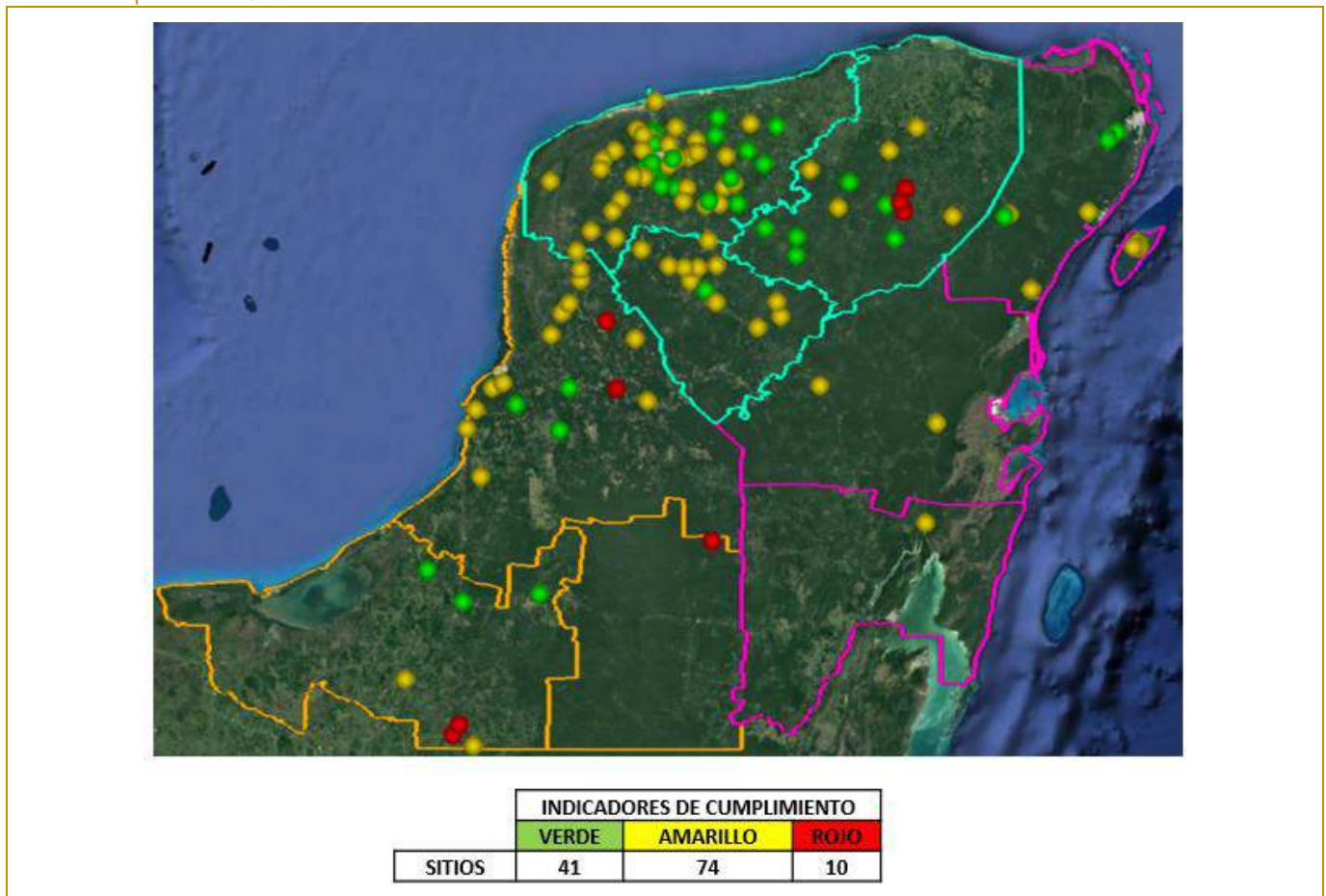


Para el 2020, el monitoreo de calidad del agua ofrece los siguientes resultados (Figura 74): Del total de 125 sitios, 41 (46%) presentan una calidad excelente, 74 sitios (49%) presentan una calidad aceptable, prestándose valores significativos en los parámetros de SDT, Conductividad y Dureza, que son 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>

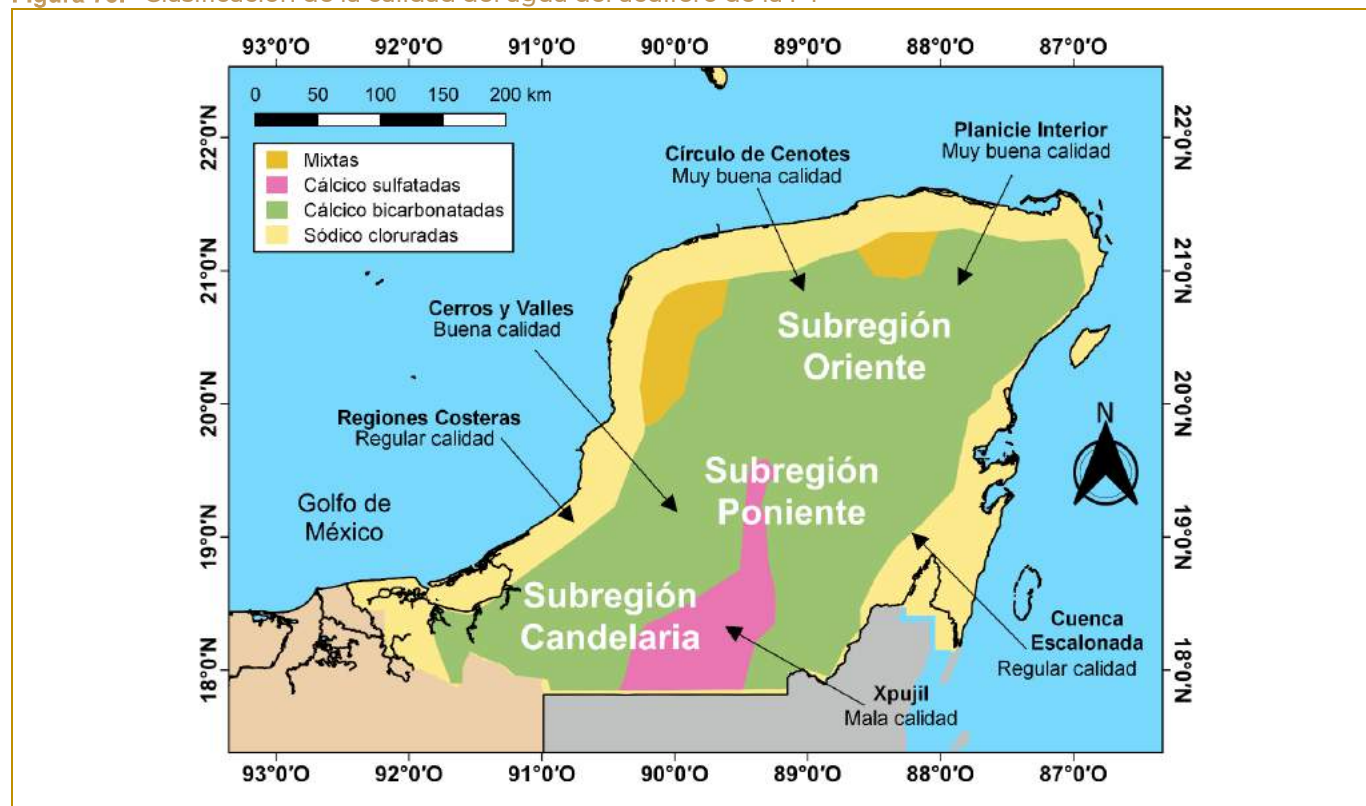
1.7.2 Calidad del agua subterránea en el acuífero kárstico de Yucatán

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).

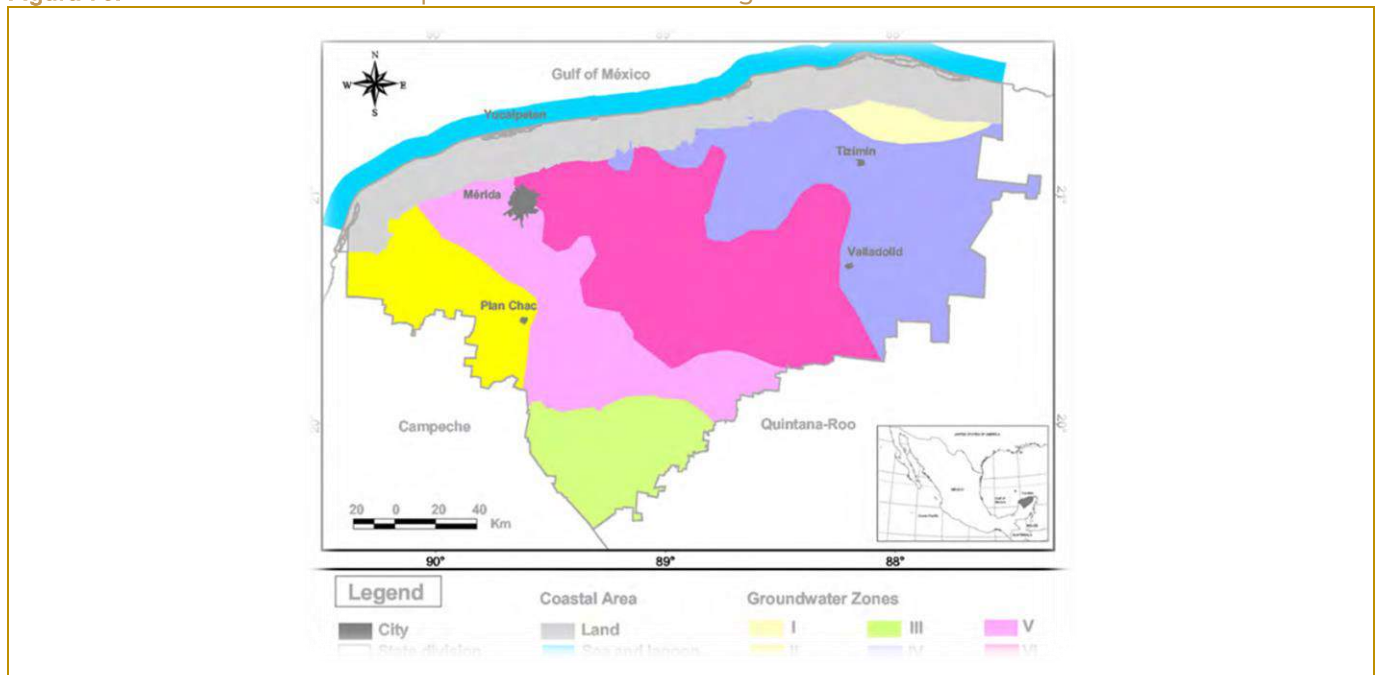
Una herramienta útil para tomar decisiones en relación con la calidad de agua es el uso de índices que utilizan muchos agrónomos, entre los que destacan, la conductividad eléctrica (EC), la relación de adsorción de sodio (SAR), salinidad potencial (PS), presencia de cloro (Cl) y salinidad efectiva (ES). 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⁻¹ 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⁺) en relación con la concentración de calcio y magnesio (Ca²⁺ + Mg²⁺), 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⁻¹, 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 SO₄²⁻ y Cl⁻, 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 km², 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 km² 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 km² 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 km² 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 km² 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 km² 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 km², 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 km² 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.

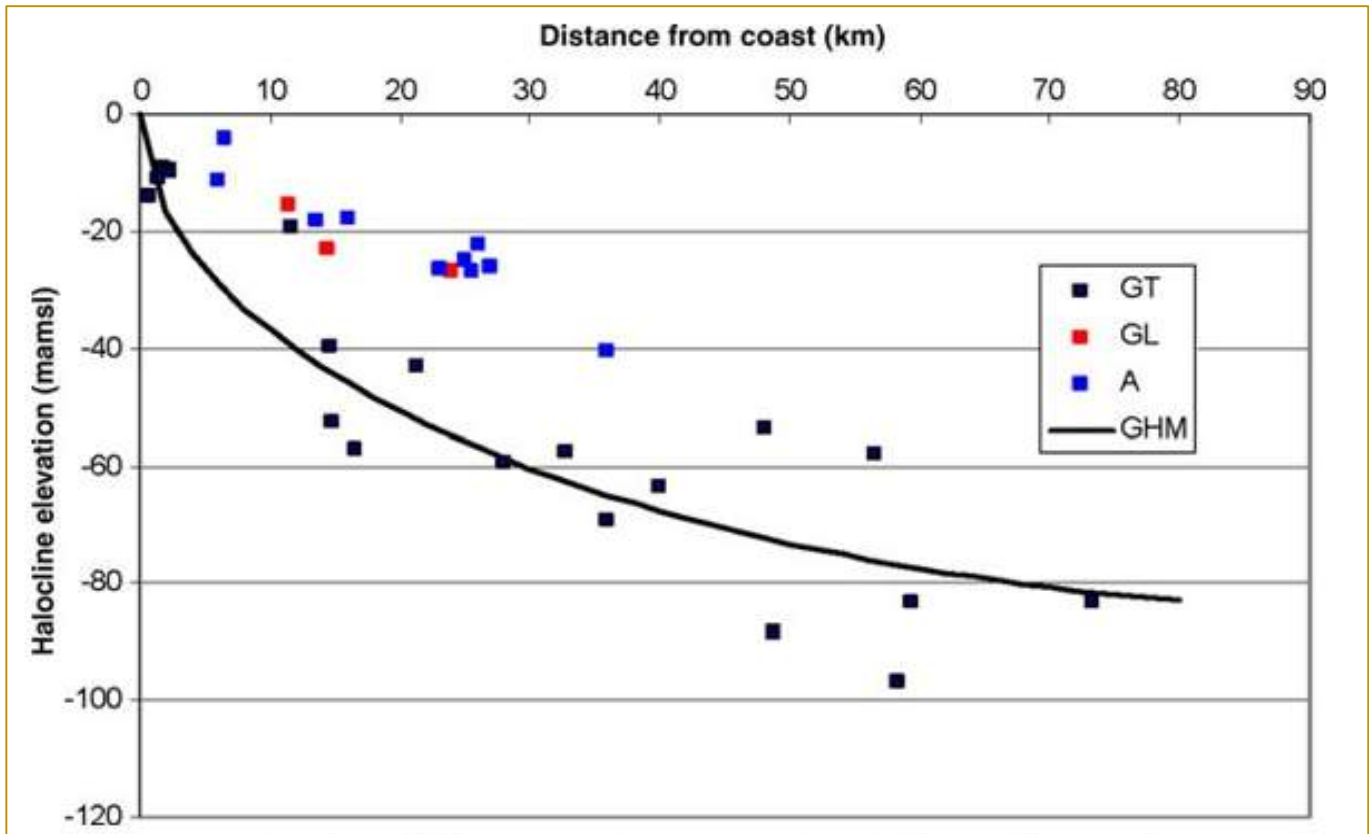
La Figura 77 sintetiza el estado actual del conocimiento sobre el agua dulce de la interfaz de la PY. Los datos de elevación de la interfaz se trazan junto con un modelo Ghyben-Herzberg unidimensional simple del acuífero costero (Beddows, 2004), no estacionario, verticalmente heterogéneo. Los campos 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⁻¹ 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 ¹⁴C 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 Rivera 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 m³ 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).

Tabla 57. Resultados generales del semáforo de calidad de agua

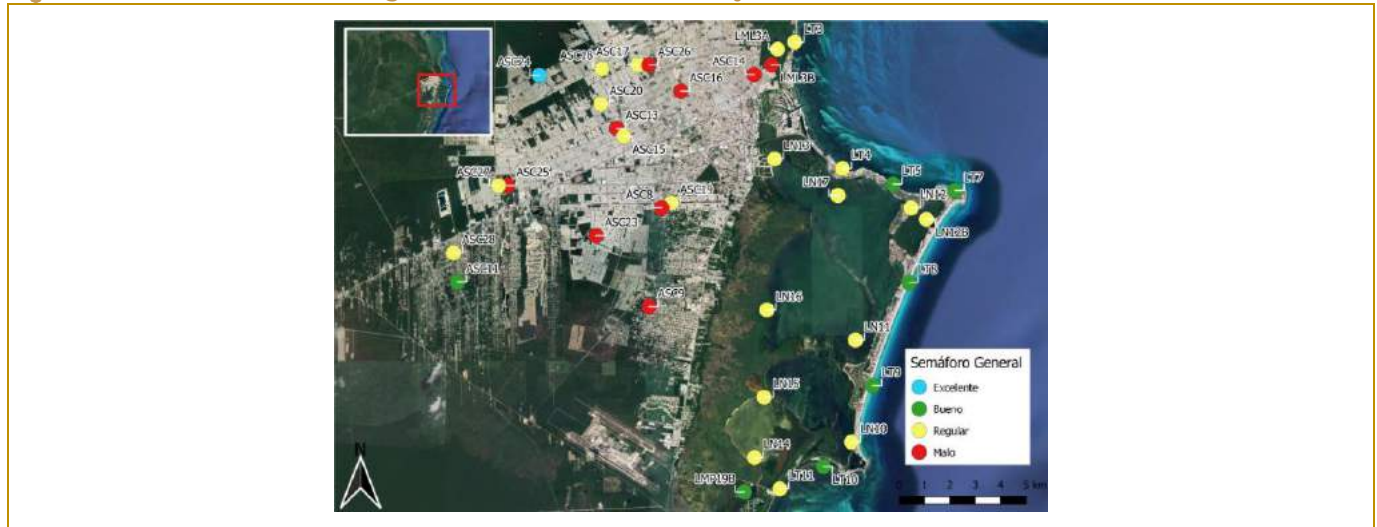
Sitio de monitoreo	Semáforo	Conclusión
Sistema Lagunar Nichupté	Regular	Presenta condiciones mesotróficas a eutrófica
Sistema Lagunar Chacmochuch	Regular	Se presenta un estado eutrófico
Zona Litoral	Regular a buena	
Pozos en Zonas de Captación	Excelente	Se requiere de un sistema de desinfección para 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 sólidos 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)

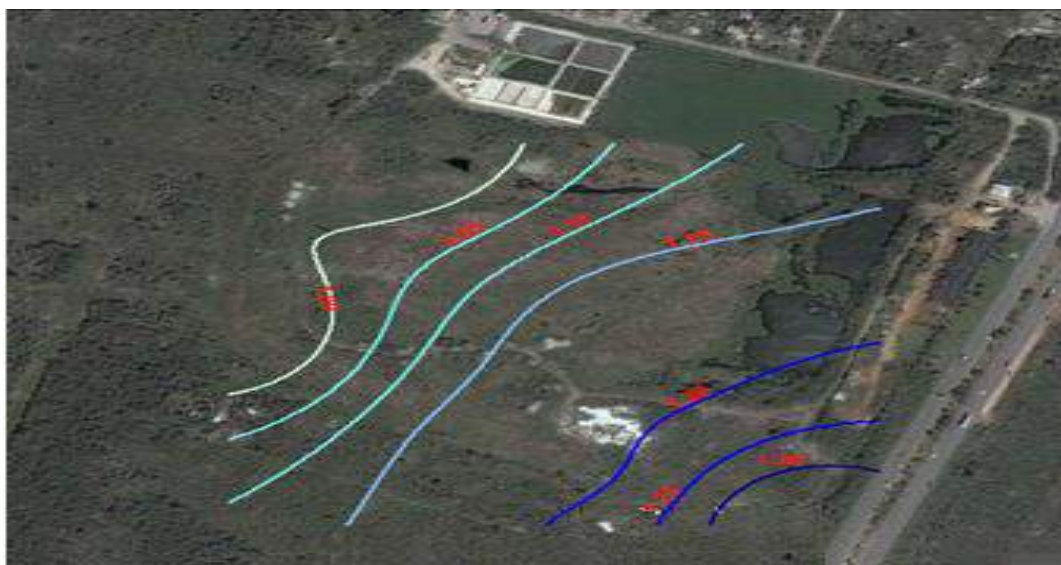
Por lo anterior, es necesario desarrollar más investigación para lograr un mejor diagnóstico de las aguas subterráneas de la Ciudad de Cancún y zona conurbada asociada a la laguna Nichupté analizando los niveles de variables físico-químicas y sanitarias presentes y caracterizando la presencia de aguas 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.

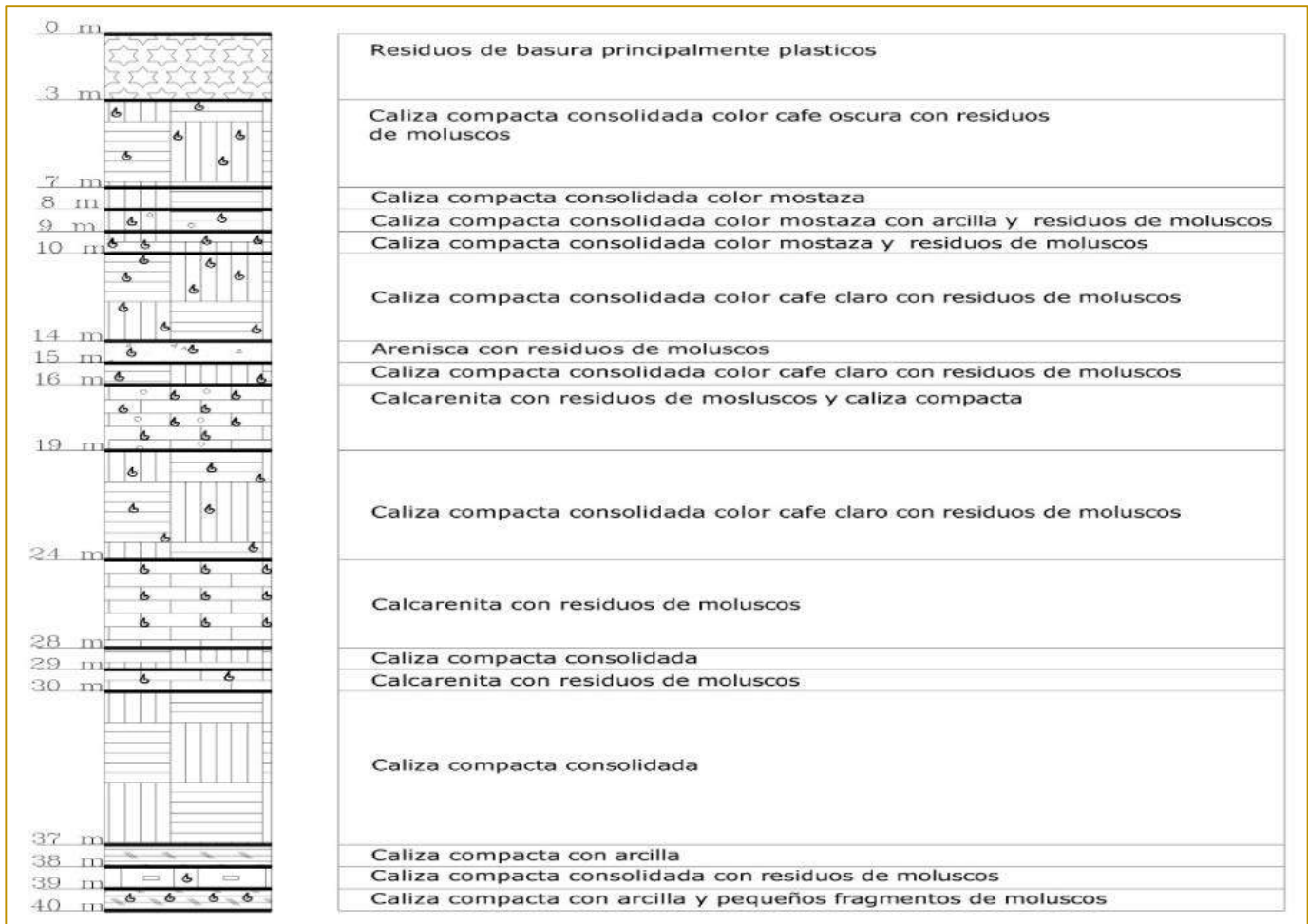
Figura 81. Ubicación de los pozos de muestreo de agua



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.

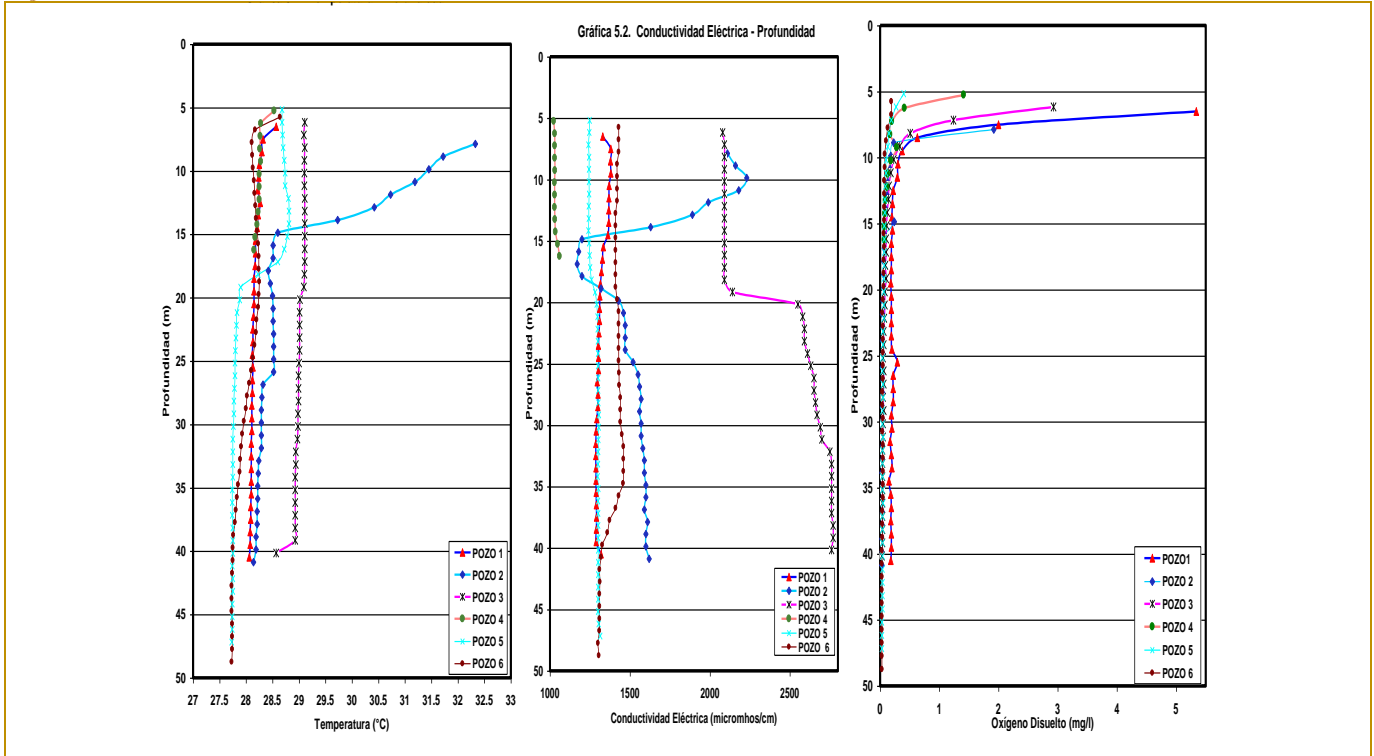
Figura 82. Corte litológico del Pozo 2 del ex basurero de Mérida, Yucatán



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

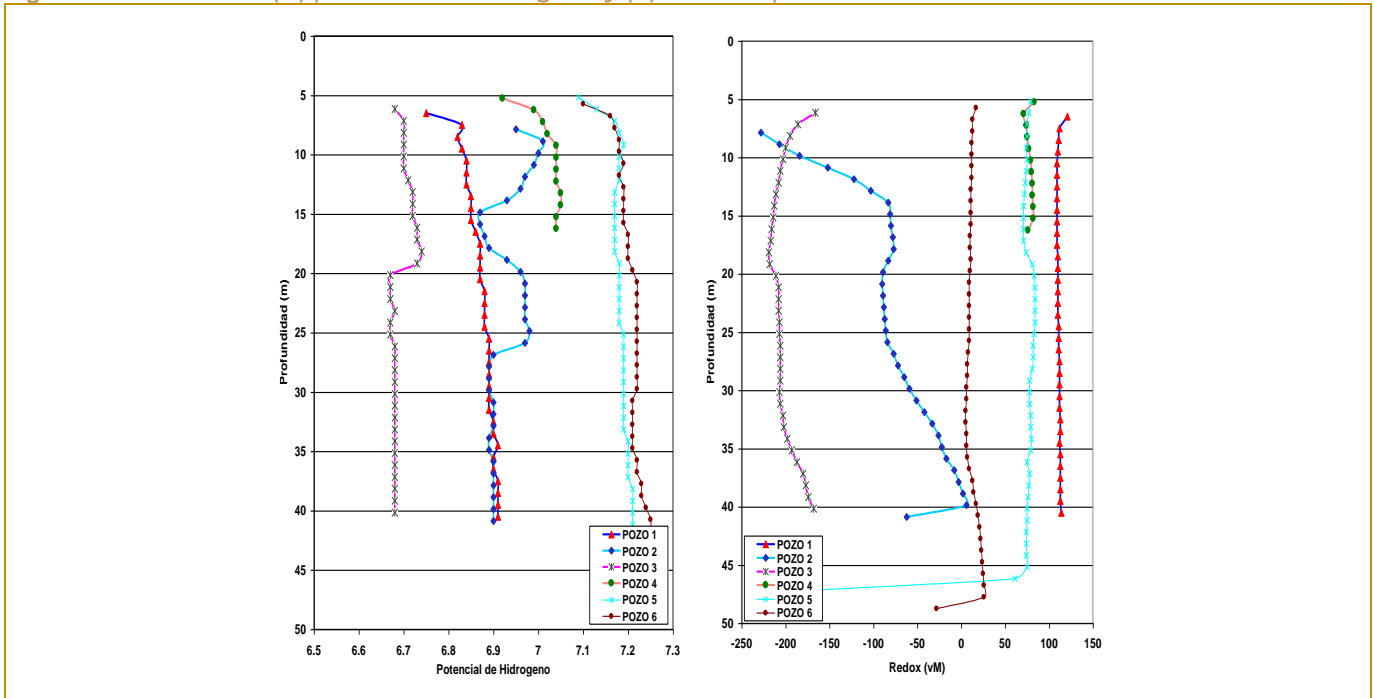
Comparando el comportamiento de cada parámetro en los pozos, se observa que la conductividad eléctrica y la temperatura presentaron aumento de acuerdo con la dirección de flujo para disminuir al pasar por la zona de la basura; indicando así el efecto de la infiltración de los lixiviados generados por 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 rof	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	HCO3 (mg/L)	Cl (mg/L)	SO4 (mg/L)	NO3 (mg/L)	NKT (mg/L)	NH4 (mg/L)	N. Org (mg/L)	NO2 (mg/L)	Col. tot. NMP/100 mL	Col. fec. NMP/100 mL
POZO 1/ 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/ 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/ 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/ 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/ 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 2/10 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 2/20 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 2/30 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/ 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 3/10 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 3/20 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 3/30 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/ 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 4/10 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/ 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 5/10 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 5/20 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 5/30 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 5/40 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/ 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 6/10 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 6/20 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 6/30 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 6/40 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 rof	STD (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	C. Org. (mg/L)	Mn (mg/L)	Ni (mg/L)	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Hg (µg/L)	As (µg/L)
POZO 1/ 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/ 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/ 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/ 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

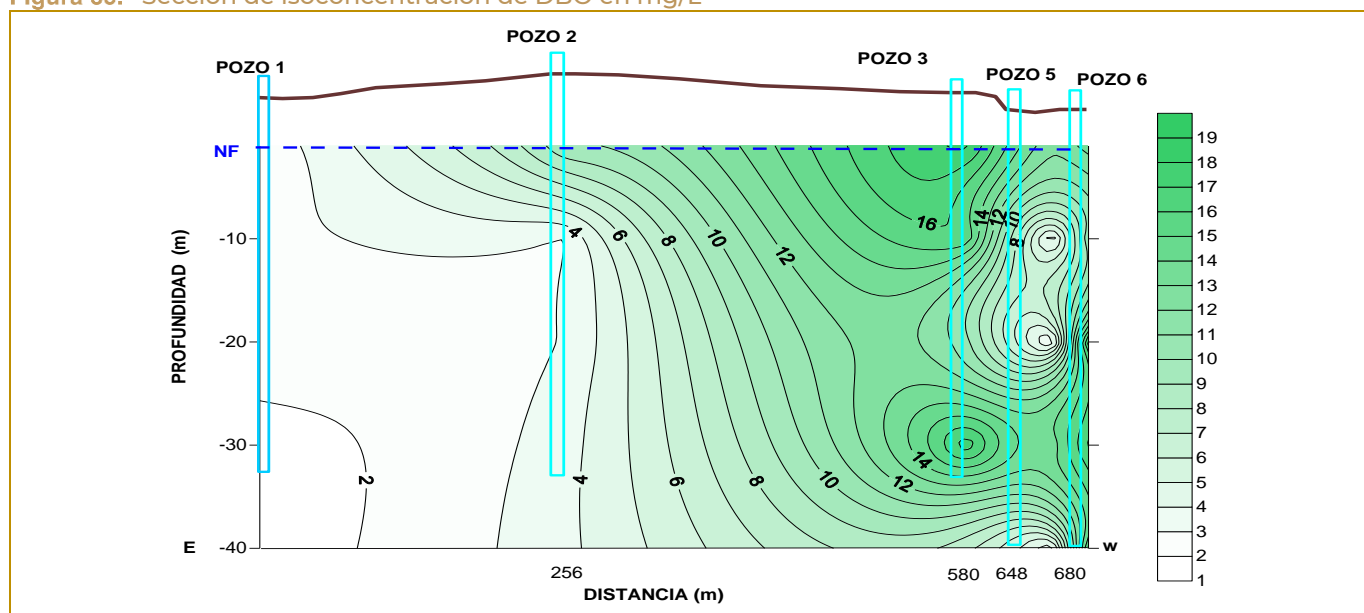
POZO 2/ NF	1 371.5	379.91	9.85	167.20	0.043	0.112	0.175	N.D.	N.D.	0.076	N.D.	1.958	23.68	4.688
POZO 2/10 m	780.0	40.32	2.94	95.77	0.031	0.168	0.043	N.D.	N.D.	0.149	N.D.	0.978	2.000	3.484
POZO 2/20 m	1 020.5	37.05	3.12	111.10	0.033	0.183	0.049	N.D.	N.D.	0.148	N.D.	1.257	51.250	6.884
POZO 2/30 m	1 046.5	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	1 794.0	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).

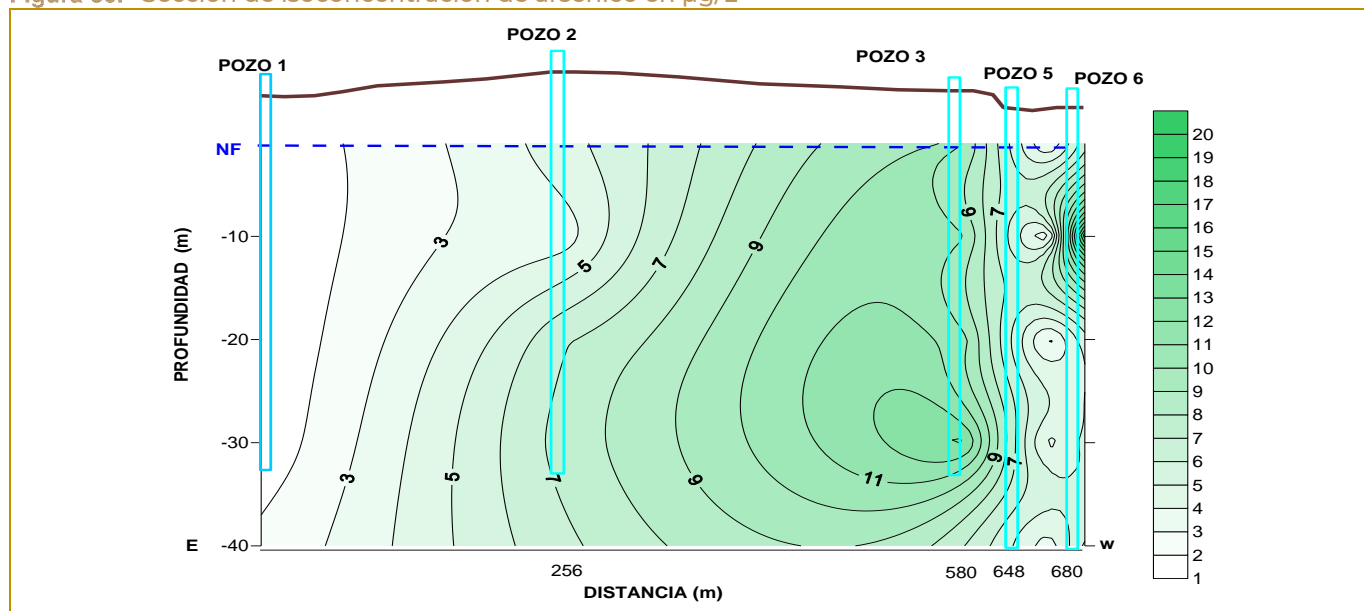
En general se observa el efecto de la infiltración de los lixiviados de la basura acumulada en el área, ocasionando así contaminación del acuífero en esa zona. En general, se observó el efecto que causó en la calidad de agua subterránea la infiltración de los lixiviados de la basura acumulada en la parte 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).

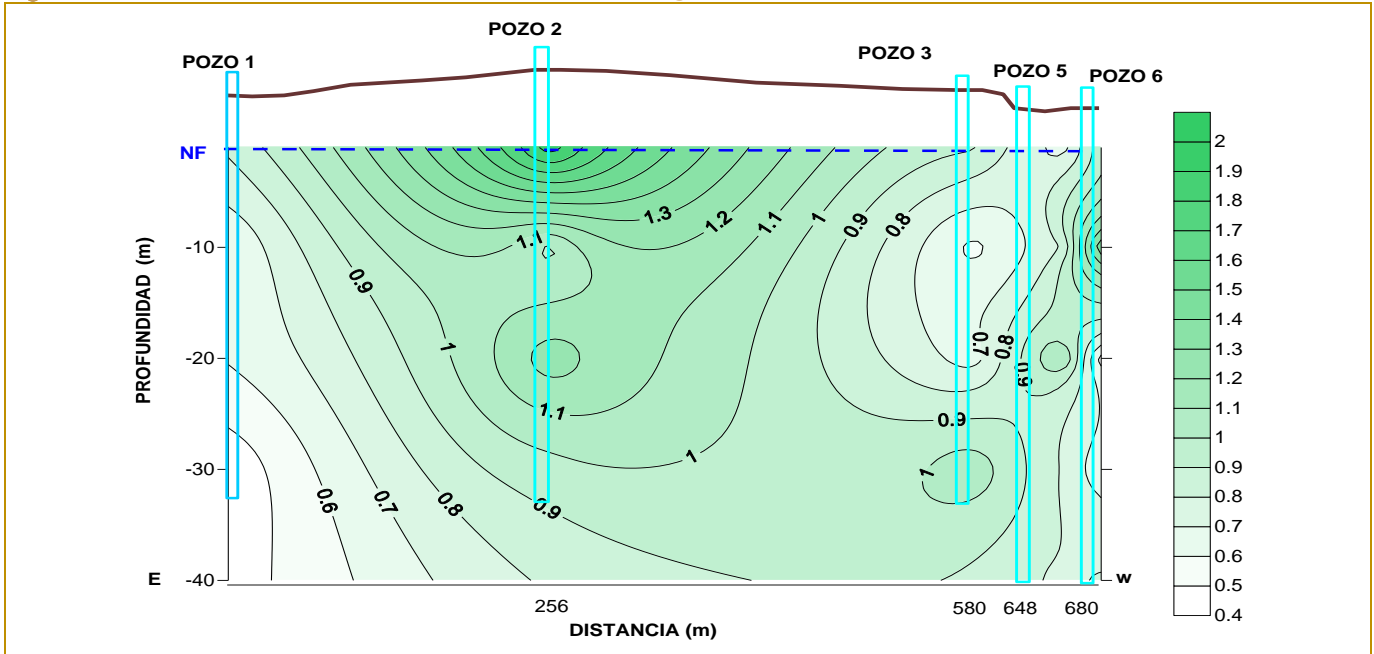
Figura 86. Sección de isoconcentración de arsénico en $\mu\text{g/L}$



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

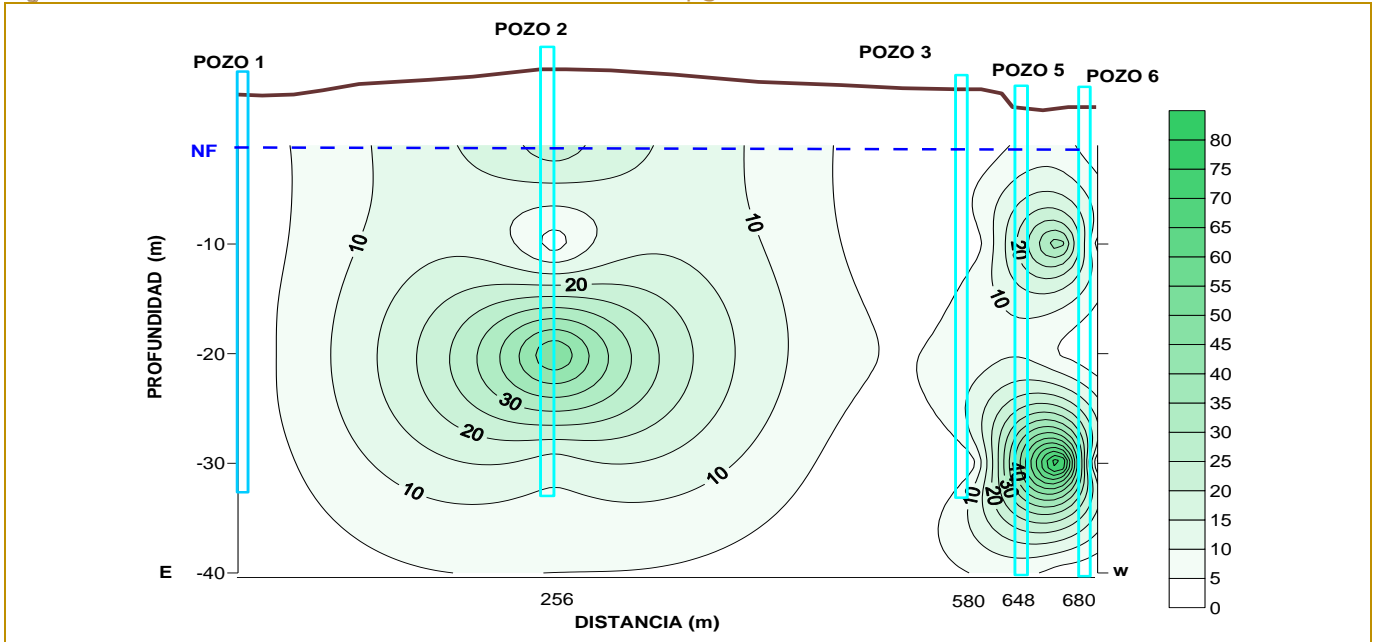
La concentración de hierro varió entre 0.436 y 1.958 mg/L. Se presentó la mayor concentración a nivel freático en el pozo 2 disminuyendo horizontal y verticalmente en forma radial (Figura 87). La alta concentración en el pozo 2 es debido a la infiltración del lixiviado de la basura acumulada en esa zona, 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 $\mu\text{g/L}$. 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 $\mu\text{g/L}$

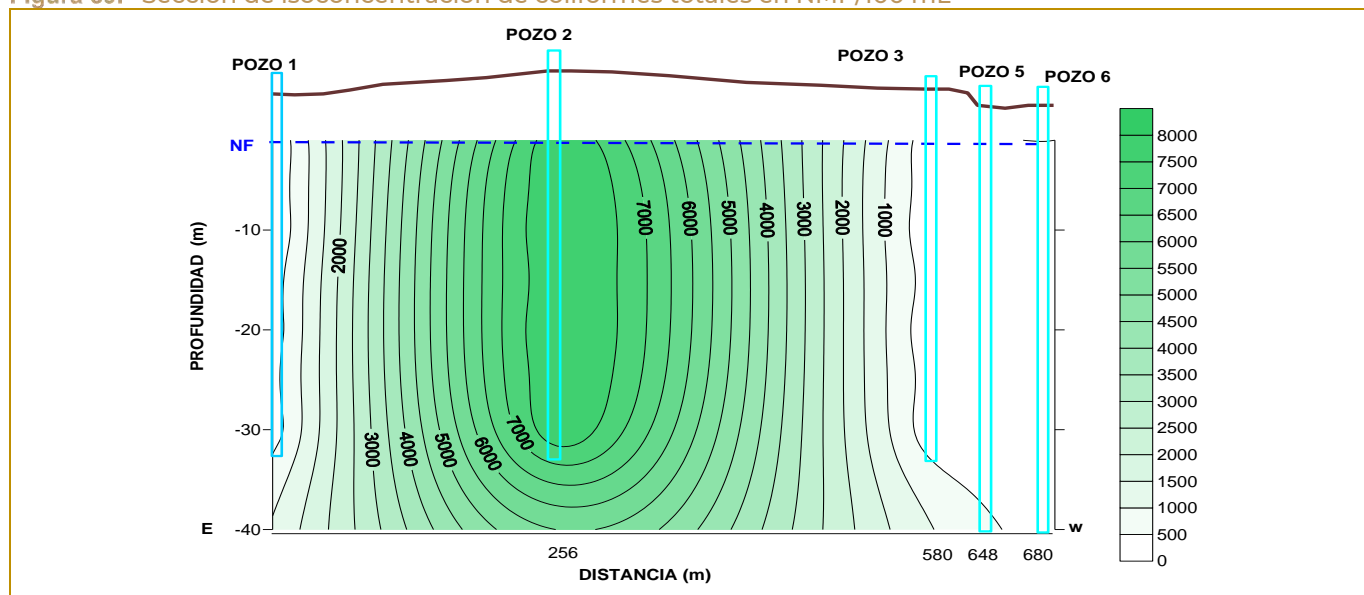


Fuente: Facultad de Ingeniería de la UADY (2008).

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.

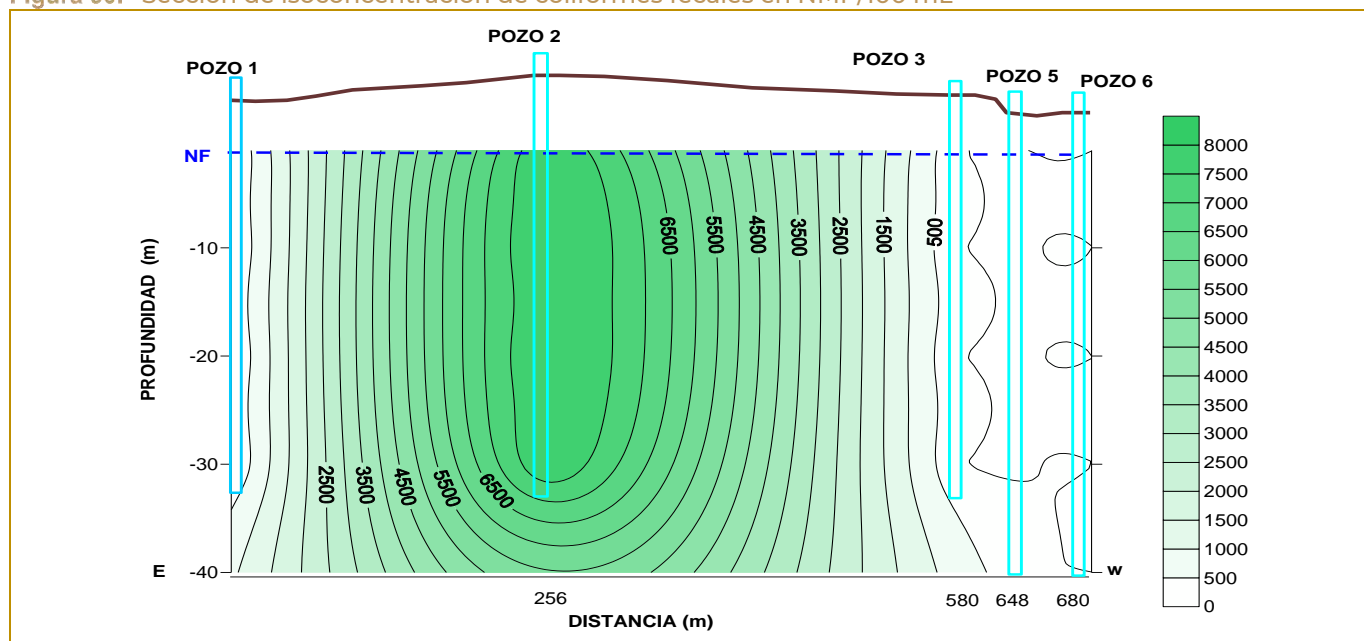
Figura 89. Sección de isoconcentración de coliformes totales en NMP/100 mL



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 O₂/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 (SO₄), bicarbonatos (HCO₃), carbonatos (CO₃), sólidos disueltos (SD), sanitarios: nitratos (NO₃), nitrógeno Kjeldhal total (NKT), amonio (NH₄), nitritos (NO₂), 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)



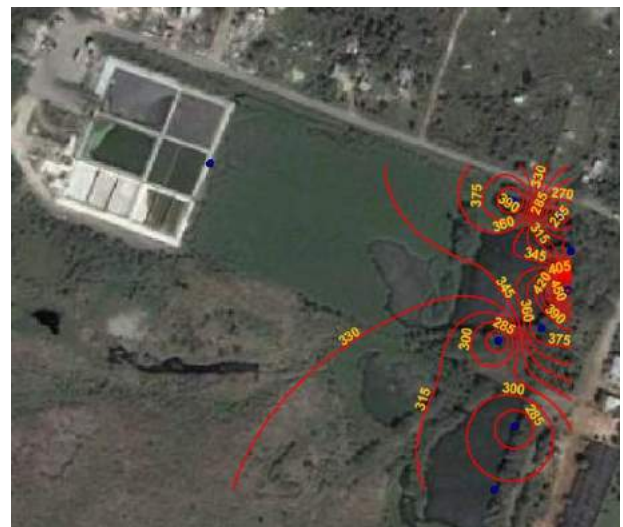
Fuente: Facultad de Ingeniería de la UADY (2008).

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 ₂ --	NO ₃ -	DQO	DQO	DBO	PO ₄₃ -	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 ₄₂ -	Cl-	HCO ₃ -	Ca ²⁺	Mn ²⁺
	orgánico	totales	fijos	volátiles	totales	fecales					
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	NMP/ 100 mL	NMP/ 100 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 ³
Aguas de desecho de nixtamal	180 m ³
Servicios públicos municipales	22 m ³
Otros servicios (industriales de proceso)	30 m ³
Total	748 m³

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).

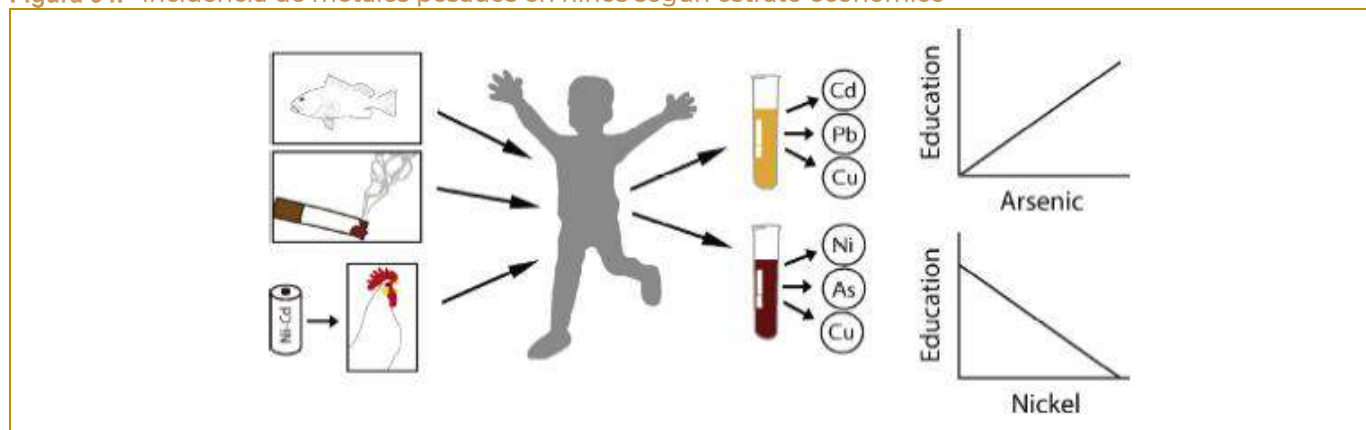
Los resultados mostraron que todos los pozos contenían plomo, cromo (excepto el pozo 4) y cadmio por encima de 0.05 mg/litro, que es el valor máximo permisible de acuerdo con las normas emitidas por el sector salud. En al menos 2 casos las concentraciones de plomo superaron valores de 1 mg/l, el cual 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 O₂ 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 m³ 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.

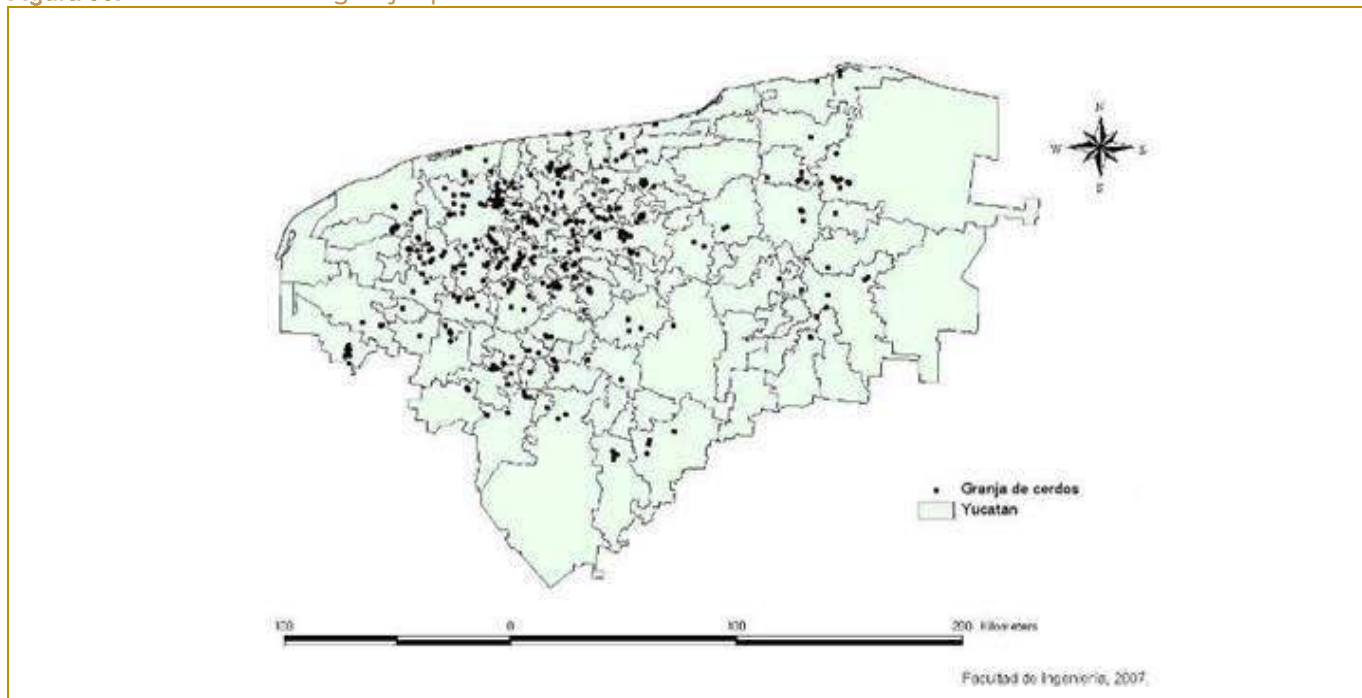
En el año 2007, según el INEGI se tenía una población de 793,702 cerdos, que generaron 83,052 toneladas de carne en canal por año, lo que representaba el 45% de la población ganadera y el 37% de la producción respectivamente. Para el año 2009, según un estudio realizado por la UADY, la población total 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 m³/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 / totales	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Vientres 7 117	185	1 981	1 178	132	125	70	41	276	923	896	90	467	753
Destetes 16 402	356	6 226	1 271	597	493	183	104	600	1 406	2 118	250	1 158	1 640
Engorda 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 266	18	69	22	14	10	9	7	18	36	28	1	18	16
Total 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/ totales	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
INEGI 2007 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 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 excretas (kg/día) 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 líquido (lt/día) 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 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 m³ de purines contiene: 7.6 kg de nitrógeno total; 6.5 kg de fosfatos (P₂O₅); 7.2 kg de potasio (K₂O); 47 kg de DQO; 25 kg de DBO₅, 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/km², Tekanto con 1,548 kg/km², Abalá con 1,471 kg/km² y Muxupip con 1,119 kg/km².

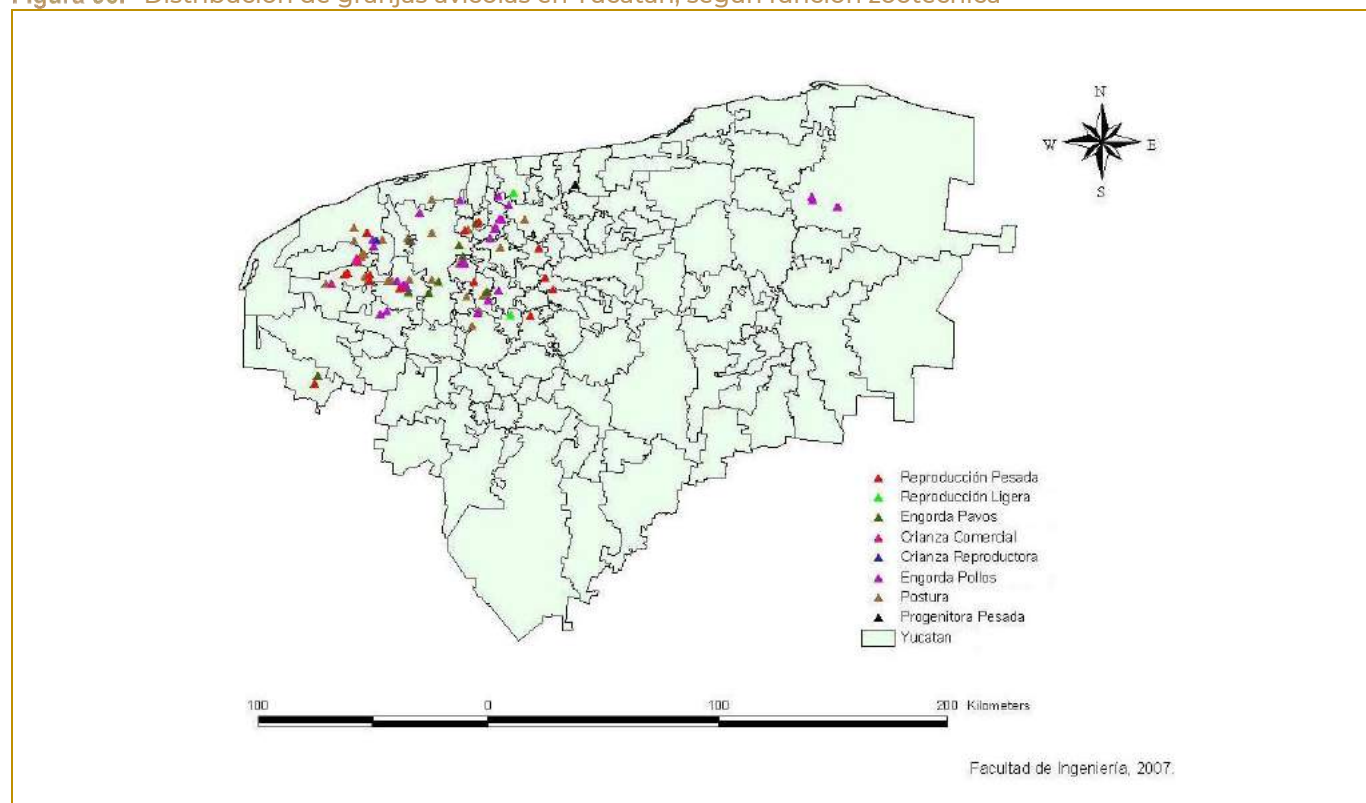
Si los desechos sólidos son depositados directamente al suelo, se produce una alta contaminación orgánica tanto al suelo como al acuífero. La producción de gallinaza, y su descomposición amoniacal puede acumularse a tal grado en el suelo que, en vez de ser un abono, mata cualquier forma de vida vegetal. 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).

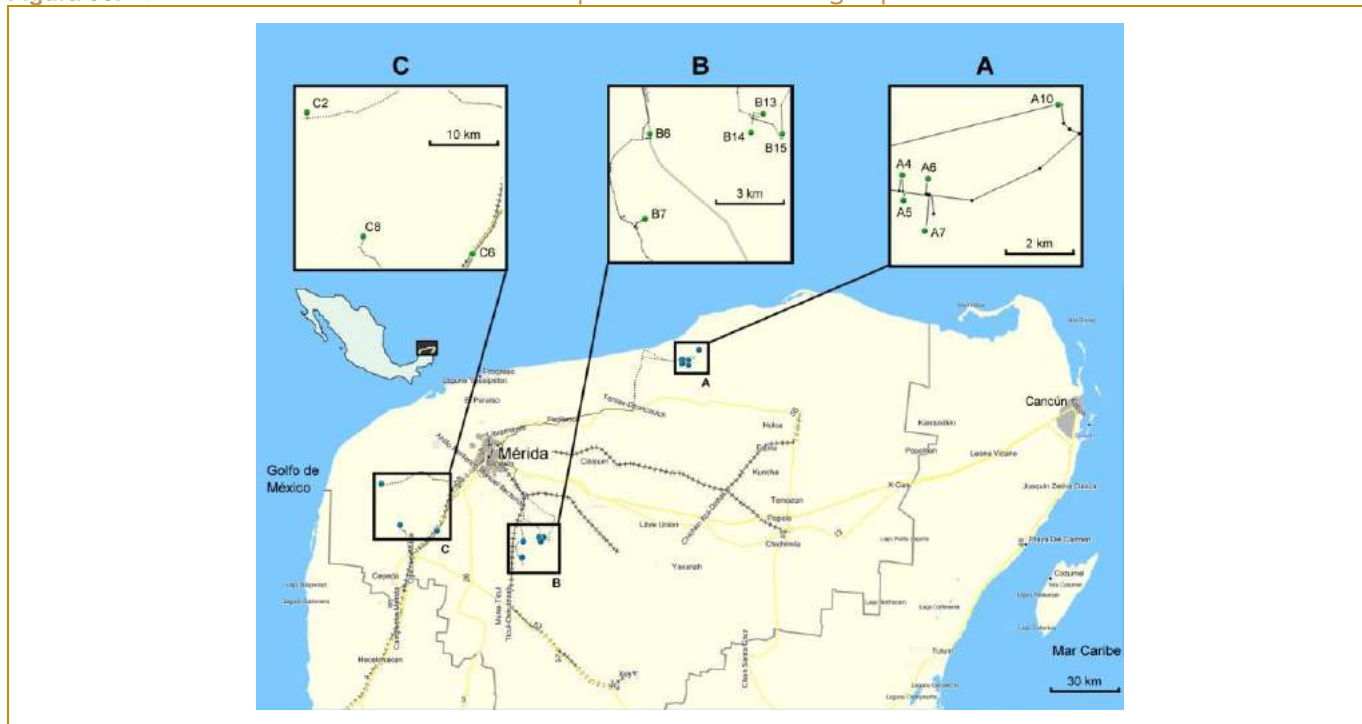
En peces, la clase de isoenzimas que son responsables de la biotransformación de una gran cantidad de compuestos xenobióticos (PAH, PCB, dioxinas etc.) es la subfamilia CYP1A (Goksoyr y Forlin 1992, Stegeman y Hahn 1994, citada por Rodríguez Fuentes 2010).

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 cebr (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 cebr 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.

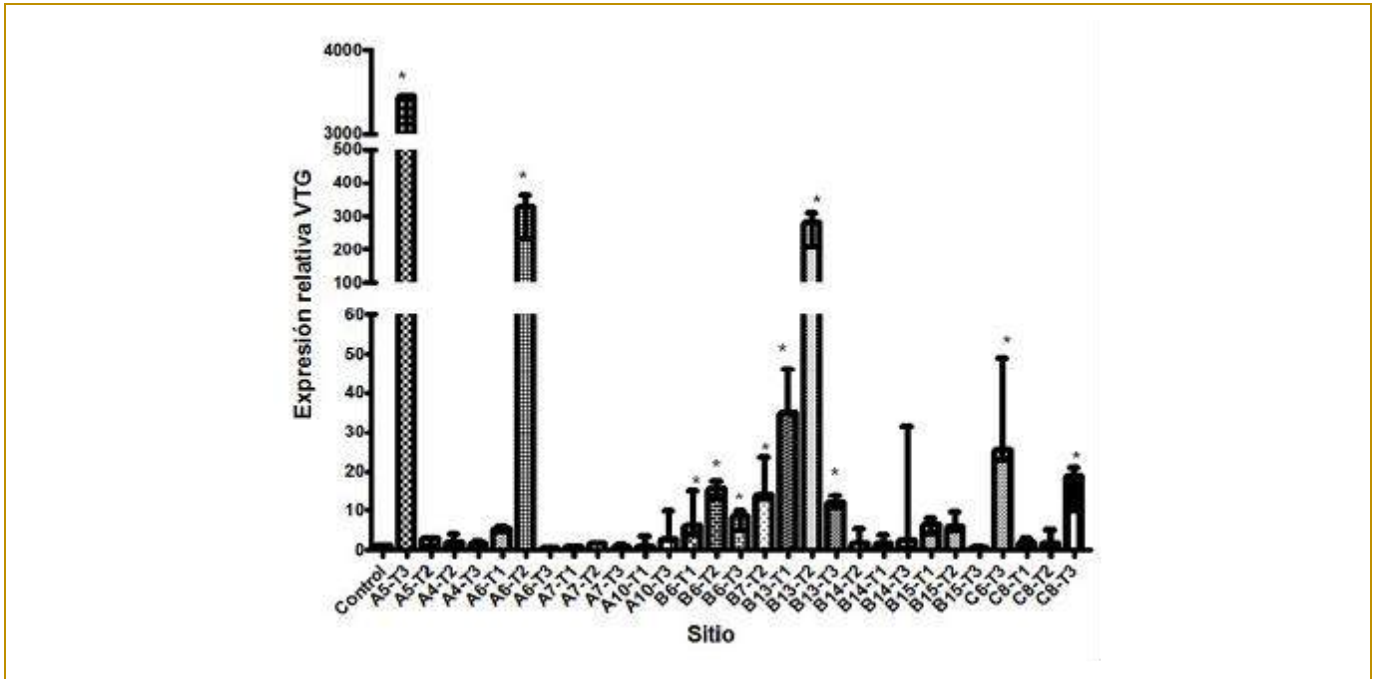
Durante el proceso de colecta de las muestras se detectó mortalidad del 87% de los organismos expuestos en el cenote A4 y un 100% de mortalidad en la aguada C2. Los resultados del análisis de expresión genética por medio de RT-PCR para el gen de VTG presentaron tres zonas con expresiones relativas 100 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 VTG 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

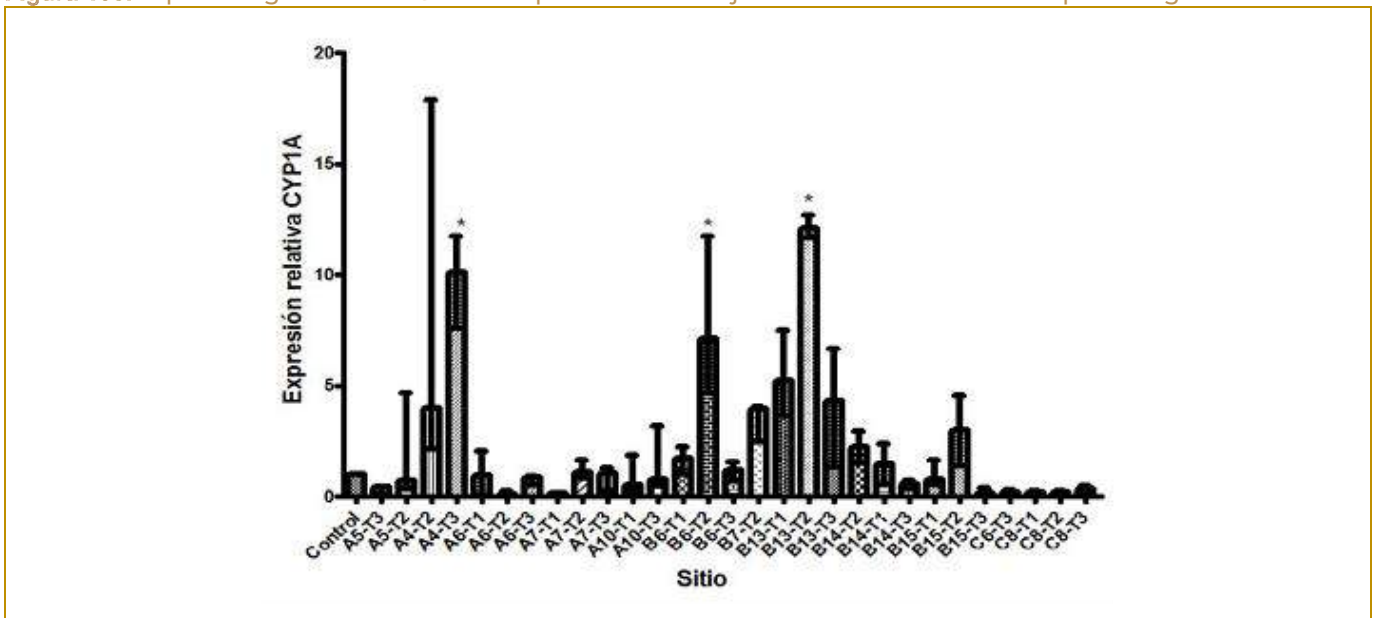
actividades recreativas por los habitantes de la localidad siendo esta la posible ruta de entrada de los contaminantes al sistema. Estudios anteriores han demostrado la gran sensibilidad de la expresión del gen VTG al ser utilizada como biomarcador, por ejemplo, Tong et al. (2004) determinaron que concentraciones 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 quemadas 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 SO₄, 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.

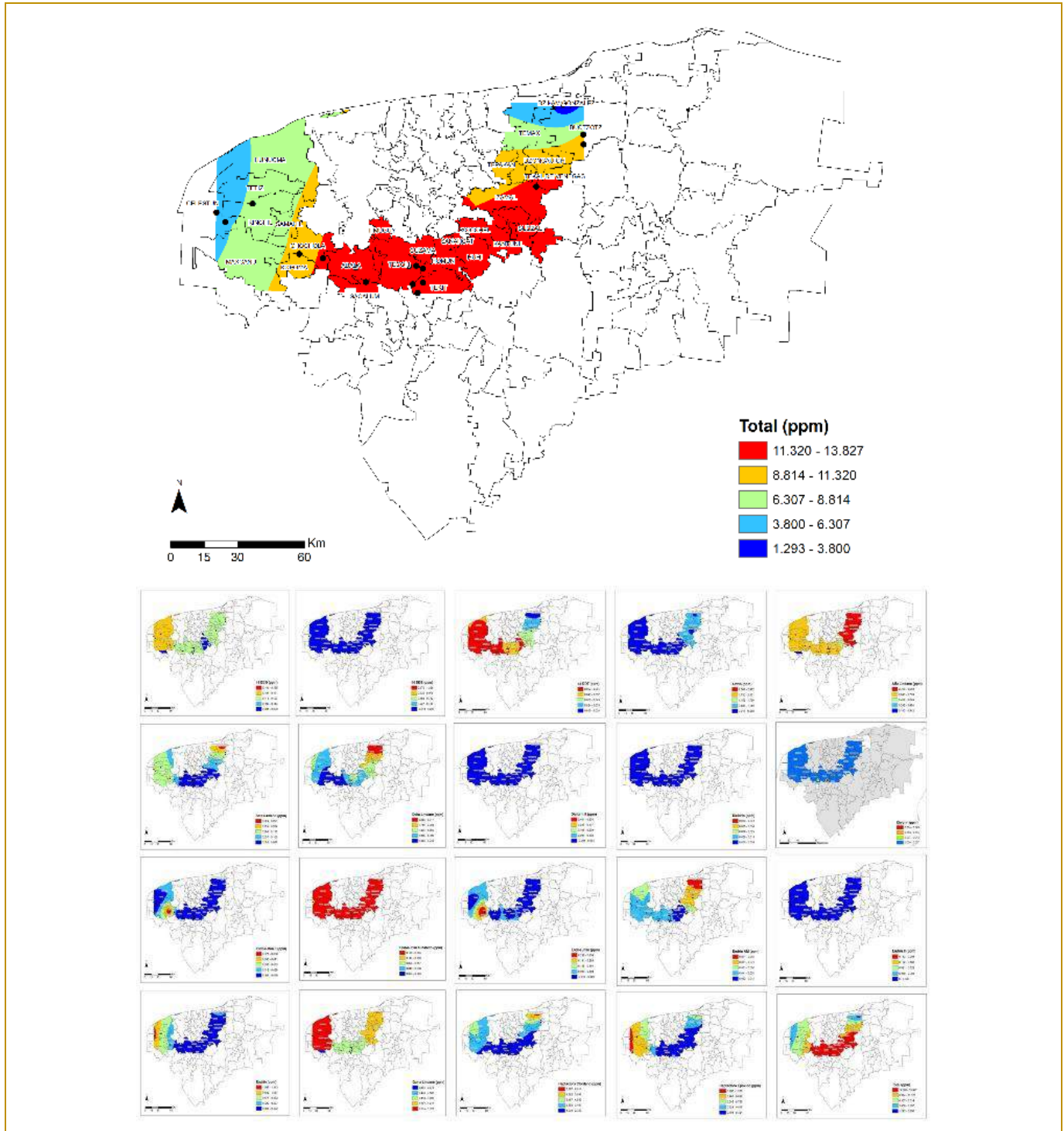
En Quintana Roo los estudios realizados por Metcalfe et al. (2011) muestran resultados sobre la presencia de herbicidas como el clorfenoxi en muestras de agua en cavernas en las localidades de Puerto Aventuras y Tulum en la Riviera Maya. Estos herbicidas son utilizados para controlar malezas de pastos, 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.

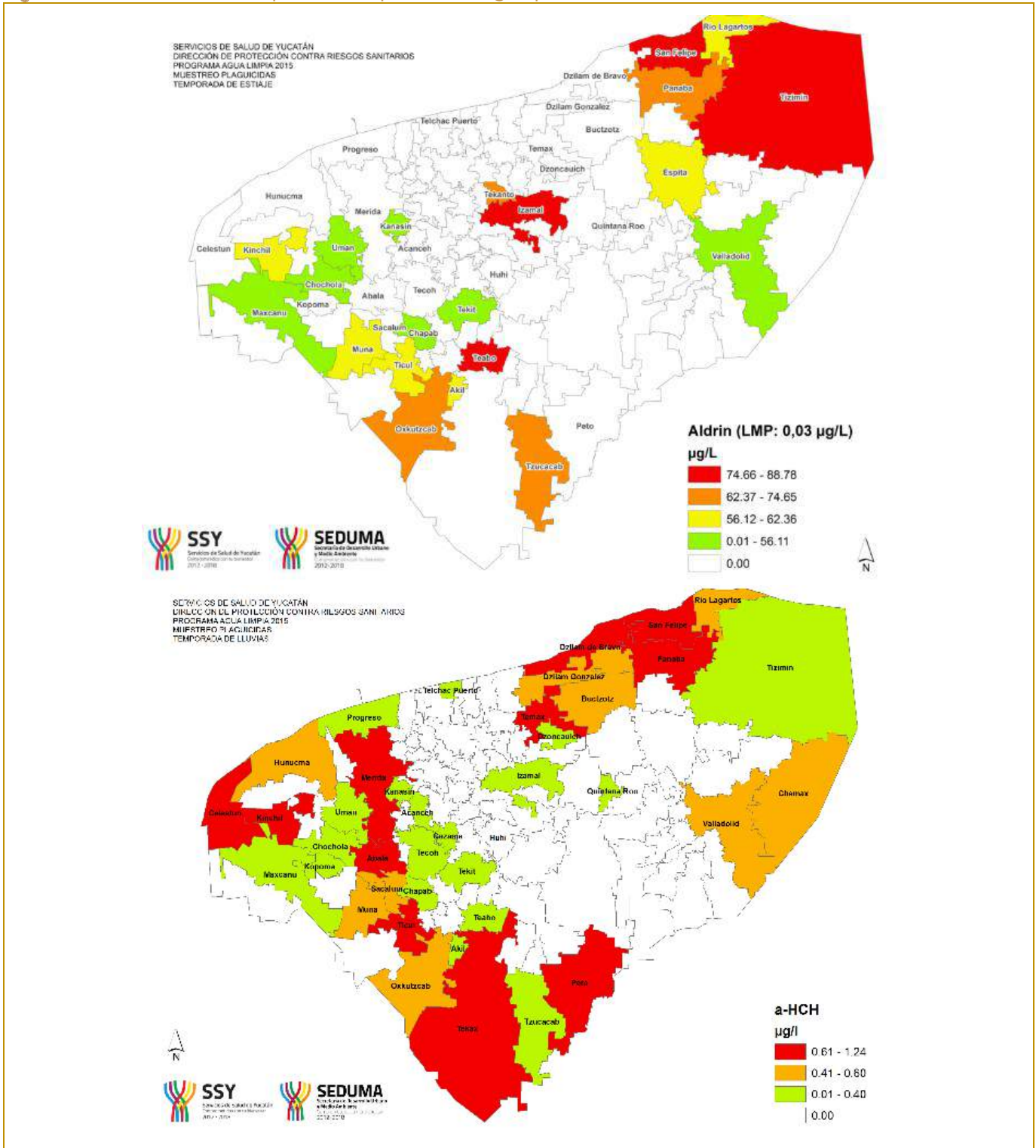
Los principales cultivos que se tienen en Candelaria son arroz, maíz y chile habanero. Actualmente se tiene considerado el cultivo de unas 8 mil hectáreas de palma de aceite en zonas aledañas al Río Candelaria. La agricultura emplea plaguicidas para controlar principalmente malas hierbas, insectos y hongos.

Figura 101. Concentración total de plaguicidas organoclorados en pozos y cenotes ubicados en la zona de Anillo de Cenotes



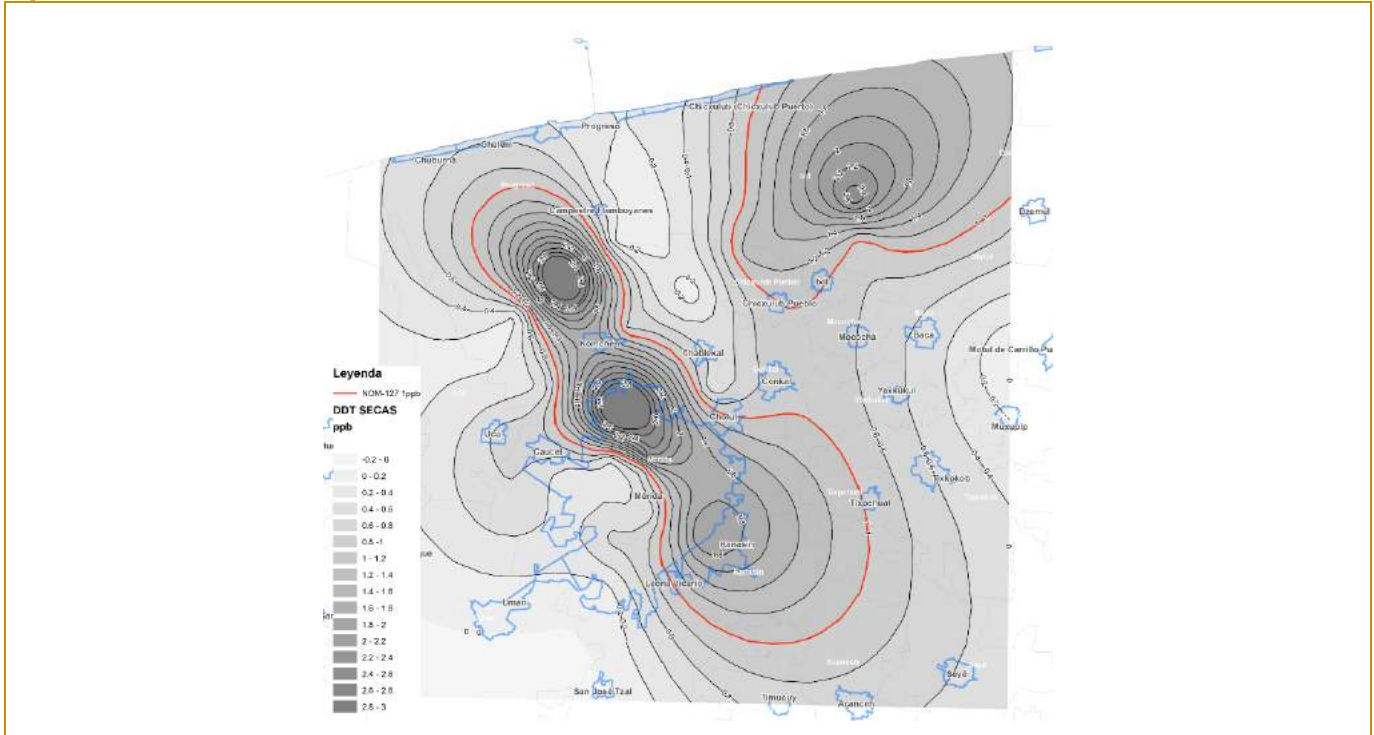
Fuente: Polanco (2011).

Figura 102. Concentración en pozos de captación de agua potable de Aldrín Alfa Lindano en 2015



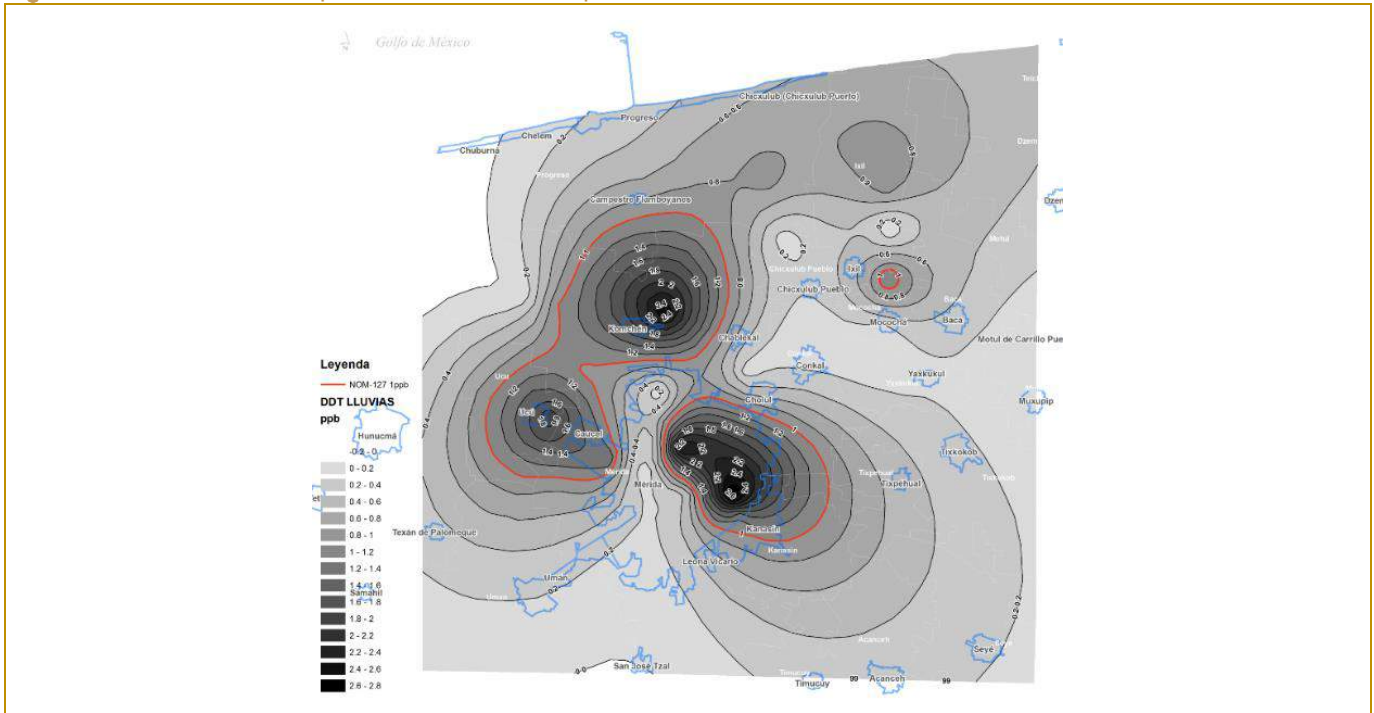
Fuente: Polanco (2011).

Figura 103. Distribución espacial de DDT en temporada de secas



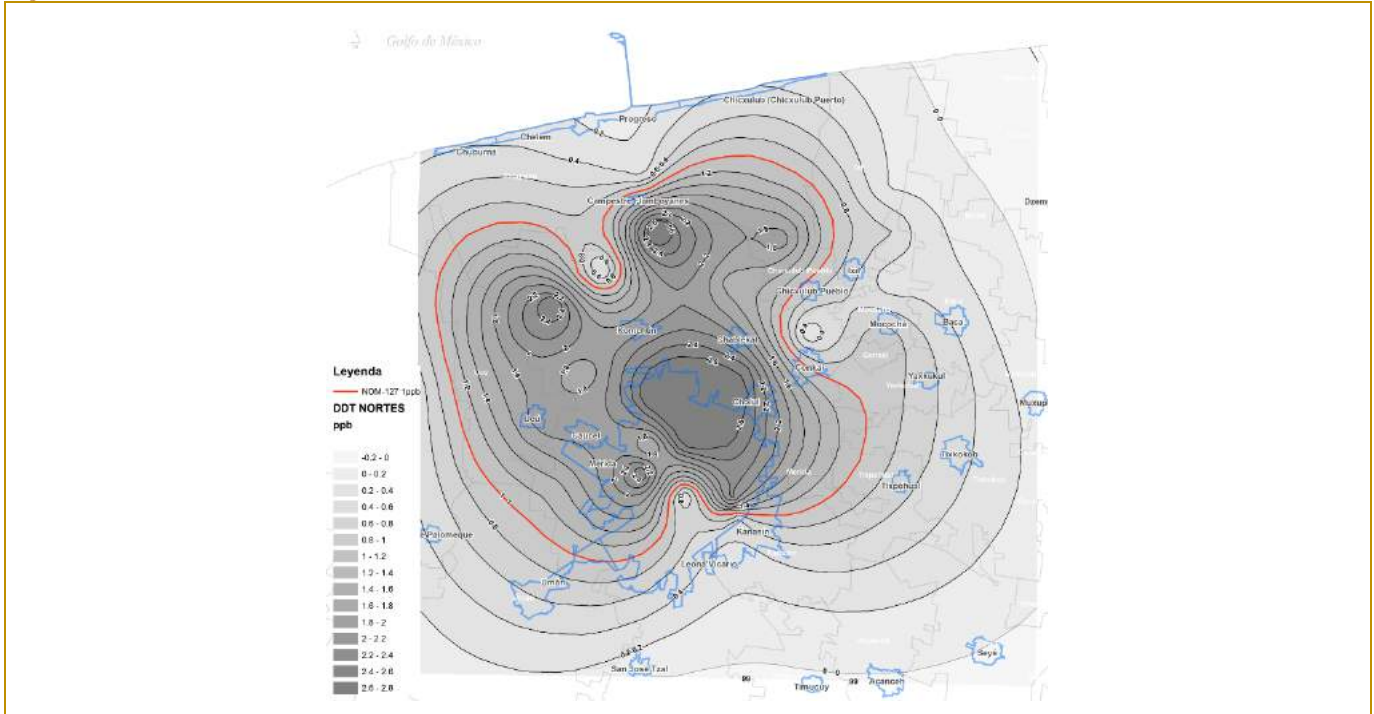
Fuente: Lizarraga-Castro (2014).

Figura 104. Distribución espacial de DDT en temporada de lluvias



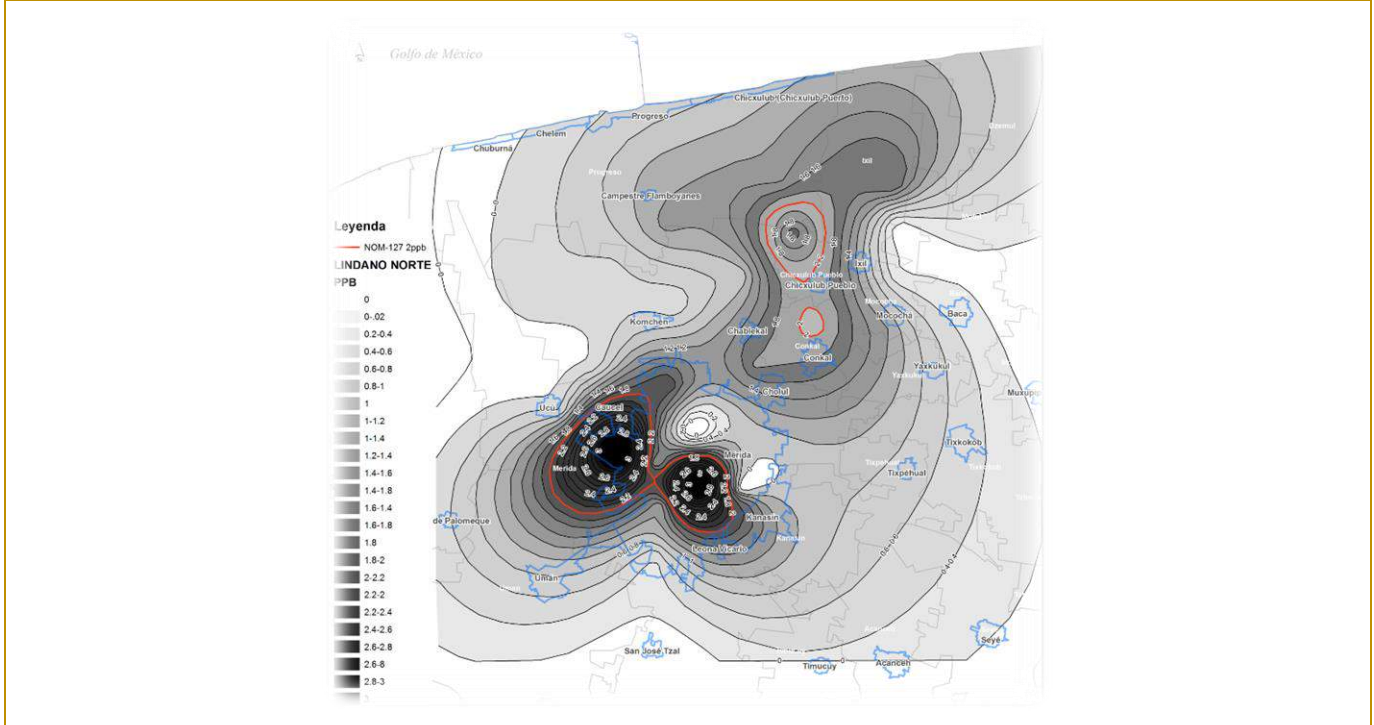
Fuente: Lizarraga-Castro (2014).

Figura 105. Distribución espacial de DDT en temporada de nortes



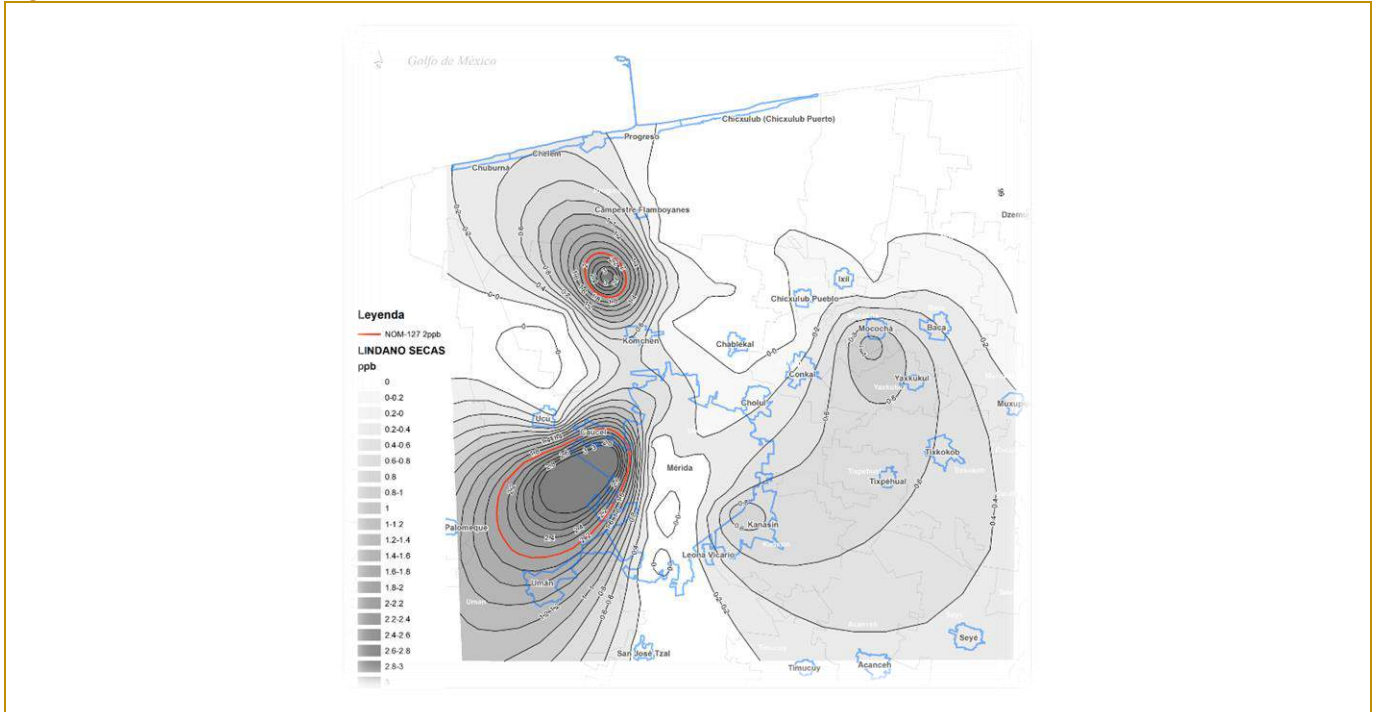
Fuente: Lizarraga-Castro (2014).

Figura 106. Distribución espacial de Lindano en temporada de nortes



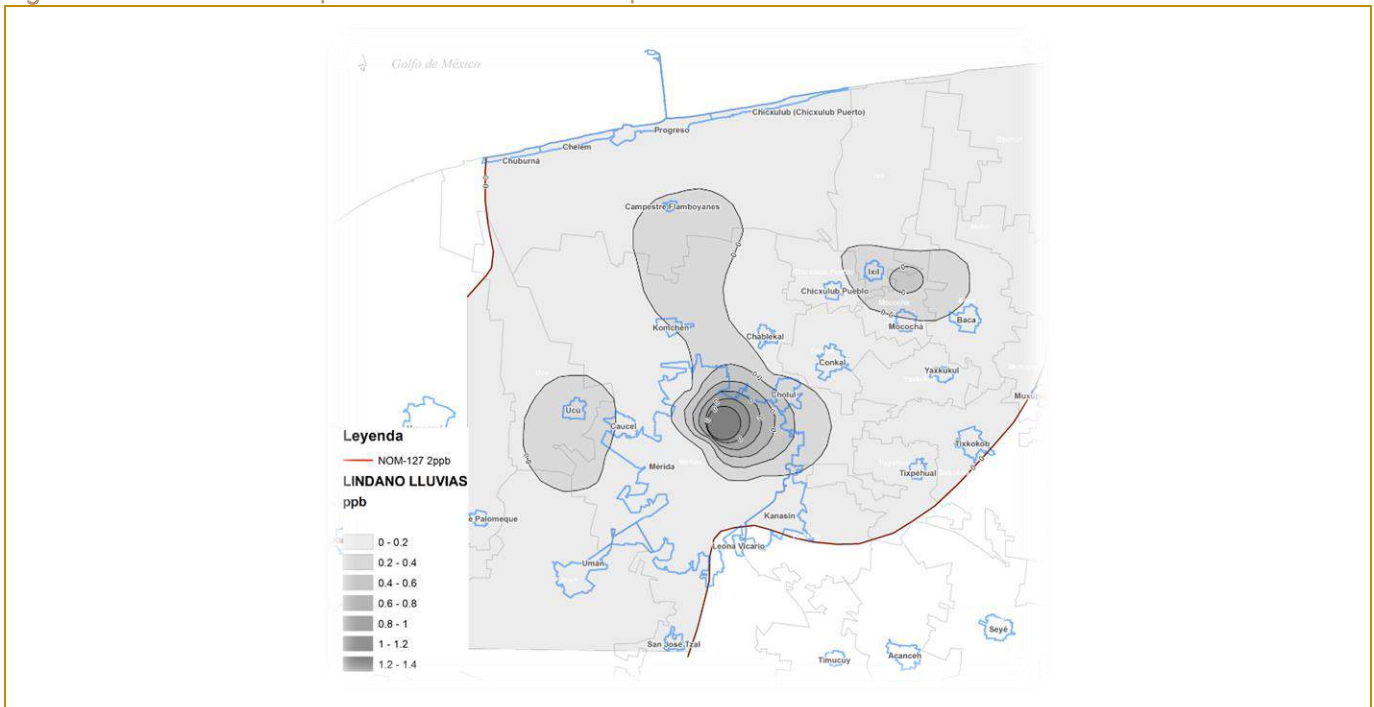
Fuente: Lizarraga-Castro (2014).

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⁻¹), glifosato (2.51 µg L⁻¹), clorpirifos (0.26 µg L⁻¹), 2,4-D (9.18 µg L⁻¹), deltametrina (0.96 µg L⁻¹) y diclorvos (1.04 µg L⁻¹). 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⁻¹).

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 ($\mu\text{g L}^{-1}$).

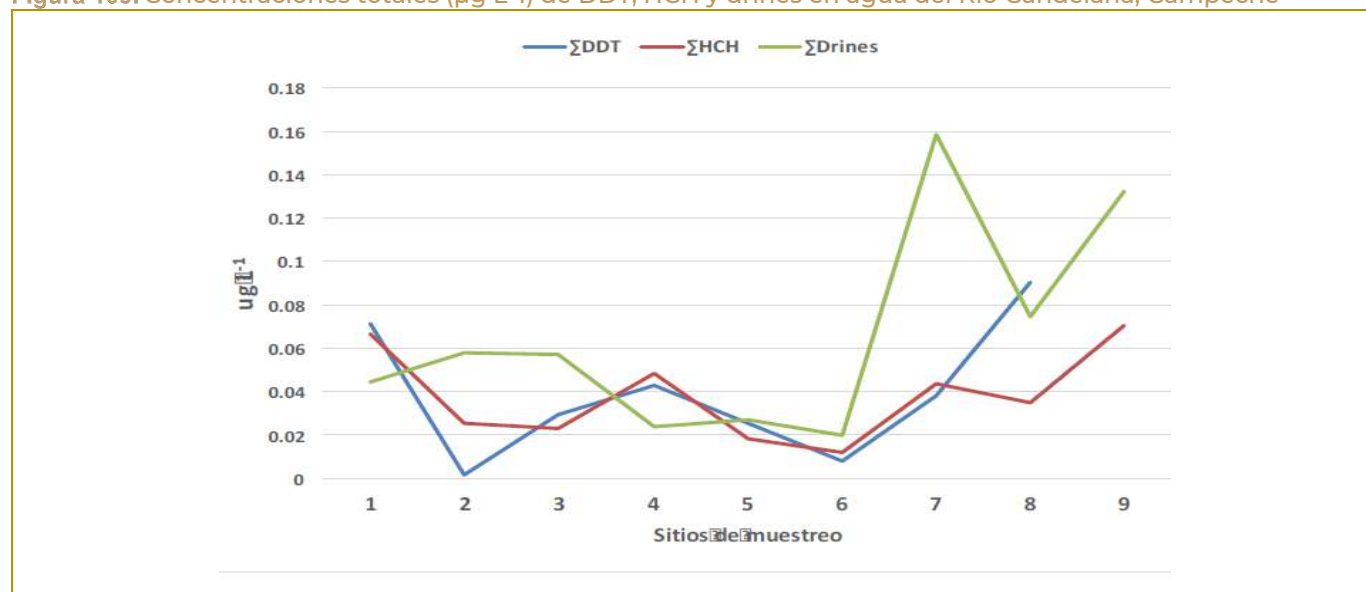
Sitio	Diclorvos	Clorpirifos	MeClorpitifos	MeParation
1				
2		0.0946		
3		0.1050	0.06	
4		0.0858		
5				
6	1.04	1.0830	0.06	0.09
7				
8			0.08	
9		0.0500		

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.

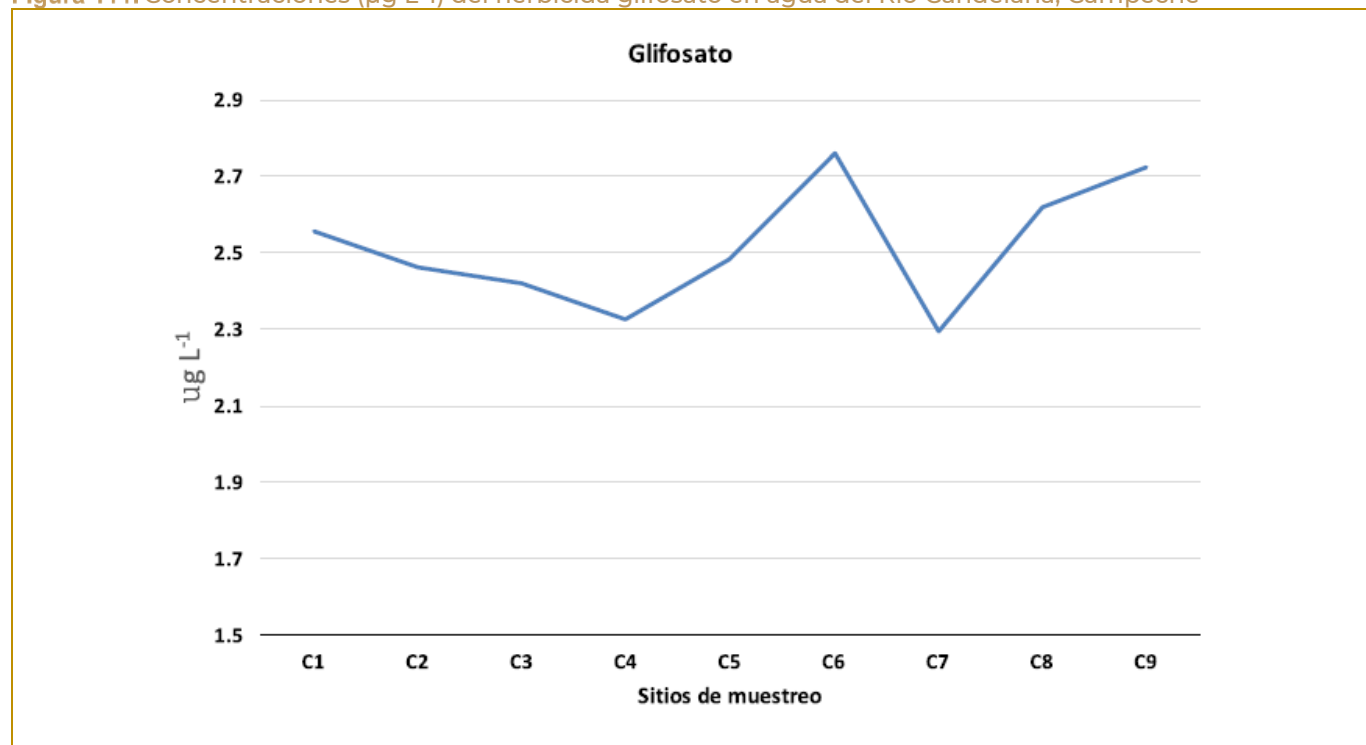
De acuerdo con los resultados de los análisis de los muestreadores pasivos, además de los compuestos antes mencionado, se pudieron detectar residuos del herbicida 2,4-D, así como de los insecticidas piretroides cipermetrina y deltametrina. Asimismo, con esta técnica se pudo detectar trazas de diclorvos ($1.04 \mu\text{g L}^{-1}$) 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 (1 - 12)	Adolescentes (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 estrógeno – 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 SO₄.

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 SO₄.

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 %.⁴⁶ 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

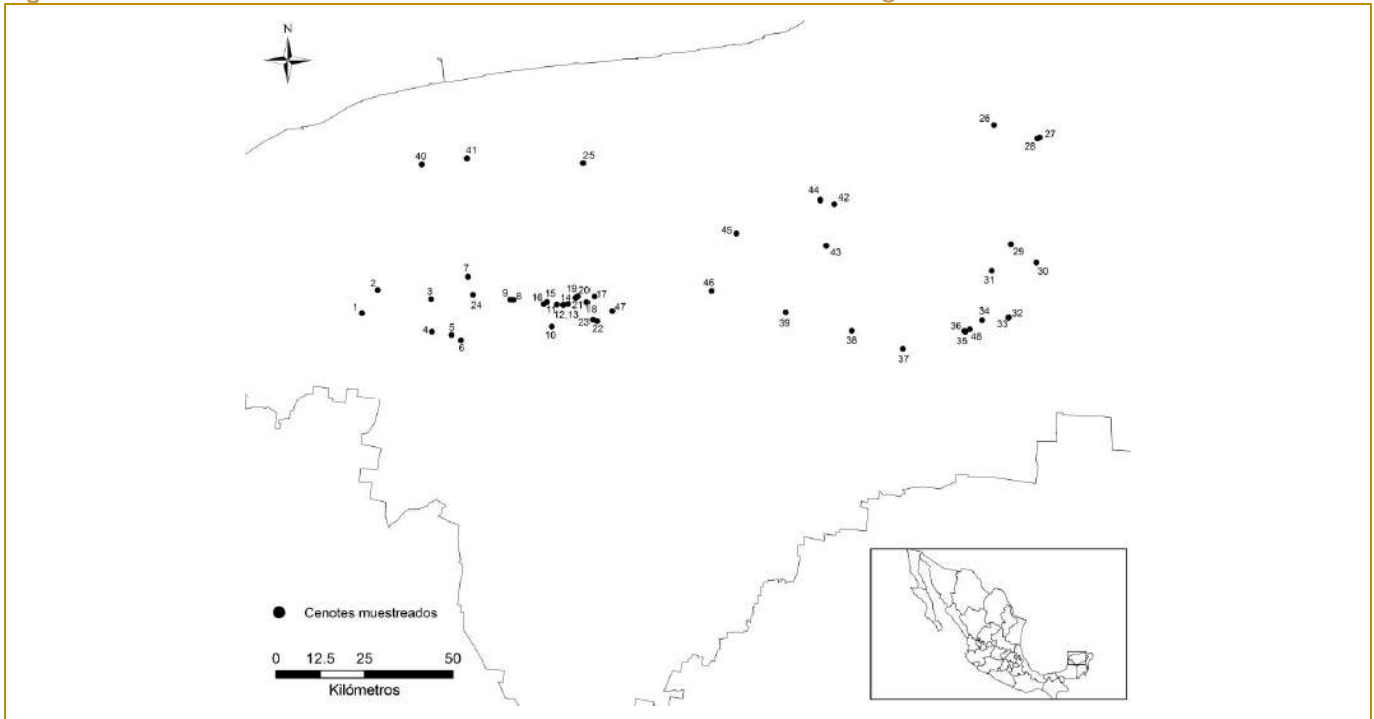
de inmunidad ante los patógenos endémicos de la localidad. Así, en los cenotes se ha podido identificar la presencia de desechos fecales, nitratos, plaguicidas y productos de consumo humano como fármacos y estupefacientes (Hoogesteijn Reul et al. 2015). Adicionalmente, apoyando los hallazgos de los autores 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 QRooN, 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).

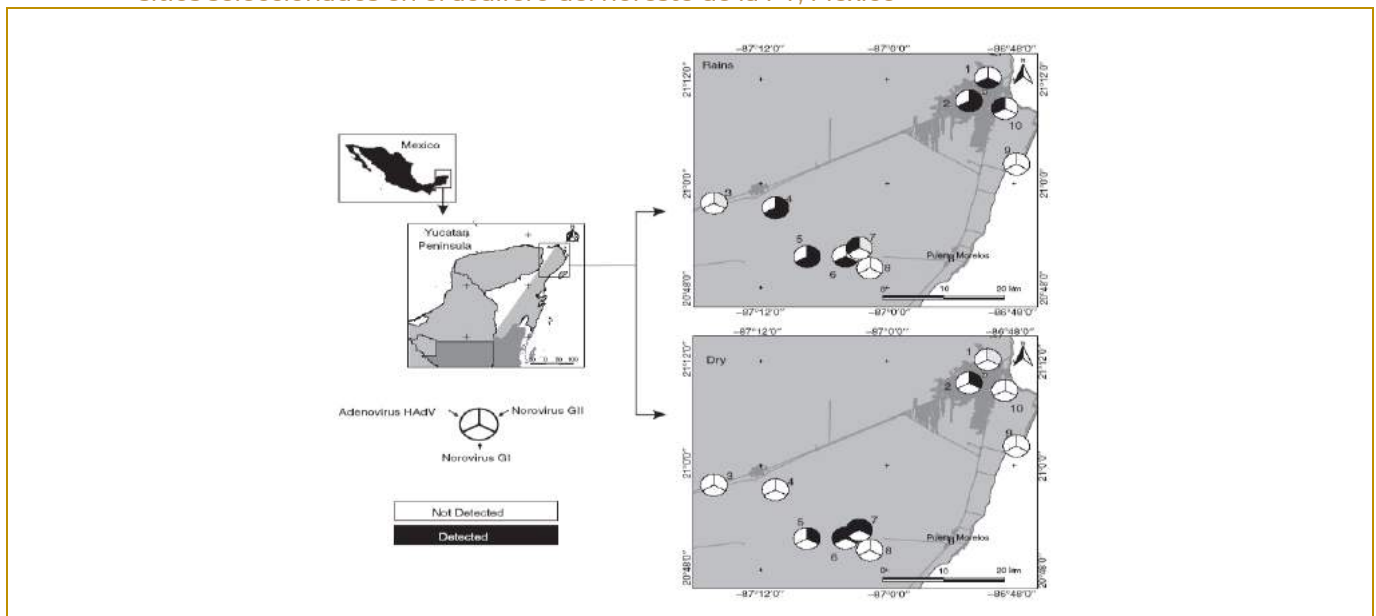
Tabla 76. Lista de los cenotes incluidos en el monitoreo de contaminación fecal

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	Turístico	20.69870	-88.12432	+	+
33	Valladolid	Turístico	20.69819	-88.12602	+	+
34	Valladolid	Turístico	20.69154	-88.19776	+	+
35	Valladolid	Turístico	20.66087	-88.24277	+	+
36	Valladolid	Turístico	20.66272	-88.24479	+	+
37	Kaua	Recreacional	20.61583	-88.41194	+	+
38	Tinum	Turístico	20.66092	-88.55100	+	+
39	Yaxcabá	Turístico	20.70698	-88.73047	+	+
40	Merida	Turístico	21.12500	-88.62500	+	+
41	Merida	Turístico	21.09098	-88.59798	+	+
42	Cepotillo	Recreacional	20.98823	-88.60099	+	+
43	Quintana	Recreacional	20.88023	-88.62214	+	+
44	Cenotillo	Turístico	20.99710	-88.63953	+	+
45	Izamal	Recreacional	20.90955	-88.86696	+	+
46	Kantunil	Turístico	20.76038	-88.93228	+	+
47	Huhí	Recreacional	20.70556	-88.20082	+	+
48	Valladolid	Turístico	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	+/- (+/-)	+/+ (+/+)

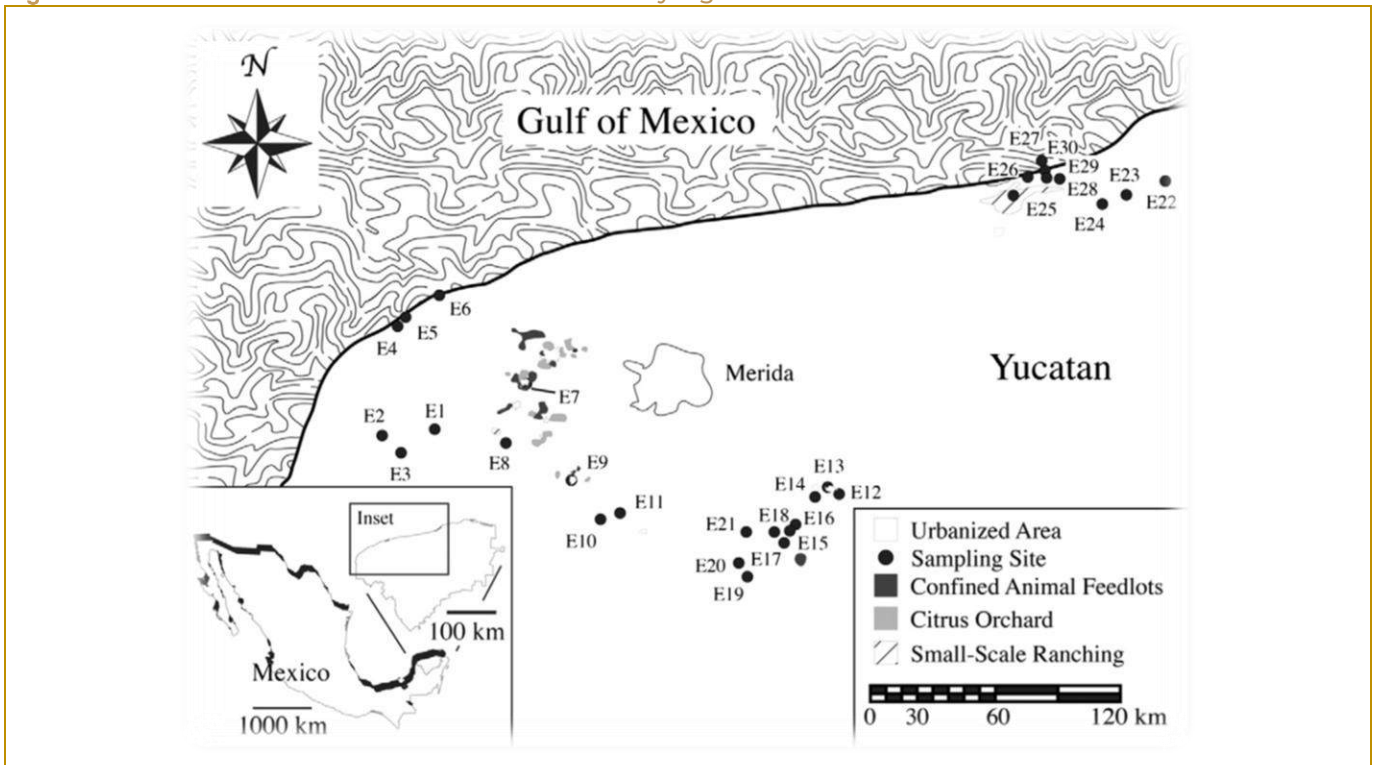
Nota: Colifagos somáticos y colifagos F+ específicos durante la temporada de lluvias y la temporada de secas en cada uno de los diez sitios de muestreo en el conteo directo y el conteo después de la ultrafiltración.

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 5β -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
Zona Nororiental (Dzilam de Bravo) (N 21°20'21.3", -21°24'24.5" / W 88°34'31.3", -88°53'55.7")		
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
Zona Central (Cuzama) (N 20°33'07.3", -20°44'29.5" / W 89°16'05.3", -89°28'52.4")		
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
Zona Norooccidental (Celestun) (N 20°40'25.1", -21°08'54.2" / W 89°43'55.4", -90°14'08.0")		
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.

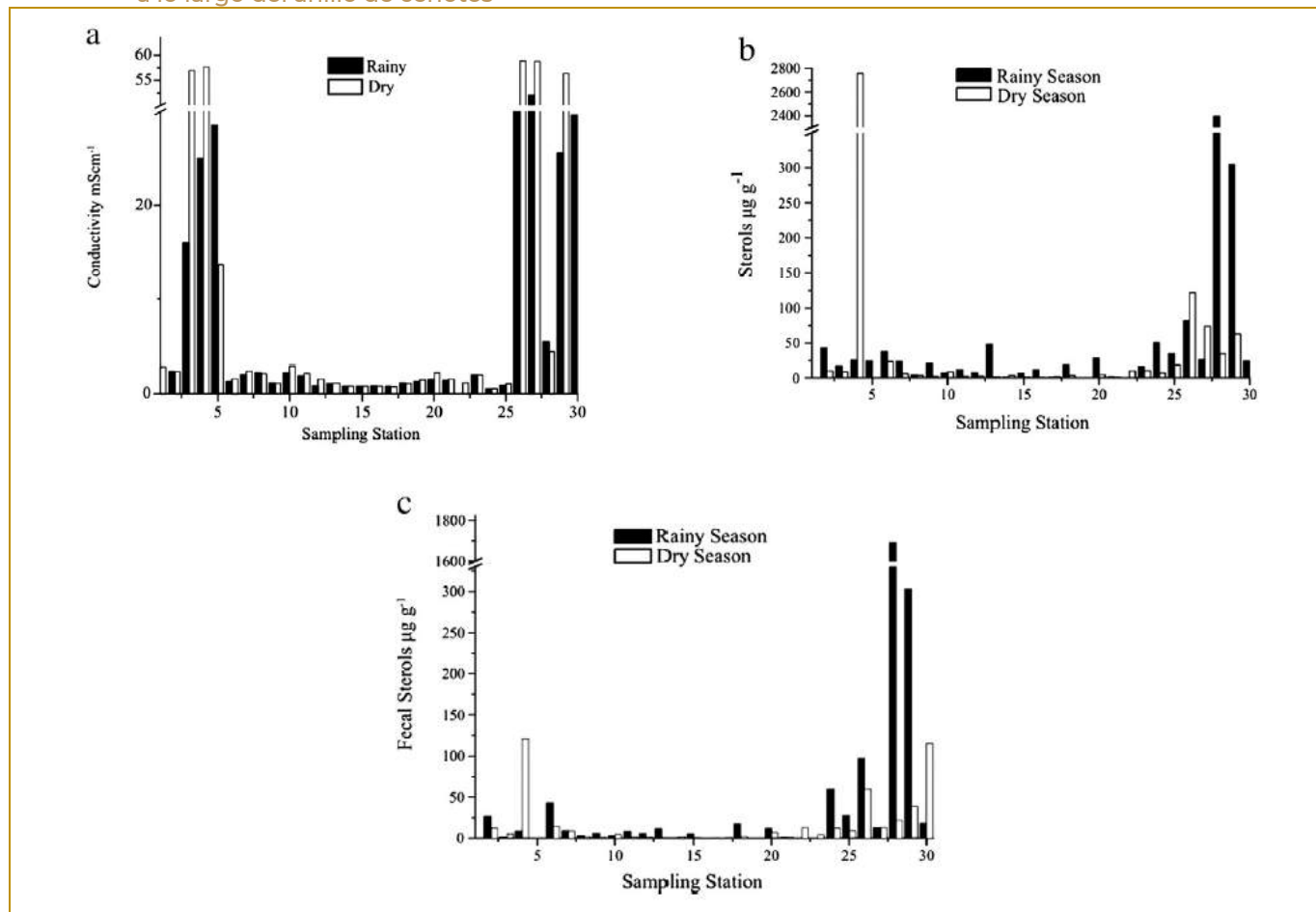
Las concentraciones totales de esteroides (Figura 115, b) y esteroides fecales (Figura 115) fueron más altas en el área de Dzilam durante la temporada lluviosa, indicando una descarga sin fenómenos de dilución asociados con los incrementos de la cabeza hidráulica regional y posterior sedimentación en 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 µg/g) y de esteroides fecales (0.3 – 115.35 µg/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 µg/g y 1690.18 µg/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:

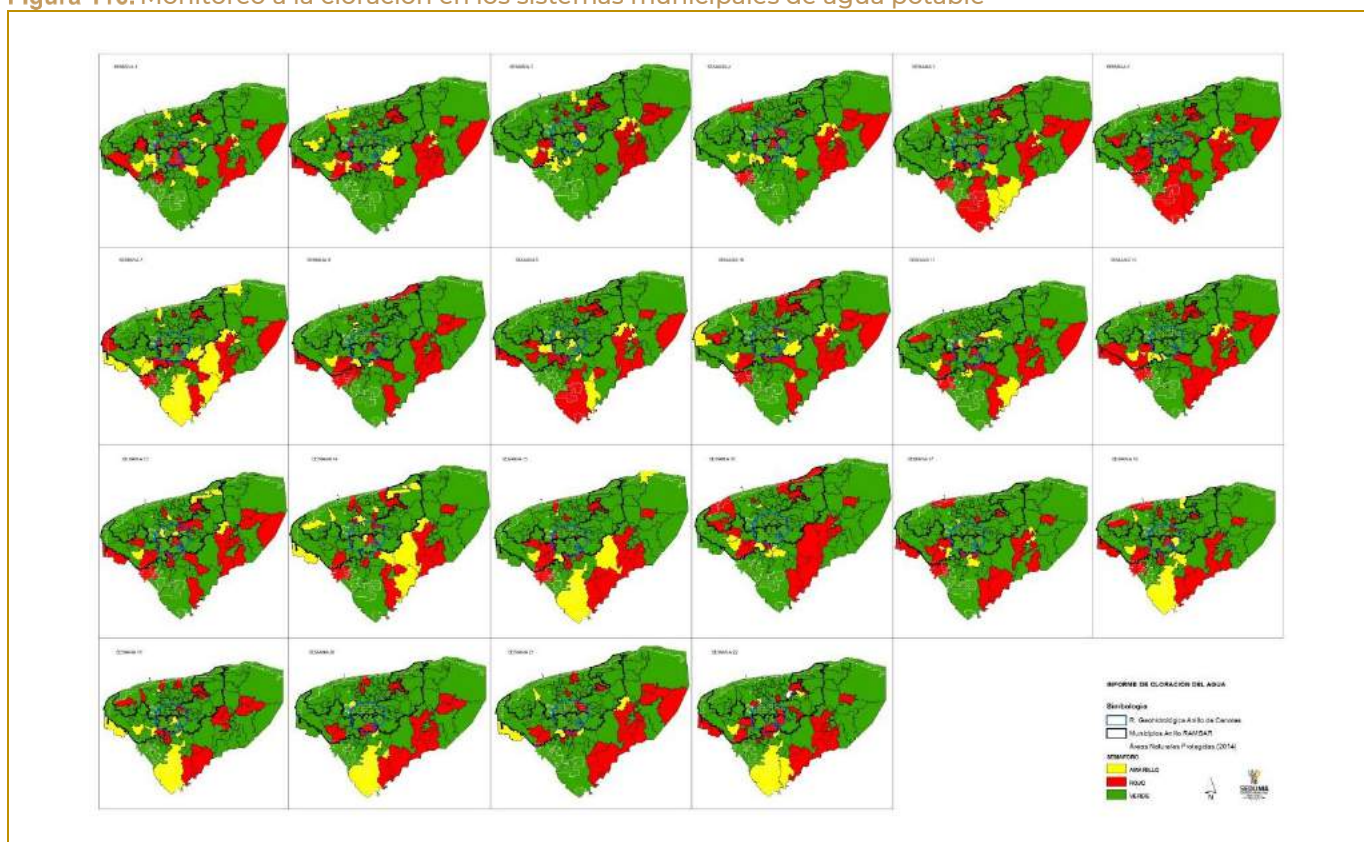
- Enfermedades transmitidas por el agua: Las diarreas infecciosas encabezan las enfermedades transmitidas por el "agua sucia", que se ha contaminado con excretas de humanos y animales de sangre caliente.
- Enfermedades con base en el agua: Son transmitidas por microorganismo que se alojan en organismos 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
Tixcaltupul	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).

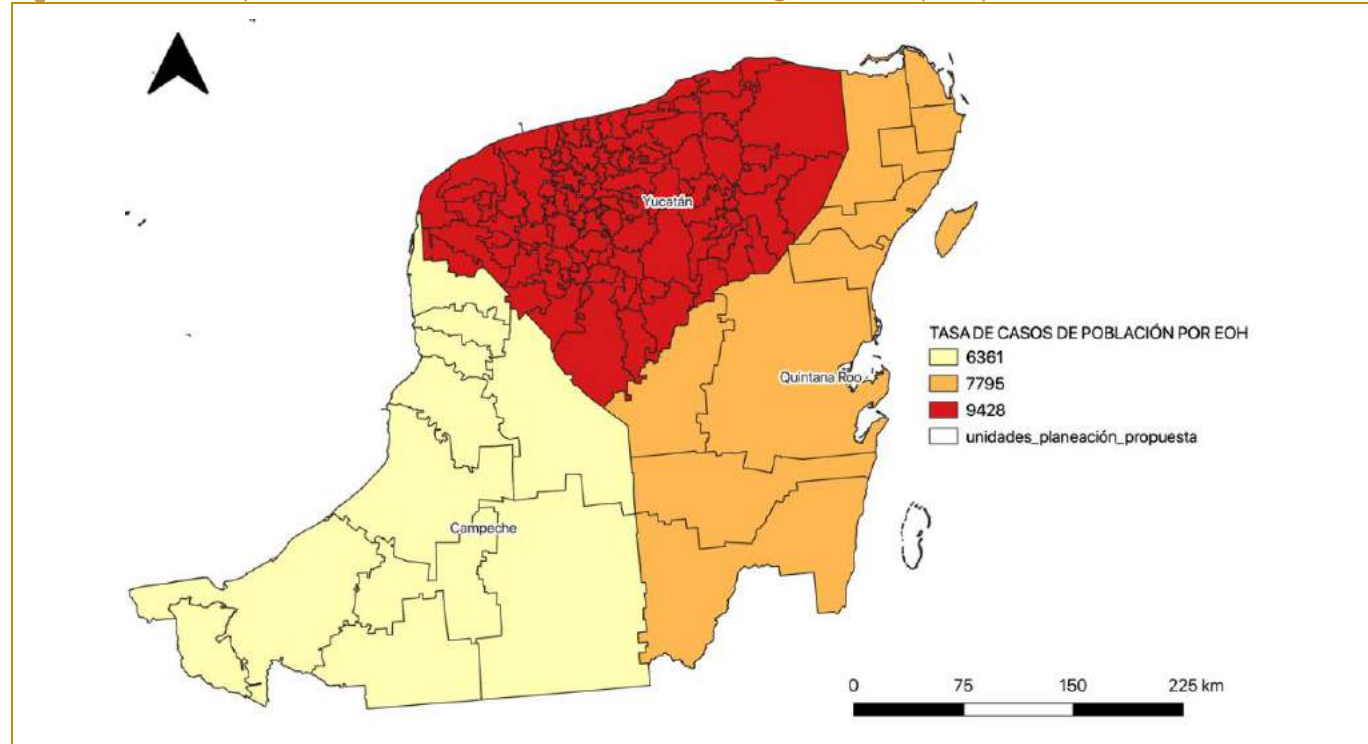
- Enfermedades relacionadas con el agua transmitidas por vectores: El mal almacenamiento del agua o las aguas estancadas favorecen el crecimiento de insectos, como moscos y zancudos, que se crían y viven cerca de aguas contaminadas y no contaminadas. Esos vectores infectan al ser humano con microorganismos 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.

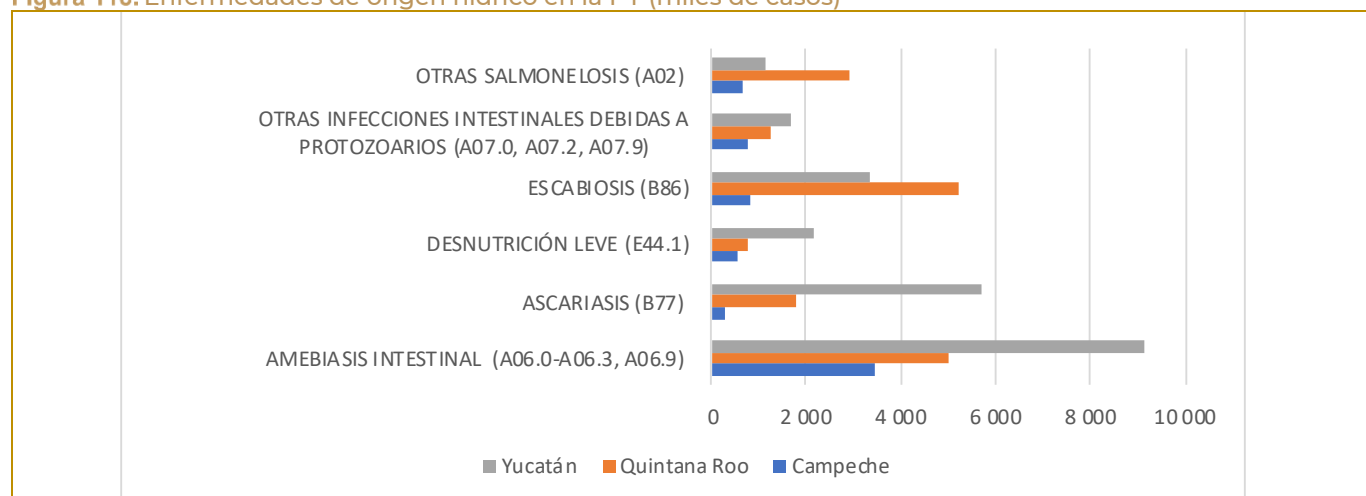
Figura 117. Tasa de población de casos de enfermedades de origen hídrico (EOH) en la PY



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.

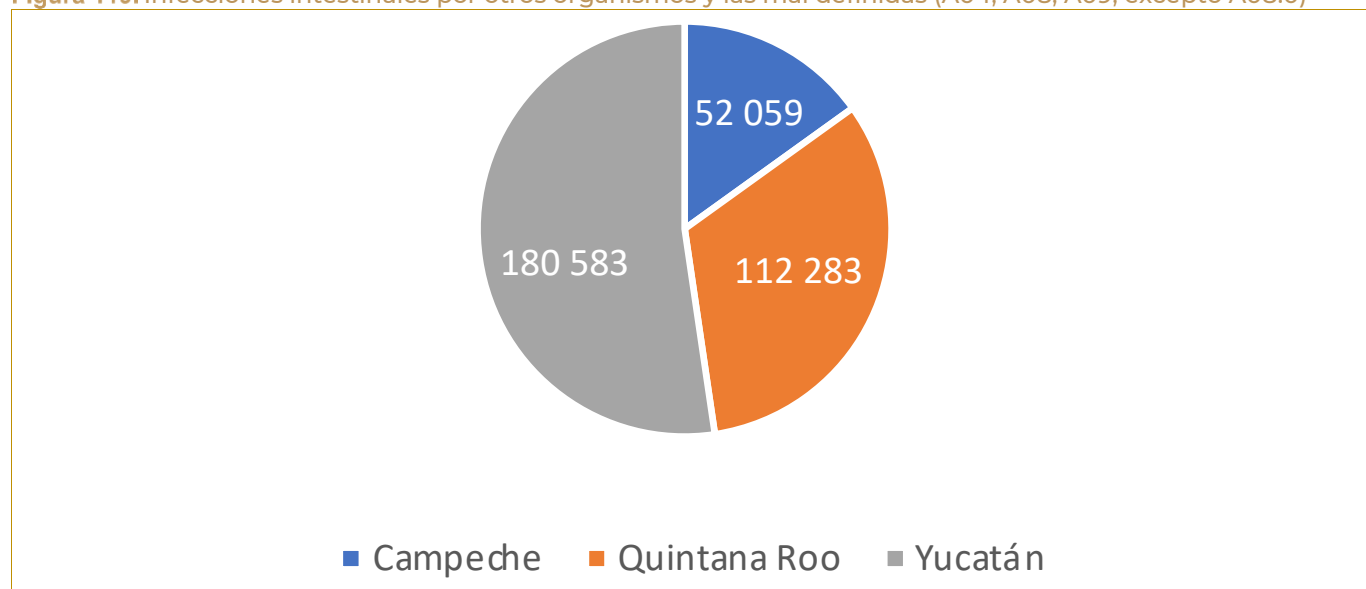
Figura 118. Enfermedades de origen hídrico en la PY (miles de casos)



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.

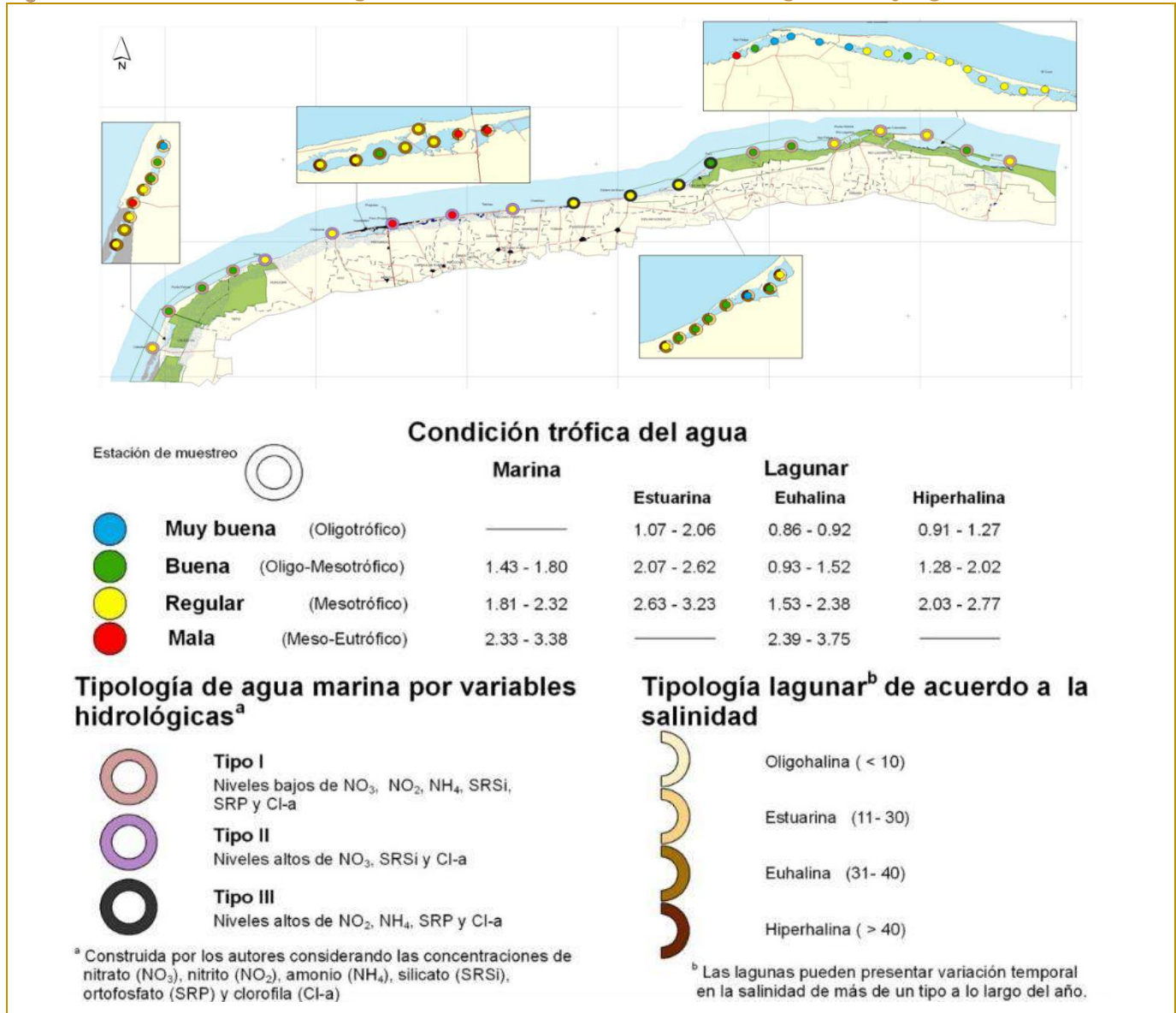
Como se mencionó, del análisis ecológico de los florecimientos algales nocivos ha permitido observar que entre los principales factores de disparo está el aumento de los nutrimentos en el agua (eutrofización) a causa de diversas actividades humanas en la costa y tierra adentro, favoreciendo que estos 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.

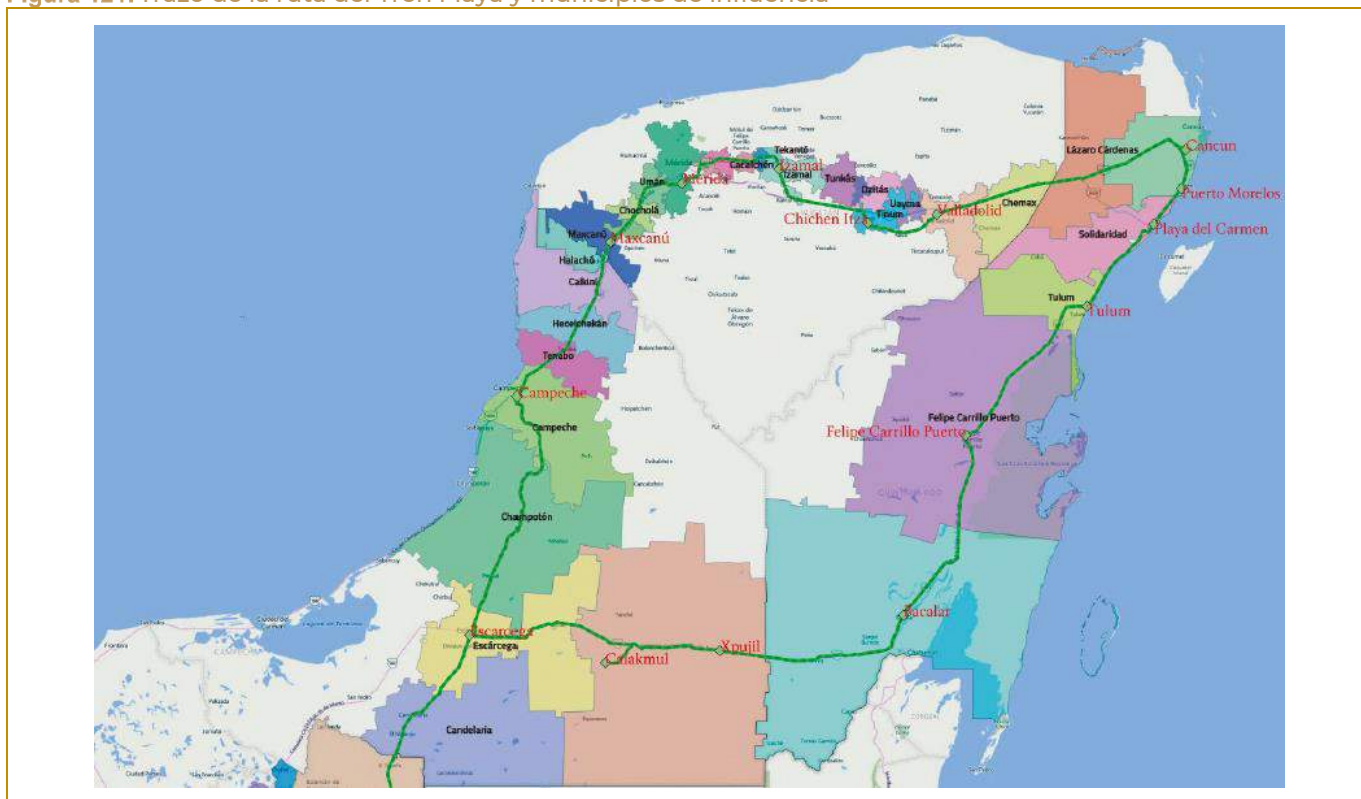
Por otra parte, la creciente expansión de las áreas urbanas y vías de comunicación, en combinación con las características kársticas de los suelos, está generando cada vez un mayor riesgo de socavamientos y desplomes.

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).

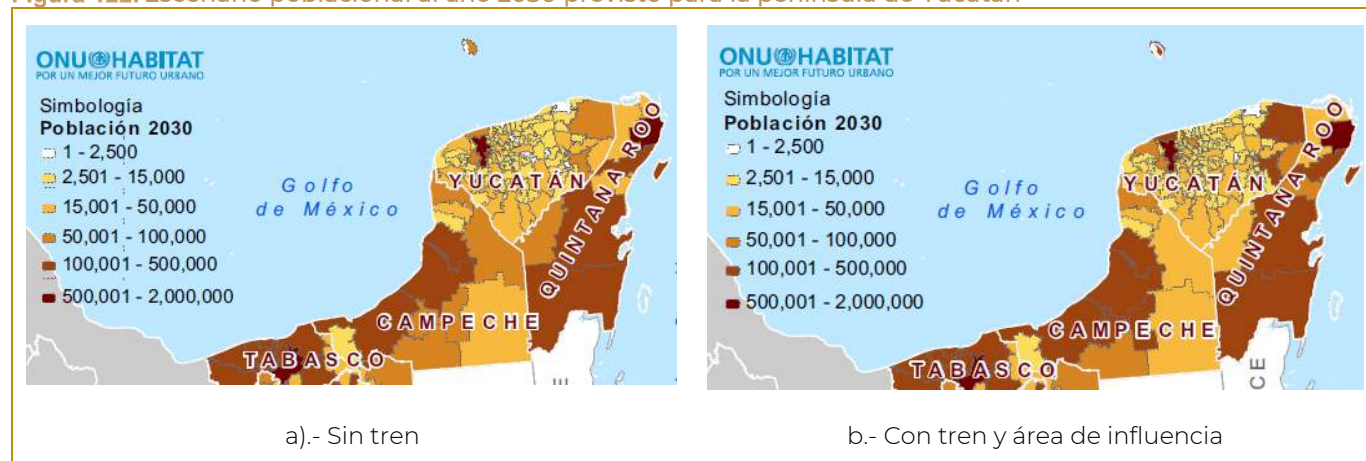
A partir de los datos obtenidos del Sistema de Evaluación ex-ante del proyecto de Tren Maya (ONU-Hábitat, 2019) se presentan los resultados de población por dos escenarios, para obtener un panorama de los cambios a nivel territorial en la región que conforman las cinco entidades federativas: Yucatán, 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 Hopelchén 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 Mm³/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
Total	13 285 628	14 203 266	15 055 216	13 597 380	15 313 514	17 300 458	19 605 951

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.

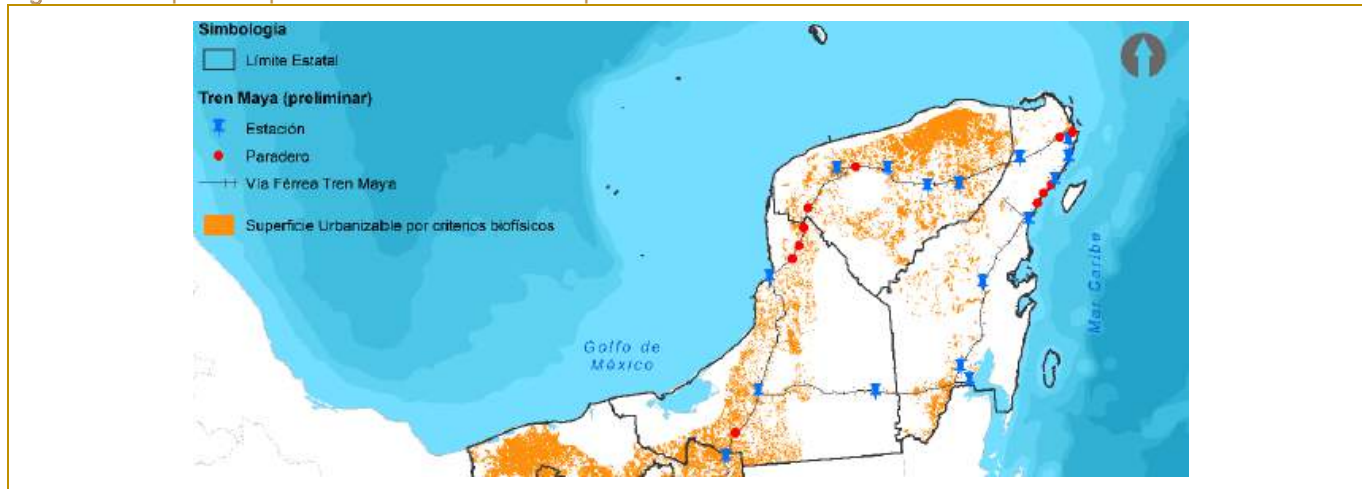
Como propulsor del desarrollo, este proyecto generará nuevos escenarios de inversión pública y privada que impulsarán el crecimiento de las localidades alineadas en la ruta del tren, por lo que se prevé un aumento de población que superará las actuales tasas de crecimiento en las áreas de influencia 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.

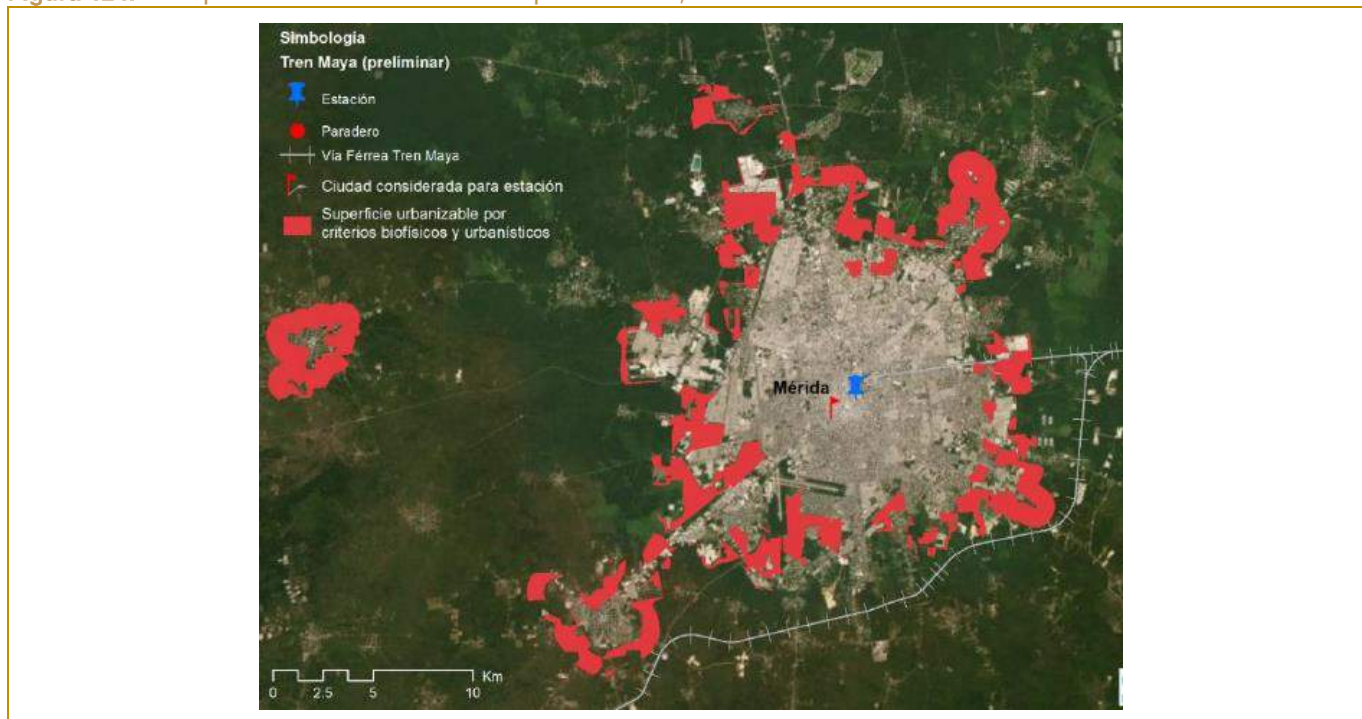
Figura 123. Superficie potencial urbanizable después de excluir criterios biofísicos



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
Total			17 759.65	37 396.59	17 430.65

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.

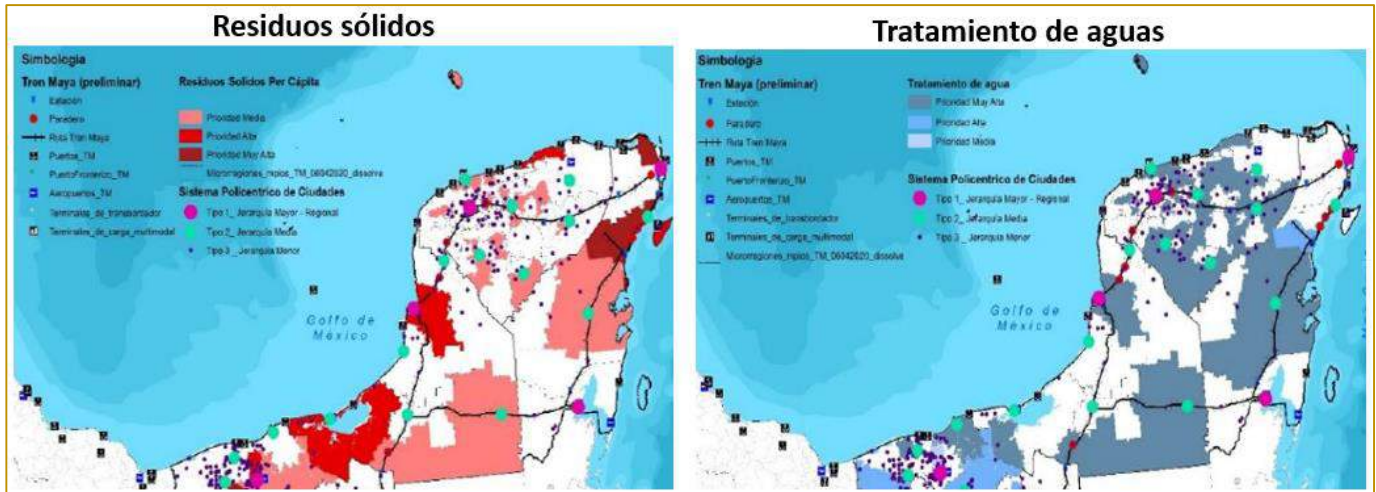
Sin embargo, ese crecimiento urbano y poblacional debe ir acompañado en el fortalecimiento de la capacidad de carga de los diferentes centros de población. En principio, se recomienda el fortalecimiento de la capacidad de carga de los centros de población como Xpujil, Felipe Carrillo Puerto, Tulum, Chetumal, 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.

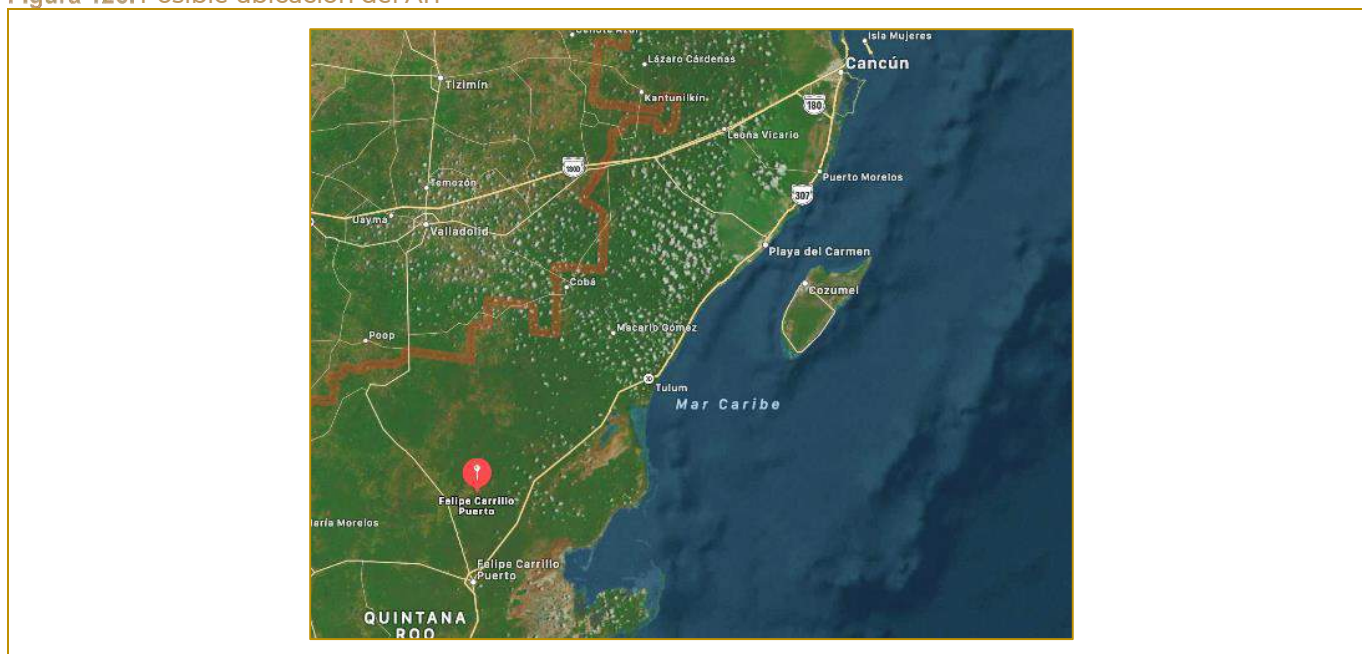
No se presenta afectación a ningún sitio de la Convención relativa a los humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas (Convenio RAMSAR), según se puede observar en la página del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA).

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
	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 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 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 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	
1.1. Infraestructura de agua potable insuficiente	
Falta de acceso al agua potable para uso doméstico	163
Falta de cobertura de la red Tandeo de agua en la red proporciona agua insuficiente para las necesidades básicas Falta de sistemas de almacenamiento para reducir impacto del tandeo Inequidad en la distribución, se priorizan hoteles y zonas por cuestiones políticas	Desecación de pozos Falta de pozos de extracción Red de agua potable insuficiente en islas Falta de sistemas de bombeo Crecimiento poblacional rebasa la capacidad de la red de abastecimiento Zonas de extracción difíciles y costosas para la perforación
Falta de acceso al agua para actividades agrícolas o pecuarias	28
Falta de agua extraída para regar cultivos en tiempos de sequía Agua demasiado clorada Proceso demasiado tardado y complejo para tramitar concesiones	No hay unidades de riego Equipos obsoletos de extracción y bombeo
Falta de acceso al agua para servicios (turismo, comercialización, etc)	6
Cobertura de la red insuficiente	
Falta de captación pluvial	6
Falta de sistemas de captación de agua de lluvia y de sistemas de potabilización Desvalorización de los sistemas tradicionales por implementación de la red moderna	Falta de mantenimiento a los sistemas tradicionales Abandono de prácticas tradicionales y resilientes de manejo de agua
Falta de acceso al agua para actividades industriales o de transformación	4
Problemas en la distribución y ampliación en la distribución del agua en sectores productivos	
1.2. Infraestructura de agua potable deficiente	
Fugas en el sistema de agua potable	49
Desgastes en las tuberías por falta de mantenimiento y supervisión Falta de atención de fugas, especialmente en terrenos baldíos	Fugas dentro de viviendas sin atender Daños a tuberías por aguas con exceso de sales
Mala calidad del agua potable suministrada	44
Falta de cloración Plantas potabilizadoras mal diseñadas o mantenidas No se cumplen los estándares para consumo humano Agua con exceso de cloro No hay suficiente filtrado de metales pesados	Enfermedades diarreicas agudas por consumo de agua estancada o mal clorada Dengue por almacenamiento de agua abierto Plantas potabilizadoras municipales dedican mayor atención al sector hotelero

PP PNH 1. Acceso a los servicios de agua potable y saneamiento insuficiente e inequitativo

Intermitencia o fallas del suministro de agua potable doméstica		22
Constantes reparaciones en el sistema de abastecimiento lo que ocasiona cortes en el suministro	Afectaciones a la red por inundaciones que tardan demasiado en ser reparadas	
Tandeo excesivo y poco regular		
Agua con exceso de minerales		11
Desalinizadoras y plantas de tratamiento insuficientes	Mantenimiento de infraestructura costoso	
Agua con sarro, azufre, calcio	Extracción de agua demasiado cercana a la costa	
Personal operador mal capacitado		4
Falta de presupuesto para capacitar al personal	Falta de personal para mantenimiento de infraestructura	
1.3. Falta de saneamiento en el medio rural y periurbano		
Crecimiento urbano no planificado e irregular		95
Incremento potencial de asentamientos irregulares por Tren Maya	Migración de población marginada sin planeación urbana a ciudades y polos turísticos	
Asentamientos humanos irregulares desatendidos por falta de tenencia de la tierra y desinterés gubernamental		
Falta de fosas sépticas funcionales		42
Fugas en las fosas sépticas	Falta de mantenimiento	
Falta de estándares y supervisión a la construcción de las fosas	Falta de apoyos para la construcción o reparación de fosas	
Descargas de aguas residuales mediante sumideros		30
Falta de dinero o apoyos para instalar fosas sépticas o biodigestores	Falta de normativa y supervisión a los sumideros	
Falta de cultura y conciencia sobre los riesgos de la contaminación	Enfermedades por consumo de agua contaminada por los mismos desechos de la comunidad	
Falta de alternativas de saneamiento familiar o comunitarios		4
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	
1.4. Falta de saneamiento en el medio urbano		
Falta cobertura de drenaje		66
Red de drenaje y alcantarillado insuficiente	Falta de inversión en drenaje	
La mayoría usa fosa séptica	Falta de drenaje en zonas de escasos recursos	
Falta de conexión al drenaje		7
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	
2.1. Uso ineficiente en agricultura intensiva	
Sistemas de riego ineficientes	
9	
Falta de estructuras de organización para mitigar costos de actualización	Falta de incentivos económicos para actualizar sistemas Sistemas viejos y obsoletos
Uso de variedades de monocultivo altamente consumidoras	
4	
Plantación de arroz en zonas no inundables Plantaciones de monocultivos por productores Menonitas	Plantaciones de soja y palma de aceite altamente consumidora
Falta de capacitación y cultura del agua entre agricultores	
1	
Falta de conciencia sobre la importancia de cuidar el agua Falta de programas de sensibilización y capacitación	Uso de técnicas ineficientes como riego por inundación Falta de control y cobros sobre el uso excesivo de agua para la agroindustria
2.2. Uso ineficiente en la actividad pecuaria	
Uso excesivo en la ganadería	
1	
Uso excesivo en granjas porcícolas	
1	
2.3. Uso ineficiente en consumo urbano	
Desperdicio por falta de cultura del agua	
48	
Desperdicio del agua en hogares Falta de conciencia sobre la posible escasez Desinterés por generaciones futuras	Falta de educación en las escuelas Desinterés por instalar sistemas ahorradores
Desigualdad en el consumo de agua	
7	
Zonas privilegiadas tienen mayor suministro y consumen grandes cantidades en jardines y albercas	
2.4. Uso ineficiente en industria	
Uso excesivo en la industria no especificada	
8	
Uso excesivo por industria cervecera	
1	
Uso excesivo por industria refresquera	
1	
2.5. Uso desmedido e ineficiente en sector turismo	
Falta de regulación y vigilancia del consumo de agua	
9	
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 21

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 13

Desarrollos turísticos en zona costera	Incremento de intensidad de huracanes por cambio climático
Comunidades pesqueras altamente vulnerables	

Asentamientos humanos irregulares 8

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 68

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
Capacidad gubernamental de prevención insuficiente 8	
Falta de protocolos de prevención y atención a huracanes	Falta de personal para actividades de prevención
Presencia de infraestructura que incrementa riesgos de inundación 5	
Carreteras que interrumpen escurrimientos	Bordos y bloqueos que generan inundaciones
Carencia de infraestructura para proteger zonas productivas 1	
3.3. Falta de atención a la población afectada por inundaciones	
Afectaciones a agricultores por inundaciones 12	
Pérdidas de cosechas Pérdidas de semillas	Pérdidas de colmenas Afectaciones a equipo
Falta de atención a familias afectadas por inundaciones 4	
Familias sin atención después de mucho tiempo después de los eventos	
3.4. Vivienda e infraestructura estratégica vulnerable a inundaciones	
Viviendas vulnerables a inundaciones 26	
Casas con materiales muy endeblés	Falta de conocimientos sobre métodos de construcción resilientes
Calles, avenidas y túneles inundables 6	
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	
Uso excesivo de agroquímicos 142	
Alto uso de agroquímicos en Hopolché	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
Mala disposición de envases de agroquímicos 3	

PP PNH 4. Deterioro cualitativo y cuantitativo del agua en cuencas y acuíferos	
Envases de agroquímicos terminan en ríos y lagunas No hay recolección ni plan de manejo	Falta de conciencia y capacitación a agricultores
Flujo subterráneo de aguas contaminadas en otras zonas	1
La contaminación del Sur de Yucatán fluye a los cuerpos de agua del Centro de Quintana Roo	
4.2. Contaminación por la actividad pecuaria	
Contaminación de cuerpos de agua por granjas porcícolas	37
No hay continuidad al programa de implementación de biodigestores Otorgamiento de permisos en zonas de alta vulnerabilidad como el anillo de cenotes	No hay control ni supervisión Crecimiento descontrolado de granjas porcícolas y avícolas Granjas porcícolas en Keken tiran sus residuos al manto freático
Infiltración de lixiviados en granjas ganaderas	7
4.3. Contaminación por residuos sólidos y materia orgánica	
Flujo de basura a cuerpos de agua superficiales	107
Falta de recolección de basura genera tiraderos comunitarios Falta de conciencia y supervisión a turistas Tiraderos a cielo abierto se inundan y la basura fluye a ríos y el mar	Cavernas y cenotes usados como tiraderos Falta de control de plásticos de un solo uso
Infiltración de lixiviados por mal manejo de residuos	24
Tiraderos clandestinos de sargazo Falta de manejo apropiado de residuos No hay separación en tiraderos entre residuos peligrosos y normales Mala disposición de pilas de pescadores	Falta de separación de residuos Falta de geomembrana y captación de lixiviados Vertimiento de lixiviados a la laguna de Chacmochuch
4.4. Contaminación por aguas residuales	
Plantas de tratamiento públicas ineficaces o insuficientes y cobertura de drenaje insuficiente	182
Falta de plantas de tratamiento Plantas de tratamiento mal mantenidas y operadas Falta de capacidades locales para construir y operar PTARs	Tecnología de tratamiento desactualizada Falta de vigilancia al cumplimiento de la NOM001
Sumideros de aguas residuales	92
Asentamientos humanos irregulares no tienen otra alternativa 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
Vertimiento de aguas residuales por empresas o hoteles	15
No hay suficiente exigencia para la implementación de plantas de tratamiento privadas	No hay vigilancia ni multas Falta de conciencia
Fosas sépticas con fugas o mal manejadas	11
No hay capacitación para construcción de fosas sépticas funcionales 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 No hay vigilancia
Drenaje con fugas	4
Tuberías muy antiguas 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

Falta de supervisión y control a industrias		16
Residuos industriales peligrosos que no son tratados apropiadamente	Falta de conciencia Descargas de aguas contaminadas no reguladas	
Intrusión salina		14
Por aumento del nivel del mar Por inundaciones costeras	Por cambios en los flujos subterráneos y disminución de los niveles freáticos	
4.6. Afectaciones a servicios ecosistémicos hídricos		
Deforestación y afectación a manglares		38
Pérdida de conectividad hidrológica por carreteras Deforestación para desarrollo turístico o infraestructura estratégica	Salinización de manglares Contaminación por descargas de aguas residuales	
Disminución de la disponibilidad de agua		12
Cada vez hay más sequías Demasiado crecimiento turístico con grandes piscinas y pastos	Los niveles de los cenotes están disminuyendo	
Afectaciones a cuerpos de agua		5
Contaminación de cenotes Desecación de aguadas Lechuguilla acuática en la bahía de Chetumal tapa la luz solar	Contaminación de lagunas Invasión de pez diablo	
Deforestación y afectación a selvas y bosques		3
Cambio de uso de suelo para agricultura 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 Mm³/año a 25,315 Mm³/año, así como también los volúmenes calculados de Descarga Natural comprometida, que varía de 25,697.73 Mm³/año a 17,305.60 Mm³/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.

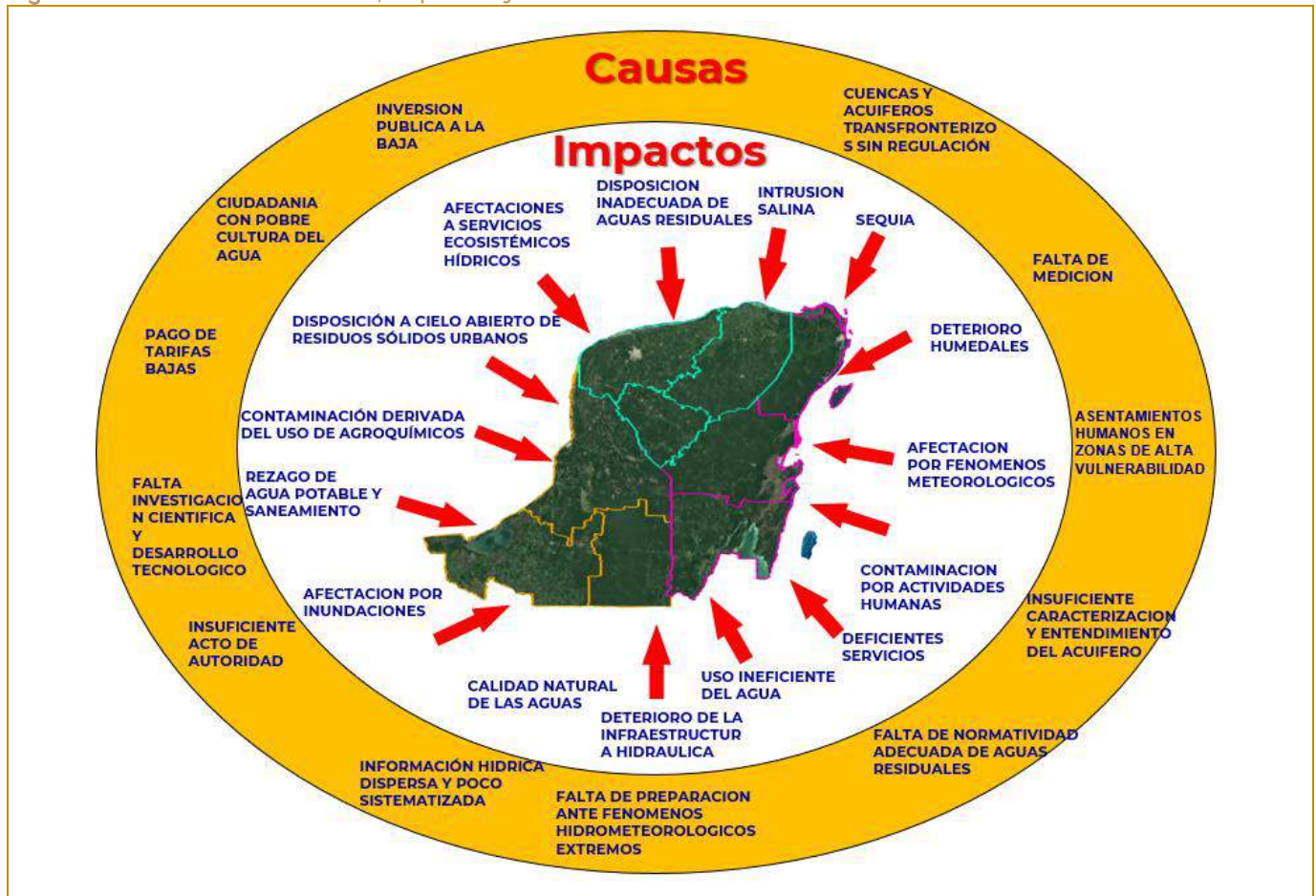
Por su lado, el funcionamiento de la estructura administrativa del Consejo de Cuenca tiene varias limitantes aún, como la poca representatividad en algunos de los integrantes de los sectores usuarios y de la sociedad organizada dentro del Consejo de Cuenca y/o participando en los diversos órganos auxiliares, 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

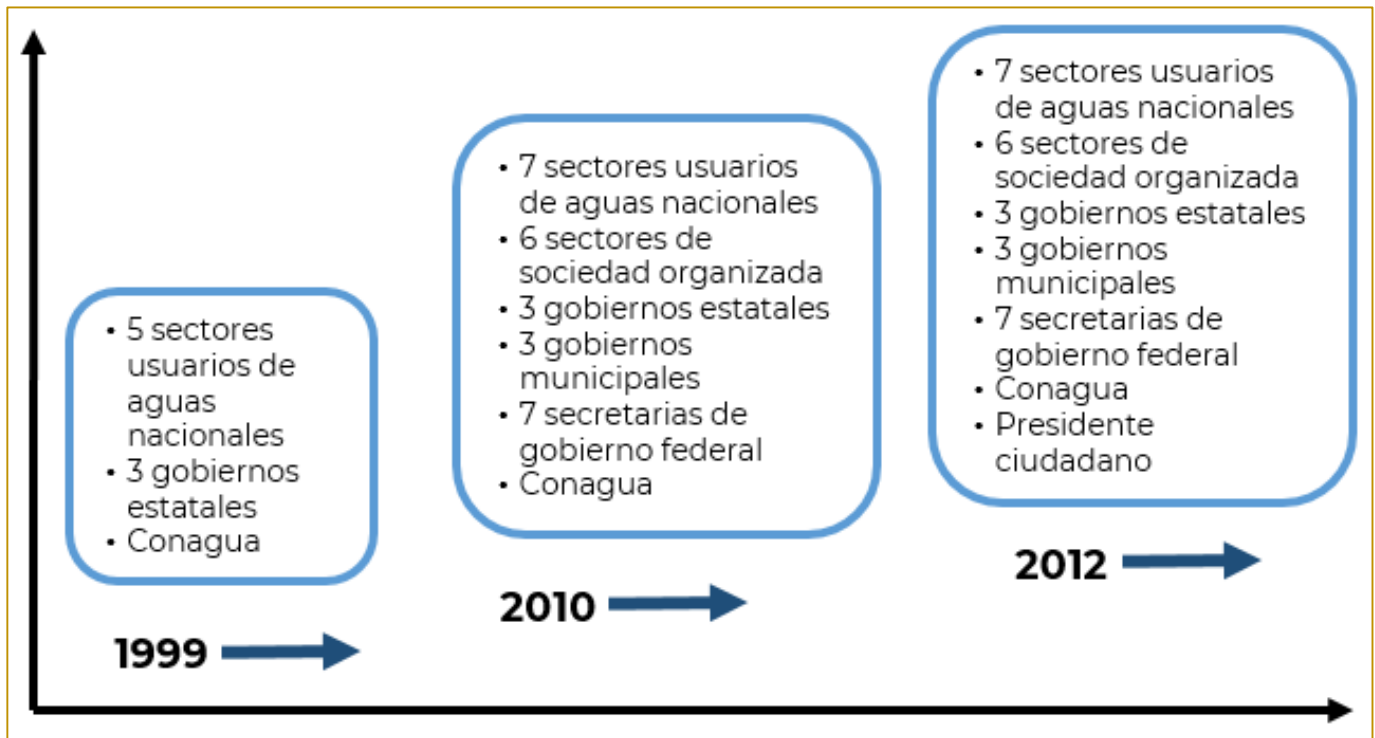
Al establecerse el Consejo de Cuenca en el año de 1999, inicio con un total de nueve integrantes, de los cuales cuatro fueron representantes gubernamentales y cinco representantes de sectores usuarios de aguas nacionales.

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.

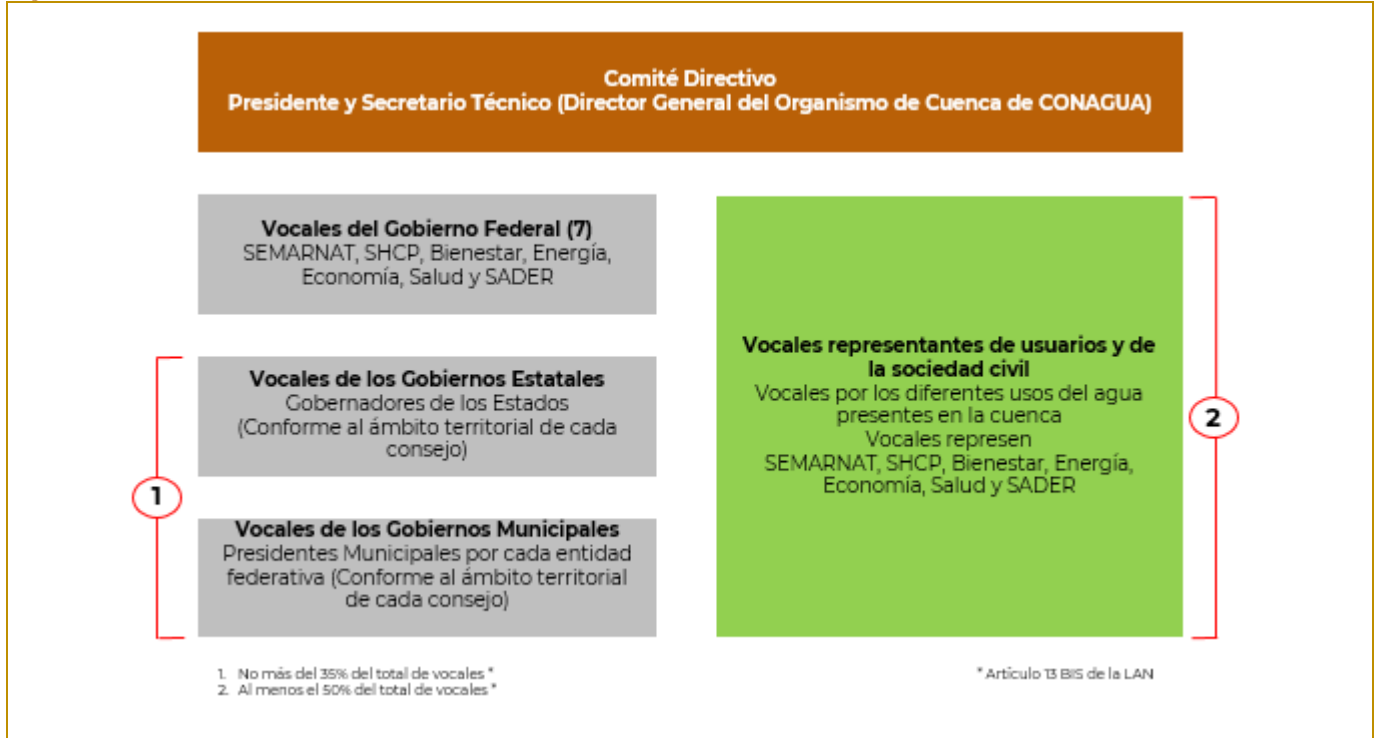
Al incorporar nuevos integrantes se alcanza un total de 33 integrantes, de los cuales 14 son representantes de los tres niveles de gobierno, otros 19 son representantes de sectores usuarios y de la sociedad organizada (Figura 131), cada uno de ellos con derecho a voz y voto incluyendo a el presidente, 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 Comisión de Cuenca del Río Candelaria	2012
Comité de Cuenca Tulúm	2011
Comisión 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 Yucatán” 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
En el Estado de Quintana Roo:	
QRooC	
QRooS	Comité de Cuenca del Sistema Lagunar de Bacalar.
	Comisión de Cuenca del Río Hondo
QRooN	Comité de Cuenca de Solidaridad. Comité de Cuenca de Tulum
En el Estado de Yucatán:	
YucN	Comité Técnico de Aguas Subterráneas de la Zona Metropolitana del Anillo de Cenotes
YucO	
YucS	
En el Estado de Campeche:	
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 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 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_LLR	Max-Planck Institute	ens	1961 – 2000	1.90	-166.2	2.49	-146.1
Promedio de GCMs				1.95	-63.2	2.58	-39.4
				± 0.43	± 102.1	± 0.57	± 99.1

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%¹ 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.

¹ 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
A. Tasas de correlación 2020 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. Crecimiento moderado Escenario desarrollado por Rodríguez-Huerta et al. (2019) que considera un crecimiento sigmoideal del consumo por habitante por ocupación por municipio.			6 960	106%
C. Escenario BAU 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.

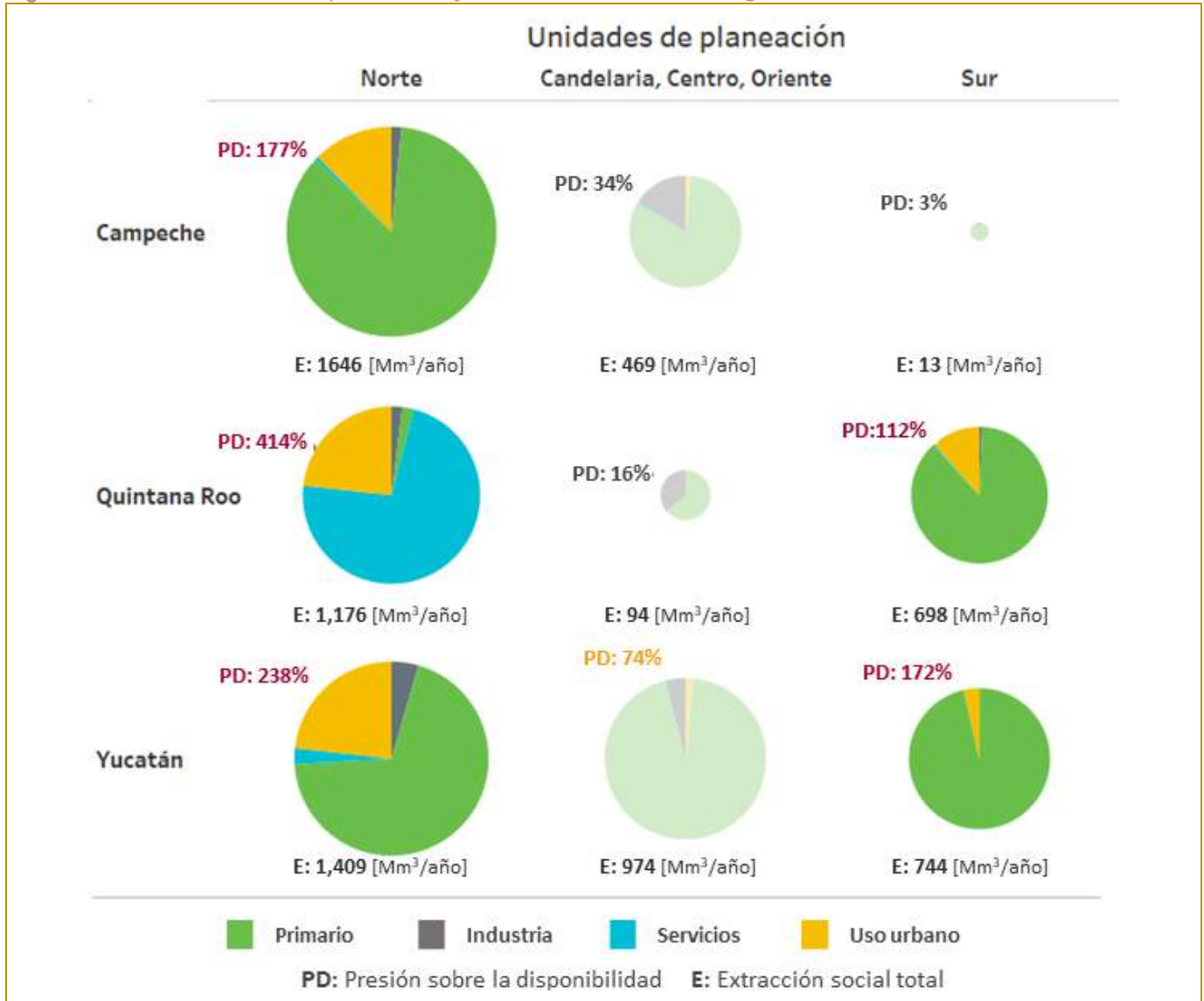
Tabla 95. Escenario de la disponibilidad de agua subterránea al 2050 bajo efectos del cambio climático en el escenario RCP8.5 y el desarrollo del Tren Maya en Mm³/año.

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%
Total	8 254 977	19 388	12 796	12 796	6 592	7 224	110%
Cambio respecto al 2020	64%			-48.70%	62%	-108%	216%

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

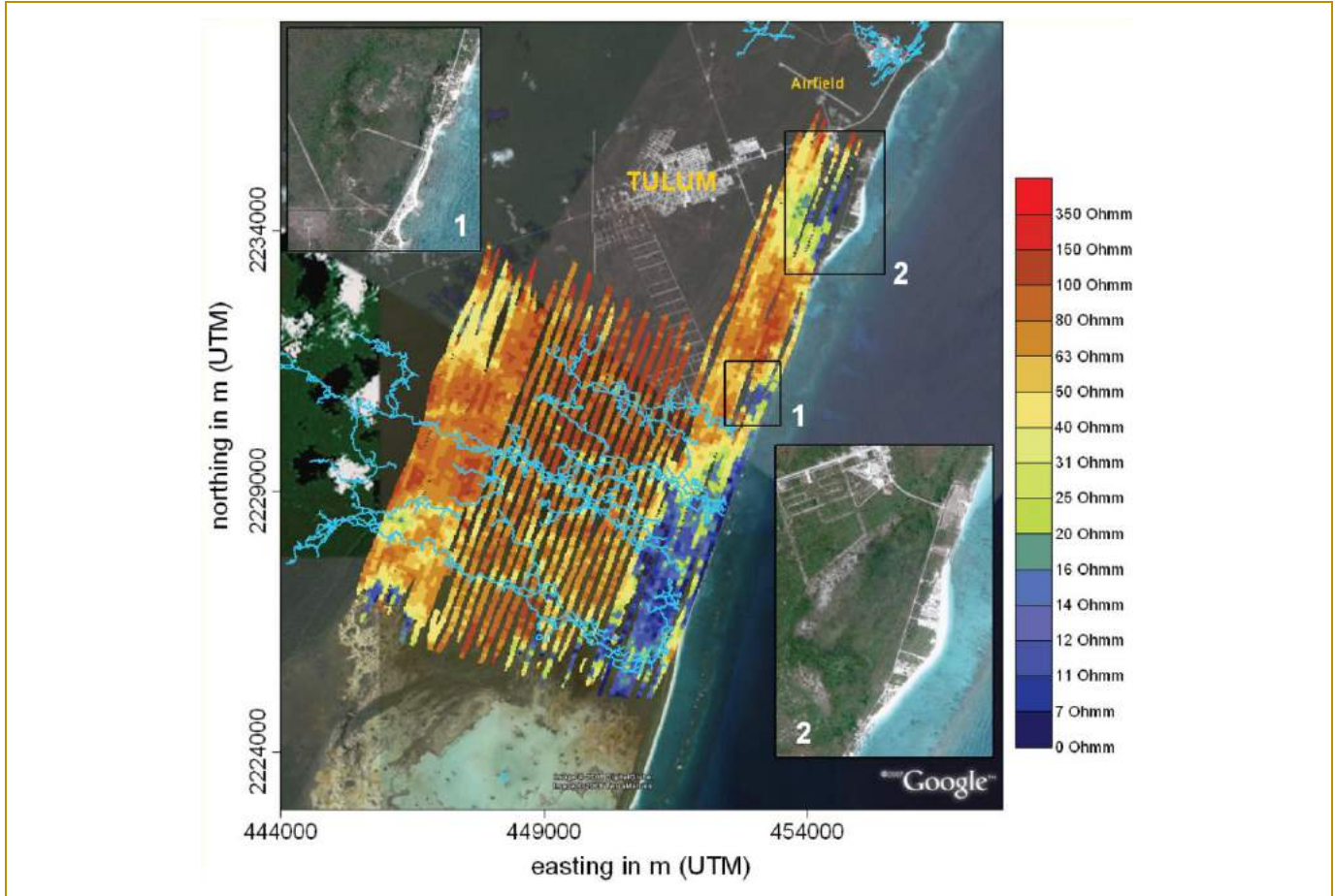
La disponibilidad de agua no sólo depende de la cantidad de agua sino también de su calidad. Las características de los acuíferos costeros de la PY lo hacen particularmente vulnerable a la intrusión salina, particularmente por su alta permeabilidad y bajo gradiente hidráulico (Canul-Macario, 2020). Desde 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



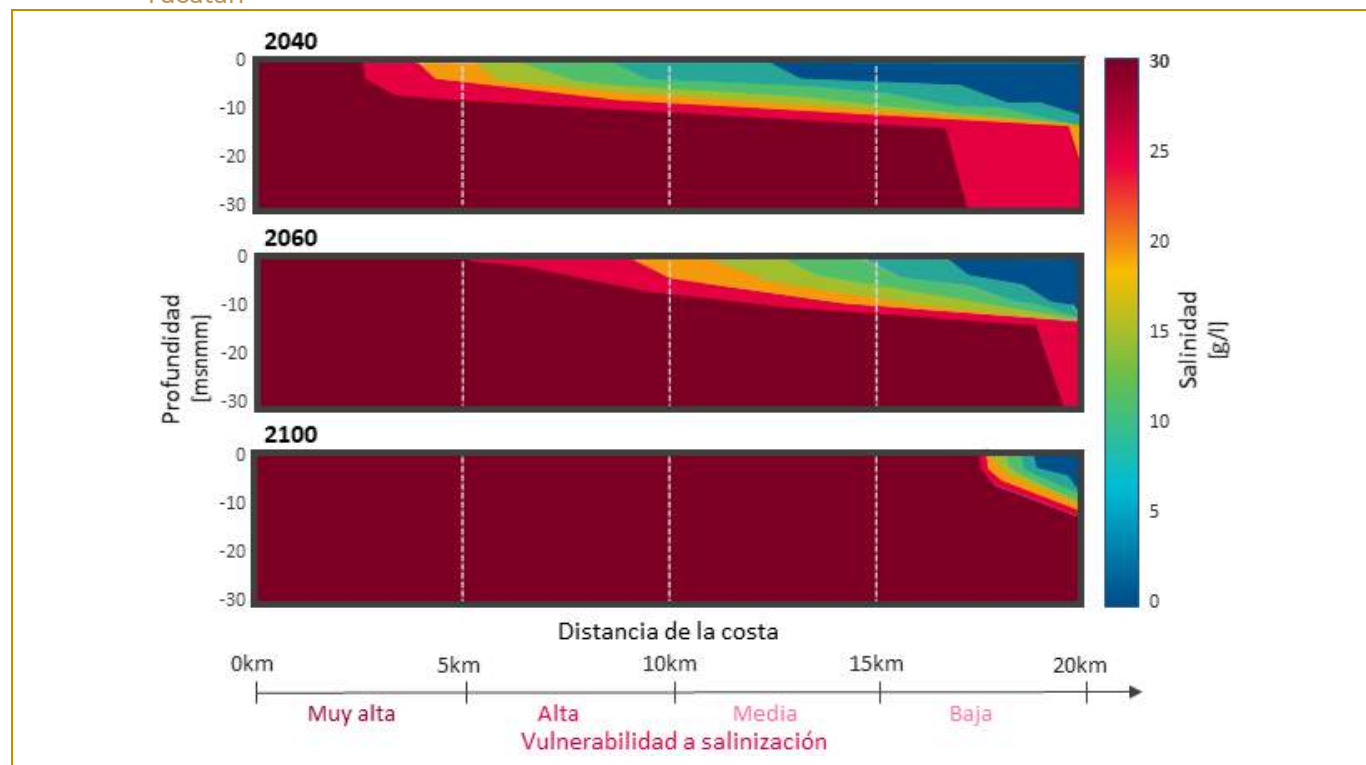
Nota: Los tonos azules representan una menor resistividad eléctrica, los rojos, la mayor. Los tonos azules en la costa, incluyendo al Parque Nacional Tulum (recuadro 2) podrían deberse a intrusión salina.

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).

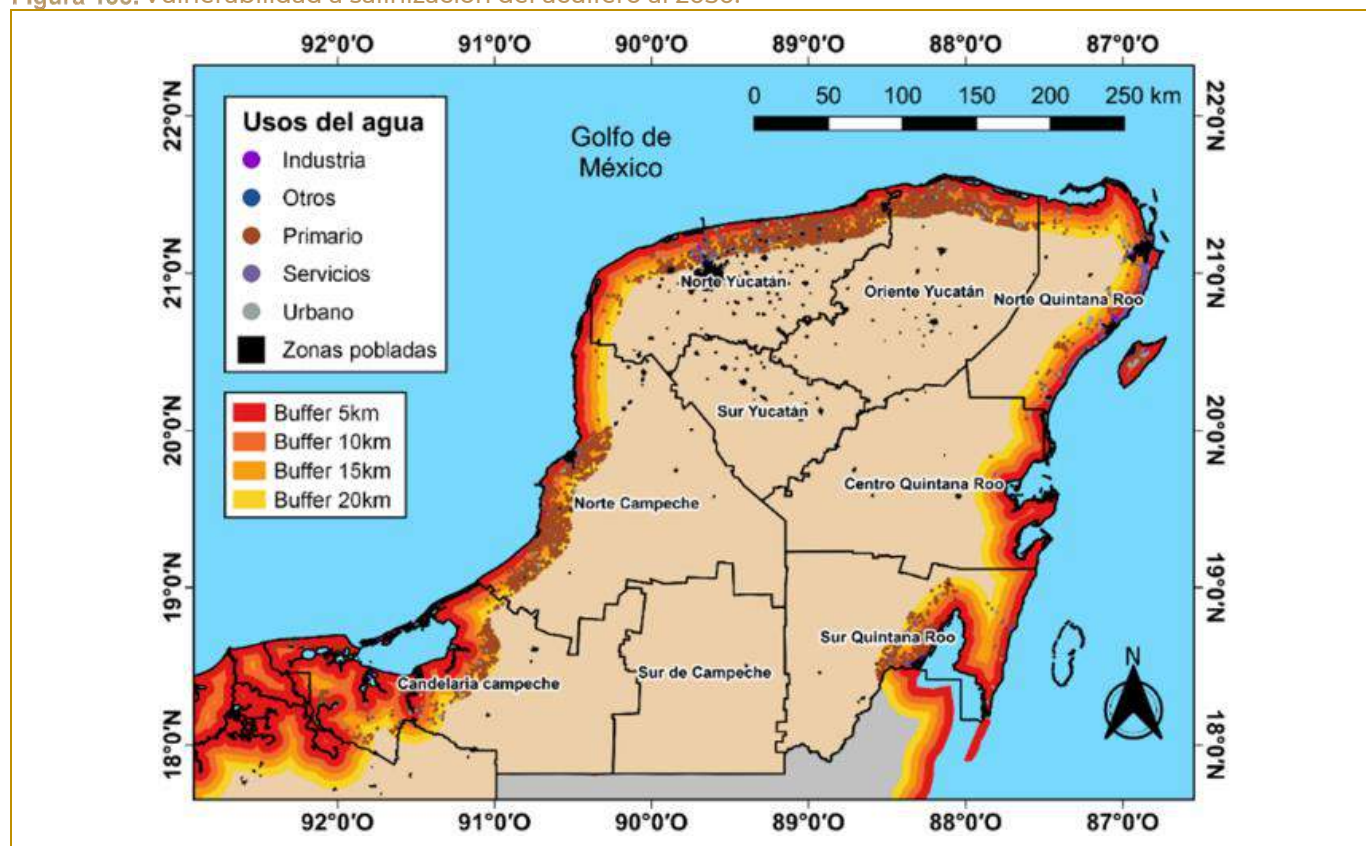
Tabla 97. Porcentaje del volumen concesionado en condiciones de vulnerabilidad muy alta y alta a salinización (<10km de la costa) al 2050 bajo el escenario de cambio climático RCP8.5

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%
TOTAL	19%	5%	28%	94%	13%

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.



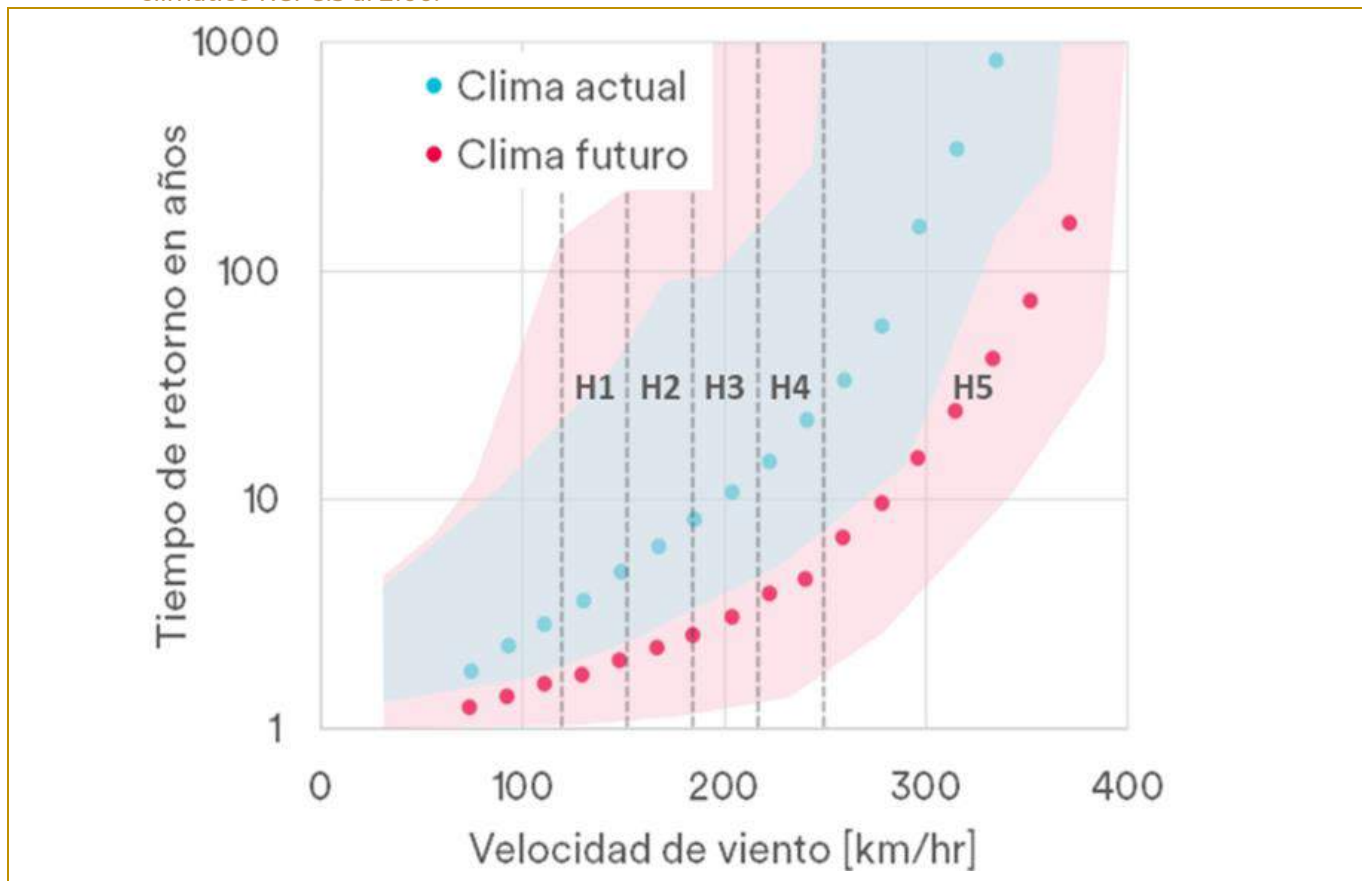
Fuente: Elaboración propia mediante estimación de la salinización costera bajo RCP8.5 de Canul-Macario (2020) y de los datos de extracción según el REPDA (2020).

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.

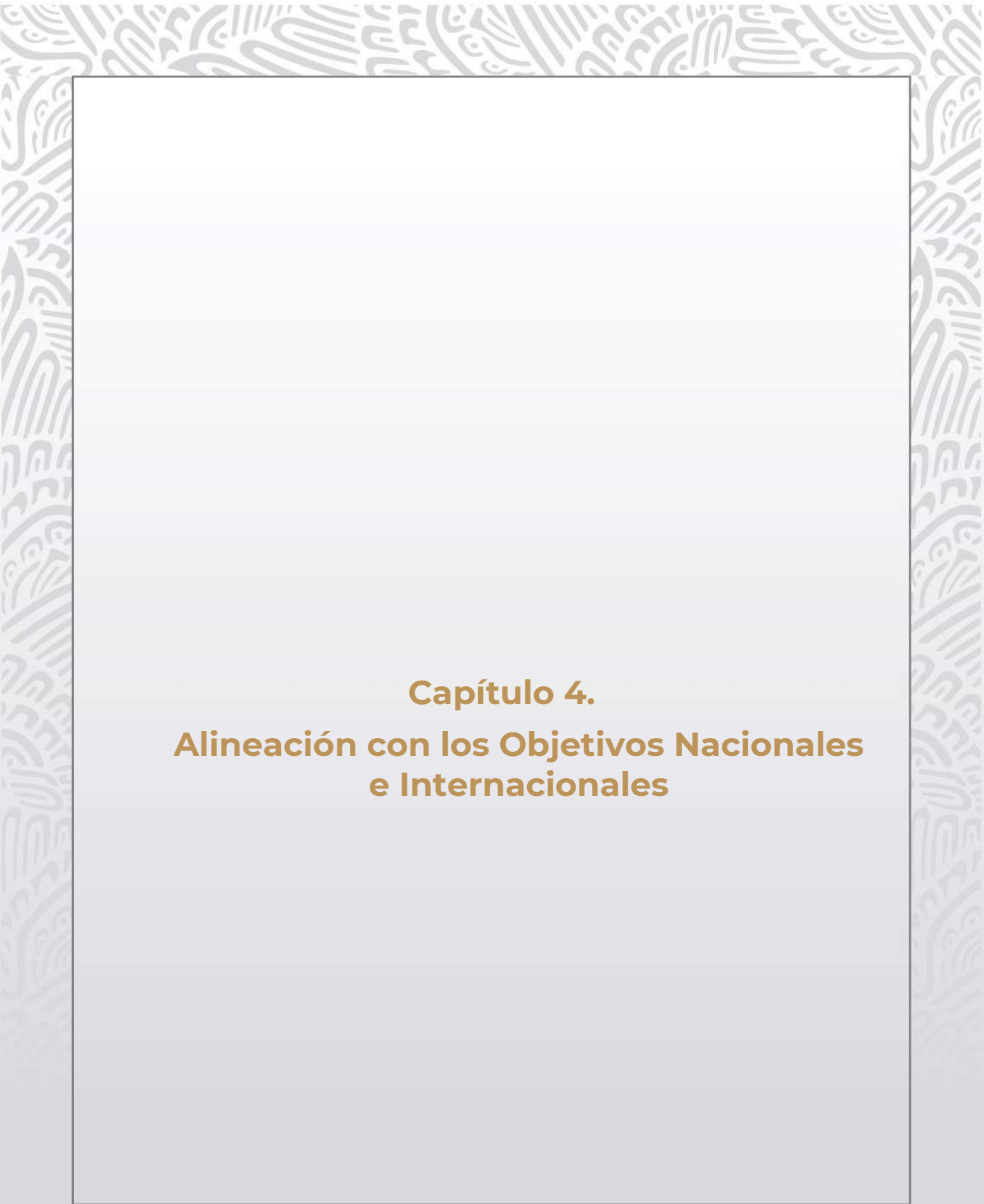
Figura 136. Periodos de retorno de vientos máximos de huracanes en la PY considerando escenarios de cambio climático RCP8.5 al 2100.



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.

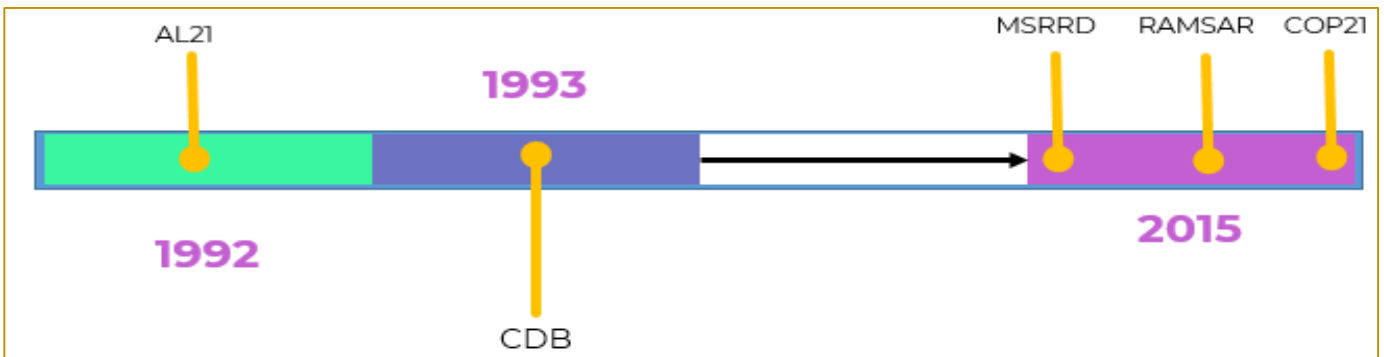
Objetivos de Desarrollo Sostenible	PND	PROMARNAT	PNH	PHR 2030	PHR 2021-2024	Plan Rector
6. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.	2.1 Brindar atención prioritaria a grupos históricamente discriminados mediante acciones que permitan reducir las brechas de desigualdad sociales y territoriales. 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 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.	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.	OE.A.1 Saneamiento integral de la Península 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. 3.3. Promover la innovación, la competencia, la integración en las	Conservación y restauración de los ecosistemas y biodiversidad 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.	Actividad Colectiva 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 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 afroamericanas.</p> <p>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>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)</p>	<p>OE.E.2 Abatir los problemas de desnutrición y de opciones productivas en el medio rural</p> <p>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.</p> <p>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</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 afroamericanos.</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>Actividad Colectiva 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>
<p>14. Conservar y utilizar de forma sostenible los océanos, mares y recursos marinos para lograr el desarrollo sostenible.</p> <p>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</p> <p>Entorno libre de contaminación del aire, agua y suelo.</p> <p>4. Recuperar la funcionalidad de cuencas y paisajes a través de la conservación, restauración y aprovechamiento sustentablemente del patrimonio natural</p> <p>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>Actividad Colectiva 6.- Fomentar la capacitación multinivel para el manejo de cuencas o zonas geohidrológicas y agrobiodiversidad asociada (2021-2024)</p>	<p>OE.B.1 Incrementar la cantidad y calidad de la cobertura vegetal</p> <p>OE.B.2 Recuperar las especies nativas</p> <p>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 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. 8. Programar y procurar el financiamiento suficiente y oportuno para la gestión integrada de los recursos hídricos.</p>	<p>Actividad Colectiva 1.- Conformar Órganos Auxiliares del Consejo de Cuenca a nivel de Unidad de Planeación para la gestión integrada del recurso hídrico (2021-2024) Actividad Colectiva 4. Instrumentar un sistema de monitoreo a nivel UP en tiempo real para general una cobertura peninsular del sistema hidrológico Actividad Colectiva 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)</p>	<p>OE.F.2 Complementación e implementación del marco legal y normativo 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>Actividad Colectiva 7.- Promover un sistema de alerta temprana para la gestión del agua ante el cambio climático. (2021-2024)</p>	<p>OE.H.1 Aumentar la capacidad de adaptación ante el cambio climático 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.

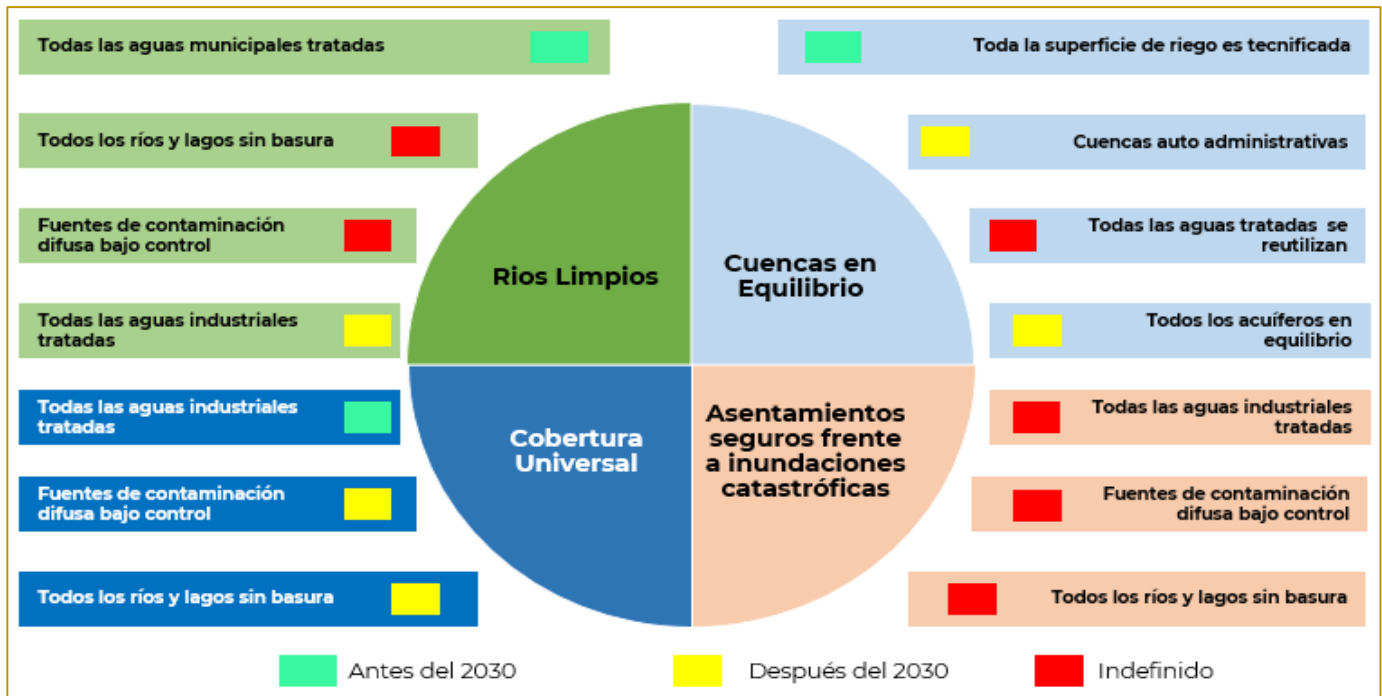
4.1. Vinculación regional/local con la Agenda 2030

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.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 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.1.3 Eliminar la contaminación por desechos y residuos sólidos	A.A.1.3.1 Construcción de rellenos sanitarios acordes con la normatividad vigente A.A.1.3.2 Promover buenas prácticas de separación, disposición, transporte, compactación y reciclamiento de basura 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
			A.A.1.1.2 Complementar infraestructura para el tratamiento de aguas residuales, y rehabilitar y operar la existente
			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
			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
			A.A.1.3.2 Promover buenas practicas de separación, disposición, transporte, compactación y reciclamiento de la basura
			A.A.1.3.3 Limpieza de playas, selva, bosque, manglares, humedales, cuerpos de agua superficial
			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 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 A.A.2.1.2 Incrementar y mejorar las coberturas, dotaciones y consumos de agua potable A.A.2.1.3 Reducción de las pérdidas y mejora de la eficiencia en las redes de agua potable 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 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
			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
	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.1.2.2 Programas de mejoramiento y saneamiento de escuelas y áreas comunes en zonas marginadas
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.E.2.1.1 Sistemas de aprovechamiento integral avícolas y pecuarios (captación de metano, producción de abono orgánico, etc.)
			A.E.2.1.2 Sistemas de producción y comercialización agrícola a escala familiar y comunitarios
			A.E.2.1.3 Implementar sistemas de producción y comercialización piscícola y acuícola
			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
		M.G.1.3 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
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.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 M.I.1.2 Coordinación, análisis y difusión de la información ambiental para la toma de decisiones	A.I.1.1 Desarrollar y establecer una red de monitoreo ambiental eficiente y confiable A.I.1.2.1 Establecer un sistema de monitoreo y evaluación (indicadores) 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.

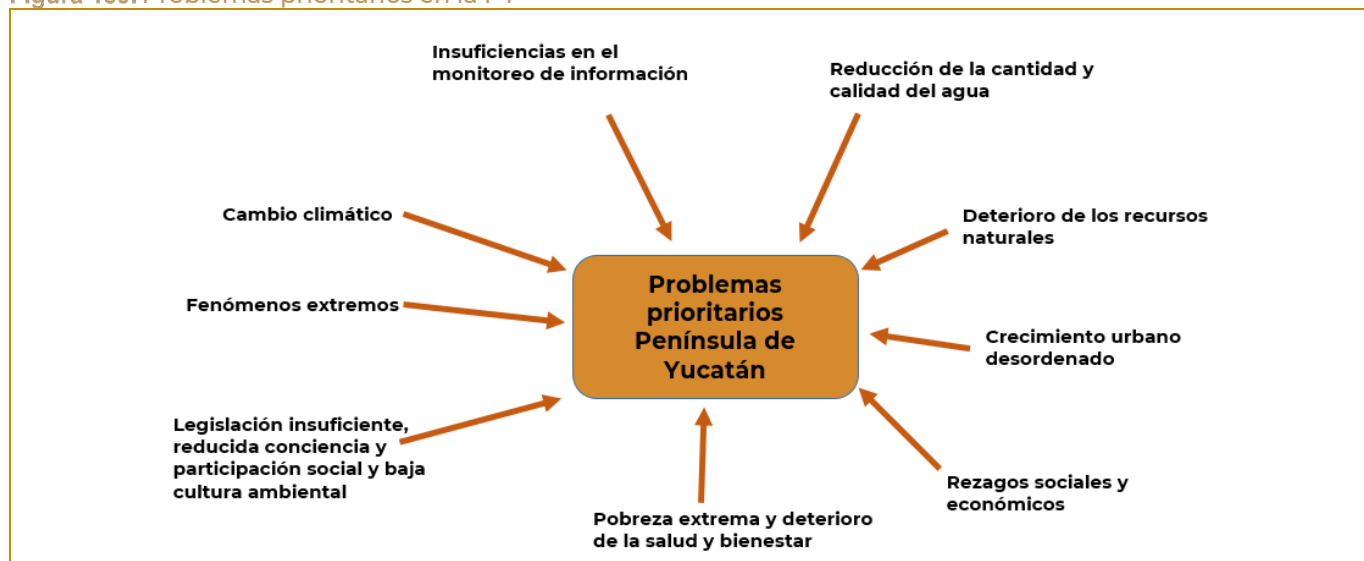
En total son nueve los problemas prioritarios que fueron identificados derivados del diagnóstico mediante un proceso de consenso, sustentado y respaldado por el intercambio y análisis de información, y la realización de entrevistas y reuniones de trabajo (Figura 139)

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

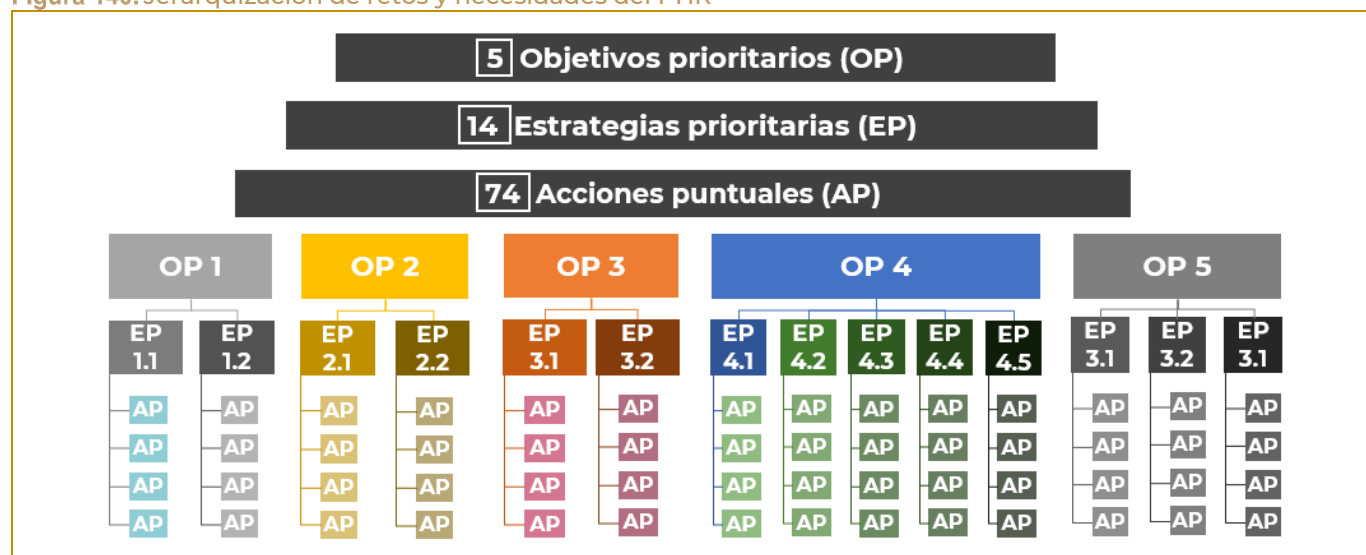
Este Programa se orienta a apoyar proyectos de rehabilitación, tecnificación y equipamientos para los Distritos de Riego o de Temporal Tecnificado, así como a las Unidades de Riego y algunos otros apoyos especiales y estratégicos. En el Anexo 13 se presentan las Reglas de Operación para el programa de 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.

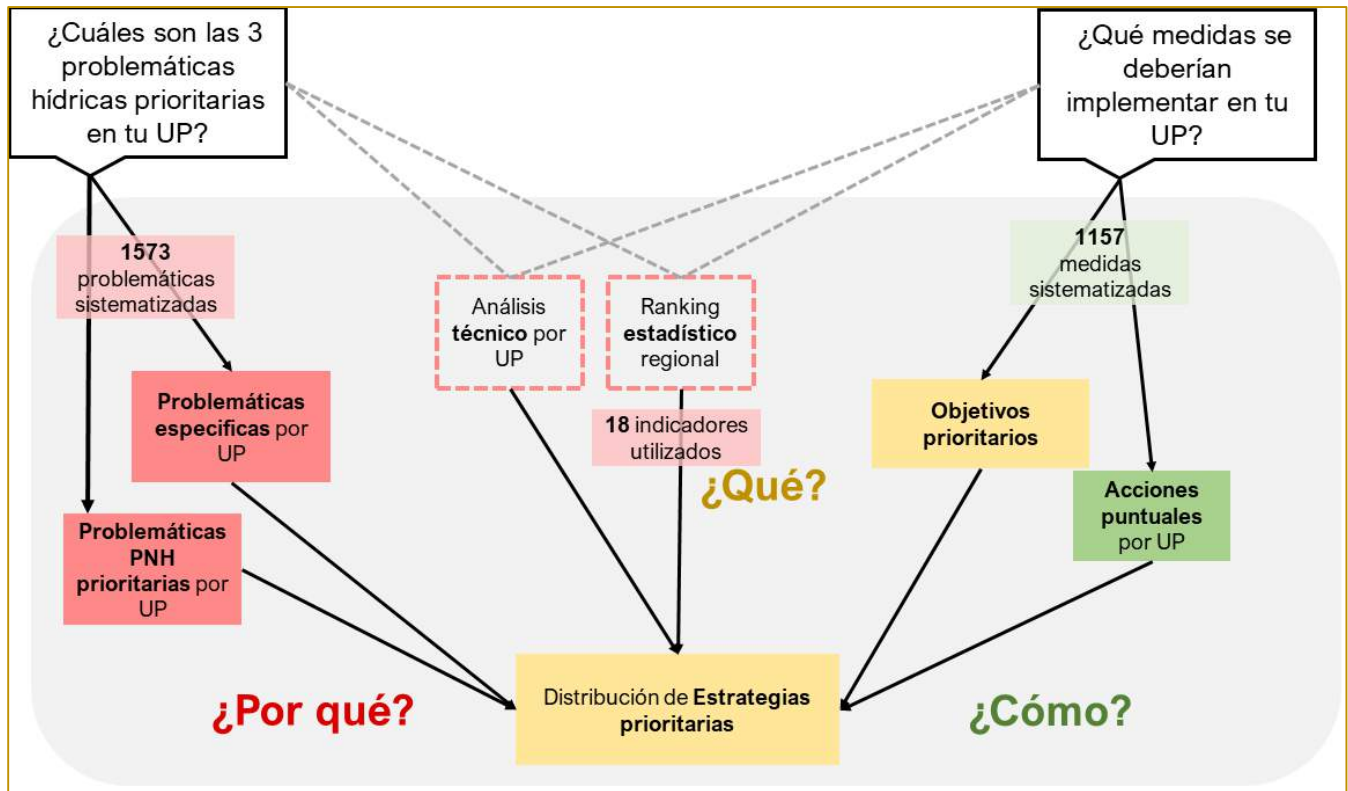
La identificación y priorización de EP resulta de la integración del proceso participativo y los análisis técnicos y estadísticos (Figura 141). Al combinar estas tres herramientas de análisis, se consolidó un instrumento con alto grado de inclusividad, considerando la complejidad de las problemáticas, así como las necesidades actuales y futuras.

Tabla 104. Objetivos prioritarios priorizados a escala peninsular

41%	1.- Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento , especialmente en la población desatendida históricamente.
7%	2.- Aprovechar eficientemente el agua para contribuir al desarrollo sostenible de los sectores productivos.
11%	3.- Reducir la vulnerabilidad de la población ante inundaciones y sequías , con énfasis en pueblos indígenas y población marginada.
37%	4.- Preservar la integralidad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan cuencas y acuíferos.
	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.

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 marginada² 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.

² 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"> • Por el bien de todos, primero los pobres. • No dejar a nadie atrás, no dejar a nadie afuera. • El respeto al derecho ajeno es la paz.
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"> • Mejoras en la proporción de población con acceso al agua todos los días y saneamiento mejorado. • Prestadores de servicios comunitarios y municipales con condiciones para apoyar la implementación de los derechos humanos al agua potable y saneamiento.

Criterio del PND 2019-2024	Descripción en el PNH y en el PHR
Transversalidad	<ul style="list-style-type: none"> 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. Infraestructura mejorada en zonas de atención prioritaria. Avances en la implementación de derechos humanos al agua y saneamiento. <p>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.</p>

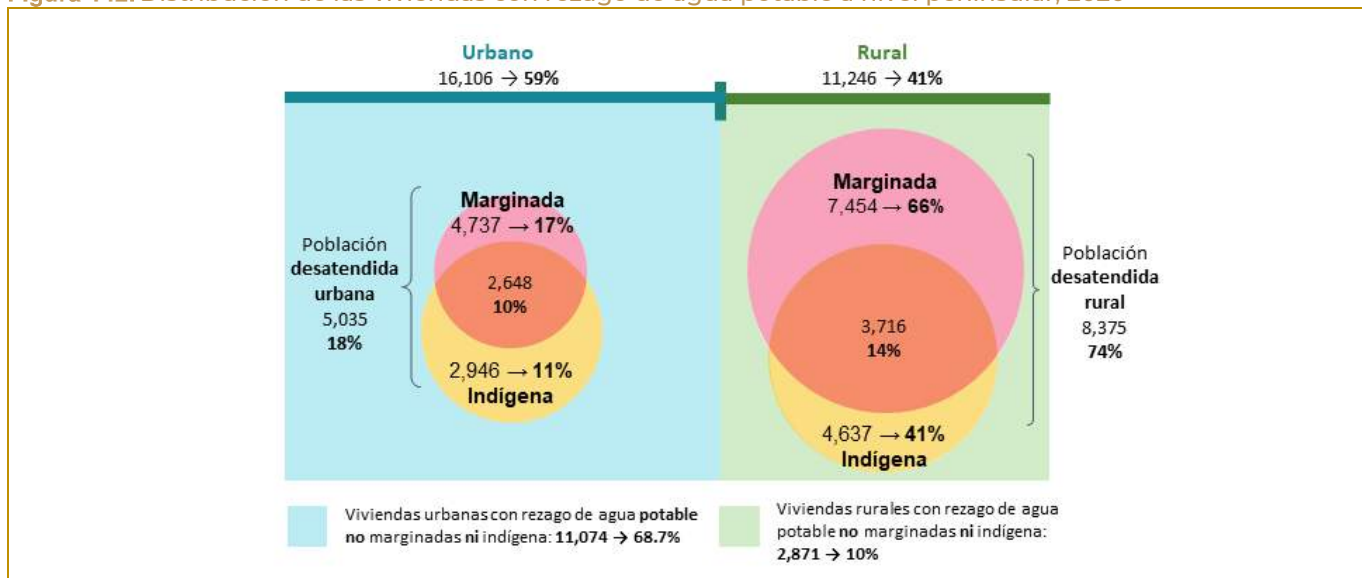
A continuación, se detallan los retos y necesidades y su distribución entre las UP para las dos EP contempladas para el OP 1.

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)³. 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

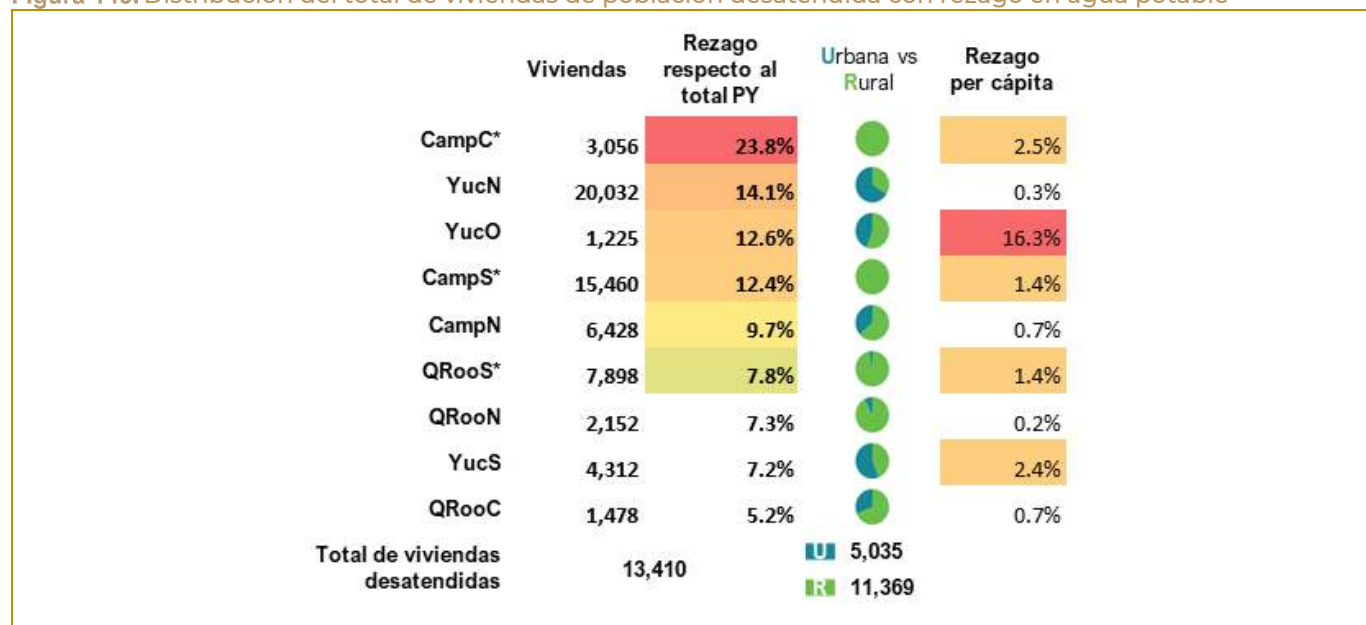


Fuente: Elaboración propia mediante datos del CPV (INEGI, 2020).

³Datos 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.⁴

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 drenaje⁵, 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.

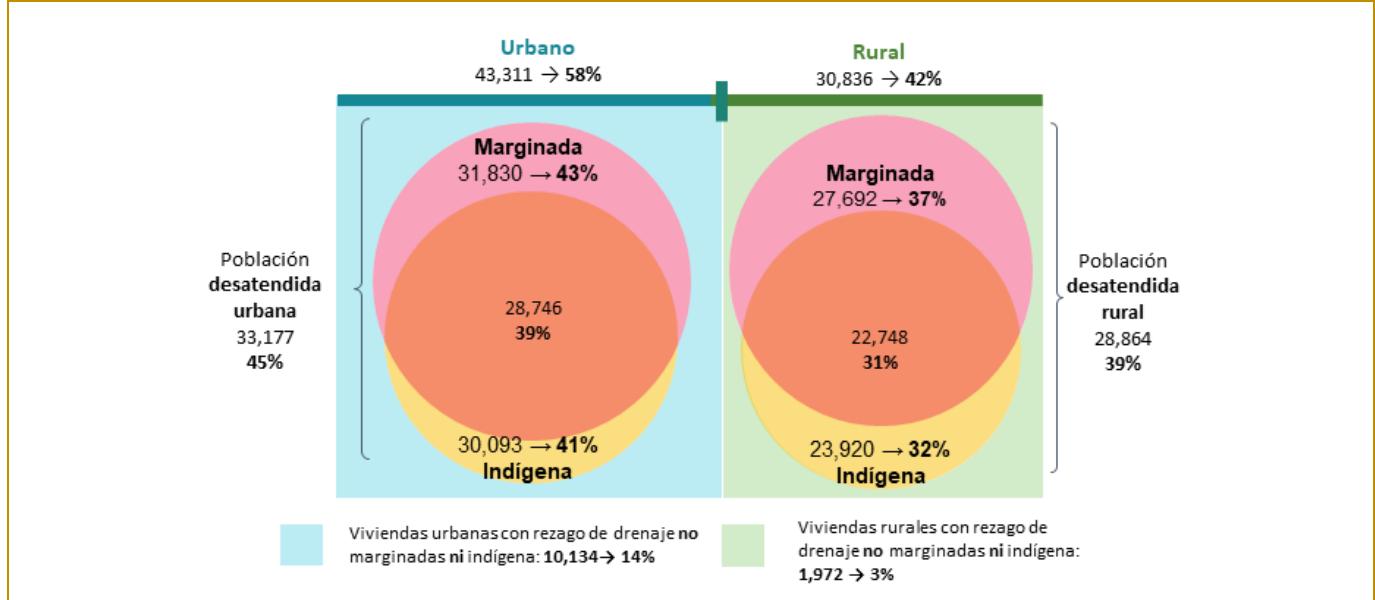
La población indígena y la población marginada, históricamente desatendida, concentra el 82% del rezago total en materia de drenaje a nivel peninsular, equivalente a 62,041 viviendas.

⁴ Ver actividad colectiva 1 en el capítulo 7

⁵ 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.

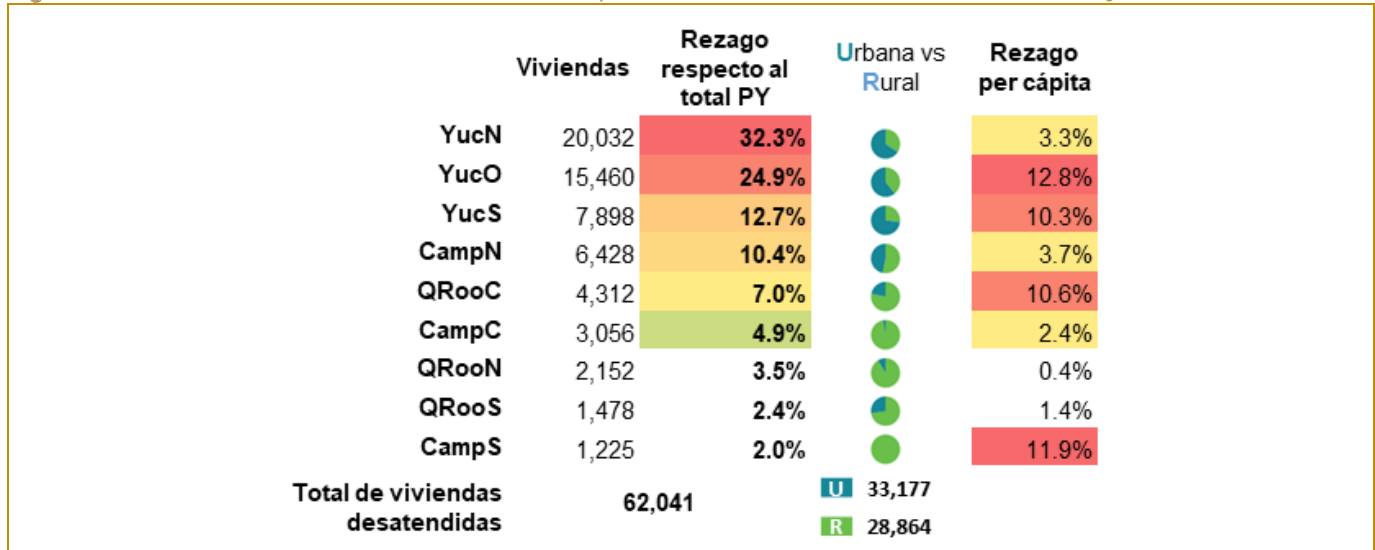
En la PY, el 69.9% de las viviendas de población desatendida, sin acceso a drenaje, se concentra en Yucatán, donde la mayor parte se encuentra en el medio urbano (Figura 144). En los otros dos Estados la mayor parte de la población desatendida sin acceso a drenaje se encuentra en el medio rural.

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

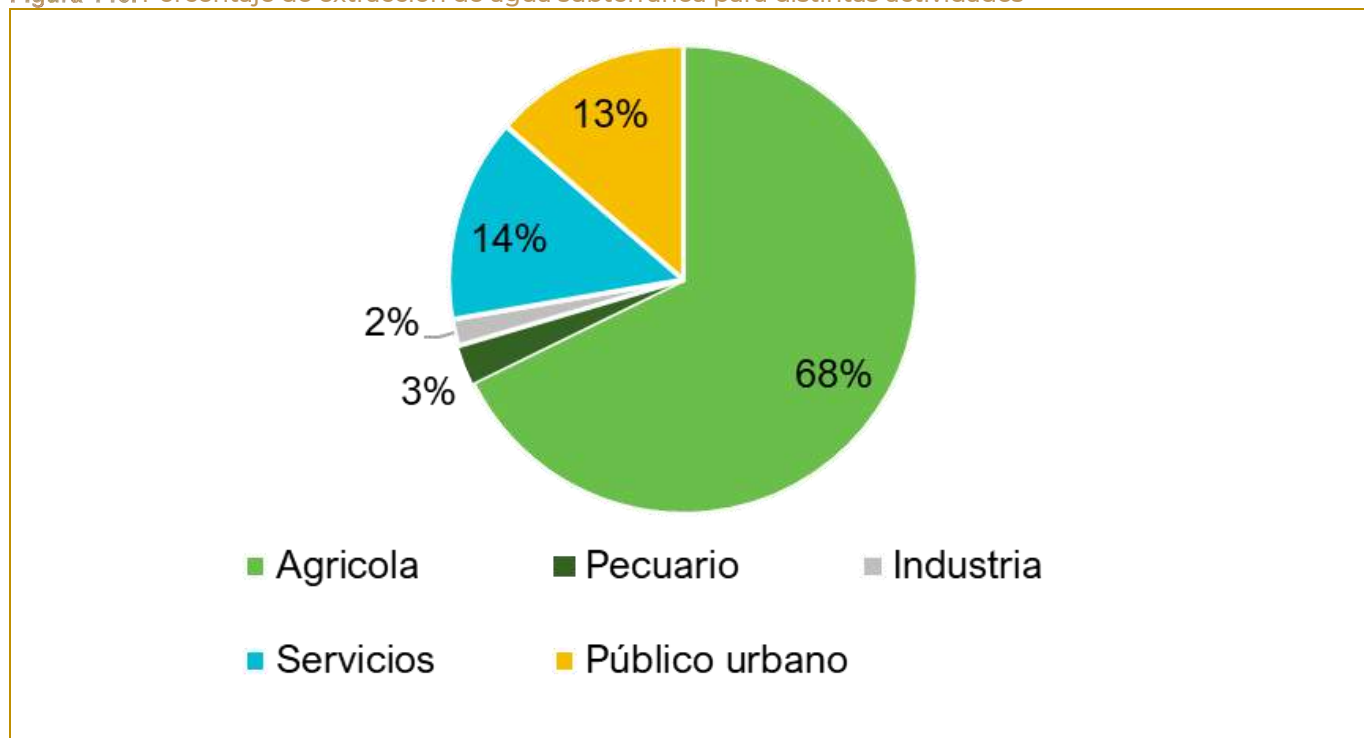
Actualmente los niveles de extracción a escala de acuífero se encuentran dentro de los límites naturales⁶ (DOF, 2018). Sin embargo, como se detalla en el Capítulo 1, existe un riesgo de extracción de agua destinada a la conservación ambiental en algunas UP si no se consideran escenarios de cambio climático 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).

⁶ 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. Productores agropecuarios. En donde la actividad porcícola, es la tercera actividad generadora de ingresos para el sector agropecuario para Yucatán. Pequeños productores hidroagrícolas en zonas vulnerables. 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"> ● Economía para el bienestar. ● Por el bien de todos, primero los pobres. ● No dejar a nadie atrás, no dejar a nadie fuera. ● No más migración por hambre o por violencia.
Contribución al nuevo modelo de desarrollo	Colaboración intersectorial para prevenir degradación de cuencas y acuíferos. Bienestar mediante el uso eficiente del agua en todos los sectores. Creación de condiciones para la seguridad alimentaria mediante el uso eficiente del agua en la agricultura. 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” “Sembrando Vida”
Cambios esperados	<ul style="list-style-type: none"> ● Mejora en la eficiencia del uso del agua en los sectores agrícola (ej: CampN, YucN, YucO), industrial y turístico (por ejemplo, QRooN). ● Reutilización de aguas residuales tratadas en diferentes sectores, ya que hasta ahora esta actividad se implementa prácticamente en grandes ciudades. ● Infraestructura mejorada para la producción de alimentos. ● Sistemas de producción eficientes y sostenibles. ● Mejora de las condiciones de sectores productivos primarios menos favorecidos y pequeños productores y productoras de zonas vulnerables. ● Avances para el logro de la seguridad alimentaria y la seguridad hídrica.
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%
Total PY	68%	34.7%

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 m³/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).

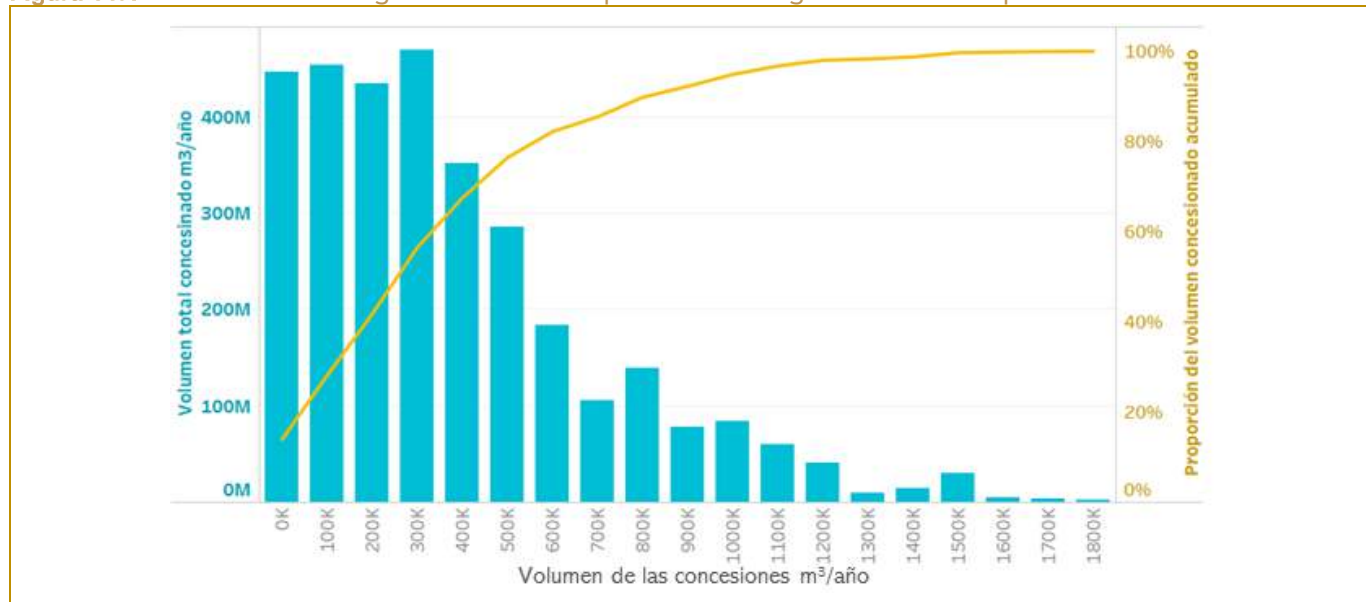
Otras de las medidas propuestas se enfocan en la capacitación a agricultores con técnicas de riego y sembrado más eficientes, como riego por goteo y agroecología. Se propuso también la regulación de los cultivos altamente consumidores de agua, como la palma de aceite o la soja.

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.

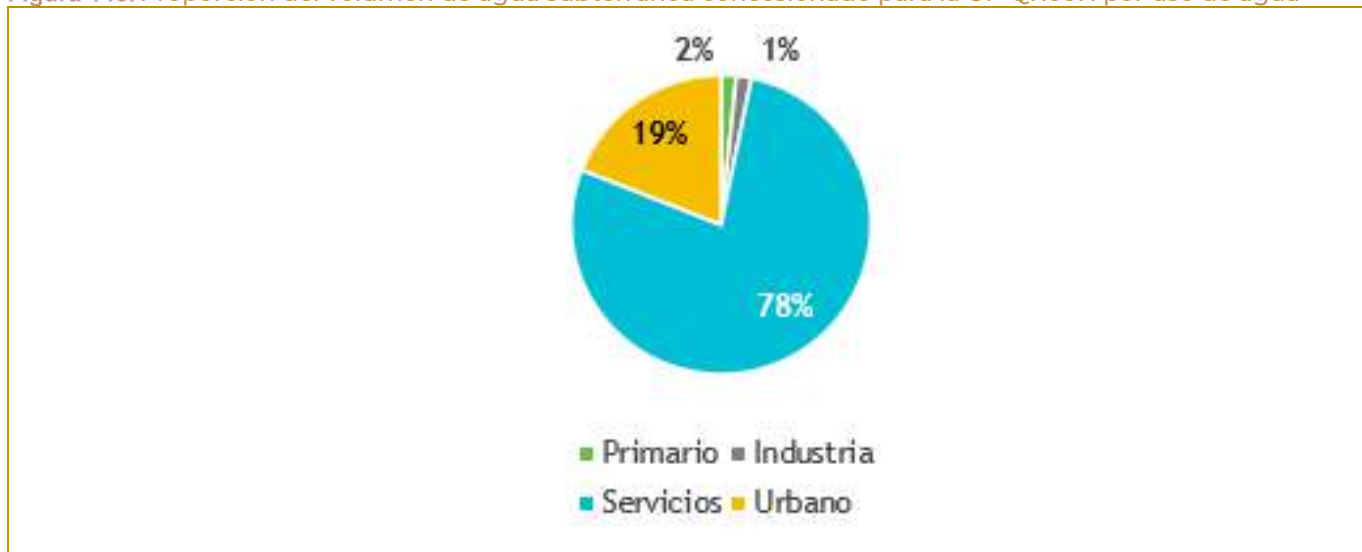
- Mejorar el monitoreo de la extracción y la aplicación de sanciones para productores que con medidores fuera de regla.

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"> ● Por el bien de todos, primero los pobres ● No dejar a nadie atrás, no dejar a nadie afuera
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. Construcción de comunidades resilientes a los cambios del clima. Creación de capacidades nacionales de adaptación al cambio climático.
Proyectos o programas prioritarios	<ul style="list-style-type: none"> ● Planeación hídrica mejorada con información sobre el clima. ● Vulnerabilidad social disminuida frente a los impactos de eventos extremos del tiempo y el clima. ● Políticas hídricas que integran información climática. ● Implementación de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) y soluciones de infraestructura verde. ● Infraestructura mejorada en zonas de alta y muy alta vulnerabilidad frente a cambios del clima. ● Gestión de riesgos de desastre mejorada al considerar esquemas de planeación democrática. ● 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).
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 grises⁷; 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.

⁷ 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 sequías (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. 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. 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"> ● Por el bien de todos, primero los pobres ● No dejar a nadie atrás, no dejar a nadie fuera
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. 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” Autosuficiencia Alimentaria y rescate del campo
Cambios esperados	<ul style="list-style-type: none"> ● Preservación de ecosistemas que hacen posible el ciclo del agua. ● Mantenimiento de servicios ambientales hidrológicos. ● Gestión integrada de recursos hídricos mejorada. ● Protección a poblaciones y ecosistemas. ● Creación de condiciones para garantizar la seguridad hídrica.
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

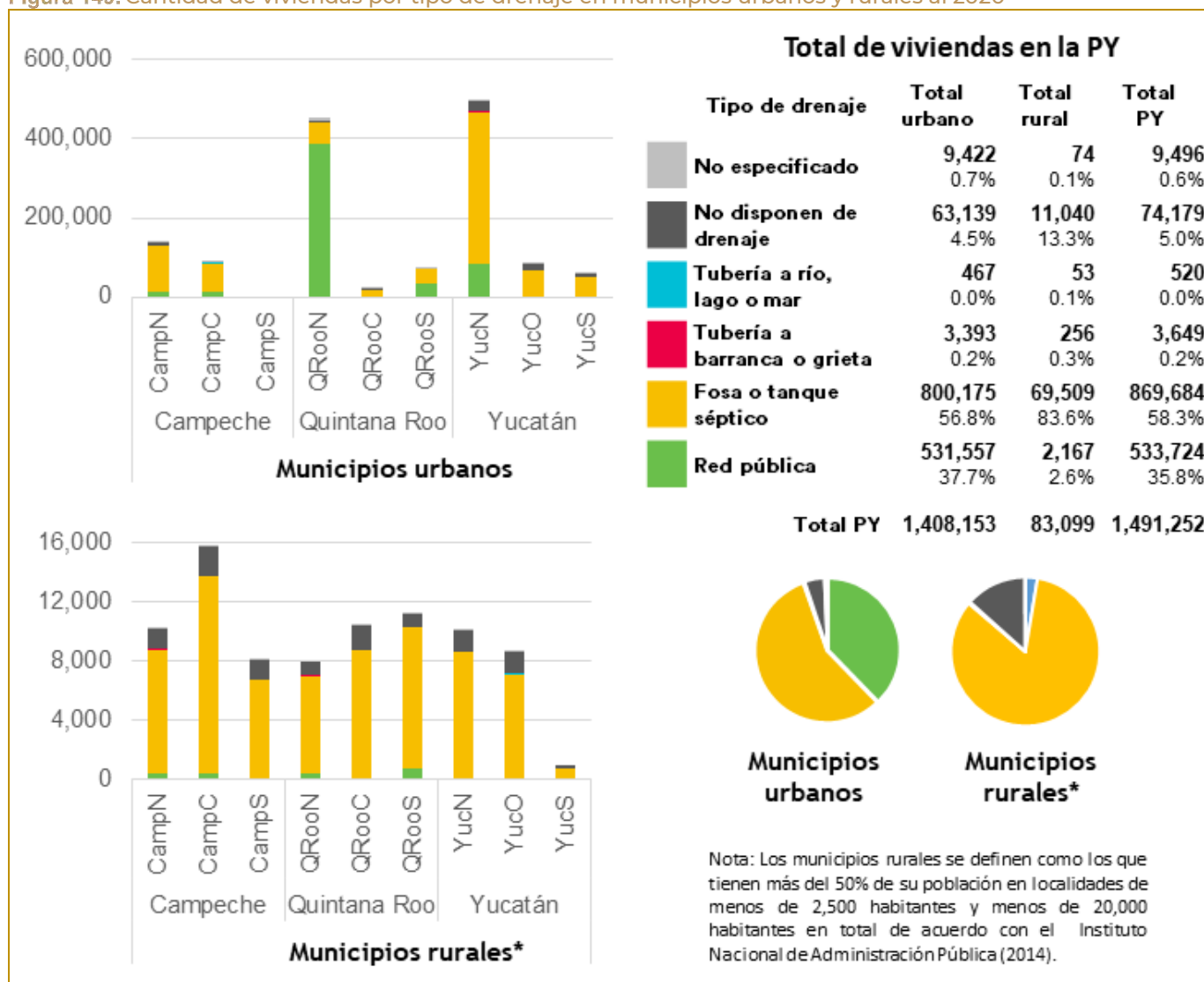
4.1 Reducir descargas e infiltración de aguas residuales no tratadas.	Incrementar el tratamiento de aguas residuales en plantas de tratamiento.		Implementar o mejorar sistemas de tratamiento alternativos en el medio rural.		
4.2 Reducir la contaminación por agroquímicos.	Fomentar la reducción de uso de agroquímicos.		Evitar la mala disposición final de contenedores de agroquímicos.		
4.3 Reducir la contaminación por actividad pecuaria.	Aplicar tratamiento terciario para reducir contaminación de granjas porcícolas, avícolas y ganaderas.		Alinear la zonificación pecuaria con las características geohidrológicas del suelo.		
4.4 Reducir la contaminación por residuos sólidos.	Evitar el flujo de basura a cuerpos de agua.		Evitar la infiltración de lixiviados derivada de la mala disposición final de residuos orgánicos.		
4.5 Preservar zonas de recarga y cuerpos de agua.	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 ⁸ .	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).

⁸ 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 encausan 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%
Total PY	869 684		58.30%

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"> • Incrementar la vigilancia de la construcción apropiada de nuevas fosas sépticas. • Implementar programas de educación y de apoyo financiero para fomentar el mantenimiento y reparación de fosas sépticas. | <ul style="list-style-type: none"> • Asegurar la correcta construcción de los pozos de absorción de profundidad suficiente. • Adecuar reglamentos de construcción municipales de fosas sépticas y normas oficiales a las condiciones del suelo kárstico de la PY mediante investigación científica. |
|---|---|

Asegurar la recolección periódica y disposición final adecuada de lodos.

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Incrementar la vigilancia y certificación de empresas dedicadas a la recolección de lodos. • Construir más plantas de tratamiento que contemplen la recolección de lodos. • Construir registros de fosas sépticas para facilitar la recolección. | <ul style="list-style-type: none"> • Implementar programas de incentivos para empresas recolectoras para incrementar la recolección y disposición final adecuada, particularmente en zonas urbanas y rurales en crecimiento. |
|--|---|

Incrementar la cobertura y conexión a drenaje de la red pública.

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • 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. | <ul style="list-style-type: none"> • Implementar programas de apoyo financiero para la conexión a la red pública. |
|--|--|

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%
Total PY	533 724		35.80%

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 ³ /año
		l/s	m ³ /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
Total PY	80	2 673	84 347 153		533 724	158

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%
Total PY	78 348		5.30%

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.

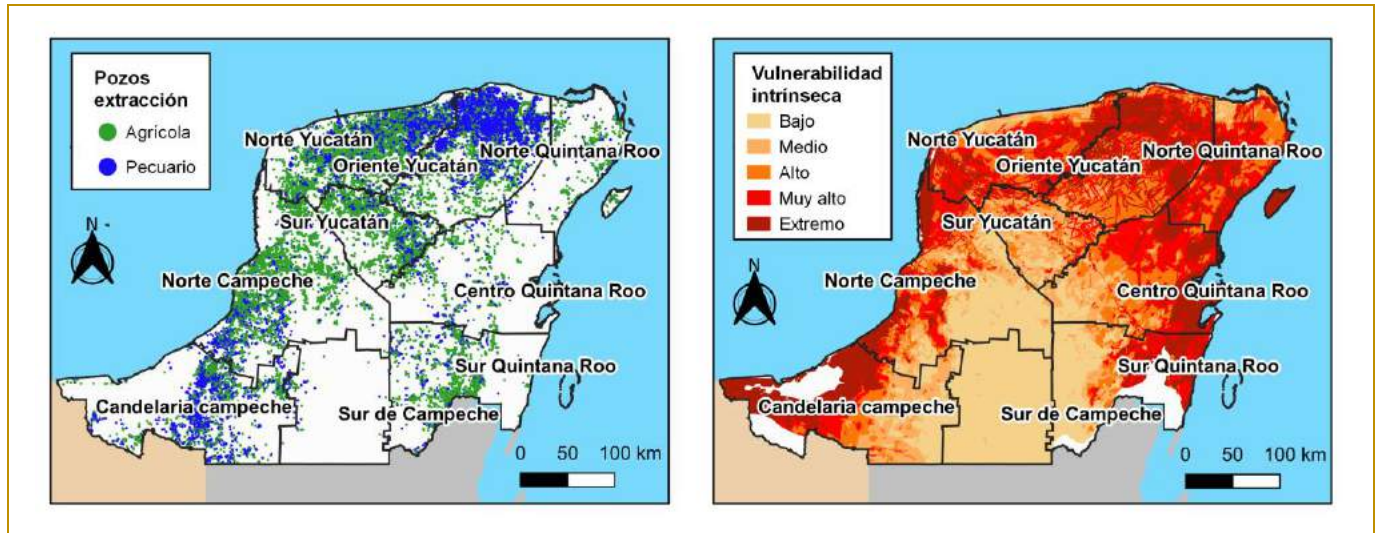
Tabla 134. Distribución del consumo para uso agrícola en millones de m³ por año al 2020

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%
Total PY	3,196.0	

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
Total PY	1 859 865	102 121 955	290 682

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
Total PY	10%	532 179

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%
Total PY	197	2.6	80%	82%

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

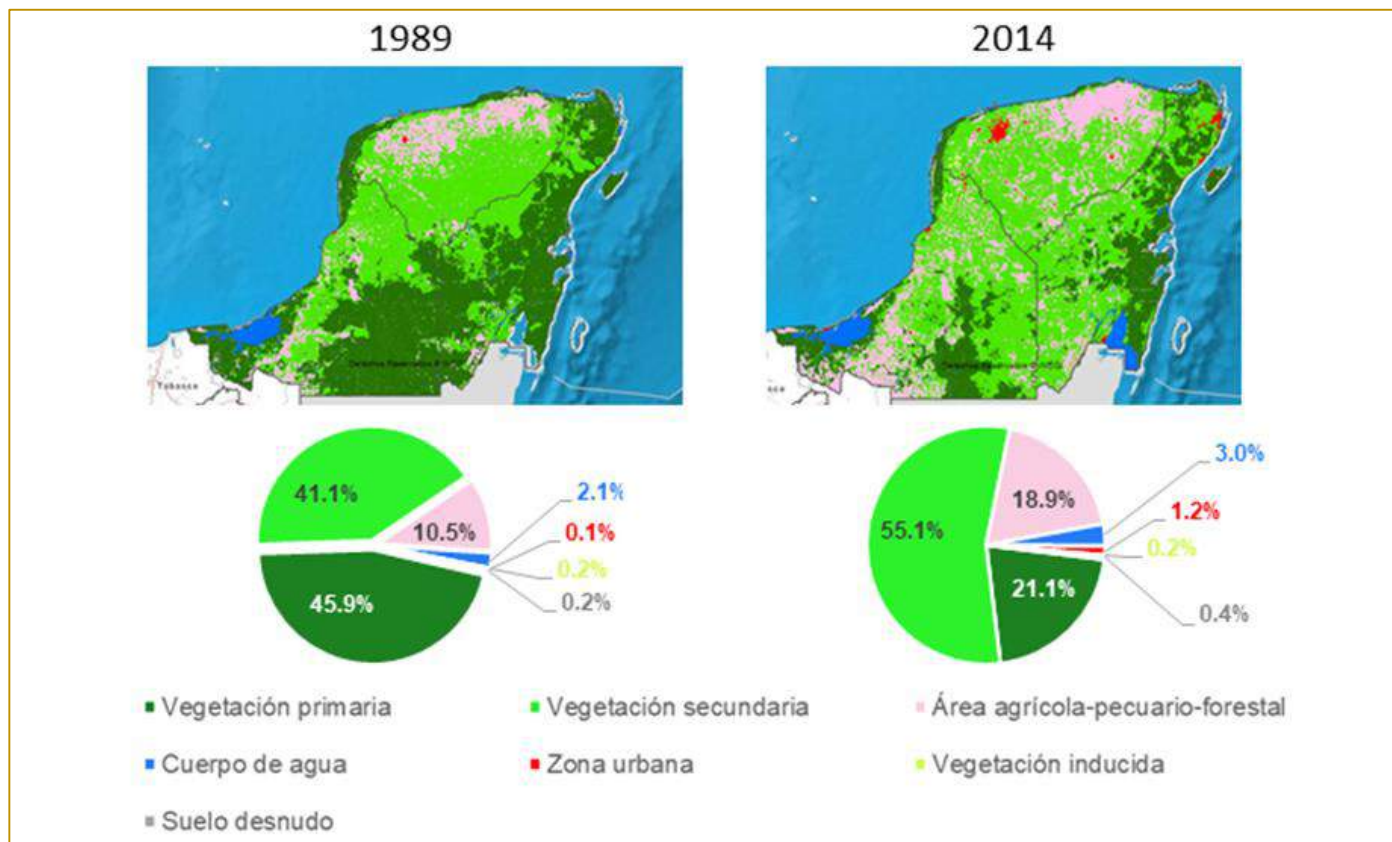
- Publicar un manual de buenas prácticas para la ubicación, diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios en la PY.
- Mejorar la disposición final de sargazo en tiraderos equipados con captación de lixiviados.

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

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.
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. 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. 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