplir con los cinco OP de este PHR.

Además, se contempla la implementación de ocho actividades para fortalecer la gobernanza hídrica regional permitiendo una mayor colaboración entre estados y municipios para atender las prioridades de manera conjunta y facilitar el financiamiento. Por este medio, se fortalecerían los Órganos Auxiliares del CCPY en cada UP, las alianzas intermunicipales, las representaciones de usuarios y sociedad civil organizada y representaciones de otros órdenes de gobierno (Actividad colectiva 1). De igual forma la investigación científica para caracterizar riesgos futuros asociados al cambio climático (Actividad colectiva 6); sistemas de monitoreo ambiental articulados a escala PY y UP (Actividad colectiva 3); sistemas de alerta temprana (Actividad colectiva 8); entre otras que se describen en el Capítulo 7.

El perfeccionamiento y evolución de la estructura funcional y administrativa del CCPY y sus Órganos Auxiliares, será la base para atender las necesidades locales con un enfoque regional y asegurar el derecho humano al agua, al saneamiento y a un ambiente sano. Con este enfoque se impulsaría una gestión del agua como elemento para la justicia social, que permitirá incrementar las interacciones entre los diversos actores para la gestión integral de recurso hídrico en cada UP ampliando el dialogo y la inclusión de propuestas. Además, es necesario profundizar en los análisis sobre los impactos del cambio climático sobre la disponibilidad futura para incorporarlos a la gestión del agua y asegurar su uso sustentable y el acceso suficiente para toda la población.



**Capítulo 9.  
Implementación, Seguimiento y  
Evaluación**

En los capítulos previos, se establecieron claramente el diagnóstico hídrico y las medidas a realizar para aspirar a lograr el uso sustentable y la preservación del recurso agua y con ello el cumplimiento de los derechos humanos al agua y el saneamiento. Es decir, se definieron la problemática hídrica, los objetivos y estrategias prioritarias, las acciones puntuales, el conjunto de indicadores de evaluación, las actividades colectivas de gobernanza hídrica regional y sus respectivas hojas de ruta, los costos inherentes y las brechas presupuestarias, entre otros.

Para asegurar el cumplimiento de las medidas que plantea este Programa Hídrico Regional 2021-2024 (PHR), es necesario establecer los mecanismos eficaces para su implementación, seguimiento y evaluación por parte del Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán (CCPY). Para tal fin, se contempla se sigan dos procesos: uno para la atención de las 54 acciones puntuales señaladas en el Capítulo 5 y otro para el desarrollo de las 8 actividades colectivas de gobernanza hídrica regional descritas en el Capítulo 7.

## 9.1 Proceso para la atención de las acciones puntuales

El proceso consiste en definir:

- 1) el ámbito de responsabilidad, es decir, en quién recaerá la tarea de implementación, seguimiento y evaluación.
- 2) el propósito, es decir, la tarea o actividad a realizar.
- 3) la periodicidad deseable con que habrán de reunirse y
- 4) los insumos ofrecidos por el PHR en que habrán de apoyarse para la implementación, seguimiento y evaluación de la acción puntual.

Dado que este PHR será un instrumento clave para orientar la agenda de trabajo del CCPY y sus diversos órganos auxiliares, es necesario identificar cuáles son los ámbitos y niveles de su participación en la implementación de las acciones puntuales. Ello se señala en la Tabla 175.

**Tabla 175. Distribución de responsabilidades las acciones puntuales**

|                           | Implementación   | Seguimiento   | Evaluación  |
|---------------------------|--|---|---|
| Ámbito de responsabilidad | Órgano auxiliar  | Comisión de Operación y Vigilancia (COVI) y la Asamblea General de Usuarios y Sociedad Organizada (AGU) | Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán (CCPY)       |
| Propósito                 | Estructurar e integrar de equipos de trabajo, para:  | Estructurar e integrar de equipos de trabajo para:  | Los Vocales tendrán el propósito:                         |
|                           | - Coordinar con los tres niveles de gobierno y organizaciones civiles                        | - Programar acciones, metas, recursos presupuestales y calendario de ejecución                          | - Apoyar la recaudación de fondos                         |
|                           | - Concertar acciones, metas, recursos presupuestales y calendario de ejecución               | - Recabar la información de avances en la ejecución de acciones   | - Gestionar apoyo social, gubernamental y técnico         |
|                           |  |   | - Revisar y, en su caso, validar, informes de seguimiento |
|                           |  |   | - Emitir recomendaciones                                  |
| Reuniones                 | Periodicidad trimestral  | Periodicidad trimestral/semestral   | Periodicidad semestral/anual                              |
| Insumos para el proceso   | 1. Tablas de Alineación de objetivos del PHR con los principios rectores y criterios del PND | 1. Tablas de Indicadores  | 1. Informes semestrales de la COVI y de la AGU            |
|                           | 2. Catálogo de acciones puntuales  | 2. Informes mensuales de órganos auxiliares   |   |

Para la implementación de las acciones puntuales se requiere, bajo el liderazgo de la CONAGUA y en el marco del CCPY y sus órganos auxiliares, la participación los tres niveles de gobierno organizaciones de la sociedad civil (OSC), fundaciones, agencias de cooperación, instituciones de investigación, entre otras. En la Tabla 176, se mencionan algunos de los actores principales que pueden incidir en cada una de las 14 estrategias prioritarias (EP) que se identificaron y priorizaron en el Capítulo 5. Esta lista es producto del proceso participativo llevado a cabo para integrar este PHR y de un análisis por parte de quienes compilaron este documento. Se sugiere, en el futuro cercano, que le CCPY realice un ejercicio más detallado para identificar a actores específicos que estén ejecutando las acciones puntuales o tengan la capacidad de hacerlo.

**Tabla 176. Principales actores involucrados en la atención a las estrategias prioritarias**

| Estrategia prioritaria  | Actores principales  |
|---|--|
| <b>1.1 Reducir el rezago en el acceso al agua potable y mejorar la calidad del servicio especialmente para la población desatendida.</b>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CONAGUA a través del OCPY y Direcciones Locales aplicando el PROAGUA</li> <li>• Gobiernos estatales y municipales</li> <li>• Operadores de agua públicos y privados</li> <li>• Comunidades urbanas y rurales</li> <li>• OSC, particularmente para temas de captación pluvial</li> </ul>   |
| <b>1.2 Reducir el rezago en el acceso a drenaje y sanitarios particularmente para la población desatendida.</b>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La CONAGUA a través del OCPY y Direcciones Locales aplicando el PROAGUA</li> <li>• Gobiernos estatales y municipales</li> <li>• Operadores de agua públicos y privados</li> <li>• IMTA</li> <li>• Comunidades urbanas y rurales</li> <li>• Fundaciones y OSC particularmente para ecotecnologías de saneamiento en comunidades marginadas.</li> </ul>       |
| <b>2.1 Optimizar el uso del agua en el sector agrícola para contribuir a la seguridad alimentaria y el bienestar de la población y ecosistemas.</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CONAGUA a través del OCPY y Direcciones Locales</li> <li>• SAGARPA</li> <li>• IMTA</li> <li>• Federaciones y asociaciones agrícolas y ganaderas</li> <li>• Comunidades urbanas y rurales</li> <li>• Gobiernos estatales</li> <li>• Instituciones de investigación</li> <li>• Comité de usuarios de aguas nacionales del sector agrícola del CCPY</li> </ul> |
| <b>2.2 Optimizar el uso del agua en el sector servicios para contribuir a la equidad y justicia hídrica y evitar riesgos ambientales.</b>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gobiernos estatales y municipales</li> <li>• SECTUR</li> <li>• IMTA</li> <li>• Sector de servicios a través de sus cámaras de industria</li> <li>• Empresas hoteleras y restauranteras</li> <li>• Instituciones de investigación</li> <li>• OSC</li> <li>• Comité de usuarios de aguas nacionales del sector servicios del CCPY</li> </ul>                  |
| <b>3.1 Proteger a la población, particularmente población desatendida, e infraestructura de inundaciones.</b>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CONAGUA a través del OCPY y Direcciones Locales</li> <li>• Gobiernos estatales y municipales</li> <li>• CENAPRED</li> <li>• Comunidades urbanas y rurales</li> <li>• OSC nacionales y organizaciones internacionales enfocadas en financiar y apoyar la adaptación al cambio climático</li> </ul>   |
| <b>3.2 Proteger los medios de subsistencia tradicionales de inundaciones y sequías.</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CONAGUA a través del Organismo de Cuenca y Direcciones Locales aplicando el PRONACOSE</li> <li>• INPI</li> </ul>  |

| Estrategia prioritaria   | Actores principales   |
|--|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunidades urbanas y rurales</li> <li>• Gobiernos estatales</li> <li>• OSC nacionales e internacionales</li> </ul>  |
| <b>4.1 Reducir descargas e infiltración de aguas residuales no tratadas a los cuerpos de agua</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gobiernos estatales y municipales</li> <li>• Organismos Operadores</li> <li>• OSC</li> </ul>   |
| <b>4.2 Reducir la contaminación de cuerpos de agua por agroquímicos.</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CONAGUA a través del Organismo de Cuenca y Direcciones Locales</li> <li>• SAGARPA</li> <li>• Gobiernos estatales</li> <li>• Federaciones y asociaciones agrícolas y ganaderas</li> <li>• Comunidades urbanas y rurales</li> <li>• OSC nacionales e internacionales</li> </ul>                                  |
| <b>4.3 Evitar la contaminación de cuerpos de agua por actividad pecuaria.</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• SAGARPA</li> <li>• CONAGUA</li> <li>• Gobiernos estatales y municipales</li> <li>• Federaciones y asociaciones agrícolas y ganaderas</li> <li>• Comunidades urbanas y rurales</li> <li>• OSC nacionales e internacionales</li> </ul>   |
| <b>4.4. Reducir la contaminación por residuos sólidos.</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gobiernos estatales y municipales</li> <li>• Empresas públicas y privadas de recolección, revalorización, comercialización y disposición de residuos sólidos</li> <li>• Comunidades urbanas y rurales</li> <li>• OSC</li> </ul>  |
| <b>4.5 Preservar zonas de recarga y sanear cuerpos de agua.</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• SEMARNAT</li> <li>• CONAGUA</li> <li>• CONANP</li> <li>• CONAFOR</li> <li>• Gobiernos estatales y municipales</li> <li>• Comunidades urbanas y rurales</li> <li>• OSC nacionales e internacionales</li> </ul>  |
| <b>5.1 Fortalecer la gobernanza hídrica local y articularla a nivel regional.</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CCPY y órganos auxiliares</li> <li>• CONAGUA</li> <li>• Gobiernos estatales y municipales</li> <li>• Comunidades urbanas y rurales</li> <li>• OSC</li> </ul>   |
| <b>5.2 Fortalecer y diversificar el financiamiento para atender las prioridades hídricas y reforzar las capacidades de gestión del agua.</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• OSC nacionales e internacionales</li> <li>• Fundaciones nacionales e internacionales</li> <li>• Organizaciones de cooperación internacional</li> <li>• Organismos internacionales de cambio climático</li> <li>• Congreso federal y locales</li> <li>• Banca de desarrollo nacional e internacional</li> </ul> |
| <b>5.3 Incrementar el conocimiento geohidrológico de la Península y vincularlo con la gestión hídrica.</b>                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instituciones de investigación</li> <li>• CONAGUA</li> <li>• OSC</li> <li>• CONABIO</li> <li>• CONACYT</li> <li>• Gobiernos estatales</li> <li>• Comunidades urbanas y rurales</li> </ul>  |

## 9.2 Proceso para la atención de las actividades colectivas

El proceso consiste en definir: 1) el ámbito de responsabilidad, es decir, en quién recaerá la tarea de implementación, seguimiento o evaluación; 2) el propósito, es decir, la tarea o actividad a realizar; 3) la periodicidad deseable con que habrán de reunirse y 4) los insumos ofrecidos por el PHR en que habrán de apoyarse para la implementación, seguimiento y evaluación de la actividad colectiva. En la Tabla 177 se presenta el esquema de intervención del CCPY y sus órganos auxiliares en el contexto de las actividades colectivas. En la Tabla 177 se hace una relación más detallada de las instancias del CCPY relacionadas con cada una de las actividades colectivas. Así mismo, se presenta una lista, no exhaustiva, de distintas instancias que podrían o deberían intervenir en la ejecución de dichas actividades colectivas. Algunas de ellas son parte o están representadas en el CCPY y sus órganos auxiliares, otras no. Sin embargo, las actividades colectivas son una oportunidad de fortalecer la representatividad del CCPY y su incidencia en el manejo de los recursos hídricos y de la cuenca y acuíferos de la región.

**Tabla 177.** Distribución de responsabilidades para las actividades colectivas

|                                  | Implementación  | Seguimiento   | Evaluación  |
|----------------------------------|---|---|---|
| <b>Ámbito de responsabilidad</b> | Órgano auxiliar o Grupo de Trabajo Especializado (GET)  | Comisión de Operación y Vigilancia (Covi) y la Asamblea General de Usuarios y Sociedad Organizada (AGU) | Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán (CCPY) |
| <b>Propósito</b>                 | Estructurar e integrar de equipos de trabajo, quienes tendrán el propósito de:                                  | Estructurar e integrar de equipos de trabajo, quienes tendrán el propósito de:                          | Los Vocales tendrán el propósito:                   |
|                                  | - Establecer la coordinación con los tres niveles de gobierno, instituciones académicas y de investigación, OSC | - Recabar la programación de acciones, metas, recursos presupuestales y calendario de ejecución         | - Revisar informe de seguimiento                    |
|                                  | - Concertar acciones, metas, recursos presupuestales y calendario de ejecución                                  | - Recabar la información de avances en la ejecución de acciones   | - Emitir recomendaciones                            |
| <b>Reuniones</b>                 | Periodicidad trimestral   | Periodicidad semestral  | Periodicidad anual                                  |
| <b>Insumos para el proceso</b>   | 1. Tablas de actividades colectivas   | 1. Informes mensuales de OA y GET   | 1. Informes semestrales de la Covi y de la AGU      |
|                                  | 2. Tablas de hoja de ruta   |   |   |

En el caso de las actividades colectivas, se contempla que su implementación recaiga, según sea el caso, en los órganos auxiliares o grupos especializados de trabajo, tal como se propone en la Tabla 178.

**Tabla 178.** Principales ámbitos de implementación del CCPY y otros actores relevantes para la implementación de las actividades colectivas

| Actividad colectiva  | Ámbito de implementación  | Otros actores relevantes  |
|--|---|---|
| 1. Revisar la estructura de Conformación de los órganos Auxiliares del CCPY a nivel UP   | Órganos auxiliares  | OSC nacionales e internacionales  |
| 2. Reforzar y alinear las alianzas intermunicipales a nivel UP   | Órganos auxiliares  | Gobiernos municipales<br>OSC  |
| 3. Mejorar el entendimiento de la disponibilidad de agua a nivel UP  | Comités Técnicos de Aguas Subterráneas<br>Comités de los sectores academia e investigación y del sector ambiental<br>Comités y comisiones de cuenca<br>Grupos especializados de Trabajo en Saneamiento (GETES)                              | Centros de investigación locales, nacionales e internacionales<br>CONAGUA<br>Universidades<br>CONACYT<br>CONABIO<br>Consejos estatales de ciencia y tecnología<br>Organismos operadores<br>OSC<br>Fundaciones   |
| 4. Instrumentar un sistema de monitoreo a nivel UP en tiempo real para generar cobertura peninsular del sistema hidrológico  | Comités Técnicos de Aguas Subterráneas<br>Comités de los sectores academia e investigación y del sector ambiental<br>Comités de Playas limpias<br>Comités y comisiones de cuenca<br>Grupos especializados de Trabajo en Saneamiento (GETES) | Centros de investigación locales, nacionales e internacionales<br>CONAGUA<br>Universidades<br>CONACYT<br>CONABIO<br>Consejos estatales de ciencia y tecnología<br>Organismos operadores<br>COFEPRIS<br>Laboratorios de calidad de agua privados<br>OSC<br>Fundaciones |
| 5. Apoyar y articular líneas de investigación para incrementar el entendimiento del sistema hídrico y la capacidad de respuesta para la gestión hídrica resiliente y sustentable | Comités de los sectores academia e investigación y del sector ambiental   | Centros de investigación locales, nacionales e internacionales<br>CONAGUA<br>Universidades<br>CONACYT<br>CONABIO<br>Consejos estatales de ciencia y tecnología<br>Organismos operadores<br>OSC<br>Fundaciones   |
| 6. Fomentar la capacitación multinivel para el manejo de cuencas hidrológicas  | Grupos especializados de Trabajo en Comunicación y Cultura del Agua (GETECCA)<br>Comités de los sectores academia e investigación y del sector ambiental  | Universidades y colegios<br>Secretarías estatales de educación<br>OSC<br>Centros públicos y privados de capacitación<br>SEMARNAT<br>CONAGUA<br>Secretarías estatales de medio ambiente<br>Organismos operadores<br>Comunidades locales<br>CONAFOR                     |
| 7. Alinear el ordenamiento territorial con un enfoque hídrico y de riesgos   | Grupos especializados de Trabajo en Cambio  | SEDATU federal  |

| Actividad colectiva  | Ámbito de implementación                       | Otros actores relevantes  |
|--|--|---|
| a nivel UP y promover un sistema de alerta temprana con perspectiva de cambio climático a nivel peninsular   | Climático y Prevención de Desastres (GETCCyPD) | Secretarías de ordenamiento y desarrollo urbano estatales<br>FONATUR<br>SEMARNAT<br>Secretarías estatales de medio ambiente<br>Gobiernos municipales<br>Comunidades locales<br>OSC<br>CONAGUA<br>INECC      |
| 8. Incorporar la visión regional al proceso de negociación y asignación de presupuestos federales en materia de agua potable y saneamiento en poblaciones históricamente desatendidas. | CCPY y Órganos Auxiliares                      | CONAGUA<br>Gobiernos estatales y municipales<br>Organismos operadores<br>SHCP<br>Secretarías estatales de finanzas<br>Inversionistas privados<br>FONATUR<br>Fundaciones<br>OSC<br>Organismos multilaterales |

## Transparencia

Con el propósito de cumplir con el mandato de transparencia y rendición de cuentas, el PHR 2021-2024 estará disponible, a partir de su publicación, en el portal de transparencia de la página de internet de la Comisión Nacional del Agua: [www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx).

Asimismo, el seguimiento de los indicadores estará disponible en el mismo sitio.



# Glosario de Términos

## Acuífero

Formación geológica interconectada por donde circula lenta y continuamente el agua (IMTA 2019). En cada acuífero el agua permanece en el subsuelo y en ocasiones emerge naturalmente hacia la superficie en manantiales, cenotes, pantanos, cauces fluviales, humedales, o directamente al mar. Estos depósitos subterráneos naturales, pueden mantener extensiones de pocos kilómetros cuadrados hasta miles.

## Cambio climático

La CMNUCC, lo define como el “cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global, y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (IPCC, 2014a).

## Clima

Estado promedio de la atmósfera, de las capas de aire más cercanas a la superficie de la tierra y varía de un lugar a otro. Se caracteriza por tener una alta variabilidad a largo plazo, la que se ve reflejada en las magnitudes de los dos elementos más importantes del estudio: temperatura y precipitación pluvial. Los elementos del clima están influenciados por la celda anticiclónica de las Bermuda – Azores, por la presencia de vientos alisios, vaguadas polares, masas de aire polar, corrientes marítimas cálidas, depresiones, tormentas tropicales y huracanes (Orellana-Lanza 1999; Atlas de Peligros por Fenómenos Naturales del Estado de Yucatán 2013).

## Descarga Natural Comprometida

Fracción de la descarga natural de un acuífero, que está comprometida como agua superficial para diversos usos o que debe conservarse para prevenir un impacto ambiental negativo a los ecosistemas o la migración de agua de mala calidad a un acuífero.

## Erosión Costera

Cuando entre dos estados o momentos distintos de una playa, la línea de orilla está corrida tierra adentro en el estado más reciente.

## Gestión de riesgo

Implica acciones de prevención y mitigación, reduciendo los daños derivados de peligros geológicos e hidrometeorológicos, e incendios forestales.

## Índice de Desarrollo Humano

Es un indicador, elaborado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, que se utiliza para clasificar a los municipios o localidades en cuatro niveles de desarrollo: Muy Alto, Alto, Medio Bajo. El índice está compuesto por la esperanza de vida, la educación e indicadores de ingreso per cápita.

## Marea de tormenta

A veces recibe los nombres de marejada ciclónica, surgencia de tormenta e incluso oleada de tormenta. Se refiere al aumento anormal del nivel del mar provocado por un huracán u otra tormenta intensa por encima de la marea astronómica prevista o normal. Su causa principal es la acción de los vientos del huracán, que empujan el agua sobre la costa, aunque la baja presión en el ojo del sistema contribuye en parte, pero en mucha menor medida. En particular, la marea de la tormenta es el aumento del nivel del mar que ocurre al sumarse la marejada ciclónica a la marea astronómica, lo cual significa que el nivel del agua será particularmente alto cuando la marejada ciclónica coincide con la pleamar. El grado de aumento del nivel del mar generado por la marejada ciclónica es la diferencia en la costa entre el nivel observado de la superficie del mar y el nivel que se hubiera producido en ausencia del ciclón tropical.

## Peligros geológicos

Procesos, situaciones o sucesos que pueden generar un daño económico o social a una comunidad o población.

## Rezago social

Medida ponderada que resume las carencias sociales de la medición de pobreza del CONEVAL: Rezago educativo; Acceso a los servicios de salud, Acceso a los servicios básicos en la vivienda y Calidad y espacios en la vivienda (CONEVAL 2016). Con finalidad de dar cuenta del rezago social relacionado con las carencias sociales derivadas de no contar con acceso a condiciones sanitarias, acceso a agua potable y disponibilidad de drenaje, se presenta a continuación algunos indicadores de rezago social en las UPs y Estados de la PY.

### **Riesgo**

Probabilidad de que una amenaza se convierta en desastre. La vulnerabilidad o las amenazas, por separado no representan un peligro. Pero si se juntan, se convierten en un riesgo.

### **Sequía**

Existen diversas definiciones de sequía. Por ejemplo, la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1992), en su Vocabulario Meteorológico Internacional, define a la sequía como: "Un periodo de tiempo con condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitación cause un grave desequilibrio hidrológico". Por su parte, la Organización de las Naciones Unidas, en su documento de la Convención de Lucha Contra la Desertificación (ONU, 1994) define la sequía como: "fenómeno que se produce naturalmente cuando las lluvias han sido considerablemente inferiores a los niveles normales registrados, causando un agudo desequilibrio hídrico que perjudica los sistemas de producción de recursos de tierras", mientras que para la SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; SIAP, 2012), la sequía se define como un desbalance temporal de la disponibilidad hídrica con una precipitación persistente menor que el promedio y una frecuencia, duración y severidad inciertas.

### **Subsidencia**

Colapso repentino o descenso gradual de la superficie de la Tierra con poco o nada de movimiento horizontal. El movimiento no se restringe a taza, magnitud o área involucrada. La subsidencia puede ser causada por procesos geológicos naturales, tales como la disolución, deshielo, compactación, torsión lenta de la corteza, o enfriamiento de lava fluida por debajo de una corteza solida; o por actividad humana, tal como minado del subsuelo o extracción de aceite, vapor o agua subterránea" (Atlas de Peligros Naturales del Estado de Yucatán, 2013).

### **Vulnerabilidad**

El grado de susceptibilidad a que las aguas subterráneas se contaminen con algún elemento, en concentraciones por encima de los valores recomendados por la OMS, para la calidad del agua de consumo humano (Foster e Hirata, 1991).

### **Zona de veda**

De acuerdo con el Artículo 3, fracción LXV de la LAN se define como aquellas áreas específicas de las regiones hidrológicas, cuencas hidrológicas o acuíferos, en las cuales no se autorizan aprovechamientos de agua adicionales a los establecidos legalmente y éstos se controlan mediante reglamentos específicos, en virtud del deterioro del agua en cantidad o calidad, por la afectación a la sustentabilidad hidrológica, o por el daño a cuerpos de agua superficiales o subterráneos.

# Programa Hídrico Regional 2021-2024

## Región Hidrológico-Administrativa XII Península de Yucatán

### Reconocimientos



R Í O A R R O N T E  
— F U N D A C I Ó N —



**Ithaca**  
**Environmental**

### Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán



Consejo de Cuenca  
de la  
Península de Yucatán

Gonzalo Merediz Alonso

Presidente

### Comisión Nacional del Agua



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



**CONAGUA**  
COMISION NACIONAL DEL AGUA

Germán Martínez Santoyo  
Mónica Lucero López Aguilar  
Jose Alfredo Galindo Sosa  
José Luis Acosta Rodríguez  
Joel González Cabral  
Alejandro Pérez Enriquez  
David Robles Hernandez  
Andrés Eduardo Galván Torres  
Juan Enrique Araiza Rodríguez  
Juan Ángel Mejía Gómez  
Victor Manuel Guillermo y Maldonado  
Arturo Guzmán Sánchez  
Rafael Chan Antillón  
Rosalinda Colín Morales  
Erika Ramírez Méndez  
Juan Ramón Díaz Calderón  
Diego Damián Caudillo Castillo

## Fundación Río Arronte

### Financiamiento

El Programa Hídrico Regional 2021-2024 de la Región Hidrológico-Administrativa XII Península de Yucatán se hizo gracias al financiamiento por parte de:



**R Í O A R R O N T E**  
FUNDACIÓN

Jesús Reyes Heroles G.G.  
Francisco J. Mayorga Castañeda  
Javier Moctezuma Barragán  
Laura Martínez Pepin Lehalleur

Presidente  
Presidente – Comité de Agua  
Director General  
Directora de Agua

### Amigos de Sian Ka'an



### Gestión de Proyecto “Integración del Programa Hídrico Regional 2021-2024 de la Región Hidrológico-Administrativa XII Península de Yucatán”

Gonzalo Merediz Alonso

Director Ejecutivo

### Conducción del Proceso e integración del “Programa Hídrico Regional 2021-2024 de la Región Hidrológico-Administrativa XII Península de Yucatán”: Ithaca Environmental



Coordinación General  
Coordinación del Ejercicio Participativo  
Fabricio Brodziak de los Reyes  
Coordinación Técnica  
Eduardo Adolfo Batllori Sampredo

Director de Impacto y Estrategia Social

Investigador Asociado  
Investigador Adscrito al Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV), Unidad Mérida, Instituto Politécnico Nacional (IPN)  
Consultora GESIA

Sophie Canto Mendiburu  
Coordinación Técnica Componente de Cambio Climático  
Arnoldo Matus Kramer  
Integración Análisis Técnico, Integración Análisis sobre el Cambio Climático,

Director

**Coordinación Sistematización del Proceso Participativo**

Ariel Goldin Marcovich

Coordinador de Cambio Climático

**Elaboración de escenarios de cambio climático de precipitación y temperatura**

Gabriela Colorado Ruiz

Investigadora, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE)

**Elaboración de escenarios de recarga de aguas subterráneas bajo efectos de cambio climático**

Edgar Rodriguez-Huerta

The Rights Lab, University of Nottingham

**Integración documento final**

Alma Rosa Huerta Vergara

Consultora

**Integración de datos, mapas y figuras**

Roxana Fonseca Rodriguez

Consultora

**Facilitación**

Ismael Arce Estrada

Consultor

Abril Cid Salinas

Consultor

Pedro Esponda Aguilar

Consultor

Laura Siqueiros Fernández

Consultora

Brenda Torres Aguilar

Consultora

**Análisis de mecanismos de financiamiento**

Claudia Gimeno Siehr

Consultora

**Diseño**

Laura Siqueiros Fernández

Consultora

**Equipo de voluntarios jóvenes para fomentar la participación de Pueblos y Comunidades Indígenas**Coordinadora  
Yamili Maritza Salazar KuDirectora General y Fundadora, GIPS  
BACAB A.C.**BACAB**

Gestión Integral de Proyectos Sustentables

**Reuniones Comunitarias Presenciales****Coordinador**

José Abraham Lugo Ávila

**Facilitadores (Comunidades: Chenkeken, Sucopo, Kabichen y San Pedro Juárez, total 72 participantes)**

Elda Yulai Gómez Rosado

Francisco Javier Pacheco Cauich

Geovany Alejandro Canche Chimal

Joel Enrique Pool Chan

Jonhatan Josué Uuh Noh

Manuela de Jesús Güemez Ku  
María Angélica Nájera Noh  
Shalon Gezabel Rojas Cayetano  
Teresita de Jesús Chan López

**Entrevistas telefónicas (73 entrevistas telefónicas realizadas a miembros de pueblos y comunidades indígenas en más de 25 municipios de los tres estados)**

Carolina Chacón Marín  
Ezequiel Palma Hernández  
Gladis Luceli Uc Flores  
Jaime Villareal Lozoya  
Jose Abraham Lugo Ávila  
Licia Yael Uicab Noh  
Lucía Amaro  
Luis Alberto Carrillo Can  
María Isabel Villanueva Tuz  
Valeria Galicia Palafox

**Traductora (Maya)**

Amadee Colli Colli                      Amigos de Sian Ka'an

**Equipo de Entrevistadores Presenciales (Comunidades o localidades: Javier Rojo Gómez, Cozumel, Río Hondo, Punta Allen, Raudales, Calderas Barlovento, Puerto Morelos con un total de 110 entrevistas)**

|                        |                      |
|------------------------|----------------------|
| Alonso Serna Medina    | Amigos de Sian Ka'an |
| Cornelio Baas Falcón   | Amigos de Sian Ka'an |
| Liliana García Ramírez | Amigos de Sian Ka'an |
| Marai Tello Leyva      | Amigos de Sian Ka'an |
| Nori Velázquez Juárez  | Amigos de Sian Ka'an |
| Rosa María Loreto      | Amigos de Sian Ka'an |
| Rosario Yah Canul      | Amigos de Sian Ka'an |



Mateo Sabido

Instituto de Biodiversidad y Áreas Naturales Protegidas del Estado de Quintana Roo (IBANQROO)

Tomás Sánchez Cabrera

Instituto de Biodiversidad y Áreas Naturales Protegidas del Estado de Quintana Roo (IBANQROO)



**IBANQROO**  
INSTITUTO DE BIODIVERSIDAD Y ÁREAS NATURALES  
PROTEGIDAS DEL ESTADO DE QUINTANA ROO

**Anexo I Balance por Acuífero**

**Anexo II Balance por unidad de planeación**

**Anexo III Descripción metodológica sobre el cálculo de recarga en el balance hídrico por unidades de planeación**

**Anexo IV Vulnerabilidad del acuífero**

**Anexo V Producción agrícola**

**Anexo VI Total de retornos de aguas residuales**

**Anexo VII Suelos y funciones de pedotransferencia**

**Anexo VIII Acumulación de sargazo en el litoral oriente de la península de Yucatán**

**Anexo IX Gestion de riesgos y peligros**

**Anexo X Cambio climático y manejo hídrico**

**Anexo XI Alineación con los objetivos nacionales e internacionales (CDB)**

**Anexo XII Alineación con los objetivos nacionales e internacionales (PROAGUA)**

**Anexo XIII Alineación con los objetivos nacionales e internacionales (Hidroagrícola)**

**Anexo XIV Indicadores**

**Anexo XV Cartera de proyectos PHR 2021-2024**

**Referencias**

