La crisis del agua en Yucatán: causas, impactos y soluciones

Revista: Polifonía Global: Revista de Investigación en Asuntos Internacionales
Volumen: 1, Número 1 (Octubre 2026 – Marzo 2027)
Institución: Universidad Anáhuac Mayab - Facultad de Derecho y Relaciones Internacionales
Páginas: 208-219

Autores: Karla Daniela Lara Chávez, Ximena Cosio Orantes, Natalie Durán García, Vivian Jimena Zavala Rosas

LA CRISIS DEL AGUA EN YUCATÁN: CAUSAS, IMPACTOS Y SOLUCIONES

Karla Daniela Lara Chávez

Ximena Cosio Orantes

Natalie Durán García

Vivian Jimena Zavala Rosas

INTRODUCCIÓN

Históricamente, Yucatán ha enfrentado una serie de desafíos estructurales y ambientales relacionados con el acceso al agua potable. Sin embargo, en los últimos años se ha visto inmerso en una crisis hídrica cada vez más evidente, marcada principalmente por la contaminación de su principal fuente de agua: el acuífero subterráneo. A diferencia de otras regiones del país, el estado prácticamente carece de ríos y lagos superficiales que permitan una distribución más visible y controlada del recurso hídrico.

La geografía de Yucatán, conformada por suelos porosos y fracturados, facilita la filtración de contaminantes hacia el subsuelo. Esto provoca que el agua subterránea, vital para el consumo humano, la agricultura y las actividades productivas, se encuentre constantemente amenazada. La situación no solo es el resultado de las condiciones naturales, sino también de decisiones humanas relacionadas con la falta de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales, el crecimiento de la industria porcina y la limitada conciencia social y política sobre el manejo sustentable del agua.

Además de los factores mencionados, la crisis hídrica se encuentra profundamente entrelazada con fenómenos globales como el cambio climático, cuyas alteraciones dentro de los patrones de precipitación y temperatura aumentan la presión sobre el acuífero. También debe considerarse el impacto de megaproyectos de infraestructura, como el Tren Maya, que atraviesan ecosistemas frágiles y aceleran procesos de urbanización que no siempre cuentan con una planeación ambiental adecuada. Asimismo, los químicos utilizados cotidianamente dentro de los hogares, las industrias y los campos agrícolas pueden llegar al drenaje o al suelo y terminar filtrándose hacia el sistema subterráneo.

En este trabajo se busca comprender las principales causas y consecuencias de la crisis del agua para proponer soluciones viables que garanticen la calidad de vida de las comunidades y la preservación del equilibrio ecológico dentro de la región. Por ello, se destaca la necesidad de establecer políticas y acciones impulsadas por organismos nacionales e internacionales, los diferentes niveles de gobierno y la propia población.

La protección de la tierra, el suelo, el agua y el acuífero requiere una responsabilidad compartida entre todos estos actores.

DESARROLLO

1. Estructura geológica de Yucatán

Para comprender el problema es necesario estudiar primero la estructura geológica de la región y las razones por las que resulta especialmente vulnerable a la contaminación. La península de Yucatán se asienta sobre una plataforma kárstica, compuesta principalmente por roca caliza formada a partir de restos marinos acumulados durante miles de años. Esta característica permite que el agua subterránea, principal fuente de agua potable dentro de la región, fluya mediante fracturas y sistemas de cuevas interconectadas desde el interior del territorio hacia la costa, donde se descarga de manera natural (Calles, 2023).

La porosidad de la roca permite que el agua de lluvia se infiltre con rapidez, pero también facilita el paso de los residuos líquidos y de otras sustancias depositadas sobre la superficie. Debido a la escasez de corrientes superficiales, esta fuente subterránea representa el principal recurso disponible para el abastecimiento de agua dentro del estado. La comunicación existente entre las distintas formaciones del acuífero provoca que los contaminantes vertidos dentro de un punto puedan desplazarse hacia otras zonas (Torres et al., 2014).

Por ello, Yucatán ha estado históricamente expuesto a un riesgo constante de contaminación del acuífero. De acuerdo con el Ayuntamiento de Mérida, algunos de los principales problemas son la falta de sistemas de alcantarillado, la presencia de fosas sépticas inadecuadas, el fecalismo al aire libre y la intrusión salina dentro de la franja costera (Ayuntamiento de Mérida, s. f.). Estas condiciones muestran que la abundancia aparente del agua no garantiza necesariamente su calidad.

A esto se suma que una parte importante de los asentamientos humanos carece de sistemas adecuados para el tratamiento de aguas residuales. Resulta especialmente preocupante la disposición inadecuada de los residuos procedentes de las fosas sépticas, así como el arrastre de contaminantes superficiales provocado por las lluvias. Las descargas industriales, los residuos de la industria porcícola, las aguas generadas por la nixtamalización del maíz, los fertilizantes y otros agroquímicos afectan el suelo, el agua y la salud humana (Chávez Guzmán, 2021).

2. Industria porcina y agroindustria

Actualmente, Yucatán se encuentra entre las principales entidades productoras de carne de cerdo dentro de México y mantiene una participación importante en la producción nacional (SENASICA, 2022). Este crecimiento ha sido impulsado por la

expansión de los agronegocios y por el establecimiento de instalaciones capaces de concentrar a miles de animales. Aunque la industria genera ingresos y empleos para la región, también produce impactos ambientales de gran magnitud.

Una de las principales causas de contaminación se relaciona con la enorme cantidad de desechos producidos por los cerdos. Debido a la porosidad del suelo yucateco, una disposición o tratamiento inadecuados pueden provocar que las aguas residuales lleguen al acuífero. Estas descargas contribuyen a la degradación del suelo, la contaminación del agua y la afectación de actividades económicas como la apicultura, la agricultura y el turismo alternativo (Doddoli, 2023).

Los estudios sobre la actividad porcícola dentro de Yucatán muestran la magnitud de su potencial contaminante. Méndez-Novelo et al. (2009) estimaron que la carga orgánica generada por la totalidad de los cerdos existentes dentro del estado podía compararse con las aguas residuales generadas diariamente por más de cuatro millones de personas. Aunque estas cifras corresponden al momento en el que se efectuó el estudio, permiten observar que el manejo de los desechos debe contar con controles, monitoreo e infraestructura suficientes.

La industria porcina también requiere grandes cantidades de agua para el mantenimiento de las instalaciones y para la producción de carne. Se estima que producir un kilogramo de carne de cerdo puede requerir alrededor de seis mil litros de agua, considerando las distintas etapas de su cadena productiva. Además, diferentes granjas se encuentran dentro de zonas consideradas prioritarias para la conservación de la biodiversidad, incluyendo el Anillo de Cenotes y otras áreas naturales relevantes (Doddoli, 2023).

Dentro del tema de las agroindustrias, en Yucatán se ha impulsado el cultivo intensivo de soya, maíz y otros granos. La introducción de soya transgénica ha generado preocupaciones por sus efectos sobre la selva, el acuífero y actividades como la producción de miel, que puede verse afectada por la presencia de polen proveniente de cultivos genéticamente modificados. Estas actividades priorizan frecuentemente el rendimiento económico sobre la sustentabilidad ecológica (Rosa & Ortiz, 2017).

Dentro de diferentes cultivos se utiliza el glifosato, un herbicida asociado con variedades genéticamente modificadas resistentes a su aplicación. En 2015, la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer lo clasificó como probablemente carcinógeno para los seres humanos, con evidencia limitada en personas y suficiente dentro de animales de experimentación (International Agency for Research on Cancer [IARC], 2015). Debido a la estructura geológica de Yucatán, existe el riesgo de que este y otros agroquímicos se filtren hacia el acuífero.

Por ello, resulta fundamental preservar la cultura local, proteger el maíz y los granos nativos y cuidar la biodiversidad propia de la región. También es indispensable regular la actuación de las empresas mediante el cumplimiento estricto de las leyes y disposiciones ambientales. El aprovechamiento económico no debe realizarse a costa de la salud de las comunidades ni de la integridad del acuífero.

Febles-Patrón y Hoogesteijn (2008) señalaron diferentes inconsistencias dentro del marco jurídico y de la planeación relacionada con la protección del agua subterránea en Mérida. Entre los problemas identificados se encuentra la necesidad de mejorar la coordinación entre la planeación estatal y municipal, así como la supervisión de los sistemas de tratamiento y las fosas sépticas. También resulta necesario que las autoridades verifiquen que las construcciones cumplan con las especificaciones mínimas para reducir la infiltración de contaminantes.

3. Incremento poblacional y mala planeación de la urbanización

El crecimiento poblacional dentro de Yucatán, especialmente dentro de la zona metropolitana de Mérida, ejerce una presión importante sobre los recursos hídricos. Mérida concentra cerca del 43% de la población del estado y su acuífero se encuentra amenazado por el crecimiento urbano y la generación de residuos contaminantes (Chávez Guzmán, 2021). La urbanización ha rebasado, dentro de diferentes zonas, la capacidad para garantizar servicios como drenaje, recolección de residuos y tratamiento de aguas residuales.

El crecimiento urbano no solo produce una mayor demanda de infraestructura, sino que también modifica el entorno natural. La expansión de viviendas, edificios, calles y fraccionamientos puede alterar el flujo hidrológico y reducir las zonas en las que el agua se infiltra de manera natural. Esta modificación del suelo puede contribuir a la formación de inundaciones durante la temporada de lluvias.

De acuerdo con información atribuida a especialistas del Centro de Investigación Científica de Yucatán, el estado podría enfrentar mayores dificultades para disponer de agua potable durante los próximos años, no necesariamente por la falta física del recurso, sino por el deterioro de su calidad y las deficiencias de su gestión (The Yucatan Times, 2021). Esta advertencia muestra que contar con un acuífero abundante no significa que toda el agua pueda utilizarse de manera segura. La contaminación puede convertir una reserva aparentemente suficiente en un recurso limitado.

Figueroa Chavarría (2024) analizó las preocupaciones existentes sobre los efectos del Tren Maya dentro de los sistemas de agua subterránea y las comunidades de Quintana Roo. La investigación identificó diferentes impactos potenciales y una percepción limitada de los riesgos entre parte de la población entrevistada. Aunque su estudio se concentra en Quintana Roo y no permite trasladar automáticamente todos sus resultados a Yucatán, muestra la importancia de evaluar los efectos hídricos de los megaproyectos dentro de una región kárstica compartida.

El Tren Maya ha sido promovido como un motor para el desarrollo económico y turístico. No obstante, organizaciones ambientales han expresado preocupaciones por los materiales utilizados durante su construcción, la modificación del territorio y las posibles afectaciones sobre cuevas, cenotes, selvas y manglares (Miller, 2023). Estas observaciones refuerzan la necesidad de mantener un monitoreo ambiental constante y no limitar la evaluación a las primeras etapas del proyecto.

4. *Impacto de productos químicos de uso diario*

Aunque el suministro de agua potable se ha extendido hacia una parte importante de la población yucateca, las fuentes de abastecimiento continúan dependiendo del acuífero. Por ello, permanecen expuestas a contaminantes de origen industrial, agropecuario y doméstico. La actividad cotidiana dentro de los hogares también puede contribuir al problema cuando no existe un tratamiento adecuado de las aguas residuales.

Los productos de limpieza, blanqueadores, desinfectantes, jabones, aceites de cocina, champús y tratamientos corporales llegan al agua después de su utilización. También pueden producirse afectaciones por el riego excesivo de jardines y campos de golf y por las fugas de hidrocarburos procedentes de vehículos o instalaciones. La porosidad del suelo facilita que diferentes sustancias alcancen el agua subterránea cuando las descargas domésticas no reciben un tratamiento adecuado (Chávez Guzmán, 2021).

Los productos utilizados dentro de cada hogar pueden parecer insignificantes en cantidades individuales. Sin embargo, su vertido constante se acumula dentro de un sistema en el que las aguas residuales se filtran con facilidad. Esto demuestra la necesidad de desarrollar sistemas de saneamiento, tratamiento y disposición adecuada, además de una cultura de responsabilidad dentro del uso cotidiano de productos químicos.

Díaz-Cuenca et al. (2012) destacan la importancia del tratamiento de las aguas residuales domésticas para avanzar hacia formas de desarrollo local sostenible. Aunque su estudio fue realizado dentro de otro contexto, el principio resulta aplicable a Yucatán debido a que una parte considerable de la contaminación procede de descargas domésticas. Sin infraestructura suficiente, las acciones individuales de cuidado resultan importantes, pero no logran resolver por sí solas la magnitud del problema.

Diversos estudios han detectado plaguicidas organoclorados y elementos potencialmente tóxicos, como arsénico, plomo, cadmio, mercurio y níquel, dentro de diferentes zonas de Yucatán. Algunos resultados han superado los valores permisibles establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas y muestran un riesgo particular para las comunidades rurales (Polanco-Rodríguez et al., 2017). La vulnerabilidad aumenta cuando las personas consumen agua directamente de pozos o cenotes sin un monitoreo constante.

Polanco-Rodríguez et al. (2017) también señalan asociaciones entre la exposición a determinados plaguicidas y diferentes problemas de salud. Entre ellos se encuentran afectaciones al sistema reproductivo, alteraciones neurológicas, malformaciones congénitas y algunos tipos de cáncer. Estos resultados requieren una vigilancia permanente y una regulación estricta del uso y disposición de agroquímicos.

5. Cambio climático y presión hídrica

El agua es uno de los recursos esenciales para la vida, la salud y el desarrollo sostenible. Sin embargo, el cambio climático, la contaminación y la gestión deficiente aumentan la presión sobre su disponibilidad y calidad. Esta situación pone en riesgo el cumplimiento de derechos humanos básicos, como el acceso al agua potable, la salud y la seguridad alimentaria.

El cambio climático afecta el recurso hídrico de diferentes maneras. Por una parte, modifica los patrones de precipitación, aumenta las temperaturas y altera el ciclo natural del agua. Por otra, puede intensificar los efectos de la contaminación al disminuir la capacidad de dilución, modificar los procesos biológicos y favorecer la proliferación de bacterias y la pérdida de oxígeno dentro de algunos sistemas acuáticos (UNESCO, 2020).

Durante las lluvias intensas provocadas por fenómenos climáticos extremos se produce una mayor escorrentía superficial. Esta puede arrastrar plaguicidas, residuos urbanos y contaminantes industriales hacia diferentes fuentes de agua. Dentro de Yucatán, el riesgo resulta especialmente preocupante porque la estructura del suelo permite una infiltración rápida de los líquidos hacia el subsuelo (King County, s. f.).

En el caso de Yucatán, la presión hídrica no debe entenderse únicamente como una ausencia física de agua. El acuífero es abundante, pero su disponibilidad real puede verse restringida por la contaminación, la intrusión salina, el crecimiento de la demanda y las dificultades para garantizar un tratamiento adecuado. Por ello, el principal riesgo se relaciona tanto con la cantidad como con la calidad del recurso.

A nivel mundial, más de dos mil millones de personas viven dentro de países sometidos a estrés hídrico, una situación que puede agravarse por el cambio climático y el crecimiento poblacional (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2023). En 2022, al menos 1,700 millones de personas utilizaban una fuente de agua para consumo contaminada con materia fecal. Esta exposición aumenta el riesgo de enfermedades como cólera, diarrea, disentería, hepatitis A, fiebre tifoidea y poliomielitis.

Yucatán también posee antecedentes históricos de enfermedades relacionadas con el agua. La epidemia de cólera de 1833 produjo graves afectaciones dentro de diferentes localidades yucatecas y mostró la relación existente entre las condiciones sanitarias, el acceso al agua y la propagación de enfermedades (Rubio & Tzuc, 1995). Aunque las condiciones actuales son distintas, el antecedente recuerda la importancia del saneamiento y de la vigilancia epidemiológica.

Los efectos de la crisis hídrica no se limitan a la salud física. Dentro de los hogares en los que existe escasez o acceso limitado, las mujeres y las niñas suelen asumir la responsabilidad de buscar y trasladar el agua. Esta labor puede aumentar su carga de trabajo, limitar su acceso a la educación y exponerlas a diferentes riesgos físicos y sociales (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2023).

La presión hídrica también afecta la producción agrícola, incrementa los costos de los alimentos y agrava las condiciones de pobreza. Las familias que dependen de la agricultura pueden perder cultivos cuando las lluvias disminuyen o cuando el agua disponible no cuenta con la calidad necesaria. Dentro de las comunidades rurales, estas afectaciones pueden intensificar las desigualdades económicas ya existentes.

Los ecosistemas también sufren las consecuencias de la contaminación y la sobreexplotación. Entre los posibles efectos se encuentran la pérdida de biodiversidad, la desaparición de especies acuáticas, la degradación de manglares y la disminución de zonas naturales de recarga. Estas transformaciones pueden producir un círculo dentro del cual el deterioro ambiental aumenta la vulnerabilidad frente al cambio climático (PNUD, 2024).

Desde la perspectiva de la Agenda 2030, el acceso al agua resulta esencial para alcanzar diferentes Objetivos de Desarrollo Sostenible. Se relaciona directamente con el ODS 6, dedicado al agua limpia y al saneamiento, pero también con el fin de la pobreza, la salud, la igualdad de género, las ciudades sostenibles, el consumo responsable y la acción por el clima. La falta de agua segura compromete, por tanto, diferentes dimensiones del desarrollo humano.

6. Soluciones propuestas

Frente a las distintas causas de contaminación y presión sobre el agua, diferentes instituciones nacionales e internacionales han propuesto soluciones que combinan educación, restauración ambiental, tecnología y participación comunitaria. Estas acciones podrían contribuir a garantizar la seguridad hídrica y fortalecer la capacidad de respuesta frente al cambio climático. Sin embargo, su efectividad depende de que sean permanentes, coordinadas y acompañadas por recursos suficientes.

Uno de los pilares más importantes para enfrentar la crisis consiste en educar y sensibilizar a la población, especialmente a las nuevas generaciones, sobre el valor del agua y su cuidado adecuado. Dentro de Mérida se han implementado los Espacios de Cultura del Agua, en coordinación con la Comisión Nacional del Agua y los Servicios de Salud de Yucatán. Estos espacios desarrollan pláticas escolares, actividades comunitarias y materiales educativos relacionados con el uso racional del recurso (Ayuntamiento de Mérida, s. f.).

La educación hídrica debe incluir el cuidado de los cenotes, los pozos y las aguas subterráneas. También debe explicar la relación entre las actividades domésticas y la contaminación del acuífero, así como la importancia de disponer correctamente de residuos, aceites y productos químicos. Su propósito no debe ser únicamente transmitir información, sino generar cambios dentro de los hábitos cotidianos.

A nivel estatal y federal se han planteado programas de restauración ambiental dirigidos a la protección de la península. El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua presentó en 2020 el Programa para la Recuperación Ambiental de la Península de Yucatán, que reconoce problemas relacionados con la contaminación, la presión

hídrica, la pérdida de ecosistemas y la gestión insuficiente del agua. La propuesta contempla acciones coordinadas para atender las diferentes dimensiones de la problemática (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [IMTA], 2020).

Las soluciones basadas en la naturaleza también pueden contribuir a mejorar la seguridad hídrica. Dentro de este enfoque se encuentran la restauración de manglares, la reforestación, la recuperación de suelos y el manejo sostenible de zonas de recarga. Estas medidas permiten fortalecer las funciones naturales de los ecosistemas y reducir la vulnerabilidad frente a inundaciones, sequías y contaminación.

En enero de 2025, las Naciones Unidas en México presentaron diferentes portafolios de soluciones basadas en la naturaleza para la seguridad hídrica dentro de cuencas prioritarias. Estos documentos reúnen información territorial y proponen acciones para la protección y restauración de los servicios ambientales relacionados con el agua (Naciones Unidas en México, 2025). Aunque los portafolios no se concentran específicamente en Yucatán, ofrecen alternativas que pueden adaptarse a diferentes contextos regionales.

La participación de las comunidades locales resulta crucial dentro de la gestión eficiente del agua. El PNUD ha documentado experiencias dentro del sur y sureste de México en las que comités comunitarios han participado dentro del diagnóstico, la captación de agua pluvial, el mejoramiento de redes y el monitoreo de su calidad. Dentro de Yucatán, diferentes comités fueron capacitados para utilizar equipos de análisis y detectar contaminación microbiológica (PNUD, 2023).

Estas acciones deben ir más allá de campañas informativas temporales. Se requiere una política pública permanente que promueva una verdadera cultura del agua y permita que la ciudadanía intervenga activamente dentro de las decisiones sobre el recurso. La participación social debe acompañarse de información, transparencia, recursos y mecanismos mediante los cuales las comunidades puedan exigir el cumplimiento de las normas.

También resulta indispensable fortalecer el marco legal y la supervisión de las actividades industriales y agropecuarias. Las autoridades deben verificar el funcionamiento de las plantas de tratamiento, las fosas sépticas, los sistemas de descarga y el manejo de agroquímicos. Las sanciones deben aplicarse cuando las actividades económicas incumplan con las disposiciones ambientales y pongan en riesgo el acuífero.

Finalmente, es necesario invertir en infraestructura de saneamiento y tratamiento de aguas residuales. La educación individual no puede sustituir las obligaciones institucionales relacionadas con el drenaje, la vigilancia y la calidad del agua. La solución requiere coordinar la responsabilidad ciudadana con la actuación efectiva del Estado y del sector productivo.

CONCLUSIÓN

La crisis hídrica en Yucatán constituye una amenaza silenciosa, pero profunda, para el equilibrio ecológico, la salud pública y el desarrollo sostenible de la región. Abordar esta problemática de manera efectiva resulta complejo debido a la interacción de factores geológicos, climáticos, sociales, urbanos e industriales. El subsuelo kárstico de Yucatán, caracterizado por su alta porosidad y por la limitada presencia de filtros naturales, convierte al acuífero en un sistema extremadamente vulnerable ante distintas formas de contaminación superficial.

A esta condición se suma la intensa actividad agrícola y pecuaria que caracteriza a diferentes zonas del estado. El uso de fertilizantes, plaguicidas y otros agroquímicos, muchas veces sin regulación o capacitación suficiente, permite que estas sustancias se filtren hacia el subsuelo. Por otra parte, las granjas porcícolas generan residuos que, cuando no reciben un tratamiento apropiado, pueden contribuir a la presencia de nitratos, materia orgánica y contaminación microbiológica dentro del agua.

El crecimiento urbano descontrolado también ha contribuido significativamente a la crisis. La expansión de la población dentro de zonas con infraestructura insuficiente ha provocado un aumento de fosas sépticas, descargas residuales, perforación de pozos y residuos depositados sobre el terreno. Estas prácticas reflejan importantes deficiencias dentro del ordenamiento territorial y de la gestión del agua.

También es esencial reconocer la contribución cotidiana de la ciudadanía al problema, muchas veces de manera inconsciente. El uso y desecho de productos de limpieza, cosméticos, medicamentos, aceites y otras sustancias químicas constituye una forma de contaminación menos visible, pero constante. Esto demuestra la necesidad de fomentar una educación ambiental profunda que permita comprender la fragilidad del sistema hídrico y asumir una responsabilidad activa dentro de su protección.

Abordar la crisis del agua en Yucatán exige una respuesta integral. Por una parte, resulta indispensable fortalecer el marco jurídico, la vigilancia y las sanciones aplicables a las actividades industriales, urbanas y agropecuarias. Por otra, es necesario invertir en sistemas de saneamiento, tratamiento de aguas residuales, infraestructura verde, prácticas agrícolas sostenibles y tecnologías limpias que disminuyan el impacto sobre el acuífero.

Sin embargo, la crisis hídrica tampoco podrá resolverse sin una ciudadanía informada, crítica y comprometida. Las instituciones, empresas, comunidades y habitantes deben reconocer que la abundancia del agua subterránea no la convierte en un recurso inagotable ni libre de riesgos. Proteger el acuífero de Yucatán significa proteger la vida, la salud y el futuro de toda una región que depende de este recurso invaluable y cada vez más amenazado.

REFERENCIAS

Ayuntamiento de Mérida. (s. f.). *Cultura del agua*. https://www.merida.gob.mx/sustentable/cultura-agua.php

Calles, E. (2023, 3 de agosto). *¿A dónde va el agua en la península de Yucatán? La gran reserva de agua en México*. Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Mérida, Universidad Nacional Autónoma de México. https://blog.enesmerida.unam.mx/a-donde-va-el-agua-en-la-peninsula-de-yucatan-la-gran-reserva-de-agua-en-mexico/

Chávez Guzmán, M. (2021). El agua en la península de Yucatán, un recurso con alta vulnerabilidad. *Ambiente, Sustentabilidad y Paisaje, 4*(8), 1-4. https://www.uv.mx/cosustenta/files/2022/02/08-05.pdf

Díaz-Cuenca, E., Alvarado-Granados, A. R., & Camacho-Calzada, K. E. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: El caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía en San Miguel Almaya, México. *Quivera Revista de Estudios Territoriales, 14*(1), 78-97. https://quivera.uaemex.mx/article/view/10453

Doddoli, C. (2023, 22 de septiembre). *¿Qué hay detrás de la producción de la carne de cerdo en Yucatán?* Ciencia UNAM. https://ciencia.unam.mx/leer/1449/-que-hay-detras-de-la-produccion-de-la-carne-de-puerco-en-yucatan

Febles-Patrón, J. L., & Hoogesteijn, A. (2008). Análisis del marco legal para la protección del agua subterránea en Mérida, Yucatán. *Ingeniería, 12*(3), 71-79.

Figueroa Chavarría, M. I. (2024). *From impacts to perceptions: Exploring the Maya Train's effect on groundwater systems and communities in Quintana Roo, Mexico* [Tesis de maestría, University of Twente]. University of Twente Student Theses. https://essay.utwente.nl/102774/

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2020, 21 de abril). *Programa para la Recuperación Ambiental de la Península de Yucatán*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/imta/articulos/programa-para-la-recuperacion-ambiental-de-la-peninsula-de-yucatan

International Agency for Research on Cancer. (2015). *IARC monographs volume 112: Evaluation of five organophosphate insecticides and herbicides*. World Health Organization. https://www.iarc.who.int/news-events/iarc-monographs-volume-112-evaluation-of-five-organophosphate-insecticides-and-herbicides/

King County. (s. f.). *Contaminación de aguas pluviales: Un panorama general*. https://your.kingcounty.gov/dnrp/library/water-and-land/stormwater/contaminacion-de-aguas-pluviales-panorama.pdf

Méndez-Novelo, R., Castillo-Borges, E., Vázquez-Borges, E., Briceño-Pérez, O., Coronado-Peraza, V., Pat-Canul, R., & Garrido-Vivas, P. (2009). Estimación del potencial contaminante de las granjas porcinas y avícolas del estado de Yucatán. *Ingeniería, 13*(2), 13-21. https://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen13/estimacion_potencial.pdf

Miller, K. (2023, 26 de julio). *Un tren sin frenos: Impactos ambientales desconocidos del Tren Maya siguen generando controversia*. Greenpeace México.

https://www.greenpeace.org/mexico/blog/52843/un-tren-sin-frenos-impactos-ambientales-desconocidos-del-tren-maya-siguen-generando-controversia/

[1568] Naciones Unidas en México. (2025, 28 de enero). *Presentan portafolio de soluciones basadas en la naturaleza para la resiliencia hídrica: Una propuesta territorializada*. https://mexico.un.org/es/288333-presentan-portafolio-de-soluciones-basadas-en-la-naturaleza-para-la-resiliencia-h%C3%ADdrica-una

[1569] Organización Mundial de la Salud. (2023, 13 de septiembre). *Agua para consumo humano*. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water

[1570] Polanco-Rodríguez, Á., Árcega-Cabrera, F., Araujo-León, J. A., & Oceguera-Vargas, I. (2017). Perspectivas de la contaminación del acuífero en Yucatán, México: Plaguicidas y metales pesados. En M. R. Heredia-Navarrete, J. Pérez-Mutul, P. I. Carrillo-Espadas y J. Zavala-Castro (Eds.), *Las ciencias biomédicas y las sociales: Abriendo brecha en la península de Yucatán 40 años después* (pp. 119-140). Universidad Autónoma de Yucatán.

[1571] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2023, 23 de marzo). *Agua y comunidad: Soluciones locales para garantizar la seguridad hídrica en el sur de México*. https://www.undp.org/es/mexico/historias/agua-y-comunidad-soluciones-locales-para-garantizar-la-seguridad-hidrica-en-el-sur-de-mexico

[1572] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2024, 26 de junio). *Quedándonos secos: Abordando el estrés hídrico en América Latina y el Caribe*. https://www.undp.org/es/latin-america/blog/quedandonos-secos-abordando-el-estres-hidrico-en-america-latina-y-el-caribe

[1573] Rosa, A. C., & Ortiz, R. (2017). Producción de soya transgénica y miel en Yucatán, México: Impactos en la sustentabilidad de productores en Tekax. *Revista de Economía, 34*(88), 45-81. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2395-87152017000100045

[1574] Rubio Mañé, M., & Tzuc, L. (1995). 24 horas para morir: Epidemia del cólera morbo en Yucatán en 1833. *Revista Biomédica, 6*(2), 102-107.

[1575] Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2022, 5 de septiembre). *México, entre los principales productores y consumidores de carne de cerdo en América Latina y el mundo*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/senasica/prensa/mexico-entre-los-principales-productores-y-consumidores-de-carne-de-cerdo-en-america-latina-y-el-mundo

[1576] The Yucatan Times. (2021, 26 de septiembre). *Drinking water could be scarce in Yucatán by 2030, warns CICY expert*. https://www.theyucatantimes.com/2021/09/drinking-water-could-be-scarce-in-yucatan-by-2030-warns-cicy-expert/

[1577] Torres-Díaz, M. C., Basulto, Y. Y., Cortés, J., García, K., Koh, A., Puerto, F., & Pacheco, J. G. (2014). Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo de contaminación del agua subterránea en Yucatán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 1*(3), 189-203. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282014000300001

[1578] UNESCO. (2020). *The United Nations world water development report 2020: Water and climate change*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372985