



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD
FACULTAD DE CIENCIAS
POLÍTICA, GOBERNANZA E INSTITUCIONES

**Vulnerabilidad socioambiental frente a la contaminación de cenotes en Homún,
Yucatán**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD

PRESENTA:
SILVIA CAROLINA VELÁZQUEZ MENDOZA

TUTORA PRINCIPAL:
DRA. MARÍA ELENA GIRALDO PALACIO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES MÉRIDA

MIEMBROS DE COMITÉ TUTOR:
DRA. KARINA BEATRIZ KLOSTER
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO
DR. DANIEL MURILLO LICEA
CENTRO DE INVEST. Y ESTUDIOS SUPERIORES EN ANTROPOLOGÍA SOCIAL

DRA. BERTHA HERNÁNDEZ AGUILAR
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES MÉRIDA

REVISORAS:
DRA. ELIANA ALEJANDRA ARANCIBIA GUTIÉRREZ
CENTRO PENINSULAR EN HUMANIDADES Y CIENCIAS SOCIALES

DRA. YOSUNE MIQUELAJAUREGUI GRAF
INSTITUTO DE ECOLOGÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, MARZO 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Coordinación de Estudios de Posgrado
Ciencias de la Sostenibilidad
Oficio: CGEP/PCS/035/23
Asunto: Asignación de Jurado

M. en C. Ivonne Ramírez Wence
Directora General de Administración Escolar
Universidad Nacional Autónoma de México
Presente

Me permito informar a usted, que el Comité Académico del Programa de Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, en su sesión 84 del 11 de octubre del 2022, aprobó el jurado para la presentación del examen para obtener el grado de **MAESTRA EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD**, de la alumna **Velázquez Mendoza Silvia Carolina** con número de cuenta **311104688**, con la tesis titulada "Vulnerabilidad socioambiental frente a la contaminación de cenotes en Homún, Yucatán", bajo la dirección de la Dra. María Elena Giraldo Palacio.

PRESIDENTA: DRA. ELIANA ALEJANDRA ARANCIBIA GUTIÉRREZ
VOCAL: DR. DANIEL MURILLO LICEA
SECRETARIA: DRA. YOSUNE MIQUELAJAUREGUI GRAF
VOCAL: DRA. KARINA BEATRIZ KLOSTER
VOCAL: DRA. MARÍA ELENA GIRALDO PALACIO

Sin más por el momento me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE,

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, Cd. Mx., 3 de marzo de 2023.



Dr. Alonso Aguilar Ibarra
Coordinador
Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, UNAM

Agradecimientos

A la UNAM, por ser mi hogar y brindarme las herramientas para desarrollarme como profesional y por la incansable labor de la comunidad para ofrecer todo tipo de oportunidades de enriquecimiento personal y académico.

Al Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, en especial al equipo de trabajo de la Coordinación encabezado por Dr. Alonso Aguilar, por el empeño y fuerte compromiso con los estudiantes, por la calidad humana y amor con la que realizan su trabajo.

Al CONACYT por el compromiso y el apoyo sin el que no podría haber continuado mis estudios de posgrado. Así como al proyecto PAPIIT-UNAM IA301820, a cargo de la Dra. María Elena Giraldo, por el soporte financiero para el desarrollo del trabajo en campo.

A la Dra. María Elena Giraldo Palacio, por aceptarme como su alumna, por sus indispensables aportaciones en este proyecto, por el constante y muy apreciado acompañamiento durante este proceso, por su atención y respaldo en todos los sentidos. Gracias por confiar en mis capacidades y abrir un mundo de nuevos conocimientos para mí. Le agradezco mucho su comprensión y cariño.

A la Dra. Bertha Hernández Aguilar por sus valiosas revisiones y enseñanzas. Por ser una inspiración como persona y como investigadora, por ser una aliada y una amiga. Gracias por sus palabras y frases de aliento.

A la Dra. Karina Beatriz Kloster y al Dr. Daniel Murillo Licea por su colaboración y asesoramiento en la elaboración de este proyecto, por su entrega y disponibilidad, por compartir su experiencia y enseñarme un poco de la extensa disciplina de las ciencias sociales.

A la Dra. Eliana Arancibia y a la Dra. Yosune Miquelajauregui por aceptar formar parte de este proyecto, por su compromiso, disponibilidad, tiempo, atención y valiosas contribuciones.

A las y los profesores del posgrado, por su esfuerzo en las clases y actividades virtuales, por sus enseñanzas y su calidad como investigadores y seres humanos.

A la comunidad de Homún y a las y los entrevistados que aceptaron participar en este proyecto.

A mi mamá y hermano por no dejarme caer a pesar de todo, por contagiarme de su fortaleza y apoyarme con tanto amor. A mi Taiyari por ser mi terapia y fiel compañero. A mis abuelitos que se fueron y a los que aún disfruto que siempre están pendientes de mí. A mi familia por elección, a Rubi por estar presente en todo momento y disfrutar y llorar conmigo. A Sandy, Alejandro, Marianna y Rodrigo por su amistad. A mis compañeros de generación del PCS con quienes formé un vínculo muy especial en las largas horas de clases virtuales. A mis amigas del SWIMM por lo compartido.

Índice de Contenido

RESUMEN	4
ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
MARCO TEÓRICO.....	14
Vulnerabilidad	14
Vulnerabilidad desde la perspectiva de los sistemas socioambientales	15
El marco de medios de vida sustentables	18
Marco de los capitales de la comunidad	20
La vulnerabilidad y los capitales.....	23
Análisis de decisión multicriterio	25
ANTECEDENTES	28
Vulnerabilidad hidrogeológica	28
Dimensión socioeconómica	31
Contaminación del agua subterránea	33
Conflicto con granjas porcinas en Homún	37
ESTRATEGIA METODOLÓGICA.....	38
Área de estudio.....	38
Contexto socioeconómico	42
Recolección de datos.....	43
Procesamiento de datos	47
Modelo multicriterio.....	48
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
Problemas de contaminación.....	56
Capitales comunitarios.....	76
<i>Capital económico</i>	76
<i>Capital físico</i>	80
<i>Capital natural</i>	84
<i>Capital político</i>	88
<i>Capital humano</i>	91
<i>Capital social</i>	97
<i>Capital cultural</i>	99
Acciones	103
Vulnerabilidad socioambiental en Homún	106
CONCLUSIONES.....	109
LITERATURA CITADA	115
ANEXOS	126

RESUMEN

En Yucatán, el agua subterránea es la fuente de abastecimiento para las actividades de la población, pero también es el principal receptor de sus aguas residuales. Asimismo, características como la geología kárstica y la cantidad de cenotes, facilitan la infiltración y movilidad de contaminantes al agua. Por lo que ante un panorama de contaminación, incremento en la urbanización, la industria agropecuaria y el turismo, es necesario analizar los factores que inciden en los procesos de deterioro del agua, así como las consecuencias a los capitales de la población y las estrategias para hacer frente a la vulnerabilidad. Para ello, se tomó el caso de estudio del municipio de Homún, que está dedicado al turismo en cenotes y en donde recientemente se generó un conflicto socioambiental por la instalación de una mega granja porcícola. Se efectuaron entrevistas semiestructuradas para identificar y caracterizar los capitales comunitarios y se aplicó un modelo multicriterio para conocer la importancia de los factores económicos, político-institucionales y socioculturales, que más inciden en la contaminación del agua.

Los resultados indican que la contaminación biológica es la de mayor influencia. Las principales causas son las actividades económicas como la industria pecuaria, la descarga de aguas residuales y la falta de saneamiento, así como el impulso a los megaproyectos y a la urbanización que tienen consecuencias en la salud pública, en el deterioro de los ecosistemas y en la pérdida de biodiversidad. La contaminación química también juega un papel importante en la degradación de la calidad del agua por medio de agroquímicos y contaminantes emergentes. Los RSU fueron los de menor influencia en la contaminación pero también pueden provocar infiltración de sustancias nocivas al agua.

Sobre los capitales comunitarios destaca que el capital económico se puede ver afectado por la contaminación por medio de la reducción de visitantes, el capital físico con la mayor demanda de abastecimiento de agua, el capital político exacerbando las desigualdades, el capital humano con el deterioro de la salud; el capital natural con la pérdida de ecosistemas, el capital social y cultural con la fragmentación del tejido social, desplazamiento y pérdida de espacios de encuentro en donde se formen relaciones sociales, la pérdida de la identidad territorial y la desaparición o modificación de ceremonias y otras costumbres relacionadas con los cenotes. Por su parte, en las acciones para disminuir la vulnerabilidad se resalta la importancia de la acción colectiva para el desarrollo de estrategias como la creación de organizaciones, las instituciones informales y la educación ambiental, entre otros. En ese sentido, en contraste con el capital físico, se concluye que el capital social es el que más incide en los procesos de reducción de la vulnerabilidad.

ABSTRACT

In Yucatán, groundwater is the source of supply for the activities of the population, but it is also the main recipient of its wastewater. Likewise, characteristics such as karst geology and the number of cenotes facilitate the infiltration and mobility of contaminants into the water. Therefore, in view of a panorama of contamination, increase in urbanization, the agricultural industry and tourism, it is necessary to analyze the factors that affect the processes of water deterioration, as well as the consequences for the capital of the population and the strategies to deal with vulnerability. For this, the case study of the municipality of Homún was taken, which is dedicated to tourism in cenotes and where a socio-environmental conflict was recently maintained due to the installation of a mega pig farm. Semi-structured interviews were used to identify community capitals and a multicriteria model was applied to find out the importance of environmental, sociocultural, political, institutional and economic factors that most affect water contamination.

The results indicate that biological contamination is the one with the greatest influence, contributing to these economic activities such as the livestock industry, the discharge of wastewater and the lack of sanitation, as well as the promotion of megaprojects and urbanization that have consequences on public health, in the deterioration of ecosystems and in the loss of biodiversity. Chemical pollution also plays an important role in the degradation of water quality through agrochemicals and emerging pollutants. The RSU were the ones with the least influence on contamination, but can also cause the infiltration of harmful substances into the water.

Regarding community capitals, it stands out that economic capital can be affected by pollution through the reduction of visitors, physical capital with the greater demand for water supply, political capital exacerbating inequalities, human capital with the deterioration of health, natural capital with the loss of ecosystems, social and cultural capital with the fragmentation of the social fabric, displacement and loss of encounter where social relations are formed, the loss of territorial identity and the disappearance or modification of ceremonial spaces and other customs related to cenotes. For his part, regarding actions to reduce vulnerability, he highlighted the importance of collective action for the development of other strategies such as the creation of organizations, informal institutions and environmental education, among others. In that, in contrast to physical capital, social capital had the greatest impact on the processes of reducing the sense of vulnerability.

INTRODUCCIÓN

El agua es la principal fuente de sustento de la vida en la Tierra, la diversidad biológica y la existencia de los seres humanos. Es hábitat de millones de especies, las funciones biológicas básicas de los organismos vivos incluyen al agua para su operación. El agua con su desplazamiento, entre otras cosas, es capaz de moldear paisajes y modificar el clima. Este líquido vital cubre alrededor del 70% de la superficie del planeta en forma de océanos, lagos, ríos, en el hielo, en el aire y en el suelo y representa un recurso renovable pero finito. Los océanos poseen casi el 97.5% del agua del planeta y solamente un 2.5% es agua dulce; de este porcentaje cerca de tres cuartas partes está contenida en los glaciares y mantos de hielo que son prácticamente inaccesibles, el resto pertenece al agua subterránea y en menor cantidad al agua superficial (SEMARNAT, 2016; Toledo, 2002).

Debido a su importancia, el agua ha sido uno de los factores más representativos en la consolidación de diversas civilizaciones en la historia de la humanidad, ya que se asocia con las actividades productivas del ser humano (Kılıç, 2020). Actualmente, es imposible pensar en algún proceso humano que directa o indirectamente no esté ligado al agua (Cervantes-Pichardo, 2019). Más aun, la relación humano-agua no se limita únicamente a las actividades productivas, ya que el agua está presente en la cultura de todas las sociedades humanas; relación que se manifiesta en diversas dimensiones como, por ejemplo, la cosmovisión, las prácticas agrícolas y las fiestas tradicionales entre otras. Es decir, que la relación humano-agua forma parte de la identidad de cada comunidad (UNESCO, 2008).

En la actualidad, el mundo enfrenta un conjunto de procesos de deterioro de la calidad y cantidad del recurso hídrico, la llamada crisis del agua (OMS, 2022). Crisis principalmente causada por un manejo insostenible del ser humano y una concepción meramente utilitaria del recurso (Peña, 2007). Bajo este paradigma, el agua se separa de la naturaleza y se aísla del resto de los elementos naturales como los bosques y demás ecosistemas que forman parte de un complejo proceso hidrológico, y pasa a ser un bien negociable en lugar de un componente fundamental para la vida (Peña, 2012).

Así, la crisis del agua conduce a un estado de vulnerabilidad tanto para los ecosistemas como para las poblaciones que habitan en ellos (UNESCO, 2006).

Parte de las problemáticas que acarrea el manejo insostenible del agua e incrementa la vulnerabilidad, es la creciente sobreexplotación de las fuentes de agua dulce provocada, entre otras cosas, por el incremento demográfico, la urbanización y a la distribución desigual de este y otros recursos naturales a nivel mundial, ya que en diversas regiones la demanda del recurso hídrico supera el abastecimiento natural de las fuentes de agua, provocando una preocupante escasez. Aunado a lo anterior, la escasez de agua podría acelerarse debido a los efectos del cambio climático, especialmente en zonas áridas y semiáridas que ya sufren de estrés hídrico, lo que incrementaría el proceso de desertificación de estas áreas (UNESCO, 2006).

La escasez es uno de los componentes de la vulnerabilidad que más se mencionan, sin embargo, la disponibilidad física del agua es solamente una dimensión de la problemática (PNUD, 2006). El agua desempeña un papel fundamental en la salud pública, la estabilidad económica, la regulación del clima y el mantenimiento de los diversos procesos fisicoquímicos que ocurren en los ecosistemas. En ese sentido, la calidad del recurso también es un aspecto de suma importancia, porque los contaminantes generados por diversas actividades se acumulan y transportan tanto en aguas superficiales como subterráneas. Al respecto, se calcula que más del 20% de las especies que viven en cuerpos de agua se han extinguido o se encuentran en peligro de extinción como consecuencia de la depredación excesiva y la pérdida y degradación de su hábitat (FEA et al., 2006).

Por otra parte, la calidad del agua no sólo se relaciona con la salud de los ecosistemas, también está íntimamente ligada a la salud pública, ya que es un vehículo para la transmisión y proliferación de patógenos que causan enfermedades como la diarrea, el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea, la hepatitis A y la poliomielitis, además de enfermedades dermatológicas, oculares y respiratorias e incluso se ha asociado a la contaminación del agua por agroquímicos como un factor de riesgo para la generación de algunos tipos de cáncer (OMS, 2022; Polanco-Rodríguez y Araujo, 2021; UNESCO, 2006). Se estima que alrededor de unas 842, 000 personas mueren cada año de

diarrea a consecuencia de la insalubridad del agua y existen casi 240 millones de personas afectadas por esquistosomiasis, considerada una enfermedad grave provocada por lombrices parasitarias (OMS, 2022). Además de los contaminantes biológicos como los microorganismos patógenos, existen otros componentes químicos que pueden estar presentes en el agua, tales como agroquímicos, desechos industriales, productos de higiene o cosméticos (jabones, repelentes, protectores solares, etc.), hormonas, fármacos, estupefacientes y otros contaminantes emergentes (FEA et al., 2006; Gil et al., 2012). Asimismo, hay que considerar que, a pesar de ser los de mayor frecuencia y magnitud, no todos los problemas de contaminación son únicamente consecuencia del impacto del ser humano, debido a que existen algunas características geoquímicas naturales que pueden aportar cantidades elevadas de hierro, flúor, arsénico y sales (Fernández, 2012). Cabe mencionar, que la contaminación del agua adquiere una dimensión mucho mayor cuando se toma en cuenta que esta no sólo permanece en el agua, pasa al suelo, a la vegetación, a las plantas de consumo animal y a los animales que la beben (Kılıç, 2020).

El panorama actual es preocupante, y predomina la disminución en la calidad y cantidad del agua y sus consecuencias, así las dimensiones de la crisis del agua son cada vez más frecuentes, junto a los conflictos sociales. La diversidad de conflictos sociales vinculados con el agua refleja el complejo entramado de las relaciones humanos-agua y en ocasiones denota el grado de vulnerabilidad del recurso y de las poblaciones, ya que por mencionar algunos, los conflictos sociales tienen que ver con la creación o incremento de tarifas; la distribución desigual del agua en comunidades con alto grado de marginación; el acaparamiento de agua de las industrias como la minería, las embotelladoras, el turismo, las inmobiliarias, la agricultura y ganadería masivas; la creación de termoeléctricas, hidroeléctricas, presas y otros megaproyectos; la contaminación por desechos industriales; la falta de calidad en los servicios de distribución y saneamiento; el despojo de territorios; la falta de reconocimiento de derechos y muchos más (Becerra et al., 2006; FEA et al., 2006; PNUD, 2006; Pacheco-Vega, 2014; da Rocha, 2016; Luque et al., 2019; El Universal, 2021; Villaseñor, 2021). El acceso y la competencia por el recurso hídrico puede presentarse en diferente intensidad y escala tanto en comunidades, municipios y países donde la disputa

transfronteriza por los ríos y otros recursos hídricos compartidos se intensifica y se convierte en uno de los mayores desafíos para la gestión del agua (Becerra et al., 2006; PNUD, 2006).

Otra de las dimensiones sociales de la problemática del agua tiene que ver con la igualdad de género, tema especialmente relevante en la crisis del agua. Se ha documentado que el tiempo invertido en la recolección y transporte de agua es parte de los factores que explican las enormes brechas de género que hay en la asistencia escolar en muchos países, debido a que la división de género en el trabajo asigna responsabilidades a las mujeres que los hombres no comparten (PNUD, 2006). Por lo tanto, mientras que las mujeres son mayoritariamente responsables del agua para uso doméstico y comunitario, es a los hombres a quienes se les confiere la mayor parte de los derechos relacionados con el agua y la toma de decisiones (SDG, 2017). Por otra parte, la ausencia de infraestructura básica como inodoros, sistemas de distribución y saneamiento de agua, causan graves problemas para la salud pública, particularmente para mujeres y niñas (PNUD, 2006).

La creciente demanda de soluciones ante la crisis del agua ha llevado a la comunidad internacional a desarrollar estrategias que garanticen el bienestar social, tal es el caso del reconocimiento del derecho humano al agua y al saneamiento. Con este derecho se establece que el agua es un recurso indispensable para una vida digna y se determina que este derecho debe incluir factores como la disponibilidad, la calidad, la accesibilidad y la asequibilidad (FEA et al., 2006; ONU, 2014). Aunque a primera vista, el derecho humano al agua podría parecer un asunto meramente legal, va mucho más allá de eso.

Por ejemplo, el cumplimiento de este derecho es una manera de incentivar la generación de estrategias para satisfacer las necesidades humanas básicas y proteger a los ecosistemas y al agua, recurso del cual depende la vida. Además, el derecho humano al agua podría utilizarse para una distribución más justa de este bien, beneficiando a poblaciones que históricamente han sido marginadas (FEA et al., 2006; ONU, 2014). De igual modo, otro de los acuerdos internacionales en materia de agua que aborda muchas de las problemáticas previamente mencionadas, es el objetivo

número seis de los denominados Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) (Pacto Global, 2019). Este objetivo pretende lograr un acceso universal y equitativo al agua potable y a servicios de saneamiento e higiene adecuada, así como mejorar la calidad del agua a nivel global (CEPAL, 2016; Pacto Global, 2019).

La adaptación de las políticas públicas con base en los acuerdos y estrategias internacionales son parte importante para el manejo sostenible del agua porque permiten, entre otras cosas, la colaboración y diseño de planes conjuntos para la protección del recurso y la reducción de la vulnerabilidad. Pero para ello, también es esencial reflexionar sobre las estrategias de disminución de la vulnerabilidad de los sistemas socioambientales, y en consecuencia de la crisis del agua, que son desarrolladas localmente y que se ajustan a las características específicas de la región (Zárate-Toledo, 2017). En ese sentido, el análisis para hacer frente a la crisis del agua debe integrar las respuestas o estrategias no sólo desde la esfera política, normativa y de derechos; necesita estudiar también, a distintas escalas, las causas y consecuencias que integran a la vulnerabilidad.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En México, la crisis del agua se refleja en las presiones hacia las fuentes superficiales y subterráneas de este recurso, ya que se calcula que uno de cada seis acuíferos principalmente en el norte y centro del país se encuentran sobreexplotados, salinizados o contaminados; mientras que al menos la mitad de las cuencas nacionales presentan alta y muy alta alteración ecohidrológica (Garrido et al., 2010; López et al., 2017). Además, en términos de contaminación, se reconoce que el esfuerzo de monitoreo de calidad del agua en el país, aunque se ha intensificado, sigue siendo insuficiente pese a la urgencia de la problemática (López et al., 2017). La contaminación en el agua subterránea es especialmente importante debido a que, en el mundo el agua subterránea provee, de forma general, 36% del abastecimiento de agua de la cual el 40% se destina a la agricultura de riego y el 24% al uso industrial (Hernández et al., 2019).

En el caso de México, la Península de Yucatán (PY) se considera uno de los principales reservorios de agua subterránea en el país (Bautista et al., 2011). La PY es también una de las regiones con mayor diversidad biocultural, así como de características biológicas, geológicas, geográficas y culturales. Sin embargo, como en muchos territorios del país, ha sufrido un proceso de transformación tanto ambiental como sociocultural en las últimas décadas (Baños, 2000). Este proceso de transformación ha incluido, el incremento de la urbanización, la industria agropecuaria y el turismo masivo, aumentando las presiones sobre las fuentes de agua y generando vulnerabilidad tanto al acuífero como a las comunidades que habitan en este territorio (Marín y García, 2012; Bolio, 2014).

En el estado de Yucatán particularmente, los problemas de calidad de agua son especialmente preocupantes, ya que el agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento para las diversas actividades de la población, pero a su vez, es el principal receptor de los desechos que generan dichas actividades, debido a la mala disposición de las aguas residuales que impera en el estado (González et al., 2018). Además, la geología kárstica, la cantidad de cenotes (4000 a nivel estatal), las fallas fisiográficas y los suelos poco profundos y pedregosos, así como los procesos de deforestación que actualmente experimenta Yucatán, facilitan la infiltración y movilidad de los contaminantes en el agua, configurando así una mayor vulnerabilidad a la contaminación (Polanco-Rodríguez y Araujo, 2021).

Yucatán es un importante productor de cerdos y aves a nivel nacional, por lo que es un hecho que las granjas porcícolas y avícolas pueden representar una importante fuente de contaminación del agua (Bautista et al., 2022; Méndez et al., 2009). Otro aspecto a considerar, es la creciente actividad turística, derivada del explosivo incremento del turismo en Cancún y la denominada Riviera Maya (Marín, 2010), así como el desarrollo de megaproyectos como el tren maya y los programas complementarios, que buscan contribuir a una mayor afluencia turística a los estados del sureste.

Parte de los atractivos turísticos de Yucatán son los cenotes, que en su mayoría se encuentran dentro de la Reserva Estatal Geohidrológica Anillo de Cenotes (REGAC). La palabra cenote o dolinas (por su nombre geológico) se refiere a espacios que dejan

al descubierto el acuífero y brindan un acceso directo al agua subterránea. El anillo de cenotes se encuentra en una planicie costera al noroeste de la PY y, se conforma por un conjunto de cuevas, fracturas y cenotes en un semicírculo que conduce grandes masas de agua hacia localidades costeras que reciben frecuentemente el agua contaminada. Esta agua llega a los ambientes costeros y marinos afectando manglares, lagunas costeras y arrecifes de coral, lo que revela la marcada conectividad entre los distintos tipos de ecosistemas (Velázquez-Juárez, 2019). La contaminación del acuífero yucateco es un problema difícilmente remediable debido a características propias de este ecosistema como su inaccesibilidad, por lo que si un agente contaminante se ha incorporado al flujo subterráneo es complicado conocer su movimiento y evolución, por lo que es imposible eliminarlo o extraerlo del acuífero (Alcocer et al., 1999).

Como se mencionó, las dimensiones de la crisis del agua no sólo se limitan a la escasez o calidad del recurso sino también repercuten en la cultura, la cosmovisión y las formas de vida de los pobladores. Por ejemplo, para los habitantes mayas de Yucatán las cuevas y los cenotes poseen un valor cultural y de identidad muy importante, ya que antiguamente eran pasos simbólicos entre el mundo terrestre y el subterráneo. También eran considerados lugares de nacimiento de la vida y algunos otros servían exclusivamente para fines rituales, por lo que para los pueblos mayas las funciones vitales de un cenote se articulan dentro de sus prácticas tradicionales y de mitos que forman parte de su cosmovisión (Domínguez, 2013).

Algunas de estas cosmovisiones continúan vigentes en diversos sitios del estado de Yucatán, especialmente en los municipios con mayor presencia de cavernas y cenotes, como los que conforman a la REGAC, entre los que se encuentra el municipio de Homún. Llama especial atención este poblado en términos de vulnerabilidad a la contaminación del agua, debido a que las principales actividades económicas están directa o indirectamente relacionadas con el turismo recreativo en cenotes. Además, en años recientes se ha suscitado un conflicto socioambiental debido a la instalación de una mega granja porcícola en territorios cercanos, a lo que se añade los problemas de disposición de aguas residuales y residuos sólidos urbanos que predominan en el estado.

Ante el panorama, donde la calidad del agua acrecienta un estado de vulnerabilidad socioambiental, es decir, tanto para el acuífero como para la población, es necesario analizar los factores que inciden en los procesos de contaminación del agua tomando en consideración la perspectiva de la comunidad de Homún, así como las consecuencias a sus medios de vida y a las estrategias o acciones que se aplican para hacer frente a esta problemática, sobre todo cuando se avecinan megaproyectos de promoción turística, urbanización y megaindustrias. Por ello, la contaminación del acuífero debe ser un tema prioritario debido a los impactos a la salud pública que el uso de los cuerpos de agua contaminados pudiera ocasionar a habitantes o visitantes de la región, ya que diversos estudios técnicos y científicos indican que la calidad del agua en el acuífero yucateco es un problema cada vez más constante (Nava, 2015). Así, este proyecto, plantea las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cuáles son los factores ambientales, socioculturales, político institucionales y económicos que más inciden en la contaminación del agua de los cenotes en Homún?
- ¿Cómo pueden verse afectados los capitales de la comunidad de Homún por la contaminación del agua de los cenotes?
- ¿Qué estrategias han emprendido los diversos actores involucrados para mitigar la contaminación del agua de los cenotes?

El objetivo general de este estudio es caracterizar la vulnerabilidad socioambiental ante la contaminación del agua de los cenotes del municipio de Homún, para identificar elementos que contribuyan a un manejo sostenible del sistema hídrico. Como objetivos específicos se plantean los siguientes:

1. Identificar cuáles son los factores ambientales, socioculturales, político institucionales y económicos que más inciden en la contaminación del agua de los cenotes de Homún, Yucatán
2. Analizar cómo pueden verse afectados, por la contaminación del agua de los cenotes, los capitales social, humano, económico, natural, físico, político y cultural de los habitantes del municipio de Homún.
3. Determinar las diferentes acciones que han emprendido los diversos actores involucrados para mitigar la contaminación del agua de los cenotes.

MARCO TEÓRICO

En esta sección se presentan los conceptos que hicieron parte de la presente investigación. Se hace un recorrido por conceptos como la vulnerabilidad, sus componentes, cómo se entiende este término desde las ciencias de la sostenibilidad, los marcos teóricos que subyacen los estudios de vulnerabilidad, perspectivas de abordaje como los medios de vida y los capitales comunitarios. Se explican cuáles son los capitales que se usaron, la relación de estos con la vulnerabilidad y los métodos de estudio como el análisis multicriterio.

Vulnerabilidad

El término de *vulnerabilidad* proviene del latín *vulnerabilis* compuesto por *vulnus* que significa herida y el sufijo *-abilis* que indica posibilidad, por lo que vulnerabilidad es la posibilidad de ser herido (Feito, 2007). No obstante, el concepto de vulnerabilidad ha sido ampliamente utilizado en diversas disciplinas, por lo que existen múltiples definiciones con enfoques desde las ciencias sociales, políticas, ambientales, de la salud y la ingeniería (Hans-Martin, 2007; Ruiz, 2012). Por ejemplo, la vulnerabilidad en economía hace referencia al desempeño macroeconómico ante fuerzas externas y a la reducción de ingresos en las crisis económicas, mientras que, en la geografía, la vulnerabilidad está asociada a las probabilidades de ser afectado por un fenómeno natural. Asimismo, en las ciencias sociales uno de los abordajes más frecuentes sobre la vulnerabilidad está vinculado con la pobreza y es analizado a través de los activos o capitales de las poblaciones (Rodríguez, 2001). En este caso, es importante señalar que al contrario de los enfoques analíticos de pobreza, el enfoque de vulnerabilidad incluye los procesos causales que dan origen a la vulnerabilidad, tomando en cuenta las estructuras e instituciones económico-sociales y al impacto a distintas dimensiones que estas provocan en comunidades, familias y personas (Pizarro, 2001).

Esta variedad de enfoques y dominios sobre vulnerabilidad es especialmente interesante para investigaciones sobre la relación sociedad-ambiente, debido a que enfatizan la colaboración de múltiples áreas académicas y no académicas (Hans-Martin, 2007). Según Schroeder y Gefenas (2009) definir la vulnerabilidad es una labor comparable con una leyenda sobre seis ciegos que no coincidían al intentar describir a

un elefante, pues cada uno tocaba una parte diferente del animal. Es decir, dependiendo de la perspectiva será la descripción, y en el caso de la vulnerabilidad, dependiendo del enfoque será la definición.

Si bien hay varias maneras de definir la vulnerabilidad, también es cierto que la mayoría de las definiciones incluyen elementos clave como la fragilidad frente a la fuerza externa (amenaza) que provoca la vulnerabilidad. En ese sentido, es importante destacar que independientemente de que la fuerza externa sea la misma, la exposición a sufrir daño varía dependiendo del contexto del elemento a estudiar (Rodríguez, 2001; Ruiz, 2012). Por ejemplo, en México las probabilidades de ser asesinado son diez veces más que en Alemania; o sea, es un mismo peligro, pero el grado de exposición es distinto. Siguiendo el mismo ejemplo, las probabilidades de ser asesinado no serán las mismas si se cuenta con un chaleco antibalas o con la advertencia del ataque, es decir, la vulnerabilidad también dependerá de la capacidad de protegerse de la fuerza externa que causa el daño (Schroeder y Gefenas, 2009). Por lo que, se puede decir que la vulnerabilidad se compone tanto de aspectos externos como la exposición (la probabilidad significativa de incurrir en un daño identificable) y aspectos internos como la sensibilidad (la carencia de la capacidad de protegerse a sí mismo) (Rodríguez, 2001; Soares y Vargas, 2012).

No obstante, desde la perspectiva anterior, la vulnerabilidad está asociada a una concepción negativa y se le relaciona con debilidad o poca preparación, por lo que es importante enfatizar que el análisis de la vulnerabilidad se hace en dos momentos distintos del proceso, en las condiciones que preceden la situación de estrés y posterior a ellas, cuando la perturbación o estrés ya ha ocurrido (Rojas, 2021). Por lo tanto, acompañando a los términos de los que se compone la vulnerabilidad, también se integra el concepto de capacidades adaptativas, las cuales permiten establecer estrategias para cambiar las características de los medios de vida de las comunidades (Zabala-Forero y Victorino, 2019).

Vulnerabilidad desde la perspectiva de los sistemas socioambientales

La vulnerabilidad ha sido un marco teórico relevante para el análisis de las implicaciones de las crisis ambientales tanto de los elementos naturales (ecosistemas y

biodiversidad) como de los sociales (Román-Hernández, 2018). Sin embargo, como se mencionó anteriormente, no existe una única definición de vulnerabilidad incluyendo la de áreas que consideran la colaboración transdisciplinaria, como las ciencias de la sostenibilidad (Miller, 2013), donde en ocasiones se ha optado por utilizar el término “vulnerabilidad socioambiental”.

Zulaica y Ferraro (2010) mencionan que la vulnerabilidad socioambiental se relaciona con las distintas dimensiones de la sostenibilidad, pero presenta un vínculo mayor con la dimensión social, ya que está determinada por las características de la población. Mientras que Román-Hernández (2018) sostiene que la vulnerabilidad socioambiental es “la predisposición que tiene un socioecosistema a sufrir daños ya sea por su fragilidad social o ambiental, o la interacción de ambas”. Por otra parte, Frutos y colaboradores (2020) reconocen que la vulnerabilidad es un “proceso complejo que incluye aspectos sociopolíticos y ecológicos; mide el riesgo y daño que los procesos biofísicos y sociales pueden ocasionar a la población y a los ecosistemas”. En cambio Ávila-García (2008), con un enfoque sobre seguridad hídrica, define la vulnerabilidad socioambiental como un “proceso que lleva a situaciones críticas e irreversibles que ponen en riesgo el desarrollo humano y el funcionamiento de los ecosistemas”. Para el presente texto, y como se detalla más adelante, la vulnerabilidad es el proceso dinámico, determinado por la exposición, susceptibilidad y capacidad de adaptación que se da de la sinergia entre los subsistemas humanos y biofísicos a diferentes escalas espaciotemporales (Turner et al., 2003).

En estudios relacionados con las ciencias de la sostenibilidad, la vulnerabilidad asociada al cambio climático ha sido el foco de las investigaciones sobre vulnerabilidad socioambiental, pero a partir de 2006 hubo un aumento y diversificación gradual en las publicaciones (Szewrański y Kazak, 2020), por lo que ahora se pueden encontrar estudios sobre conservación de la biodiversidad, economía, derecho, urbanismo, salud, gestión sostenible, justicia social y políticas (Eakin y Luers, 2006; Szewrański y Kazak, 2020). Estos documentos se han centrado en sistematizar y ampliar las perspectivas de estudio de la vulnerabilidad ante conflictos en sistemas complejos, dando lugar a diversos marcos que brindan una base teórica para las investigaciones en este campo

(Turner et al., 2003; Burton et al., 2005; Eakin y Luers, 2006; Hans-Martin, 2007; Binder et al., 2013).

En ese sentido, es importante destacar la incorporación a los marcos conceptuales de la vulnerabilidad, ideas como las de Blaikie y colaboradores (1996), quienes señalan que la vulnerabilidad también puede tener un origen fuera de la perturbación, es decir, está determinada por procesos ambientales, sociales, económicos, políticos e históricos que tienen lugar a diferentes escalas. Por lo anterior, el entorno social, político y económico pueden generar un estado de vulnerabilidad al entorno ambiental y viceversa (Blaikie et al., 1996). Así pues, la vulnerabilidad es uno de los resultados de los impactos provocados por las formas de producción, las instituciones y los valores que caracterizan al modelo de desarrollo actual (Pizarro, 2001).

Desde esa perspectiva, Turner y colaboradores (2003) reconocen que un enfoque limitado de las perturbaciones es insuficiente para comprender los impactos y las respuestas del sistema. En consecuencia, proponen un marco conceptual que integra las condiciones dinámicas del sistema y en el que se consideran la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación y las relaciones de estas con el entorno biofísico, político, económico, institucional y cultural (Figura 1).

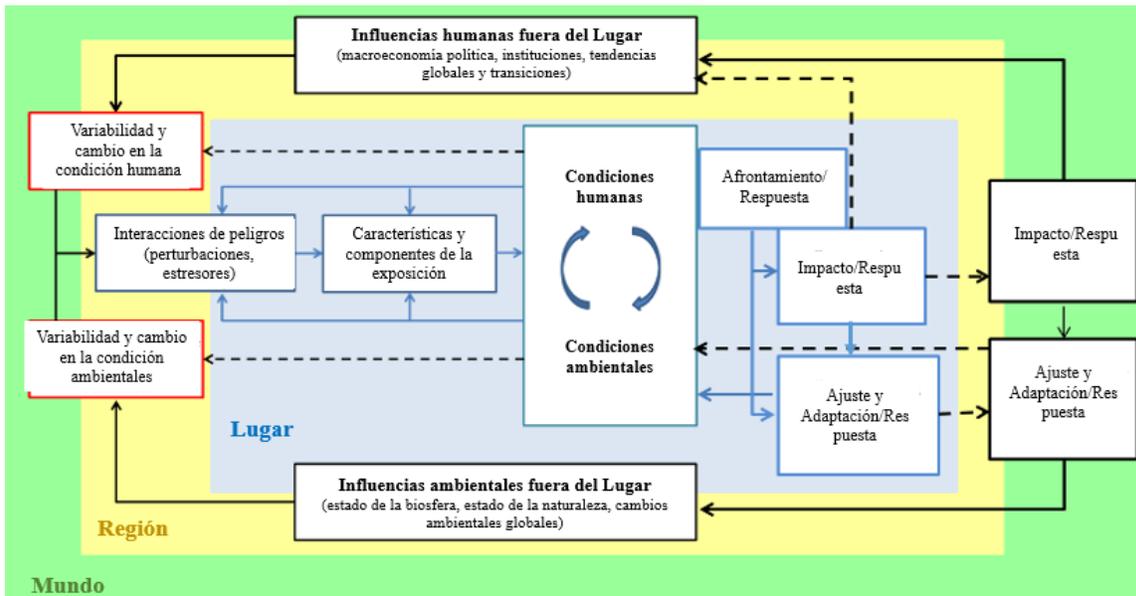


Figura 1. Marco conceptual de Turner y colaboradores (2003). Las flechas negras se refieren a interacciones y ciclos de retroalimentación más allá del lugar del análisis, las flechas azules son interacciones y bucles de retroalimentación dentro del lugar de análisis y las flechas punteadas son las dinámicas de escala cruzada. Modificado de Turner et al. (2003) y Alcayna-Stevens (2015).

En el marco propuesto, se hace hincapié en el dinamismo del sistema y en las capacidades adaptativas, definidas en términos generales como las habilidades de un sistema para modificar o cambiar sus características o su comportamiento para hacer frente las perturbaciones (Huerta, 2022). De acuerdo con esto, las respuestas y los resultados de las mismas, ya sean acciones autónomas o planificadas, públicas o privadas, institucionales o individuales, estratégicas o tácticas, a corto o largo plazo, determinan la resiliencia del sistema y pueden trascenderlo. Asimismo, se hace hincapié en que las respuestas sociales y biofísicas se influyen y retroalimentan entre sí, entonces una respuesta social podría hacer que el sistema biofísico sea más o menos capaz de enfrentar la perturbación y viceversa (Turner et al., 2003). Por otra parte, las respuestas o mecanismos de afrontamiento a los que hace referencia Turner y colaboradores (2003) y las interacciones entre los elementos que constituyen la vulnerabilidad pueden analizarse desde la perspectiva del marco conceptual de los capitales comunitarios y los medios de vida (Soares y Vargas, 2012), marcos que se usaron en esta investigación.

El marco de medios de vida sustentables

El enfoque de medios de vida sustentables o sostenibles (MVS o sustainable livelihoods) se originó a finales de los años ochenta y principios de los noventa como parte de un cambio de perspectiva ante la creciente preocupación por las estrategias globales para la erradicación de la pobreza, ya que estas se enfocaban principalmente en lo que no tenían los pobres en lugar de centrarse en lo que sí poseían (Moser, 1998), es decir, en vez de entender la pobreza como la falta de ingresos, el enfoque de medios de vida considera los activos que necesitan las personas para mantener su modo de vida. Por lo que, en términos generales, los medios de vida se estudian a partir de cómo viven diferentes personas en distintos lugares y cómo hacen esas personas para “ganarse la vida”. Así, se trata de un análisis descriptivo que retrata una compleja red de actividades e interacciones que dan visibilidad a las diversas estrategias de subsistencia de las personas; los resultados de cada análisis son variados pero principalmente se enfocan en los medios de adaptación, mejora, diversificación y transformación (Scoones, 2009).

De acuerdo a Chambers y Conway (1991), los medios de vida se componen de las capacidades, activos (recursos materiales y sociales) y actividades necesarias para sostener un nivel de vida socialmente aceptable. Es importante destacar que un medio de vida sostenible debe ser capaz de hacer frente y recuperarse del estrés y conservar o aumentar sus activos. Además, asegurar oportunidades de subsistencia sostenibles a las siguientes generaciones a la vez que aporta beneficios a otros medios de vida a diferentes escalas en el corto y largo plazo (Soares y Vargas, 2012).

Asimismo, según Scoones (1998) la definición propuesta por Chambers y Conway (1991), se puede desglosar en cinco elementos clave, dos de ellos relacionados con la dimensión de la sostenibilidad, considerando la capacidad adaptativa de los medios de vida y la base de recursos naturales de los que, en parte, dependen esos medios de vida. El primer elemento que rescata el autor se refiere a la adaptación, vulnerabilidad y resiliencia; en el cual considera a la resiliencia frente a las tensiones e impactos, un aspecto fundamental para afrontarlos y para la adaptación de los medios de vida, es decir, aquellos que no sean capaces de hacer frente o adaptarse son inevitablemente vulnerables y es poco probable que logren medios de vida sostenibles. Evaluar lo anterior requiere una variedad de factores, incluyendo el análisis de las experiencias históricas de respuestas a diversos impactos, ya que diferentes tipos de perturbaciones pueden dar lugar a distintas respuestas sociales como, por ejemplo, mecanismos de evitación, resistencia o tolerancia. El segundo elemento en el que hace hincapié Scoones (1998) se refiere a la sostenibilidad de la base de recursos naturales, la cual define como la capacidad de un sistema para mantener la productividad cuando está sujeto a perturbaciones, esto implica evitar el deterioro de la tasa base de recursos naturales que produce servicios útiles para los medios de vida.

Conforme a la diversidad de elementos que comprenden el estudio de los medios de vida, es difícil tener un algoritmo claro y simple para medirlos objetivamente, lo cual es, de hecho, una sus ventajas, debido a que el concepto de medios de vida sostenibles, es una combinación de muchas ideas e intereses que aportan al debate sobre el desarrollo (Scoones, 1998). A partir de allí también han surgido distintos métodos y marcos teóricos, uno de los más utilizados en las áreas sociales y ambientales, y que

será usado en esta investigación, es el marco de los Capitales de la Comunidad que muestra las interacciones entre los activos de los que se componen los medios de vida (Moser, 1998; Scoones, 1998; Soares y Vargas, 2012).

Marco de los capitales de la comunidad

Los activos o capitales en el enfoque de medios de vida sostenibles se refieren al subconjunto de todos los recursos tangibles o intangibles que controla un hogar (Kaztman, 1999). El concepto de capitales es esencial para el enfoque de medios de vida sostenibles, ya que sobre la base de esos activos, y moldeados por el contexto de vulnerabilidad, las personas pueden emprender una variedad de estrategias de subsistencia (Moser, 1998). Estos capitales de acuerdo con Flora y colaboradores (2004) pueden dividirse en tres categorías: a) los que pueden ser consumidos; b) los que pueden ser almacenados y conservados; y c) los que pueden invertirse para crear más recursos.

Los primeros usos de un lenguaje asociado con “capital” ocurrieron durante la década de 1990 en un esfuerzo de Ismail Serageldin por evaluar la “riqueza de las naciones”, esfuerzo al que le siguieron los escritos de Herman Daly sobre el capital natural y el consecuente surgimiento del concepto de capital social definido por Robert Putnam. Con fundamento en estos escritos, en un texto posterior, Serageldin y Steer sugirieron que se podría pensar en el desarrollo sostenible en términos de patrones en la acumulación y sustitución entre cuatro tipos de capitales; el capital producido, el capital natural, el capital humano y el capital social. Y argumentaron que las visiones dominantes habían equiparado el desarrollo con el crecimiento económico, por lo que el único indicador de interés para los planificadores del desarrollo había sido la expansión del capital producido (Bebbington, 1999).

Con base en estas ideas, Bebbington (1999) propone que los medios de vida pueden analizarse en términos del acceso a los capitales para estudiar las formas en las que las personas combinan y transforman esos activos en la construcción de sus medios de vida. Además, del cómo se pueden aumentar esos activos por medio de la participación con otros actores a través de relaciones gobernadas por la lógica del estado, el mercado y la sociedad civil, y ser un insumo para cambiar las reglas y relaciones

dominantes que rigen las formas en que los recursos se controlan, distribuyen y transforman.

Posteriormente a las reflexiones que se construyeron a partir del enfoque de medios de vida y los capitales de la comunidad, se originaron distintos modelos en los que se incorporaban diferentes formas de concebir a los capitales. Por ejemplo, el modelo formulado por el Departamento para el Desarrollo Internacional (DFID) del gobierno británico (DFID, 1999). En este marco, se considera que las personas operan en un contexto de vulnerabilidad y tienen acceso a ciertos activos o capitales que adquieren su significado y valor a través del entorno social, institucional y organizativo, también incluye la transformación de estructuras y procesos que influyen en las estrategias de subsistencia. Parte importante del modelo es el pentágono de activos que se encuentra en el centro del marco y brinda información sobre el acceso de las personas a los diferentes activos que están representados en cinco capitales (humano, natural, físico, financiero y social). Si el pentágono es simétrico indica un acceso equilibrado a los cinco tipos de capitales (DFID, 1999; Lagunes-Rodríguez, 2020).

Dado lo anteriormente descrito, se puede notar que en las diversas reflexiones que dan pie a un marco conceptual, se integran distintos tipos y números de capitales, lo que enfatiza el dinamismo y variedad de visiones dentro de un mismo enfoque. Tal es el caso de Flora y colaboradores (2004), quienes al igual que en la presente investigación, y a diferencia del marco de la DFID, reconocen siete tipos de capitales: natural, humano, social, cultural, político, físico y financiero.

- El capital natural son los activos de un lugar particular, por ejemplo los recursos naturales como bosques, lagos, tierras, el clima, el aislamiento geográfico, las fuentes de agua y la belleza natural entre otros (Emery y Flora, 2006; Lagunes-Rodríguez, 2020).
- El capital cultural refleja la forma en que las personas “conocen el mundo” (cosmovisiones) y cómo actúan dentro de él, así como sus tradiciones, costumbres, creencias y su idioma. Este capital fomenta ciertas formas de mantenimiento de identidad, dignidad, inspira, empodera y permite formas de

acción que otros capitales no harían posible por sí solos (Bebbington, 1999; Flora et al., 2004).

- El capital humano hace referencia a las capacidades y habilidades de las personas para desarrollar y mejorar sus recursos y acceder a otros. En este capital también se incluye el conocimiento, la educación, la salud, el acceso a la información y la capacitación (Soares y Vargas, 2012).
- El capital social son las conexiones formales e informales entre personas y organizaciones o el “pegamento” social para hacer que las cosas positivas o negativas sucedan. En este capital se incluyen las relaciones de confianza, las normas que regulan la convivencia, la cohesión, las redes, la reciprocidad y otros elementos que mejoran la eficiencia de la organización social (Emery y Flora, 2006; Soares y Murillo-Licea, 2013).
- El capital político refleja el acceso al poder y está relacionado con la toma de decisiones y las instituciones que cumplen con la función de tomar o facilitar estas decisiones, además se asocia con la relación entre las instituciones y organizaciones gubernamentales con la comunidad (Flora et al., 2004; Soares y Vargas, 2012).
- El capital financiero o económico hace referencia a los recursos financieros disponibles para invertir en el desarrollo de capacidades y apoyar el espíritu empresarial cívico y social para el desarrollo de la comunidad (Flora et al., 2004).
- El capital físico o construido es la infraestructura básica y los bienes de producción. La infraestructura se refiere a las transformaciones en el ambiente que permiten una mayor efectividad y eficiencia en el logro de los objetivos de los medios de vida como las carreteras, caminos, escuelas, centros de salud, etc., mientras que los bienes de producción son las herramientas y equipo utilizados por las personas en la realización de sus actividades (DFID, 1999; Flora et al., 2004; Lagunes-Rodríguez, 2020).

El marco de capitales comunitarios (MCC o CCF por sus siglas en inglés), como parte del enfoque de medios de vida sostenibles, plantea que cada comunidad, sin importar

cuán pobre y marginalizada sea, cuenta con recursos que puede disponer para gestionar su propio desarrollo (Soares et al., 2011). A diferencia del marco propuesto por el DFID, el MCC hace un mayor énfasis en los activos y permite analizar las actividades de las comunidades de una forma sistémica, identificando los capitales y el resultado de la interacción entre estos (Emery y Flora, 2006), lo cual puede ser un punto de partida para la disminución de la vulnerabilidad ante una perturbación (Soares et al., 2011). En el MCC se puede observar la profunda interdependencia e interacción entre los capitales, por lo que la degradación de un capital incrementa el riesgo de pérdida de los otros capitales (Emery y Flora, 2006; Soares et al., 2011).

La vulnerabilidad y los capitales

Algunas de las investigaciones sobre vulnerabilidad que integran el marco de los medios de vida sustentables y los capitales comunitarios, se centran en la interacción de los capitales y el cómo se movilizan para hacer frente a la perturbación (Soares et al., 2014). Es decir, focalizan su atención después de que la modificación en el entorno ya ha ocurrido, o sea en los medios de adaptación y transformación (Scoones, 2009). Este enfoque reconoce que la naturaleza forma parte de la estructura de la sociedad y que las amenazas están entrelazadas con los sistemas humanos *al afectar* los activos y medios de vida de las poblaciones (Blaikie et al., 1996).

No obstante, como se describió, la vulnerabilidad es un proceso dinámico que se da por atributos propios y externos. Por lo que esta se compone de la convergencia de una constelación de elementos que se expresan en múltiples escalas espaciales y temporales (CEPAL, 2001). En consecuencia, las interacciones, la presencia, la ausencia y el nivel de estos elementos o capitales, junto con los procesos históricos y globales como la macroeconomía, el entorno político-institucional, natural y los cambios ambientales, determinan a la vulnerabilidad. Lo anterior, debido a que ésta se construye y transforma a través también de la configuración de los capitales (Bebbington, 1999; Soares y Vargas, 2012). Entonces, paralelamente la movilización de estos elementos puede favorecer tanto a la disminución de la vulnerabilidad como el incremento de la misma (CEPAL, 2001; Soares et al., 2011), lo que abre un espacio de reflexión sobre la

articulación entre los capitales de los distintos actores en los procesos de riesgo y la configuración e interdependencia de sus “vulnerabilidades” (Carrquiriborde, 2012).

Dado lo anterior y puesto que la vulnerabilidad depende también del estado y la configuración de los capitales, se puede afirmar que esta se manifiesta de manera diferenciada. Es decir, dentro de una misma comunidad existen distintos grados y formas de vulnerabilidad dependiendo de los capitales individuales, de hogar o de grupo (Carrquiriborde, 2012; Soares et al., 2011). En ese sentido, y como indicó Emery y Flora (2006), los capitales de un individuo o de un grupo social, pueden influir en los capitales de otros (Carrquiriborde, 2012; CEPAL, 2001). Por ejemplo, el aumento en el capital político de un grupo podría acentuar las asimetrías de poder de otro sector.

De acuerdo con lo señalado, para entender a la vulnerabilidad es necesario exponer y analizar la estructura de las relaciones entre los distintos capitales que la sustentan y la moldean, además de las respuestas que se generan a partir de una perturbación o amenaza (Carrquiriborde, 2012; Soares et al., 2011). Aunado a ello, es de subrayar que la movilización de los capitales no siempre conduce a resultados “positivos”, pues puede implicar la postergación de cambios estructurales necesarios (CEPAL, 2001).

En ese aspecto, algunos autores (Carrquiriborde, 2012; CEPAL, 2001) han sugerido que el desarrollo de nuevos marcos de análisis de vulnerabilidad debe dirigirse al punto de intersección de las transformaciones en los portafolios de los capitales comunitarios, familiares o individuales con aquellos activos de índole estructural, pues estos determinaban las oportunidades de acceso al bienestar o la producción y reproducción de distintos tipos de desventaja social. Por otro lado, debido a la complejidad del concepto de vulnerabilidad y a la importancia de su estudio, es necesario construir un enfoque que articule procedimientos cuantitativos y cualitativos para la generación de metodologías que permitan operativizar la vulnerabilidad (CEPAL, 2001). Un esfuerzo orientado hacia ello es la implementación del análisis de la vulnerabilidad y los capitales con modelos multicriterio (Bausch et al., 2014).

Análisis de decisión multicriterio

La vulnerabilidad depende de diversos aspectos tanto sociales como ambientales que se relacionan entre sí, por lo que uno solo de los factores puede no ser suficiente para generar una situación de vulnerabilidad, pero la confluencia de varios de ellos puede ser clave. Debido a esto, es necesario que las características de las que depende la vulnerabilidad ante un determinado fenómeno se traduzcan en variables que puedan ser medidas para poder realizar una aproximación de corte cuantitativo (Navarro et al., 2020). Estas evaluaciones pueden servir para sintetizar la compleja dinámica de los sistemas socioambientales y así, facilitar la formulación de políticas públicas, pero son un desafío debido, entre otras cosas, a las incertidumbres técnicas y científicas, la poca información, las capacidades de acción insuficientes, así como los valores e ideologías contrastantes de las partes interesadas. Por lo que en la práctica, cuando se asignan recursos a programas de gobierno para mitigar el deterioro ambiental, los tomadores de decisiones se enfrentan a la difícil tarea de priorizar diversos problemas ambientales como la calidad y protección del agua subterránea, la deforestación o la expansión urbana (Bojórquez-Tapia et al., 2011).

Los problemas de decisión multicriterio, involucran la evaluación de un cúmulo de alternativas en términos de un conjunto de criterios de decisión, donde frecuentemente estos criterios están en conflicto unos con otros (Osorio y Orejuela, 2008). Estos problemas de decisión hacen necesario dividir el conflicto en partes más pequeñas y comprensibles; analizando cada parte, para integrarlas de forma lógica y así producir una posible solución. Para abordar esta cuestión se desarrolló el *análisis de decisión multicriterio* (MCDA por sus siglas en inglés)(Gijón-Yescas, 2007). El MCDA ayuda a identificar rigurosamente los criterios de decisión específicos del contexto a través de la participación de las partes interesadas, además de resaltar las relaciones de las variables y su influencia en el sistema (Bausch et al., 2014). Debido a la universalidad de sus herramientas y métodos, las diferentes técnicas de MCDA pueden ser usadas para un sinnúmero de problemas de decisión, en campos como el social, médico, empresarial y para el manejo de recursos naturales y la vulnerabilidad ante desastres (Gijón-Yescas, 2007).

Uno de los métodos más utilizados es el llamado Proceso Analítico Jerárquico (AHP por sus siglas en inglés). El AHP fue desarrollado a finales de los años 60 por Thomas Saaty quien formuló un sencillo modelo para facilitar la toma de decisiones, es un modelo matemático creado para evaluar alternativas cuando se tienen en consideración varios criterios y se basa en tres principios de pensamiento analítico; el principio de construir jerarquías, establecer prioridades y la consistencia lógica (Gijón-Yescas, 2007). El AHP tiene varios niveles jerárquicos; el primer nivel corresponde a la meta, los siguientes niveles son los criterios de decisión y las alternativas (Merino-Benítez et al., 2020). Este método, consiste en comparaciones entre pares de elementos, construyendo matrices a partir de ellas y usando álgebra matricial para establecer prioridades entre los elementos de un nivel, con respecto a un elemento de un nivel superior (Figura 2). Cuando las prioridades de los elementos en cada nivel se tienen definidas, se agregan para obtener prioridades globales frente al objetivo principal, y la alternativa con mayor peso es la decisión recomendada (Osorio y Orejuela, 2008).

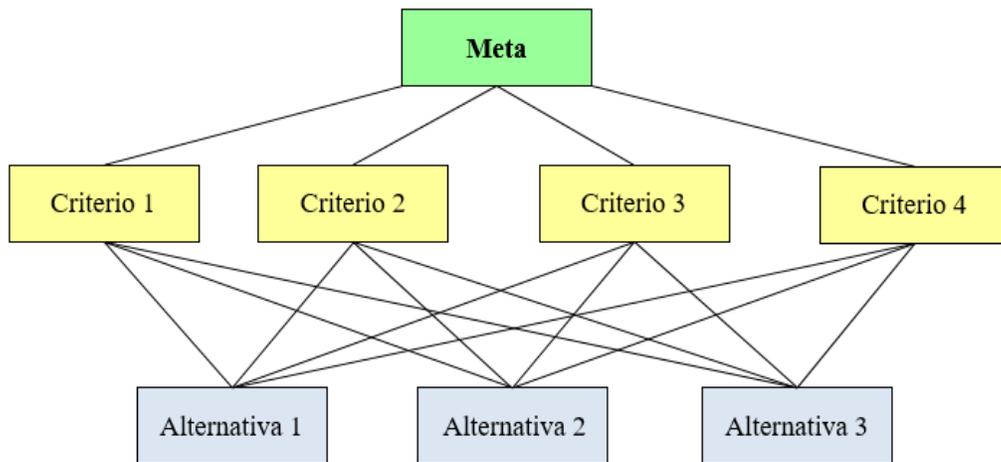


Figura 2. Modelo multicriterio Proceso Analítico Jerárquico (AHP).

Los juicios de importancia en las comparaciones pareadas se realizan con la escala fundamental de Saaty (Tabla 1), que relaciona expresiones lingüísticas con valores numéricos para establecer las prioridades (Osorio y Orejuela, 2008).

Tabla 1. Escala verbal y numérica de Saaty (1987)

<i>Escala verbal</i>	<i>Escala numérica</i>
<i>Igualmente importante</i>	1
<i>Entre igual y moderadamente más importante</i>	2
<i>Moderadamente más importante</i>	3
<i>Entre moderada y fuertemente más importante</i>	4
<i>Fuertemente más importante</i>	5
<i>Entre fuerte y muy fuertemente más importante</i>	6
<i>Muy fuertemente importante</i>	7
<i>Entre muy fuertemente y extremadamente más importante</i>	8
<i>Extremadamente más importante</i>	9

La consistencia lógica del modelo AHP, es uno de los componentes más importantes de este método, puesto que si decimos que $A > B$ y que $B > C$, no podemos decir que $A < C$. Si la consistencia es aceptable, se puede continuar con el proceso de decisión, pero si no lo es, entonces el decisor debe replantearse sus juicios sobre las comparaciones pareadas antes de continuar con el análisis. Saaty, (2001) determinó que las matrices con puntajes mayores a 0.10 deben ser reevaluadas.

Otro de los métodos del MCDA es el proceso de red analítica (ANP por sus siglas en inglés) que, mediante la representación de red, muestra las relaciones de interdependencia y retroalimentación de los aspectos a estudiar, razón por la cual, el desarrollo del ANP requiere de una profundización en los datos referidos a los vínculos entre criterios y alternativas (Dytczak y Ginda, 2011). En ese sentido, debido a las características de la presente investigación, no se contaba con los elementos necesarios para realizar este tipo de análisis. Sin embargo, se seleccionó el modelo AHP porque la estructura jerárquica permite la priorización de los factores económicos, político-institucionales y socioculturales, situación fundamental para determinar cuáles de ellos tenían más incidencia en la contaminación del agua de los cenotes y en consecuencia, entender su influencia y relación con los capitales comunitarios y la vulnerabilidad.

ANTECEDENTES

Con la revisión teórica y lo previamente presentado, al utilizar el marco de vulnerabilidad y de los capitales comunitarios, así como el análisis de decisión multicriterio, esta investigación pretende aportar a la reflexión sobre cómo factores económicos, político-institucionales y socioculturales inciden en la contaminación del agua de los cenotes. Asimismo, se argumenta cómo se configuran y movilizan los capitales de la comunidad de Homún para reducir la vulnerabilidad a la contaminación.

En el contexto de la investigación, el uso del enfoque teórico metodológico permite explorar el poco abordado componente social en la contaminación de cenotes, situación que cobra relevancia debido al surgimiento y aumento en la magnitud de amenazas al acuífero y a las comunidades que dependen de él. Por ello, en términos de sostenibilidad, el presente estudio, a través de la discusión sobre la compleja relación de los elementos que integran a la vulnerabilidad, contribuye al campo de conocimiento de “Vulnerabilidad y respuesta al cambio global” al igual que al de “Manejo de sistemas acuáticos” y en menor medida al de “Política, gobernanza e instituciones” del Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad impartido por la UNAM.

A continuación, se realiza una revisión detallada de la literatura acerca de las aportaciones previas en materia de vulnerabilidad en el área de estudio, donde se manifiestan algunos de los componentes ambientales y socioeconómicos importantes para la investigación. En ese sentido, se incluyen análisis sobre el enfoque de vulnerabilidad hidrogeológica, diversos acercamientos a la dimensión socioeconómica de la problemática, los contaminantes del agua subterránea y parte del contexto del conflicto de la comunidad de Homún con las granjas porcícolas, factor de gran influencia en la percepción de la contaminación del agua.

Vulnerabilidad hidrogeológica

La contaminación y la vulnerabilidad del acuífero de Yucatán han sido ampliamente estudiadas desde diversas perspectivas de análisis, ejemplo de ello es la revisión realizada por Alcocer y colaboradores (1999), quienes afirman que los paisajes kársticos deben entenderse desde su estructura de manera integral: relieve, altitud,

suelo, subsuelo, acuífero y vegetación, por lo que en su estudio, hacen hincapié en las características hidrogeológicas del estado que favorecen la contaminación del acuífero como la elevada permeabilidad del suelo kárstico, el bajo gradiente hidráulico, la presencia de cenotes y el flujo del agua del sureste al noreste (hacia las costas). Además, describen algunos de los procesos de contaminación que ocurren en el estado como la intrusión salina y el deterioro de la calidad del agua por sólidos disueltos, patógenos y agroquímicos.

Con esta base Gijón-Yescas (2007) analiza la vulnerabilidad del estado a la contaminación del agua con el método DRASTIC (acrónimo que en inglés hace referencia a la profundidad, recarga neta, litología del acuífero, tipo de suelo, topografía, naturaleza de la zona no saturada y conductividad hidráulica) que considera factores hidrogeológicos, los cuales mostraron al 38.9% del acuífero de Yucatán con una vulnerabilidad extrema a la contaminación (Figura 3A). En este estudio el municipio de Homún se clasifica con una vulnerabilidad alta, orden del que no desciende en todos los estudios revisados. Además, es importante destacar el uso del modelo AHP para la determinación de un mapa de riesgo para el estado.

Con esta misma perspectiva de vulnerabilidad hidrogeológica que incorpora los elementos del lugar, relaciones y patrones espaciales, Bautista y colaboradores (2011) sintetizan varios estudios sobre índices, amenazas y riesgos de contaminación al agua subterránea desde las características del relieve kárstico. Con ello, distinguen las investigaciones con los métodos de evaluación de la vulnerabilidad DRASTIC, GOD (acrónimo que en inglés hace referencia al tipo de acuífero, litología y profundidad) (Pérez-Ceballos y Pacheco-Ávila, 2004) y EPIK (acrónimo que en inglés hace referencia a epikarst, cubierta protectora, condiciones de infiltración y paisaje kárstico) (Bolio et al., 2011) concluyendo la importancia de la integración de estos enfoques de vulnerabilidad en las estrategias de gestión pública puesto que los mapas presentados son un marco de referencia para el ordenamiento territorial.

La visión hidrogeológica en la evaluación de la vulnerabilidad en Yucatán con el método DRASTIC se ha analizado por diversos autores, tal es el caso del trabajo realizado por Torres y colaboradores (2014) quienes, a diferencia del trabajo elaborado por Pérez-

Ceballos y Pacheco-Ávila (2004) y Gijón-Yescas (2007), clasificaron de alta, muy alta y extrema la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero por residuos peligrosos. Por su parte, González y colaboradores (2018) aplicaron el método DRSTIL (modificación del índice DRASTIC) con la intención de incluir el uso del suelo en la discusión sobre vulnerabilidad a la contaminación en el estado, por lo que con un inventario de fuentes contaminantes superficiales, distinguieron que la vulnerabilidad moderada ocupa la mayor parte del mapa, siendo el área metropolitana de Mérida la zona de más alto riesgo y peligrosidad (Figura 3C). Con este método Homún se ordena entre las categorías de vulnerabilidad de moderada a alta. Esta diferencia con la clasificación de otros estudios se debe a que (González et al., 2018) determinaron una serie de índices para los contaminantes que utilizaron, lo que podría subestimar el potencial contaminante de estos factores.

Asimismo, Aguilar-Duarte y colaboradores (2016) integran al enfoque hidrogeológico la diversidad geomorfológica, edáfica y climática para una mejor y más precisa diferenciación entre las zonas más vulnerables, implementan el método IVAKY (Índice de la vulnerabilidad del acuífero kárstico yucateco) e identifican que el anillo de cenotes y, parte de la zona noreste de Yucatán, presenta un nivel extremo de vulnerabilidad (Figura 3B). Al igual que en el estudio realizado por Gijón-Yescas (2007), con el índice IVAKY, los factores relieve, suelos y clima se ponderaron con el AHP.

La construcción de los mapas de vulnerabilidad hidrogeológica de la contaminación son una herramienta fundamental para identificar las aptitudes de un territorio. En el contexto de la presente investigación, estos estudios muestran la fragilidad del acuífero y la influencia de algunas de las fuentes de contaminación. Por ejemplo, Gijón-Yescas (2007) y González y colaboradores (2018), toman en cuenta no sólo las variables hidrogeológicas propias del método, sino que también incorporan elementos como el uso del suelo y factores de riesgo asociados a las actividades humanas como los almacenes industriales, los combustibles e incluso los cementerios. De igual modo, el aporte del método IVAKY radica en la introducción de elementos edáficos y otras características específicas de Yucatán.

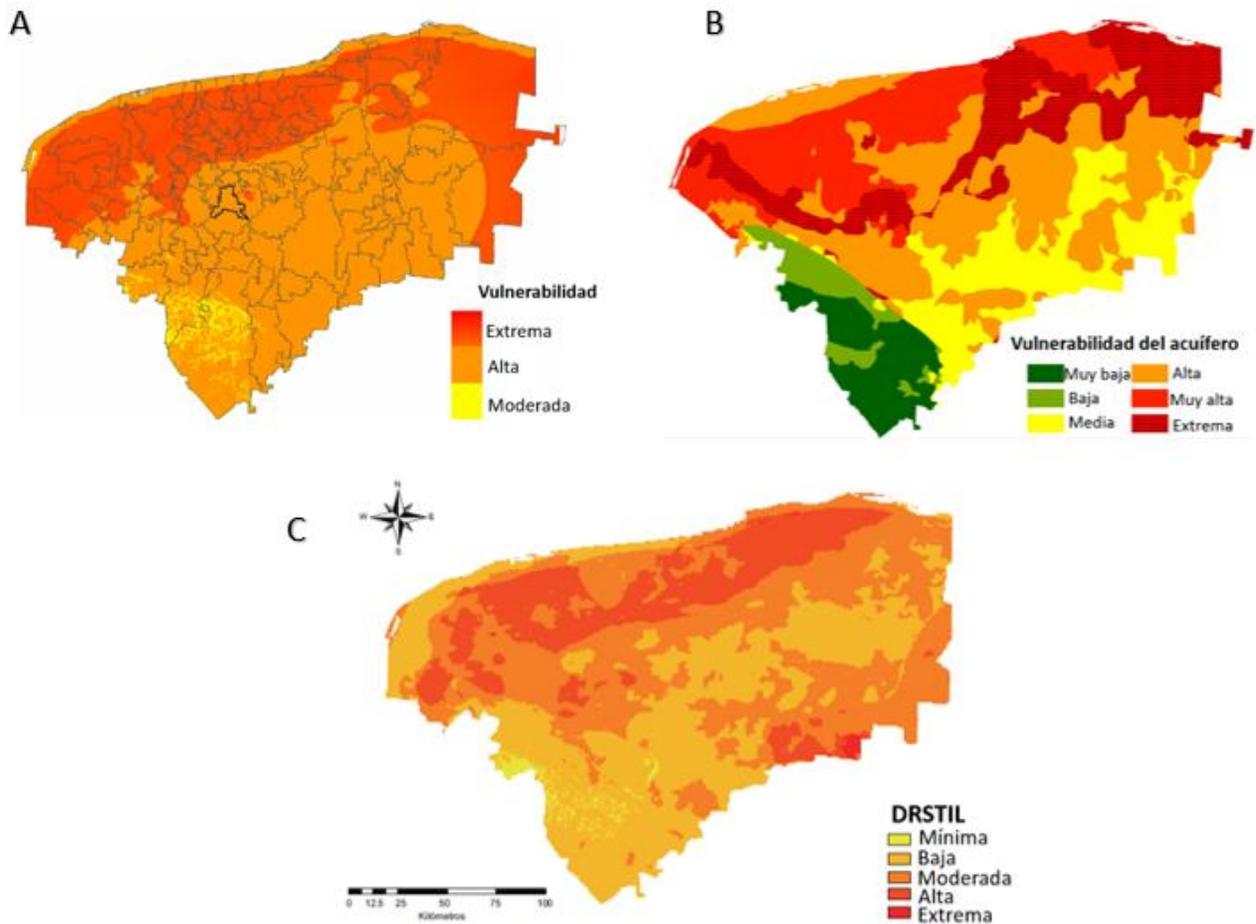


Figura 3. Mapas de vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea en Yucatán de los métodos (A) DRASTIC en donde se resalta el contorno del municipio de Homún, (B) IVAKY y (C) DRSTIL. Modificado de Gijón-Yescas, 2007; Aguilar-Duarte et al., 2016 y González et al., 2018.

Dimensión socioeconómica

Los métodos de evaluación de vulnerabilidad a la contaminación del agua con el enfoque hidrogeológico consideran variables relacionadas con el comportamiento subterráneo del acuífero y las propiedades físicas como el gradiente hidráulico, la porosidad y la permeabilidad, entre otros. De igual forma, en los trabajos sobre los contaminantes del agua subterránea y los cenotes se hace alusión a la importancia de la salud pública, pero hay poca profundización sobre los aspectos socioeconómicos que conducen a la vulnerabilidad. De esta manera, la comprensión de la vulnerabilidad requiere de una visión integral que incluya también la dimensión social del problema, ya que una causa fundamental de la vulnerabilidad socioambiental radica en las formas de

producción económica, instituciones y formas de vida de las sociedades humanas (Turner et al., 2003).

Resaltan así, las investigaciones que exploran los capitales comunitarios para analizar la vulnerabilidad, tal es el caso de los estudios realizados en la zona costera de Yucatán sobre vulnerabilidad ante eventos meteorológicos como los huracanes o el cambio climático (Soares y Murillo-Licea, 2013; Soares et al., 2014; Merino-Benítez et al., 2020), pues son esenciales para identificar puntos de inflexión apunten hacia la sostenibilidad. Mismo modo en él que lo hacen trabajos puntuales como el de Nava (2015), que han hecho uso de entrevistas mixtas para documentar la percepción de los administradores de cenotes (o cenoteros) ante el riesgo de contaminación de su cenote y sus conocimientos relacionados con la hidrogeología, apuntando que, aunque se percibía el riesgo a la contaminación, no se consideraba el riesgo a las enfermedades derivadas del deterioro de la calidad del agua.

Desde otra perspectiva, Cervantes-Pichardo (2019) recabó información oficial como indicadores demográficos, de servicios públicos y de uso de suelo para analizar los factores socioeconómicos que contribuyen a la contaminación del agua subterránea. Mientras que, con un enfoque que considera la creciente actividad turística, identificó los valores socioculturales y económicos asociados al servicio de recreación de los cenotes de Homún y concluyó que los posesionarios y personal que labora en los cenotes, le otorgan un mayor valor a los servicios ecosistémicos (SE) de abastecimiento de agua y recreación y que la actividad turística propicia la revalorización y el cuidado del ecosistema, así como su significado cultural y espiritual. Asimismo, Merlos-Riestra (2019) generó un índice de aprovechamiento en cenotes con uso recreativo y un índice de riesgo de degradación de cenotes que mostraron que aproximadamente el 15% de los cenotes tienen un alto riesgo de degradación, el 69% una categoría media y el 16% restante está en riesgo.

Los estudios que contemplan los factores socioeconómicos y la contaminación del agua en cenotes son una base fundamental para futuros trabajos de un área que ha sido poco abordada desde esta perspectiva en Yucatán: la vulnerabilidad ante el deterioro en la calidad del agua. Uno de los métodos que se han utilizado para integrar los

aspectos socioeconómicos al enfoque de vulnerabilidad en sostenibilidad es el análisis de decisión multicriterio (MCDA) (Bausch et al., 2014), en específico el antes mencionado proceso analítico jerárquico (AHP), tal es el caso del modelo realizado por Eakin y Bojórquez-Tapia (2008) sobre los medios de vida en Tamaulipas en donde se clasificaron y ponderaron de acuerdo con su importancia frente a la vulnerabilidad al riesgo climático. El modelo reveló cómo la estructura de las actividades de subsistencia contribuye a la sensibilidad y a las capacidades de los hogares. Posteriormente, Eakin y colaboradores (2011) utilizaron un modelo similar, el proceso de red analítica (ANP) con el que se mostró la relación entre los medios de vida de productores de café y las respuestas que serían más efectivas para la reducción de la vulnerabilidad.

También, como se observó en las investigaciones de vulnerabilidad hidrogeológica, es común combinar el AHP y otros métodos MCDA con los sistemas de información geográfica (SIG), por lo que también se han propuesto marcos analíticos basados en el desarrollo de ontologías ambientales que sean capaces de representar la complejidad de los sistemas socioambientales en términos manejables (Bojórquez-Tapia et al., 2011). En ese sentido, se ha subrayado la importancia del uso de los MCDA-SIG en las evaluaciones de impacto ambiental (Bojórquez-Tapia et al., 2002, 2005). En Yucatán, se utilizó el AHP para el desarrollo de un índice de vulnerabilidad social de comunidades pesqueras identificando a los impulsores socioinstitucionales que le dan forma y aplicando un análisis de sensibilidad para comparar modelos AHP y seleccionar el mejor indicador (Merino-Benítez et al., 2020).

Contaminación del agua subterránea

Con respecto a los contaminantes que deterioran la calidad del agua subterránea, destaca el trabajo realizado por Polanco y colaboradores (2015) quienes mapearon concentraciones estimadas de pesticidas organoclorados (OCP) en el anillo de cenotes. Los resultados muestran la presencia de plaguicidas prohibidos (endosulfán, DDT y hexaclorociclohexanos) que superan los límites establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y que representan un riesgo para la salud humana y el medio ambiente. De hecho, el DDT y el DDD (producto de degradación del DDT) se encontró en el 75% de las muestras, lo que indica que posiblemente el uso de este plaguicida fue

muy intenso en los años 70s y 80s (Rendón, 2016) . Aunado a lo anterior, otro estudio llevado a cabo en ocho cenotes de Yucatán indicó que estos tenían residuos de plaguicidas con concentraciones que sobrepasan el lineamiento de calidad de agua para la protección de la vida acuática (Cobos et al., 2014), por lo que también se han realizado investigaciones sobre la relación de biomarcadores con la concentración de plaguicidas organoclorados en especies como *Gambusia yucatanana* (Guayacón yucateco) (Hernández-Marquez, 2017).

Ampliando los conocimientos sobre la contaminación química del acuífero, Polanco y colaboradores (2019) señalaron el uso de 69 diferentes clases de agroquímicos en Yucatán, de los cuales se reporta una extensa utilización del herbicida glifosato para la producción de soya, químico altamente nocivo para la salud ambiental y humana, ya que se le ha catalogado como cancerígeno. En ese sentido, el municipio de Tizimín, área catalogada como de vulnerabilidad extrema con el índice IVAKY (Aguilar-Duarte et al., 2016), mostró una alta bioacumulación de OCP en sangre de mujeres con cáncer cervicouterino (Polanco-Rodríguez y Araujo, 2021).

Desde esta perspectiva, también es interesante el análisis del cambio de uso de suelo, ya que de acuerdo a Smith y colaboradores (2020), el uso de suelo agrícola tiene uno de los mayores impactos en la calidad del agua subterránea y, como en la mayoría de los contaminantes, la estacionalidad influye en su concentración. Al respecto, Cervantes-Pichardo (2019) menciona que el cambio de uso de suelo agrícola es un aspecto que contribuye a la contaminación del agua, al igual que el aumento de uso de suelo urbano, en particular las fosas sépticas que se utilizan en la región.

Además de los agroquímicos, en los cenotes se han detectado hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) pues, a pesar de que los cenotes por lo regular están rodeados de selva donde los procesos bioquímicos de la flora y fauna influyen en la generación de hidrocarburos, no tienen origen biogénico, por lo que probablemente provienen, entre otras cosas, de la quema de pastizales, del proceso de roza-tumba-quema que se lleva a cabo en las actividades agrícolas y de la extendida costumbre de quemar basura. Otra de las causas que pueden influir en las altas concentraciones de HAPs en los cenotes es su modificación para uso turístico, es decir, la instalación de

escaleras y la adaptación del terreno circundante para la recepción de visitantes. La presencia de altas concentraciones de HAPs en los cenotes de uso turístico es especialmente preocupante debido a que actualmente no existe una normativa nacional que indique los niveles máximos permisibles de contaminación en sedimentos o en cenotes por hidrocarburos y la absorción de estos hidrocarburos en el cuerpo humano es generalmente del 100%. Está comprobado que estas sustancias pueden traer efectos negativos sobre la salud con complicaciones renales y hepáticas; así mismo pueden llegar a ser depresores del sistema nervioso central (Martínez-Trejo, 2018).

En adición a los HAPs, en el agua de los cenotes se han localizado contaminantes emergentes, o sea, productos farmacéuticos y cosméticos utilizados para uso humano como la cafeína, la cotinina (metabolito de la nicotina), ibuprofeno, naproxeno e incluso cocaína y su metabolito primario benzoilecgonina (Metcalf et al., 2011). Muchos de estos compuestos llegan al agua por contacto directo, tal es el caso de bloqueadores solares, repelentes, desodorantes, jabones, etc. pero en su mayoría se infiltran a través de las aguas residuales que no tienen un manejo adecuado para las características de Yucatán. Las consecuencias de los contaminantes emergentes aún son poco conocidas y tienen una escasa o nula regulación a nivel mundial (Morales-Pérez, 2021).

En Yucatán, el turismo ha sido un factor determinante en el incremento de muchas actividades económicas y sociales, no obstante, en las condiciones erróneas este crecimiento se vuelve un problema de contaminación para el acuífero (Marín, 2010). El aumento de visitantes genera, entre otras cosas, una mayor densidad de residuos sólidos urbanos. El mayor componente de la basura son los residuos orgánicos que con el clima del estado se descomponen con facilidad por lo que son substratos adecuados para la proliferación de vectores transmisores de enfermedades. La producción de lixiviados también afecta notablemente los suelos y por consiguiente deterioran la calidad del agua (González-Herrera y Rodríguez-Castillo, 2006).

Por su parte, una de las mayores fuentes de contaminación al agua subterránea de Yucatán son las aguas residuales, principalmente por deficiencias en el alcantarillado y la insuficiencia de plantas de tratamiento (Nava, 2015). Por lo que en diversos estudios se indica la presencia, por encima de las normas nacionales e internacionales, de

coliformes fecales y otros patógenos en los cenotes y en el agua subterránea (Herros-Salgado, 2018; Hoogesteijn et al., 2015; Nava, 2015; Pacheco et al., 2004; Ríos-Contreras, 2020; Villanueva-Gómez, 2016).

Es importante destacar que muchas de las investigaciones sobre calidad de agua en cenotes se enfocan en las concentraciones de coliformes fecales pero de acuerdo con Pacheco y colaboradores (2000), hay evidencia que sugiere que los indicadores de coliformes, si bien son importantes, pueden no ser del todo adecuados para juzgar la seguridad del agua en ambientes tropicales, pues se ha demostrado una correlación deficiente entre los patógenos bacterianos y los indicadores de coliformes. Por lo que también se han desarrollado análisis con distintos microorganismos (bacterias, virus, hongos y protistas) como indicadores de calidad del agua en Yucatán que muestran un panorama preocupante para la salud pública (Rosiles-González et al., 2017). También, es de resaltar que, pese a que la posibilidad de contraer una enfermedad por agentes patógenos depende de la dosis, la invasión y el estado inmunológico de la persona, existe un riesgo mucho mayor en espacios de uso recreativo como los cenotes (Hoogesteijn et al., 2015; Nava, 2015; Ríos-Contreras, 2020).

Desde otra visión de la contaminación biológica y ante el exponencial crecimiento de la actividad pecuaria en Yucatán, Méndez y colaboradores (2009) se centraron en estimar el potencial contaminante de las granjas porcinas y avícolas; los resultados indicaron que existían alrededor de 670,174 cerdos que generaban diariamente 3,884.78 toneladas de excretas, 9,428.37 m³/d de aguas residuales altamente contaminadas y una carga orgánica similar a la que producirían 4,431,334 personas. En cuanto a la producción avícola, se estimó que las aves generaban un total de 234 toneladas de desechos orgánicos sólidos. Más adelante, Bautista y colaboradores (2022), afirmaron que el crecimiento había sido tal que se calculaban alrededor de 400 mega granjas porcinas principalmente en el centro y norte del estado, así como una cantidad no conocida de medianas y pequeñas granjas. Desde esta perspectiva, y con base en el funcionamiento de las granjas de Yucatán, se describieron los potenciales efectos negativos en el acuífero del agua residual porcina, así como la influencia de los

procesos meteorológicos y geológicos en el estado y cómo la industria porcina podría llegar a ser un poco menos contaminante.

Conflicto con granjas porcinas en Homún

El municipio de Homún cuenta con un gran número de grutas, cuevas y cenotes, ecosistemas que han impulsado la actividad turística en la zona. No obstante, el turismo no es la única industria presente en la región, la ganadería, en especial la cría de cerdos, también se ha expandido rápidamente en Yucatán. La cercanía de las granjas porcinas a los cenotes y demás sitios turísticos, ha dado pie a la discusión sobre la incompatibilidad de estas actividades debido a los riesgos a la salud pública y a las consecuencias en la calidad del agua y los ecosistemas.

En particular, el problema de Homún y las granjas porcinas comenzó en 2016, cuando la empresa Producción Alimentaria Porcícola (Papo) pretendió instalar una granja que albergaría alrededor de 49 mil 252 cerdos, lo que provocó alarma entre la población (Lozano y EF Península, 2018). A partir de ese momento inició un conflicto legal en donde los pobladores argumentaban que no se les había consultado sobre el proyecto y que este contaminaría los cenotes de la región, siendo estos una de las principales fuentes de ingresos para las familias del municipio, además de que representaba un riesgo importante para la salud de los habitantes. La empresa por su parte, se defendía bajo el argumento de la infraestructura que se construiría para evitar la contaminación del agua y con los altos estándares de calidad que se manejarían dentro de la granja (Lozano y EF Península, 2018; Pradilla, 2020).

A finales de 2018 se presentó un amparo por parte de la representación legal de seis niños para proteger su derecho al agua, un medio ambiente sano y el principio precautorio. El amparo terminó en el año 2021 con la decisión de la Suprema Corte de Justicia de la Nación (SCJN) sobre la suspensión definitiva de las actividades de la granja (Murillo, 2021). Luego de ello, los pobladores de Homún denunciaron hostigamiento y represalias por parte de las autoridades con la clausura de paraderos turísticos de personas que estaban en contra de la granja (Enciso, 2021). Posteriormente, el juez Segundo de Distrito determinó nuevamente que la mega granja permanecería cerrada dado que las pruebas presentadas por PAPO no fueron

suficientes para determinar que no se afectaría la calidad del agua (Greenpeace México, 2022).

Por otra parte, una de las consecuencias que el conflicto con la granja generó o intensificó en la comunidad de Homún es la percepción de las granjas porcícolas como la principal fuente de contaminación del agua de los cenotes. Bajo el enfoque de la vulnerabilidad y los capitales comunitarios, la percepción social del riesgo es un factor fundamental para reaccionar ante las amenazas. A grandes rasgos, la percepción social del riesgo se refiere a la creencia que un individuo posee ante la ocurrencia de un fenómeno, ésta se construye a partir de complejos procesos que, entre otras cosas, involucran experiencias y creencias influenciadas por el entorno, por lo que, en ese sentido, no son estáticas y están en permanente desarrollo y cambio, lo que permite la resignificación de las maneras de percibir e interpretar el mundo (Soares y Vargas, 2012).

ESTRATEGIA METODOLÓGICA

Área de estudio

El área de estudio es la cabecera municipal homónima de Homún, este sitio concentra alrededor del 84.69% de la población total del municipio que forma parte de la Reserva Estatal Geohidrológica Anillo de Cenotes (REGAC) y es uno de los 106 municipios del estado de Yucatán (INEGI, 2020). Se ubica en la región centro norte de Yucatán, entre los paralelos 20° 38' y 20°49' de latitud norte y los meridianos 89°14' y 89°22' de longitud oeste; se encuentra a la una altura promedio de 17 ms.n.m. y colinda al norte con los municipios de Hocabá y Seyé, al sur con Tekit, al este con Huhí y Sanahcat y al oeste con Cuzamá y Tecoh (Gobierno Estatal de Yucatán, 2022) (Figura 4).

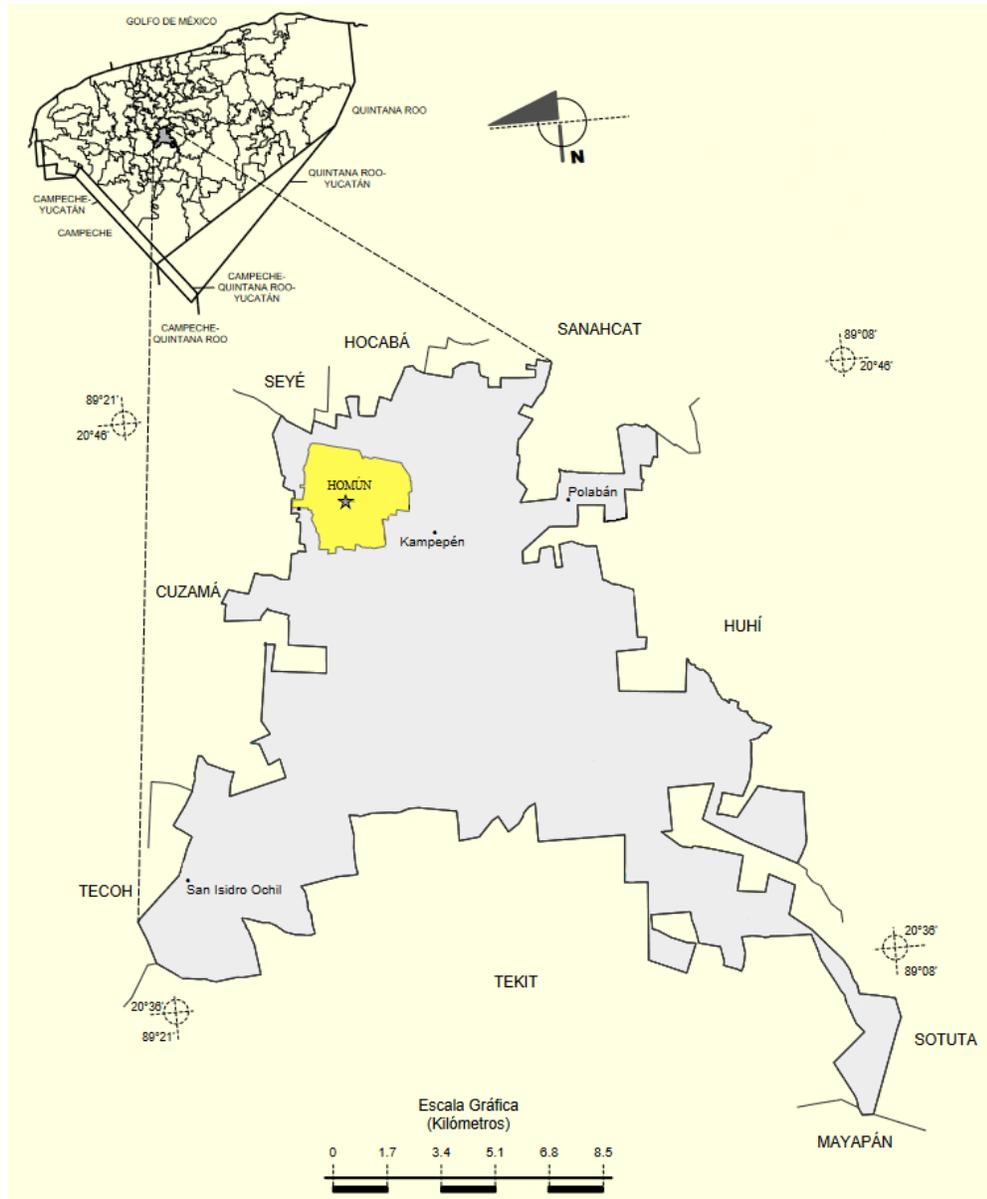


Figura 4. Localización del municipio y localidad de Homún. Modificado de INEGI (2009).

En maya, Homún significa literalmente “cinco tiernos” que deriva de los vocablos *Ho* (cinco) y *Mun* (tierno o no sazonó aún), aunque existen otras traducciones que afirman que el término significa “hoya cenagosa”. Dentro de la jurisdicción del municipio se encuentran las localidades de Kanún, Kanpepén, Polabán, San Antonio, Chichi Lagos, Yalahán, San Isidro Ochil, Cho-chich, Chan Santo, Sintunil, Culul, Kanka-Chen, Kan Kadzonot, Santa Cruz y Sipchac que en total ocupan una superficie de 199.91km² (Gobierno Estatal de Yucatán, 2022).

De acuerdo con el Gobierno Estatal de Yucatán (2022) no existen datos exactos sobre la fundación e historia del municipio pero data desde antes de la época de la conquista. Asimismo, se sabe que al igual que muchos de los municipios del centro y noroeste del estado, Homún formaba parte de la zona henequenera, industria que se consolidó como el eje de la economía yucateca al concluir el siglo XIX (Vázquez, 1999). No obstante, la era del “oro verde” prácticamente desapareció a finales de los años 90 y principios de los 2000, después de su privatización y desplazamiento en el mercado por fibras sintéticas (Villanueva, 2009).

En cuanto a los elementos arquitectónicos, en Homún destacan los templos construidos en honor a Santiago Apóstol y a San Buenaventura, a quien se le dedican las fiestas populares del 6 al 14 de julio, pues se dice, es el defensor de los mayas. Homún también cuenta con los sitios arqueológicos de Kampepén, Sión y Yalahau (Gobierno Estatal de Yucatán, 2022). Aunado a ellos, en este municipio dentro de las cuevas, grutas y cenotes, se han hallado diversos vestigios arqueológicos como cráneos, utensilios de uso cotidiano (para los mayas de ese entonces), fragmentos de cerámica, así como varios pictogramas y petrograbados, unos de los más representativos de la zona son las numerosas figuras de manos en la cueva Kanun ch' en (Evia, 2009; Tec, 2012).

Con respecto al clima, la región está clasificada como cálida-subhúmeda con lluvias en verano (fines de mayo a principios de octubre), presentándose durante la época las sequías de medio verano. Tiene una temperatura media anual de 25.5 °C y una precipitación media anual de 1,200 milímetros (Gobierno Estatal de Yucatán, 2022; Schmitter-Soto et al., 2002). Este clima permite que predomine la selva baja y mediana caducifolia que contiene especies conocidas como alcjhé, amapola, bohóm o bojom, caoba, cedro, ceiba, chakah, chechem, chichibé, chukum, Ch'obenche, haabin, henequén, kanisté, k'ulinsis, pochote, puts'mukuy, sábila, tsinkin, verdolaga, xpuhuk, s-tes o bleado, x-tesak o ya'ax katsim, stok'abau, ya'axnik, sakchuchum, ramón, chaya, zapote, tamarindo y flamboyán. En cuanto a la fauna, abundan especies como ardillas, mapaches, coatíes, conejos y tuzas, también se pueden encontrar venados, zorrillos, pecarís, varios tipos de murciélagos, armadillos, así como diversas clases de anfibios,

reptiles y aves como el cardenal, loros y colibríes, entre muchos otros (Gobierno Estatal de Yucatán, 2022).

Como se mencionó anteriormente, una de las características más representativas de este municipio es la cantidad de cuevas y cenotes, se calcula que hay alrededor de 300 de estas oquedades (Evia, 2009). Conocidos técnicamente como lagos kársticos o dolinas, los cenotes o tz'ono't que en maya se traduce como "pozo o caverna con depósito de agua" son cavidades en la roca que pueden ser circulares o semicirculares y su origen puede ser por disolución superficial o por colapso a causa de fracturas (Merlos-Riestra, 2019). Schmitter-Soto y colaboradores (2002) definieron a los cenotes como "una enorme gama de cuerpos acuáticos que presentan distintos tipos de agua, diversos patrones de circulación y estratificación, diversas formas de la cavidad, diámetro de apertura, altura, profundidad, área del cuerpo de agua, etcétera". Asimismo, existen cenotes conectados de manera directa a un sistema de flujo subterráneo y otros que se encuentran parcial o totalmente bloqueados, por lo que tienen patrones de circulación y estratificación muy heterogéneos entre sí, es decir, son sistemas hidrológicos complejos y dinámicos dado, entre otras cosas, a que son el nexo entre los sistemas marinos, terrestres y de agua dulce.

En general, el término cenote denota cualquier espacio subterráneo con agua, con la única condición de que esté abierto al exterior en algún grado, dicho de otra forma, incluye toda manifestación kárstica que alcance el nivel freático (Schmitter-Soto et al., 2002). Estas cavidades son ventanas en la superficie que exponen el acuífero, por lo que en términos de contaminación, tienen un riesgo mayor al deterioro de la calidad del agua debido a que el contaminante no viaja por el subsuelo, no se transforma o diluye, sino que es vertido directamente en el cuerpo de agua (Alcocer et al., 1999).

Por otra parte, los cenotes albergan una diversidad importante de formas de vida y aunque se conoce poco de la flora fitopláctica del agua y de los invertebrados acuáticos, se sabe que dominan algunas especies de diatomeas y varios géneros de crustáceos, muchos de ellos adaptados a la vida en cavernas (troglobios) (Ilfie, 1993; Morales-Pérez, 2021; Schmitter-Soto et al., 2002). Por su parte, entre los vertebrados que pueden habitar en los cenotes se encuentran los cocodrilos, iguanas, tortugas,

ranas y una gran variedad de ictiofauna (Schmitter-Soto et al., 2002). Muchas de las especies que habitan en los cenotes son endémicas y/o están en peligro de extinción o en alguna categoría de riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010¹.

Con referencia a los usos de los cenotes, en la antigüedad muchos de ellos eran considerados sagrados y uno de los elementos más importantes para la supervivencia durante la estación de secas y aunque actualmente los valores culturales y las cosmovisiones asociadas a los cenotes se han modificado, algunas de ellas siguen vigentes (López-Maldonado y Berkes, 2017). Hoy en día, los cenotes son considerados normativamente como ecosistemas costeros y, en las últimas décadas, se han destinado principalmente al sector turístico, pero también se han usado en la agricultura, ganadería e incluso para la especulación inmobiliaria debido a su atractivo (Merlos-Riestra, 2019).

Contexto socioeconómico

El municipio de Homún cuenta con 8,090 habitantes de los cuales el 49.7% son mujeres y 50.3% son hombres. Del total de la población, el rango de edad más frecuente es de 20 a 24 años. De igual forma se ha registrado que hay 6,531 pobladores que pertenecen a un grupo indígena y 3,900 habitantes hablan maya, lo que corresponde al 48.2% del total de la población del municipio (INEGI, 2020). Los principales grados académicos son la secundaria con el 43.1% de la población de los cuales el 20.5% pertenecen al género masculino y el 22.6% restante son mujeres. Con el nivel educativo de primaria cuenta el 34.8% de los habitantes, en este caso, contrario con el nivel de secundaria el porcentaje menor hace referencia a las mujeres (14.7%). El bachillerato o preparatoria lo tiene el 15% de las personas en Homún y el 3.47% tienen licenciatura o un grado superior. La tasa de analfabetismo es del 11.4% de los cuales el 44% corresponde a los hombres y el 56% a mujeres (INEGI, 2020).

Con respecto a las 2,742 viviendas particulares habitadas en el municipio, 1,629 disponen de energía eléctrica, agua entubada de la red pública y drenaje, es decir, un

¹ Para conocer más al respecto se pueden consultar los listados realizados por Iliffe, (1993), Merlos-Riestra (2019), Schmitter-Soto y cols. (2002) y Morales-Pérez (2021).

poco menos de la mitad de las viviendas carecen de alguno de estos servicios básicos. Cabe destacar que la falta de disposición de agua de la red pública, en el caso de Homún, puede deberse a que el abastecimiento se obtiene directamente de las fuentes de agua dulce, como los cenotes. También, resalta que aunque de acuerdo con las estadísticas, las viviendas cuentan con drenaje, esto no es sinónimo de un buen tratamiento y destino final de las aguas residuales, ya que los drenajes pueden estar conectados a una fosa séptica, como en la mayoría de las viviendas de Homún o estar conectados a la red pública (INEGI, 2020).

En términos de desigualdad social, el coeficiente de Gini, que representa la distribución de ingresos de los habitantes o la inequidad entre estos, para el municipio es de 0.3 (los índices más cercanos a 0 presentan mayor equidad mientras que los valores cercanos a 1 expresan más inequidad entre la población). Los indicadores de pobreza muestran que en Homún el 16% de la población se encuentra en pobreza extrema y el 52.2% en pobreza moderada, porcentaje cuya disminución, en comparación con las estadísticas del 2015, es prácticamente imperceptible (INEGI, 2020).

En referencia a las actividades económicas que se realizan en el municipio, es importante mencionar que, de la población total, 7,975 personas nacieron en Homún. Dicha cifra puede indicar un cierto nivel de inmigración, pero no refleja otro de los aspectos más importantes de la dinámica de la comunidad, el traslado diario de trabajadores hacia o desde este municipio. De acuerdo a indicadores, la principal actividad económica en Homún es el comercio al por menor (42.1%), aquí se incluyen unidades económicas dedicadas a la compra-venta de bienes y servicios directamente al consumidor final. De igual forma, los servicios de alojamiento temporal y preparación de alimentos y bebidas ocupan el 18% y la industria manufacturera el 21.9% de las actividades (INEGI, 2019, 2020).

Recolección de datos

Para esta investigación se utilizaron entrevistas semiestructuradas como método de recolección de datos, ya que permiten una conversación orientada, mediante un guion de preguntas, entre el entrevistador y la persona entrevistada (Díaz-Bravo et al., 2013). Este tipo de interacciones, en muchas ocasiones, no sólo se restringe a respuestas

concretas, como en la encuesta, sino que abre paso a nuevas formas de comprensión de la realidad de un sistema en palabras de quien lo vive a diario.

Por otra parte, las entrevistas son una herramienta básica y flexible que permite recabar información sobre la vida social de la comunidad y, en este proyecto, dan lugar a un conocimiento histórico sobre el uso social, cultural, económico de los cenotes y sobre cómo se ha vivido el proceso de transformación entorno a este recurso. Además, se puede obtener información acerca de perspectivas, prácticas y creencias que han llevado a la relación actual de los habitantes con los cenotes.

Las entrevistas semiestructuradas son ideales para conocer en profundidad las experiencias, saberes y percepciones de las personas afectadas por la contaminación de los cenotes, triangulando la información compartida por las diferentes entrevistas, para generar resultados plausibles. Al mismo tiempo, permiten la traducción de datos cualitativos en información cuantitativa, mediante la categorización de los datos, por lo que posibilita la utilización de índices, por ejemplo, de vulnerabilidad socioambiental.

Como actividad previa a las entrevistas en campo, se realizó la identificación de actores clave para determinar a los posibles entrevistados. La búsqueda se hizo con base en los antecedentes del conflicto de la granja porcina en Homún y con la intención de incluir diferentes puntos de vista al respecto de la contaminación del agua subterránea, por lo que la selección final de actores se integró con: actores de organizaciones de la sociedad civil, academia, gobierno, comunidad y sector privado (empresas o involucrados en la industria porcina).

Para complementar el panorama sobre la situación en Homún, e iniciar la investigación empírica, hubo una primera visita de reconocimiento en donde se pudo observar, de forma general, la dinámica de los prestadores de servicios turísticos (guías y administradores de cenotes), la actividad turística de recreación en los cenotes, las condiciones del área (basura, biodiversidad, espacios para sanitarios, etc.), la reglamentación y algunas de huellas del conflicto con la granja (banderas y expresiones de rechazo a la granja como pintas y propagandas). La visita permitió reconocer también las características particulares del lenguaje usado en la comunidad. Por ejemplo, “cenoteros” que hace referencia a los administradores y propietarios de los

cenotes abiertos al público y “dueños de los cenotes” a entidades que forman parte de la cosmovisión como el “Alux”. El entendimiento de este lenguaje fue esencial para la aplicación e interpretación de las entrevistas. Además, la visita a Homún facilitó el contacto con uno de los pobladores, quien posteriormente cumplió un rol como *portero de campo* ya que facilitó el establecimiento de comunicación con otros actores de la comunidad, lo cual se conoce como técnica de bola de nieve (Méndez et al., 2020).

Una vez realizada la visita de reconocimiento y la identificación de los actores clave, se inició el proceso de elaboración de la entrevista semiestructurada con base en el texto de Soares y colaboradores (2014) y en el instrumento de entrevista a actores clave dentro del proyecto “Análisis integrado de sistemas socioambientales acoplados: desarrollo de capacidades para la evaluación de la vulnerabilidad costera”². Pues en ambos estudios se aborda la vulnerabilidad socioambiental desde el enfoque de los capitales comunitarios, mismo que fue utilizado en esta tesis. En primera instancia, se clasificaron en una tabla las preguntas que correspondían a cada capital (social, humano, financiero, natural, físico, político y cultural) y una vez revisados estos reactivos se optó por separar las entrevistas por cada tipo de actor (comunidad, gobierno, sector privado, organizaciones no gubernamentales y academia) para facilitar el diálogo en el proceso de la entrevista y que la persona entrevistada de cada sector pudiera aportar información desde sus conocimientos (Anexo I). También, se elaboró un consentimiento informado para los entrevistados, en donde se presentaba brevemente el proyecto, los objetivos y las razones de su participación, así como el carácter anónimo de sus declaraciones.

Al respecto de la aplicación de las entrevistas, es importante subrayar que esta investigación transcurrió durante la pandemia por COVID-19 por lo que la interacción presencial con los entrevistados se realizó con las medidas de seguridad recomendadas por las instituciones de salud y por la misma razón, algunas de las entrevistas se efectuaron por medios digitales (videollamadas o llamadas telefónicas).

² Proyecto PAPIIT-UNAM IV100118, a cargo del Dr. Luis A. Bojórquez Tapia y con la participación de la Dra. María Elena Giraldo.

Previo a la salida a campo se enviaron correos electrónicos a los actores identificados de cada sector (excepto a la comunidad) para informar el propósito de la entrevista y agendar una cita presencial o remota. El trabajo de campo se realizó del 22 al 27 de noviembre de 2021, en la cabecera municipal de Homún. Se utilizó una grabadora de audio para registrar las entrevistas y en caso de que el permiso de la grabación no fuese otorgado por el entrevistado, las respuestas se anotaron en una libreta de campo. También se usó equipo fotográfico para el registro de evidencias (Ver Anexo III) y fotocopias de la guía de preguntas y el consentimiento informado. Al realizar las entrevistas no se discriminó por ocupación, sexo, ni escolaridad y no se tomaron en consideración para la investigación a los visitantes (turistas) ni a los menores de edad. El tamaño de la muestra estuvo determinado por el número de actores que, durante el periodo de tiempo establecido para las entrevistas, accedieron a responder y, en el caso de la comunidad, por la saturación de datos, es decir, cuando la información comenzó a repetirse constantemente.

Se realizaron en total 19 entrevistas durante el trabajo de campo (15 de oportunidad y el resto con cita) que oscilaron entre los 20 y los 80 minutos. Las entrevistas fueron grabadas en su totalidad con autorización de los informantes. De los actores identificados, los que accedieron a ser entrevistados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2. Sectores y actores entrevistados

Sector	Actores
Gobierno	Secretaría de Desarrollo Sustentable (SDS)
OSC/Academia	Cenoteando, Ka'nan ts'onot, Indignación
Sector privado	Especialista en porcicultura
Comunidad	Cenoteros, guías, población en general

Adicionalmente a las entrevistas, asistí como observadora a los talleres de Priorización de la Estrategia Estatal Hídrica organizados por la Secretaría de Desarrollo Sustentable de Yucatán (SDS), lo que me permitió distinguir las líneas de acción gubernamentales ante las problemáticas del agua que aquejan a este estado. De igual forma, acudí a los talleres de Pronóstico Porcícola y Avícola para la actualización del Programa de

Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Yucatán (POETY) por medio de los cuales conocí el proceso en donde participan diversos actores relacionados a esa industria y pude escuchar las preocupaciones y proyecciones a futuro de este sector.

Procesamiento de datos

Para la transcripción y posterior sistematización de la información recabada en las entrevistas y el análisis de contenido de las mismas, se usó la versión de prueba de Pinpoint, una herramienta recientemente desarrollada para la conversión de archivos de audio a texto que en esta investigación fue empleada por su facilidad de uso, velocidad de conversión y porque la interfaz permite el almacenamiento y administración de archivos. No obstante, la precisión de la transcripción fue limitada. Por lo que, con los documentos derivados de la conversión con Pinpoint, se realizó una transcripción y corrección manual complementada con la herramienta de dictado de voz Speechnotes, debido a que es un instrumento de libre acceso que tiene mayor precisión en la transcripción en español. Posteriormente a las transcripciones, con el enfoque de los capitales comunitarios y siguiendo la guía de preguntas de las entrevistas, se categorizaron y codificaron las entrevistas por medio del programa Atlas.ti8, elegido por facilitar la organización, el análisis y la interpretación de información en investigaciones cualitativas. Sin embargo, debido a la cantidad de información y para no limitar la interpretación de los datos, la codificación se amplió a otras categorías más allá de los capitales, incluyéndose, por ejemplo, las opiniones respecto al manejo del turismo, inseguridad, empleo, contaminación, etc., lo que en el análisis de contenido se conoce como refinamiento y saturación.

La codificación se realizó siguiendo la clasificación de los capitales comunitarios; por ejemplo, si el texto de las transcripciones se refería a las ceremonias que se hacen en los cenotes, esa cita se codificaba como capital cultural, misma categoría que se daba cuando el texto hacía alusión a las creencias y cosmovisiones en torno al agua, pero a su vez se subcategorizaban conforme a lo descrito en el texto. Es decir, a pesar de que las citas sobre las ceremonias, tradiciones y creencias se codificaron como capital cultural, pertenecían también a subcategorías, esto con la intención de ordenar las citas sin perder información. Entonces, si se hablaba del respeto a los cenotes por ser

sagrados, la cita se codificaba como “Creencias” y formaba parte del conjunto de códigos dentro de la categoría de “Capital cultural”.

El proceso de la clasificación resultó en 14 grandes grupos de códigos en los que se incluyen el capital cultural, humano, natural, político, económico, social y humano, además de las acciones, la percepción sobre el estado de conservación, el funcionamiento de las granjas porcinas, los conflictos sociales y los megaproyectos y los problemas de contaminación, entre otras cosas. Se buscó que las subcategorías fueran específicas con respecto a la información brindada por los entrevistados, por ello, la información de las entrevistas se clasificó en 94 subcódigos. Es importante destacar que, de los 94 subcódigos, no todos pertenecen a temas relacionados con la contaminación del agua, pero se tomaron en cuenta debido a que amplían el panorama sobre el funcionamiento del socioecosistema en Homún, además de que, fueron usados como insumo para la elaboración del modelo multicriterio.

Modelo multicriterio

Una vez realizadas las transcripciones y la codificación en Atlas.ti8, por medio de la información de las entrevistas y la búsqueda bibliográfica, se identificaron y sistematizaron en un concepto general los aspectos involucrados en el deterioro de la calidad del agua subterránea (Tabla 3). Estos y otros conceptos derivados de la codificación fueron utilizados para construir el modelo de distintas formas hasta lograr el diseño más lógico en términos de lo que se pretendía explicar. Para ello, como propone Bojórquez-Tapia et al. (2016), se realizó un modelo mental para visualizar la relación entre los conceptos y determinar el diseño final del modelo multicriterio (Anexo II).

Después de este proceso, los conceptos finales se agruparon por categorías, los que pertenecían a los problemas, los factores que inciden en la contaminación y las acciones que se llevan a cabo para hacer frente. Lo que en términos de vulnerabilidad engloba tres de los elementos clave de la vulnerabilidad: la exposición, la sensibilidad y las capacidades adaptativas. Esta clasificación fue determinante para establecer la estructura del modelo multicriterio realizado con el software SuperDecisions, instrumento en el que se integra el modelo matemático desarrollado por Saaty utilizado

para la resolución del MCDA. El modelo se compone de cuatro niveles: meta, problemas de contaminación, criterios (actividades económicas, político-institucionales, cambio de uso de suelo y socio-culturales) y acciones (Figura 5). La meta es un elemento clave en el modelo de las comparaciones pareadas, y se estableció de la siguiente manera: Identificar los factores que más inciden sobre la contaminación del agua de los cenotes.

Tabla 3. Elementos del modelo multicriterio

Criterio	Subcriterio	Definición
Problemas de contaminación	Química	Se incluye una amplia gama de compuestos químicos que causan problemas de contaminación en el agua por contacto directo o por infiltración como productos farmacéuticos (medicamentos, hormonas, drogas ilícitas), de cuidado personal (desodorantes, jabones, fragancias, bloqueadores solares, repelentes de insectos, etc.), agroquímicos (plaguicidas, herbicidas, fertilizantes, etc.), cafeína, nicotina, edulcorantes, detergentes, microplásticos, compuestos industriales, hidrocarburos, lixiviados, etc.
	Residuos sólidos urbanos (RSU)	Se incluyen materiales que causan problemas de contaminación en el agua como vidrio, cartón, metales, papel, plásticos (bolsas, envases, desechables), textiles, calzado, residuos de aparatos electrónicos (televisores, radio, cafetera, microondas, etc.), llantas, cascajo, etc.
	Biológica	Se incluyen microorganismos patógenos como bacterias (coliformes fecales), virus, hongos, algas y protozoarios por encima de los límites establecidos por la NOM-003-ECOL-1997 y que causan problemas de contaminación en el agua ya sea por contacto directo o a través de la infiltración de aguas residuales
Actividades económicas	Turismo	Actividad que genera aumento en los RSU, en la contaminación biológica y química del agua a través de las aguas residuales y por contacto directo con el agua de los cenotes. Se hace referencia a los residuos del turismo de cenotes (recreativo) de la comunidad de Homún.
	Pecuaría	Actividad que genera, debido a la magnitud de su producción, contaminación biológica a través de la infiltración de aguas residuales. Se refiere a la cría de cerdos y aves.

	Agricultura	Actividad que genera un aumento en la contaminación del agua por agroquímicos que fluyen a través de corrientes subterráneas.
	Industriales y de comercio	Actividades generadoras principalmente de RSU y contaminación química por medio de aguas residuales de por ejemplo la industria textil, de construcción y el comercio de bienes.
Político institucionales	Falta de regulación y vigilancia	Poca o nula atención por parte de las instituciones gubernamentales de reglamentar e inspeccionar el cumplimiento de las normas existentes con respecto a las actividades que generan contaminación al agua subterránea y a los cenotes.
	Falta de capacitación	Pocas o nulas actividades orientadas a ampliar las habilidades, aptitudes y conocimientos para el manejo sostenible de los cenotes de las personas que generan ingresos a través de estos cuerpos de agua.
	Falta de acceso a la información	Poco o nulo acceso y difusión de información confiable, comprensible y actualizada de la calidad del agua de los cenotes.
	Descarga y saneamiento de aguas residuales	Sistemas inadecuados para la disposición y saneamiento (tratamiento) de aguas residuales que dificultan un manejo sostenible del agua subterránea.
	Disposición de RSU	Sistemas poco apropiados para la disposición de los RSU que además pueden causar contaminación química del agua subterránea.
Cambio de uso de suelo	Urbanización	Incremento de las presiones sobre el acuífero debido al aumento de aguas residuales (por ejemplo, de uso doméstico) y residuos sólidos urbanos que vienen con el crecimiento poblacional y urbano.
	Venta de terrenos	Comercialización de terrenos de los miembros de la comunidad y cambio de uso de suelo con fines diferentes a los de la conservación (desmonte, agricultura, turismo, etc.).
	Megaproyectos	Cambio de uso de suelo para actividades turísticas y/o industriales a gran escala que transforman profundamente las diversas dimensiones del territorio y que pueden aumentar las presiones sobre el acuífero en cuanto a contaminación química, biológica y por RSU.
Socio-culturales	Falta de apropiación	Poco o nulo sentido de apropiación, pertenencia o de formar parte del territorio, en donde no se le dota de un significado y un cuidado a los cenotes y al agua subterránea.

	Falta de cohesión	Pocas o nulas relaciones comunitarias basadas en la cooperación, es decir, predominan visiones individualistas respecto a la gestión y actividades asociadas a los cenotes.
	Falta de vigilancia y regulación local	Poca o nula atención por parte de las personas que generan ingresos a través de los cenotes de reglamentar e inspeccionar el cumplimiento de las normas existentes con respecto a las actividades que generan contaminación a los cenotes.
Acciones	Acción colectiva	Aumento en las capacidades sociales referidas a la comunicación, interacción y cooperación entre los miembros de la comunidad para el uso de los cenotes (asambleas, comunicación, unión/cohesión, redes, participación, movilización, resolución de conflictos del pueblo).
	Instituciones informales	Establecimiento de acuerdos y normas que involucren al agua y a los cenotes entre los miembros de la comunidad.
	Mantenimiento	Limpieza de residuos sólidos urbanos en los cenotes por parte de los propietarios y aumento en los esfuerzos de las autoridades municipales para implementar estrategias de separación y la recolección de la basura.
	Biodigestores	Uso de métodos alternativos como biodigestores para la disposición de aguas residuales en Homún.
	Educación ambiental	Estrategias didácticas implementadas por organizaciones locales, academia o gobierno para aumentar el conocimiento para la conservación del medio ambiente en especial de los cenotes.
	Estrategias de gestión pública	Implementación de programas dedicados al cuidado del agua subterránea y a la protección de cuevas, cenotes y grutas y actualización y revisión del reglamento de la Ley de Protección al Medio Ambiente del Estado de Yucatán en Materia de Cenotes, Cuevas y Grutas.
	Creación de organizaciones	Surgimiento de organizaciones locales enfocadas al cuidado de los cenotes.

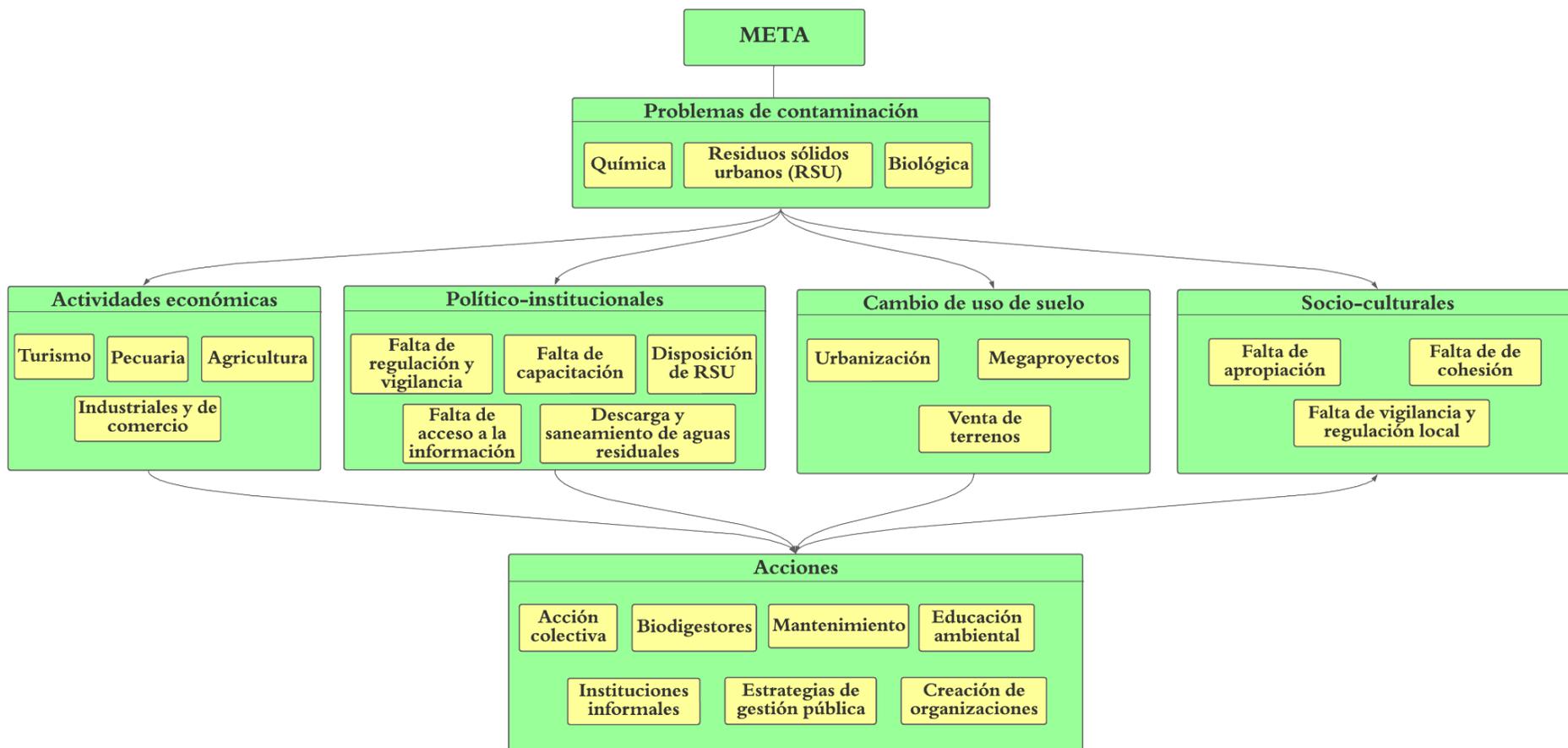


Figura 5. Estructura jerárquica del modelo AHP realizado a partir de información bibliográfica y la obtenida a partir de entrevistas semiestructuradas sobre el municipio de Homún.

Ya establecida la estructura jerárquica (Figura 5) y las definiciones de los subcriterios, se relacionaron los elementos a comparar, por ejemplo, en el cúmulo *Acciones*, *Creación de organizaciones* se relaciona con el cúmulo de *Actividades económicas* a través del subcriterio *Pecuaría* pero no con *Agricultura* puesto que, de acuerdo con lo definido y a la información recopilada, estos elementos no tenían relación y por lo tanto la comparación no aportaría datos relevantes para la investigación.

Posteriormente, se realizaron las comparaciones pareadas, las cuales consistían en asignar una valoración numérica (derivado de la escala de Saaty) (ver Tabla 1) a un subcriterio frente a otro. Para esta determinación de pesos, llevada a cabo en cuatro sesiones, se utilizó el método de ordenación simple (Aznar y Guijarro, 2020), es decir, el grupo de trabajo (los decisores) estableció conforme a sus criterios la distribución de pesos. Estas valoraciones, que van del 1 al 9, tomaron como principal insumo los datos y el análisis de las entrevistas semiestructuradas elaborado en Atlas.ti8. También se efectuaron con base en la información bibliográfica recabada y el conocimiento empírico de la problemática en cuestión. Es importante destacar que la asignación del valor numérico se decidió en conjunto con el equipo de trabajo, por lo que cada juicio fue discutido hasta lograr el consenso para la valoración de cada elemento. Esta forma de decisión, orientada a la reflexión y a la discusión, se repitió al ajustar las comparaciones cuando el índice de inconsistencia era alto. El proceso de decisión se ilustra de la siguiente tabla (Tabla 4).

En Homún, con relación a lo definido en el subcriterio *Pecuaría* que tan importante es la *Acción colectiva* presente en el cúmulo *Acciones* con respecto a la *Educación ambiental*:

- Entre muy fuerte y extremadamente más importante que *Educación ambiental*
- Entre muy y fuertemente más importante que *Creación de organizaciones*

Tabla 4. Ejemplo de matriz de comparaciones pareadas del cúmulo *Acciones* con respecto a *Actividades económicas*

	Creación de organizaciones	Educación ambiental
Acción colectiva	6	8
Creación de organizaciones		3

Matemáticamente, una vez elaborada la matriz de comparaciones, se calcula la *prioridad* de cada uno de los elementos que se comparan. Para el segundo nivel en la estructura jerárquica (los criterios y en este caso los subcriterios) (ver Figura 2 y 5), se suman los valores de cada columna y después se divide cada elemento entre el total de su columna, dando lugar a una “matriz normalizada de comparaciones pareadas” con la que se calcula el promedio de los elementos de cada fila de la matriz (vector de prioridades). Estos promedios son una estimación de los pesos relativos de los subcriterios comparados con respecto a la meta, que son todas las maneras posibles de comparar el criterio (número que corresponden al eje Y o vertical en las gráficas de esta investigación). Una vez ponderados los subcriterios, con el mismo método se comienzan a comparar el resto de los niveles de la jerarquía (ver Figura 2, pp. 26 y Figura 5, pp. 51). Finalmente, para responder a la meta, se multiplican las matrices de los vectores de prioridad de cada nivel y el promedio más alto es el de mayor prioridad (Saaty, 2001).

Con el término de las comparaciones, se graficaron los vectores de prioridades por cada subcriterio con respecto a cada criterio o cúmulo (actividades económicas, político-institucionales, cambio de uso de suelo y socio-culturales). Esto muestra la importancia de cada subcriterio con respecto a su incidencia en la contaminación del agua de los cenotes. El resultado del modelo se complementó aún más con las entrevistas para discutir cómo los capitales de la comunidad se configuran dentro del contexto de la vulnerabilidad a la contaminación del agua de los cenotes. De la misma forma, se muestra la relevancia de las acciones generadas para disminuir la vulnerabilidad. Estas acciones se identificaron de manera exploratoria, a partir de los resultados del trabajo de campo, por lo que se trata de un acercamiento que debe profundizarse a fin de identificar elementos clave que contribuyan a un manejo sostenible del sistema hídrico.

Debido a que la presente investigación se enfoca en la vulnerabilidad socioambiental, es importante mencionar que, en la distribución de los entrevistados por sector, predomina la información proporcionada por los miembros de la comunidad de Homún (79%), seguida de las ONG o la academia (11%) y del gobierno y el sector privado (5%

respectivamente). En cuanto a la ocupación, la mayoría de los participantes del estudio se relacionaba directamente con los cenotes, es decir, se dedicaban a la administración o mantenimiento de estos espacios, al comercio o eran prestadores de servicios turísticos (guías/mototaxis), pero también se entrevistaron personas con ocupaciones que no estaban directamente relacionadas con los cenotes para que existiera una mayor diversidad de opiniones. En cuanto al género, se entrevistaron diez mujeres y nueve hombres. Tanto la diversidad de grupos sociales dentro de la comunidad que representan los entrevistados, como la representación por género son relevantes, debido a que las experiencias y el conocimiento de cada entrevistado está representado en las respuestas, permitiendo triangular la información obtenida y disminuir los posibles sesgos en la subjetividad de las conversaciones. Así, por ejemplo, si sólo se hubiera preguntado a los hombres, es probable que cuando la conversación se dirigía a los usos del agua de los cenotes; las actividades domésticas, que generalmente son atribuidas a las mujeres, no estarían incluidas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se pretenden abordar los tres elementos clave que componen la vulnerabilidad. Por ello, se discute la exposición y la sensibilidad a través de la identificación con el MCDA de los factores que inciden en la contaminación del agua. Posteriormente se realiza una descripción de los capitales comunitarios analizando cómo pueden verse afectados por el fenómeno de la contaminación del agua de los cenotes. A partir de este desarrollo se examinan las capacidades adaptativas mediante la determinación de las acciones que han emprendido los diversos actores involucrados en el caso de estudio para mitigar la contaminación del agua de los cenotes. Finalmente, se discute la integración de estos tres elementos que conforman el análisis de la vulnerabilidad socioambiental frente a la contaminación de cenotes en Homún, aportando conocimiento para responder a las preguntas de investigación planteadas en este estudio.

En principio, en el apartado de *Problemas ambientales* se presenta parte de la percepción de los mismos en Homún, lo que ofrece una vista general acerca de cómo los entrevistados entienden este concepto. Asimismo, a través de los resultados del

MCDA, se desarrolla la discusión acerca de cuál de los elementos económicos, político institucionales y socioculturales influye en mayor medida en la contaminación del agua de los cenotes. Además, se realiza una aproximación sobre las consecuencias identificadas de algunas de las fuentes de contaminación del agua subterránea.

Problemas de contaminación

En la guía de preguntas para la entrevista semiestructurada (Anexo I) la conversación con los participantes inició con una pregunta clave acerca de su perspectiva sobre los problemas ambientales en el municipio. La respuesta inmediata, en general, se dividió en dos y no fue mutuamente excluyente, es decir, mencionaron ambas o sólo una de ellas. El 44% de los entrevistados mencionó como el principal problema ambiental la basura, el mismo porcentaje a las granjas porcícolas y el 12% habló sobre otros problemas que serán detallados más adelante. Es importante mencionar, que estos porcentajes se refieren a la primera idea de las personas entrevistadas sobre los problemas ambientales, por lo que reflejan parte de la concepción y preocupaciones que se tienen sobre estos términos en la comunidad. Al respecto del problema de la basura, las respuestas de los entrevistados se pueden resumir en las siguientes citas:

“La basura, la queman, la mayoría creo la quema y muchos la tiran y muchos como que ni en cuenta o sea no le dan importancia”

“La quema de basura igual, porque se acostumbra que en tu patio vas y quemas tu basura, hay gente que practica eso: no lo voy a llevar a tirar, lo voy a quemar”

Como se observa, el problema de la basura está principalmente asociado a su incineración y a su disposición final. La quema de basura puede ocasionar problemas respiratorios por contaminación del aire, y en términos de contaminación de agua, se ha comprobado que aumenta los niveles de hidrocarburos alifáticos de origen pirogénico en cenotes (Martínez-Trejo, 2018), además de ser un gran riesgo para el ecosistema y la población debido a la generación de incendios no controlados.

Focalizándose en la contaminación del agua, la disposición de RSU, a nivel de hogar y a nivel municipal, es un elemento primordial en zonas kársticas, ya que los lixiviados y otros contaminantes derivados, pueden fácilmente penetrar en el acuífero o fomentar la transmisión de enfermedades a la llamada fauna oportunista, causando un grave daño

a la biodiversidad. De acuerdo al MCDA (Figura 6), en Homún, los RSU no fueron los más representativos en cuanto a su influencia en la contaminación del agua de los cenotes, pero eso no significa que no sean un riesgo que debe atenderse para disminuir la vulnerabilidad socioambiental del sitio. La disposición de RSU como un factor de competencia político-institucional y como parte de las acciones para mitigar la contaminación, se analizará más adelante.

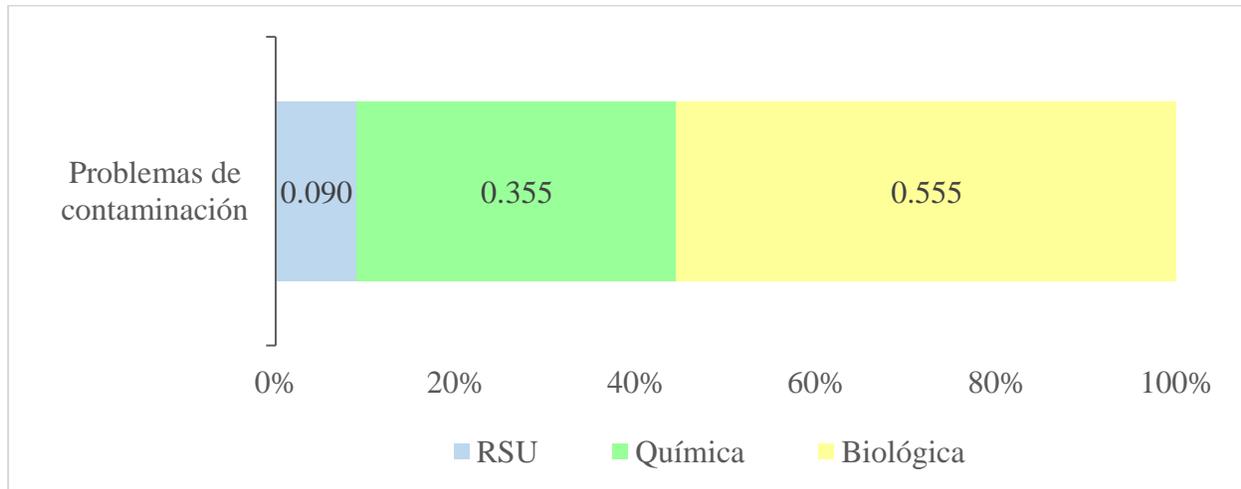


Figura 6. Importancia de los subcriterios del cúmulo *Problemas de contaminación* con respecto a la meta. Se muestra el vector de prioridades por promedio y el porcentaje acumulado.

La contaminación por compuestos químicos representó también un riesgo importante en la vulnerabilidad socioambiental al ser uno de los tipos de contaminación más extendido y que, a pesar de los múltiples estudios referidos, principalmente a los agroquímicos en el agua, no se conocen todas las consecuencias a los ecosistemas y a la salud pública que su presencia, magnitud y mezcla con otros compuestos pueden ocasionar. En Homún, la percepción del riesgo por la contaminación química del agua de los entrevistados se enfocó en los contaminantes emergentes procedentes de la actividad turística, pero en el MCDA se integraron estudios como el de Polanco-Rodríguez y Araujo (2021) en los que se determina la alarmante cantidad de OCP en el agua subterránea del anillo de cenotes, área de la que forma parte Homún.

Aunado a los agroquímicos y los contaminantes originados de la actividad turística, también se consideró la descarga de aguas residuales al emitir la valoración numérica del MCDA en el tipo de contaminación química porque ésta refleja las formas de vida

actuales, tanto a escala regional como global y compuestos como la cafeína, nicotina, detergentes, productos farmacéuticos e incluso sustancias ilícitas logran infiltrarse en el agua subterránea (Metcalf et al., 2011). Entonces, los agroquímicos, los microplásticos y el aumento en la presencia de contaminantes emergentes en el agua a causa de los patrones de consumo, tanto de alimentos como de productos cosméticos, así como el crecimiento urbano y el turismo, posicionaron en segundo lugar a la contaminación química en Homún (Figura 6).

Es importante hacer hincapié en que, al igual que los demás resultados, éste corresponde también a los pesos que obtuvo cada uno de los subcriterios comparándolos con los tipos de contaminación, por lo que se nutre de múltiples comparaciones entre los subcriterios. Por ejemplo, el peso del subcriterio *Agricultura* incide en la suma total del peso del nivel jerárquico de *Problemas ambientales*, como se explicó en la sección de la estrategia metodológica.

La contaminación biológica es el tipo de problema más representativo en Homún. Este resultado se construye principalmente a partir de las consideraciones con respecto a la salud pública y la descarga de aguas residuales domésticas e industriales. Como se discutirá con los capitales comunitarios, la salud es uno de los elementos más importantes para llevar a cabo cualquier tipo de actividad, y en términos del uso recreativo de los cenotes, los cuales son visitados por un gran número de personas procedentes de todo el mundo. En ese sentido, la seguridad sanitaria es fundamental.

Desde otra perspectiva, el deterioro de la calidad del agua a causa de microorganismos y otros elementos biogénicos fue la principal preocupación de los habitantes del municipio, por el ya mencionado conflicto con la granja y por el uso de sumideros y fosas sépticas. Estos sistemas, son una de las fuentes más importantes de contaminación en el estado (Aguilar-Duarte et al., 2016; Flebes-Patrón y Hoogesteijn, 2008; Pacheco et al., 2004). Historicamente, la disposición de las aguas residuales ha permitido la infiltración de contaminantes al acuífero (Flebes-Patrón y Hoogesteijn, 2008) situación que se agrava aún más cuando hay poca profundidad entre el agua subterránea y la superficie como es el caso de Homún (Aguilar-Duarte et al., 2016). La acumulación histórica de estos residuos, la amplificación en la cantidad de descargas

por el aumento de la población y de los visitantes, sumado a la importancia de los cenotes en la zona y a la fuerte presencia de la industria agropecuaria en el estado, posicionan a la contaminación biológica como el factor con mayor incidencia en el deterioro de la calidad del agua. Coincidentemente con ello, los contaminantes generados por la industria pecuaria fueron los más representativos en el cúmulo de las actividades económicas, pero la agricultura, el turismo, las actividades industriales y de comercio también poseen una influencia importante (Figura 7).

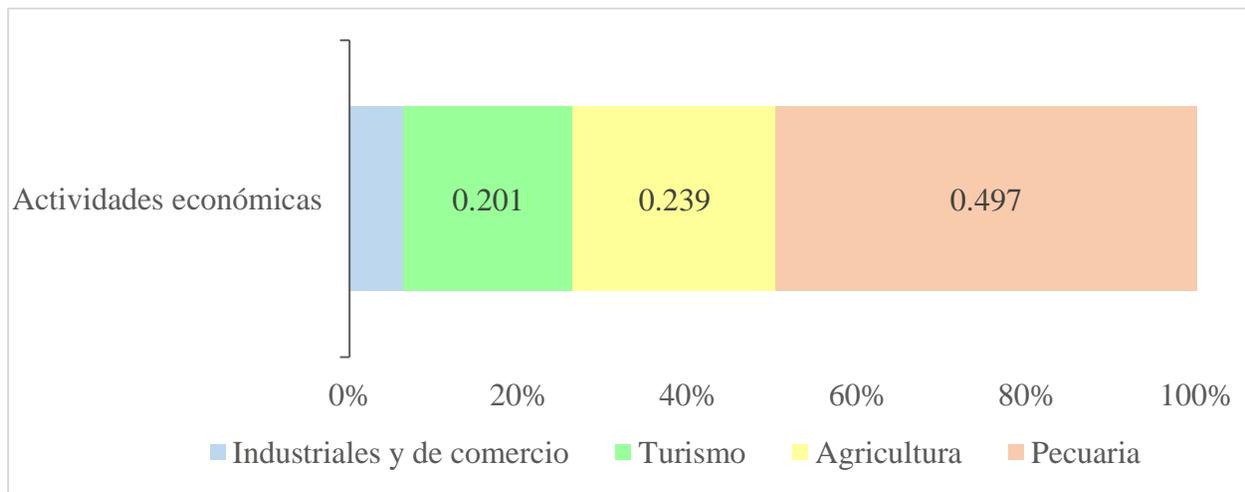


Figura 7. Importancia de los subcriterios del cúmulo *Actividades económicas* con respecto a la meta. Se muestra el vector de prioridades por promedio y el porcentaje acumulado.

El comercio al por menor es una de las principales actividades económicas en el municipio, pero su influencia fuera del ámbito turístico así como el de las actividades industriales, es menor frente a los impactos y la percepción del potencial contaminante de otras actividades consideradas en el MCDA. No obstante, sobresale la industria manufacturera en el rubro de la confección de ropa por los impactos a la calidad del agua de residuos como colorantes, telas, hilos, aceites y otros insumos (Parra et al., 2016; Rankeando, 2021). Asimismo, el impacto de esta industria también se refleja en la extracción de agua, pues los procesos de fabricación conllevan el uso de este líquido. Sin embargo, es necesario mencionar que en el municipio predominan las pequeñas empresas de confección de ropa que incluyen modistería, costurería, bordado, sastrerías y maquiladoras (Rankeando, 2021). En Homún, no se consideró por parte de los habitantes, a estas actividades como riesgosas para la calidad del agua, pero sí se le asignó valor, aunque poco, a los RSU generados del comercio.

El poco valor que se le asignó a dicha actividad también es debido a que el comercio al por menor en Homún son principalmente las tiendas de abarrotes y misceláneas, los minisupers, la venta de carne de puerco, carne de pollo y otras aves y la venta de ropa y calzado. De comercio al por mayor está la compra-venta de alimentos para animales y productos veterinarios e insumos de construcción (Rankeando, 2021). Pese al valor dado, además de los RSU generados de estas actividades, el análisis de la contaminación y daño ambiental del transporte y producción de insumos es un elemento a considerar en futuras investigaciones.

Desde el punto de vista del turismo, los contaminantes emergentes son otra de las principales preocupaciones de la población de Homún, ya que, además de la seguridad para el visitante, es en este ámbito en el que se centran los reglamentos establecidos por los cenoteros. El deterioro de la calidad del agua por contaminantes emergentes derivados del turismo, se da, entre otras cosas, por el contacto directo del acuífero con productos cosméticos como bloqueadores y repelentes. No obstante, este problema escala cuando se sobrepasa la capacidad de carga de los paraderos turísticos y no hay medidas de control de ingreso suficientes para evitar daño en los cenotes (Blanco et al., 2019). Al respecto uno de los entrevistados mencionó:

“Cuando vienen los turistas, pues ellos [los guías] les explican que en el agua no pueden usar bloqueador no pueden usar así otras cosas y acá, pues no permitimos que metan bebidas alcohólicas, ni refrescos, ni comida, nada de eso”

La contaminación que genera la actividad económica del turismo, también está asociada con el aumento de los RSU y la descarga de aguas residuales, pues pueden superar las capacidades de los sistemas de disposición de estos elementos en las áreas de destino. Otro aspecto a considerar en cuanto a la afluencia de turistas, tanto locales como a escala peninsular, es el ascenso en la demanda de todo tipo de servicios para satisfacer necesidades como la alimentación y el hospedaje, que a su vez aceleran el cambio de uso de suelo y la extracción y contaminación del agua subterránea, generando así un mayor grado de vulnerabilidad socioambiental (Marín, 2010).

Por otro lado, la agricultura intensiva es uno de los principales factores asociados a la contaminación del agua, suelo y aire, ya que el uso de agroquímicos ha mostrado impactos a diferentes escalas (Hernández-Marquez, 2017; Polanco et al., 2015). Sin embargo, en este estudio la contaminación derivada de la agricultura no fue un aspecto prioritario para los entrevistados de la comunidad, pero sí uno preocupante para los actores pertenecientes a la academia. Lo anterior puede corresponder a que en Homún y sus alrededores hay poca presencia intensiva de esta actividad, ya que el tipo de suelo no facilita la siembra, incluso la época de abundancia del henequén hoy se ve lejana en la comunidad. No obstante, muchos de los compuestos químicos aplicados en la agricultura no son de difícil degradación, y a pesar de que se tiene la idea de que la velocidad del flujo de agua es similar a los ríos superficiales, en realidad el movimiento es tan lento que se favorece la acumulación de contaminantes (Hoogesteijn et al., 2015). Como se mencionó, en el anillo de cenotes se han encontrado concentraciones de OCP y fertilizantes prohibidos en cantidades alarmantes (Polanco et al., 2019).

La industria agrícola en Yucatán está estrechamente vinculada con la actividad pecuaria a través de las cadenas de valor cereales-carne. La expansión de la siembra de monocultivos de soya (a menudo transgénica), sorgo, maíz y palma de aceite, satisfacen el abasto de forraje para el mercado interno, pues estos cultivos corresponden a los regímenes alimenticios de los cerdos y aves criados en granjas del estado (Bautista et al., 2022; López-Fabila, 2020). La siembra de soya transgénica en el estado es una preocupación creciente, pues la semilla (MON-4032-6) es tolerante al herbicida glifosato, un agroquímico vinculado con múltiples daños a la salud humana, ambiental y que pone en gran riesgo a la biodiversidad, pues afecta a polinizadores de los que dependen, por ejemplo, los productores de miel o de otros cultivos. También, la aspersión de insecticidas en Yucatán está relacionada con el colapso de las colonias de abejas salvajes y cultivadas en la región (Macias-Macias et al., 2018). Además, el glifosato es altamente soluble en agua por lo que en el suelo poroso de Yucatán este compuesto permea fácilmente al acuífero (Rivera y Ortiz, 2017). Entonces, el resultado del modelo MCDA sobre la agricultura exhibe cómo aspectos aparentemente lejanos o poco frecuentes a nivel local, por ejemplo, el uso de agroquímicos, influyen en el estado

de vulnerabilidad de las comunidades, reflexión que se profundizará en el análisis de los capitales y la vulnerabilidad.

En el MCDA, el subcriterio primordial, del cúmulo de las actividades económicas, sobre la incidencia en la contaminación del agua de los cenotes, es la actividad pecuaria (Figura 7). Evento que concuerda con lo que el 44% de los entrevistados mencionó, refiriéndose específicamente a su preocupación por la filtración de las excretas de los cerdos al acuífero. Esto, no sólo fue una inquietud presente en los entrevistados pertenecientes a la comunidad de Homún, pues el 100% de los entrevistados del sector privado, gubernamental y académico también mencionaron a la actividad pecuaria como una fuente de contaminación para el agua subterránea. Al respecto del daño ambiental Bautista y colaboradores (2022), enlistan como impactos de las granjas porcícolas: la generación de aerosoles que emiten malos olores y sustancias tóxicas para la salud humana; una gran cantidad de aguas residuales sin tratar que se almacenan en “lagunas de oxidación” que se van descargando en el suelo de la selva o directamente al acuífero y que contienen antibióticos, hormonas y microorganismos; la degradación del suelo; la pérdida de vegetación; eutrofización; el desplazamiento de fauna y las afectaciones a la salud humana. De hecho, considerando la población de 2010 que habitaba en el anillo de cenotes, se estima que la contaminación provocada por la población porcícola, en ese entonces, es 25 veces mayor que la que generaban los habitantes de esa zona (CONAGUA, 2021).

De acuerdo con Greenpeace (2020) en la PY existen 257 granjas porcinas de las cuales el 86% (222 granjas) se concentra en Yucatán en municipios cercanos a la ciudad de Mérida. Es importante destacar que las granjas porcinas, sobre todo las de grandes dimensiones, cuentan con sistemas de tratamiento de agua y de manejo de excretas, pero son insuficientes para mitigar la gran afectación al medio ambiente que estos recintos y su modo de producción ocasionan (Bautista et al., 2022). Un problema adicional de estas granjas es la cloración del agua previo a su descarga al suelo, lo que provoca afectaciones para la vida silvestre y la formación de compuestos tóxicos como los organoclorados. Aunado a ello, las granjas porcícolas micro, pequeñas y medianas menos tecnificadas también ocasionan un severo daño ambiental dado que,

generalmente, no cuentan con sistemas de manejo de residuos (Bautista et al., 2022). Con relación a las granjas avícolas, los desechos orgánicos que generan suelen ser sólidos, por lo que comúnmente son manejados de forma aséptica por los granjeros. No obstante, si los desechos de las granjas avícolas son depositados directamente al suelo producen una alta contaminación orgánica en este y en el acuífero, incluso la producción de gallinaza y su descomposición amoniacal puede acumularse al grado de afectar la vegetación y percolar formando nitratos (CONAGUA, 2021).

Por otro lado, la preocupación por la contaminación del agua debida a las excretas de los cerdos si bien es la más común, no es la única, ya que el daño ambiental también abarca la extracción de grandes cantidades de agua para el mantenimiento de estos espacios de producción (Bautista et al., 2022). Al respecto, un especialista refiere que:

“Los vientres [las hembras reproductoras] digamos son como las unidades productivas...En Yucatán actualmente hay aproximadamente 42,000 vientres, eso implica que por esos 42,000 existen alrededor de diez animales más en diferentes etapas de la producción...Esos vientres normalmente tienen un consumo más alto de agua por día, aproximadamente en promedio cada vientre que consume como 15 litros de agua y los cerdos que están en la línea de producción, es decir lo que tú vas a vender para que se conviertan en carne en algún momento desde que nacen hasta que se van al mercado que pesan 100 kilos, y que aproximadamente ese periodo de engorda dura seis meses, tienen un consumo promedio de 8.3 litros diarios por cada cerdo, entonces obviamente cuando tú haces el cálculo el consumo diario que puede ser altísimo... Eso representa como el 80% del consumo de agua, total de una granja aproximadamente, ahora el otro 20% normalmente está en limpieza, desinfección, refrigeración y demás mantenimiento de las instalaciones”

De acuerdo con lo anterior, es probable que la escasez de agua que aqueja a pueblos mayas como Sitilpech (de Miguel, 2022) sea provocada por la continua extracción de este líquido en grandes volúmenes por parte de granjas acentadas en terrenos aledaños a la comunidad. Según Flores y Deniau (2019) la producción porcícola en la PY posee la concesión sobre 143 pozos y un volumen de 13,1 millones de metros cúbicos; siendo el Grupo Porcícola Mexicano (o más conocido como Kekén, nombre de una de sus empresas), como el principal acaparador con 46% del volumen de agua y el 49% de los pozos concesionados. El problema de la extracción de agua dulce no sólo radica en su escasez, ya que cuando la extracción es en grandes volúmenes, en áreas

costeras, el agua de mar no tiene presión que la detenga, por lo que se va tierra adentro, es decir, se produce intrusión salina. Este fenómeno, por supuesto, es más común en las zonas más cercanas al mar, pero en Yucatán se expresa claramente a la altura del anillo de cenotes (Bautista et al., 2022).

Aunado a la escasez, los pueblos mayas han manifestado inconformidad ante el establecimiento de más granjas porcícolas, argumentando el deterioro de su salud derivado de los olores que emanan dichos recintos (Chacón, 2021; Hernández-Aguilar y Reyes-Jaime, 2022). El mal olor, también fue mencionado por cuatro entrevistados de la comunidad de Homún, quienes afirmaron que, pese a que la granja no se encontraba cerca, y a que recién comenzaban a instalar a los puercos, ya se percibía un olor fétido. De hecho, autores como Wallace (2016) evidencian la conexión de los sistemas productivos agroalimentarios como las granjas porcícolas con el surgimiento y mutación de virus, tal es el caso de la influenza AH1N1, el virus Nipah y la hepatitis E, entre otros.

Desde otro punto de vista, el modelo de negocio del principal productor de cerdos (Grupo Porcícola Mexicano), es un aspecto interesante de analizar, pues la llamada aparcería ha desplazado a la gran mayoría de los pequeños productores, transformando la práctica tradicional de producción de cerdos a, lo que parecería, un monopolio que controla el mercado de la carne y los derivados del puerco (Chacón, 2021b; Ibarra, 2016). En el esquema de la aparcería se integran a los campesinos (aparceros) a manera de “socios”, por lo que la empresa le entrega un número determinado de cerdos para su engorda y mantenimiento. De acuerdo con López-Fabila (2020), esta modalidad favorece el acaparamiento del mercado mediante la flexibilización en los costos de producción, el abaratamiento de la mano de obra, la reducción en inversiones y el deslinde de responsabilidades frente al daño ambiental. Por lo que este proceso de transformación de la producción y sus implicaciones sociales y ambientales son elementos a estudiar en próximas investigaciones.

Otros de los factores analizados en el MCDA fueron los pertenecientes al rubro de lo político-institucional (Figura 8). En este grupo, la falta de acceso a la información al igual que la falta de capacitación fueron los de menor importancia, pero ambos elementos son fundamentales en cuanto al capital humano se refiere. De esta manera,

la posición que ocupan dentro del modelo podría deberse a que la influencia de estos aspectos no se refleja tan evidentemente como otros del mismo grupo. Sin embargo, como se detallará en el análisis de vulnerabilidad, su ausencia o poca presencia está ligada de forma directa con el capital social.

En las entrevistas, el 26% afirmó que no había recibido capacitación alguna para el manejo sostenible de los cenotes, el 16% habló sobre una capacitación deficiente y el 37% dijo que sí habían recibido capacitación, mientras un 21% desconocía el tema. En tanto, sobre el acceso a la información, el entrevistado del sector gubernamental expresó que en lo que correspondía a la SDS, en específico a su área de trabajo, sí había difusión de la información. Sobre la capacitación, el mismo entrevistado dijo que sí se llevaba a cabo, pero que también era competencia de los cenoteros solicitarla. Lo que en el presente texto se entiende por capacitación y acceso a la información se describe en la Tabla 3.

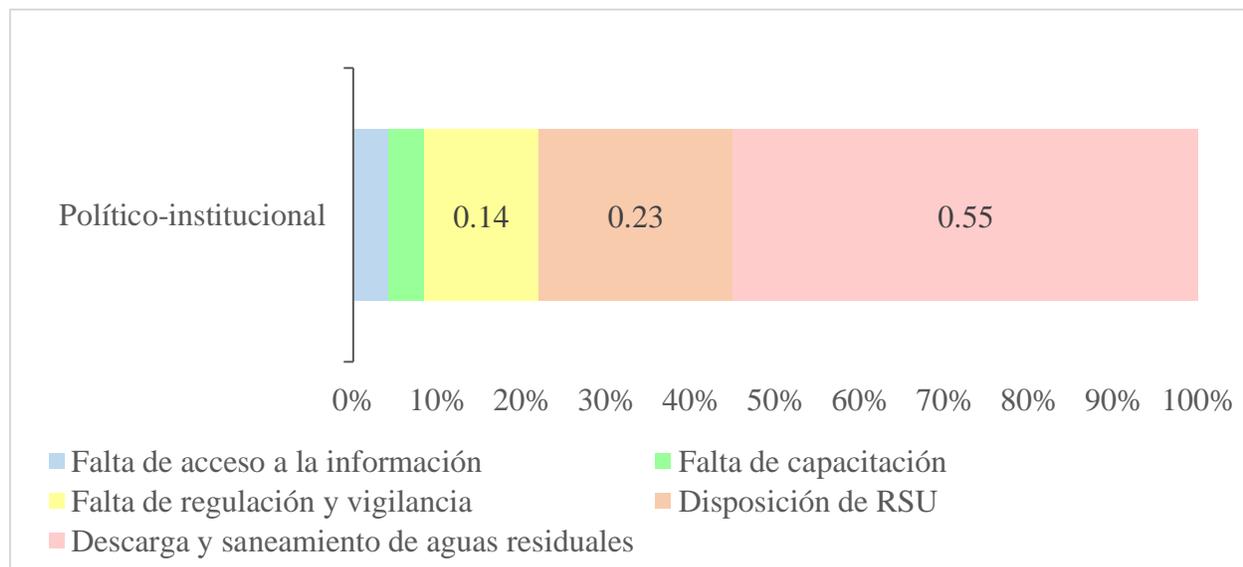


Figura 8. Importancia de los subcriterios del cúmulo *Político-institucional* con respecto a la meta. Se muestra el vector de prioridades por promedio y el porcentaje acumulado.

Por su parte, la falta de regulación y vigilancia correspondiente a las instituciones ocupó una posición media. Parte de la explicación de este resultado proviene de la legislación, pues existen una serie de deficiencias normativas sobre el acuífero. En la legislación referente al agua subterránea y a los cenotes, se distingue la importancia de la Ley de Aguas Nacionales, la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

(LGEEPA), la Ley de Protección al Medio Ambiente del Estado de Yucatán y el próximamente actualizado Reglamento de la Ley de Protección al Medio Ambiente del Estado de Yucatán en materia de Cenotes, Cuevas y Grutas. Sin embargo, la existencia de la normatividad, no es equivalente a su cumplimiento y, además, los marcos de referencia sobre los límites de, por ejemplo, los coliformes fecales pueden no corresponder a las características de los ecosistemas y a las actividades que se realizan en ellos. De hecho, actualmente, aunque se han realizado peticiones formales, no existe una NOM específica para definir la calidad microbiológica del agua de cenotes, pero lineamientos como la NOM-003-ECOL-1997, la NOM-001-ECOL-1996 o de la EPA en OFFICE OF WATER 820-F-12-058 pueden servir como pauta para su determinación (Nava, 2015).

Por otra parte, algunos de los estatutos de la legislación ocupan un mayor debate, por ejemplo, el Reglamento de la Ley de Protección al Medio Ambiente del Estado de Yucatán en materia de Cenotes, Cuevas y Grutas establece, entre otras cosas, que la instalación de sanitarios ocupa un estudio del flujo subterráneo para definir su localización y que esta no afecte a los cenotes. Lo que es poco realista y plantea interrogantes como: ¿es válido contaminar otra parte del acuífero mientras que el cenote no se afecte?, ¿se protege un cuerpo de agua o un bien turístico? (Nava, 2015). Esta última pregunta se puede asociar con lo expresado por uno de los entrevistados:

“Ya se han hecho aquí artificiales [cenotes], si realmente la gente protegiera los lugares más importantes, que es un recurso muy importante el agua, yo creo que no romperían. El INAH no permitiría que rompieran, habría multas, habría sanciones grandes”

Además de la normatividad referida específicamente a los cenotes, los lineamientos sobre las fosas sépticas también son importantes en la falta de regulación y vigilancia gubernamental. De acuerdo a Flebes-Patrón y Hoogesteijn (2008) los planes y programas referidos a la construcción de fosas sépticas son inconsistentes entre sí, ya que muestran distintos criterios para su diseño, construcción y operación. Junto con las inconsistencias, se ha observado que, en la práctica, la construcción de las fosas incumple muchas de esas normativas, por lo que se cuestiona si los inspectores realizan las evaluaciones como define la ley (Flebes-Patrón y Hoogesteijn, 2008). Otro aspecto sobre la falta de regulación y vigilancia, son las capacidades humanas pues,

podría darse el caso de que no exista suficiente fuerza operativa para el cumplimiento de las normas.

En Homún, el 100% de los entrevistados de la comunidad usan fosas sépticas o sumideros como sistemas de drenaje. Los entrevistados hicieron hincapié en la falta de regulación y mantenimiento de las fosas, pues muchas de ellas ya no cumplen su función o simplemente no están acondicionados para el aumento en la cantidad de descargas derivadas de un mayor número de visitantes y habitantes. Además, algunas de las personas entrevistadas manifestaron su preocupación por el uso de espacios de descarga de agua residual que antiguamente eran destinados para el abastecimiento:

“Le soy sincero, todos los pozos que eran pozos antiguos que se tomaba el agua, ahora se utilizó como sumidero y eso contamina lo que es parte del agua cercano o el agua dulce que tenemos”.

“Hay personas que cerraron sus pozos y los convirtieron en sumidero”.

En otro orden de ideas, la disposición de RSU fue considerado en el MCDA como la segunda causa más importante de contaminación del agua (Figura 8). Dentro del universo de conceptos que implica la disposición de RSU, en este rubro se le consideró en términos político-institucionales, ya que esta actividad es de competencia municipal. En ese sentido, es responsabilidad del ayuntamiento administrar y verificar el cumplimiento de los parámetros establecidos para el vertedero, así como la recolección, traslado y tratamiento. Debido al suelo kárstico de la región, los estatutos de los basureros deben incluir la colocación de una capa impermeable en el fondo y un colector de lixiviado, además, de una cubierta superficial (González-Herrera y Rodríguez-Castillo, 2006) y seguir las indicaciones establecidas en la NOM-083-semarnat-2003 especialmente en zonas prioritarias como la REGAC (SDS, 2019).

En Homún, de acuerdo con la clasificación de la NOM-083-semarnat-2003, el tiradero de basura es de tipo “D” pues puede manejar alrededor de 10 toneladas de RSU al día e incluye un área de descarga y selección de subproductos para el reciclaje, pero previo a su rehabilitación en 2019, este basurero simplemente funcionaba como un tiradero a cielo abierto sin protección del suelo y subsuelo (SDS, 2019). Por tanto, su impacto al agua subterránea era mayor, pues los compuestos derivados de la acumulación de

residuos permeaban sin problema al acuífero. Se sabe que la basura sufre un proceso de descomposición y fermentación después de su depósito, pero es muy difícil predecir tal descomposición debido a la heterogeneidad del material y al poco conocimiento que existe sobre los mecanismos de descomposición que operan en la basura (González-Herrera y Rodríguez-Castillo, 2006). No obstante, el mayor componente de la basura son los residuos alimenticios, que con el clima cálido y la humedad de la región, aumentan la velocidad de putrefacción de los desechos, acelerando así la etapa acidogénica, lo que permite la proliferación de agentes transmisores de enfermedades. En consecuencia, la disposición de RSU es un factor muy importante en la generación de contaminación biológica en el acuífero (Bernache, 2012; González-Herrera y Rodríguez-Castillo, 2006).

Sumado a la producción de microorganismos y compuestos contaminantes del vertedero del municipio, está la contaminación generada de los basureros clandestinos que, en muchas ocasiones, incluyen la acumulación de desechos dentro de cuevas y cenotes provocando un contacto directo de estos residuos con el agua. Como se mencionó, uno de los principales componentes de los RSU es la basura orgánica, pero también están los residuos electrónicos como celulares, computadoras, impresoras, pilas, etc. que descargan al acuífero contaminantes como el mercurio, berilio o plomo (Merchán-Carreño et al., 2020). Por ello, es importante que se exploren en mayor profundidad estrategias para disminuir el riesgo de contaminación al agua subterránea y a los suelos provocada por la disposición inadecuada de RSU que pueden generar a su vez graves daños a la salud pública, como las realizadas por González et al. (2007) y González y Vega (2002) acerca de materiales de larga duración para la impermeabilización del suelo de los vertederos. Asimismo, se deben implementar mayores acciones dirigidas al reciclaje, reutilización y separación de los RSU, así como prestar atención al aumento en la capacidad de los basureros, conforme al aumento de visitantes y habitantes de los municipios.

La descarga de agua residual ocupó el 55% de la importancia en el rubro político-institucional del MCDA (Figura 8). Este subcriterio se consideró en ese rubro porque, de forma general, el agua es patrimonio del Estado y de competencia Federal, pero

también se contemplan las aguas que nacen y corren por el territorio de los Estados y que son competencia de éstos en su reglamentación y control. Y el suministro de agua potable, el drenaje, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales son competencia de los municipios (Garmendia, 2012). En Yucatán, el tratamiento del agua residual corresponde a la Junta de Agua Potable del estado de Yucatán (JAPAY) y el volumen de descarga concesionado es de 55,265,474 m³/año de los cuales sólo el 7.35% tienen tratamiento (IMPM, 2021). En ese sentido, Yucatán ocupa el penúltimo lugar a nivel nacional en cuanto a cobertura de tratamiento de aguas residuales (CONAGUA, 2021). Pues, como se ha mencionado, los sumideros suelen descargar sus efluentes en pozos de absorción cuya profundidad está muy cerca al manto freático, causando su infiltración al acuífero sin el adecuado tratamiento (Flebes-Patrón y Hoogesteijn, 2008).

Con lo anterior, y tomando en consideración el flujo constante y acumulado de desechos, la descarga de aguas residuales es parte de lo que fundamenta a la contaminación biológica como la que más incide en el deterioro del acuífero en Homún. Este resultado coincide con lo analizado por Nava (2015), quien menciona que la amenaza del agua no tratada es un mayor riesgo para esta fuente de agua dulce de la península. La descarga y saneamiento de aguas residuales está relacionada con varios de los subcriterios analizados, pues se asocia, por ejemplo, con el subcriterio de falta de regulación y vigilancia a través de la inconsistencia y falta de inspección en la construcción de sumideros (Flebes-Patrón y Hoogesteijn, 2008). Además, de acuerdo con Nava (2015), la minimización de la disposición de efluentes por parte de las autoridades competentes ha sido constante, y se nota también en documentos oficiales, por ejemplo, en un Programa Estatal de Desarrollo Urbano de 2014 se identifican como las mayores amenazas para el acuífero el fecalismo al aire libre y el inadecuado tratamiento de las heces de los animales silvestres y no a la falta de infraestructura hidráulica para la descarga y saneamiento.

Es importante señalar que contrario al tratamiento de las heces animales, la defecación al aire libre en Yucatán sí es una cuestión preocupante, debido a que generalmente se encuentra asociada con altos índices de pobreza y puesto a que se le atribuye el aumento del 10% en la incidencia de giardiasis en el año 2018 (Salazar, 2019). De

hecho, algunos de los entrevistados la mencionaron en los problemas de contaminación del agua:

“La contaminación por los usos y costumbres de la gente del municipio, por ejemplo, aquí tenemos muchos cenotes y pues ahorita ya está un poquito más regularizado o más concientizada la gente, pero pues por costumbre desde toda la vida y todavía hasta ahorita la práctica sigue, es la defecación al aire libre”.

Por otro lado, dado que la salud pública de los habitantes puede verse afectada a través del contacto directo o por el consumo. También, se debe poner especial atención en sitios de interés turístico pues, el crecimiento del turismo en la zona de Homún y en general en Yucatán va en ascenso constante y prueba de ello es la creación del megaproyecto del tren maya (SEFOTUR, 2022).

En Homún, la percepción de la contaminación del agua estuvo influenciada por el conflicto de la comunidad con el megaproyecto de la granja porcícola. No obstante, con el análisis de las entrevistas, se obtuvieron elementos complementarios que permitieron reconocer otros aspectos significativos que contribuyen a la contaminación de los cenotes, como la descarga de aguas residuales. La escasa asociación del drenaje como elemento contaminante coincide con lo presentado por Nava (2015), quien argumenta que esta disonancia cognitiva se debe a la poca exposición directa y la percepción de control limitado del problema, por lo que los individuos adoptan una actitud de negación, habituación o resignación.

Aunado a lo anterior, la mayoría de los entrevistados (63%) manifestó que la contaminación en los cenotes de Homún era mínima o inexistente, pero a la vez fueron muy pocas personas las que la consumían. Este contraste muestra que conceptos como “conservado” o “no contaminado” no suelen relacionarse con la potabilidad. Sin embargo, esta situación podría ser algo reciente puesto a que se mencionó que “ya no se consume”, es decir que antiguamente, el agua de los cenotes fue utilizada por los pobladores como agua de consumo, costumbre que si bien algunos habitantes aún preservan, ya está en desuso. Esta situación no es exclusiva de Homún pues se ha documentado este cambio en otras localidades con cenotes (Nava, 2015). El cambio en el consumo de agua podría no ser necesariamente muestra de la desconfianza en la

calidad del líquido, sino resultado de la adopción de nuevas estrategias para la apropiación del agua o del impacto mediático de las embotelladoras o la aparición de plantas potabilizadoras en la región.

Con el MCDA también se analizaron aspectos asociados al cambio de uso de suelo, dentro de los que destacaron los megaproyectos, pues al igual que con el cúmulo de político-institucionales la comparación entre los subcriterios fue desequilibrada, en el sentido de que los megaproyectos involucran un sinfín de elementos a escala espacial y temporal mucho mayor que los subcriterios con los que comparte grupo (Figura 9). En ese sentido, destaca de este subcriterio la relación con la mayor parte de los elementos que componen el modelo, especialmente los que pertenecen a su cúmulo. Pues tomando el ejemplo del tren maya, se prevee la catalización de la urbanización, para lo cual es probable que se acelere la venta de terrenos en zonas cercanas a las estaciones.

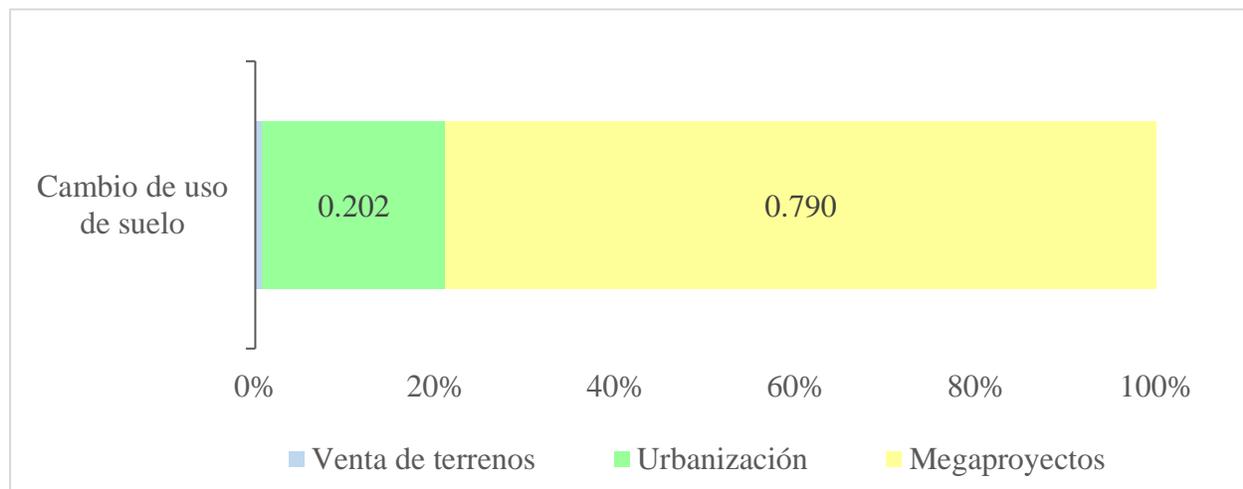


Figura 9. Importancia de los subcriterios del cúmulo *Cambio de uso de suelo* con respecto a la meta. Se muestra el vector de prioridades por promedio y el porcentaje acumulado.

Los megaproyectos en la PY son actualmente un tema controversial, en especial los relacionados a la industria porcina como en Homún y los destinados a la promoción turística en la península. Del mismo modo, pero con una influencia indirecta, el manejo del turismo y la promoción del mismo son factores de suma importancia en el contexto social de las comunidades, debido a las implicaciones sociales que tiene esta actividad. Muestra de ello, es la constante mercantilización de espacios, imágenes, ceremonias y significados culturales de los pueblos mayas de Yucatán, llegando incluso a la

“disneyzación” y a la “folklorización”(Khafash, 2016; Marín, 2010). La “disneyzación” hace referencia a la venta y satisfacción de ilusiones, a la artificialización de espacios, mientras que la “folklorización” tiene que ver con prácticas para complacer al turismo cultural, por ejemplo, las ceremonias que han sido despojadas de códigos simbólicos como el “temazcal”. Estos fenómenos pueden asociarse también al turismo en cenotes, pues se podrían concebir solamente como un atractivo turístico, olvidando su fragilidad e importancia cultural y como fuente de agua dulce en el estado (Nava, 2015).

En otro orden de ideas, la urbanización se incluyó en el MCDA, no sólo por el aumento en el número de habitantes y visitantes en Homún, fue también debido a la cercanía con la ciudad de Mérida, que se encuentra a 55.6 km de distancia. La expansión urbana y crecimiento poblacional traen consigo un mayor consumo de agua, energía, deforestación y más emisiones de gases de efecto invernadero, ya que el aumento en el consumo y descarga de agua está relacionado, además del crecimiento demográfico, con la expansión y crecimiento de los sectores productivos (Espadas et al., 2021; Rodríguez-Huerta et al., 2019). Las preocupaciones sobre el incremento en la demanda de servicios básicos, ya se han mencionado en otros subcriterios, por lo que la importancia de la urbanización, en términos de contaminación de agua, radica además en su magnitud y en la afectación por la deforestación para la creación y reconfiguración de nuevos espacios que cumplan con las necesidades y demandas de servicios. De hecho, de acuerdo con Rodríguez-Huerta y colaboradores (2019) dadas las tendencias de crecimiento socioeconómico y cambio climático, se pronóstica para el 2030 una disminución del 23% en la recarga de agua subterránea en la PY, a la par de una demanda por el recurso cada vez más exigente.

La venta de terrenos tuvo una inferencia mínima pues, hasta el momento, en Homún el cambio de uso de suelo para la agricultura o la ganadería no se realiza de forma intensiva y de acuerdo con los entrevistados su proporción en comparación a otras actividades es bastante baja. Además de ello, este factor fue incluido porque la venta de terrenos según lo dicho por los pobladores, preocupa por el estado de abandono del lugar, lo que da pie a la acumulación de tiraderos clandestinos. También, el aumento en

la oferta de terrenos podría reflejar un cambio en la valorización o apropiación de estos espacios en la comunidad.

Finalmente, el último conjunto de factores comparados con el MCDA son los socioculturales (Figura 10). De los elementos que componen a este cúmulo, la falta de cohesión obtuvo el valor más bajo. La cohesión social posibilita modos de relación y organización que sostienen acciones orientadas a intereses comunes, por lo que la falta de este elemento también puede incentivar patrones de comportamiento que no consideren las repercusiones negativas a corto y largo plazo de estrategias donde predominen las ganancias individuales por encima de la colectividad (Castillo et al., 2012). En ese sentido, se puede considerar que si hay cohesión social se incrementa la calidad de vida de las comunidades y este beneficio a su vez incide en la calidad ambiental (CEPAL, 2010). En el caso de Homún, de los entrevistados de la comunidad, el 87% habló de forma positiva respecto a la relación que existe entre los habitantes del municipio. En consecuencia, la falta de cohesión social no fue un elemento tan relevante para la contaminación del agua subterránea. Pese a este resultado, el fomento continuo de actividades comunitarias es clave para el fortalecimiento de las relaciones sociales y superar fricciones que impidan la acción conjunta en pro de los intereses comunes.

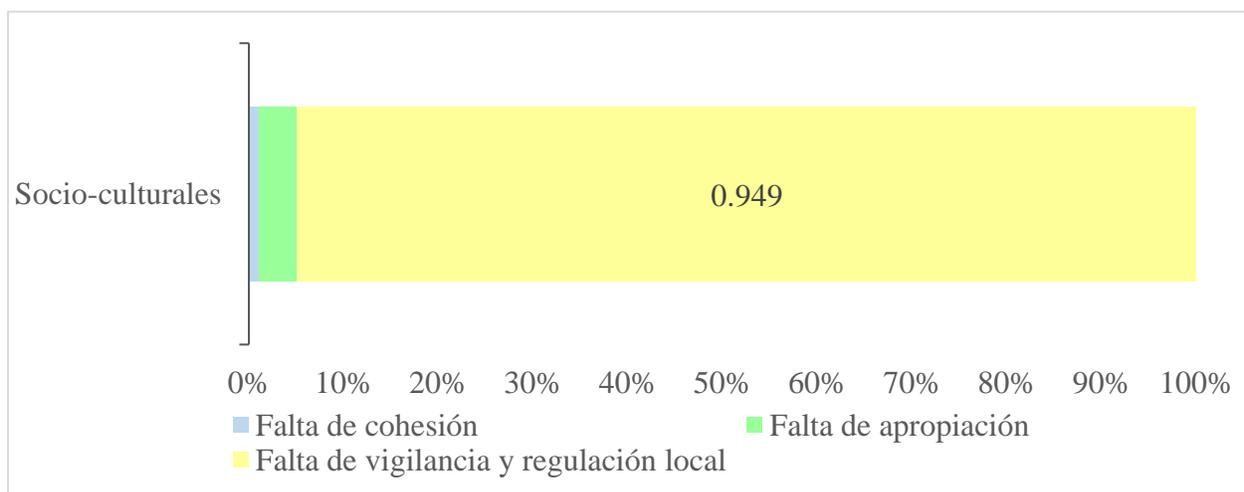


Figura 10. Importancia de los subcriterios del cúmulo *socio-culturales* con respecto a la meta. Se muestra el vector de prioridades por promedio y el porcentaje acumulado.

La falta de apropiación (definida en esta investigación en la Tabla 3) deriva de la construcción social de la naturaleza pues, en la actualidad de forma general, el concepto de “naturaleza” se ha concebido fuera del espacio humano, es decir, se asocia como una entidad independiente de la sociedad (Arias, 2011). De igual forma, esta desvinculación con el medio ambiente se refleja en la valoración del mismo, por ejemplo, el árbol sólo es importante por los recursos que se pueden obtener de él, como la madera o la resina, reduciéndolo a un elemento meramente utilitario. En las entrevistas, se pudo observar que las personas de la comunidad aún conservan algunas creencias ancestrales mayas en las que los cenotes inspiran respeto por su sacralidad.

Asimismo, y tomando en consideración los grandes cambios globales, en la actualidad la cosmovisión y significado que se le otorga a estos espacios, se construye también a partir de diversas experiencias que pueden incluir o no la cosmogonía ancestral. Aunado a lo anterior, la falta de apropiación se analizó de forma general incluyendo el componente de los turistas, siendo este el factor que probablemente le dio más peso a este subcriterio, puesto que las motivaciones de visitar los cenotes y el significado que estos tienen para los turistas puede ir desde la contemplación, la exploración, la recreación e incluso la salud. Además de la falta de conocimiento, estas motivaciones no necesariamente traen consigo un sistema de valores que aboguen por la protección, conservación o respeto por los cenotes, el territorio o las poblaciones que habitan en él. Es por ello que la falta de apropiación obtuvo un valor más alto que la falta de cohesión en el MCDA, pues considera elementos que van más allá de la dinámica de la comunidad.

En el cúmulo socio-cultural, el subcriterio más importante fue la falta de vigilancia y regulación local, pero para entender este resultado, es necesario explicar, a grandes rasgos, la dinámica turística en Homún. Para visitar los cenotes, al llegar al poblado hay personas que ofrecen el servicio de guía y transporte en un mototaxi (vehículo que también es utilizado por los pobladores para trasladarse) (Anexo III). Entonces, independientemente de si se conduce un automóvil o se usó el transporte público para llegar a Homún, se aborda el mototaxi y el guía explica las reglas de entrada como el

uso de chalecos, traje de baño, el enjuague para evitar contaminar el recinto, etc. y se visitan algunos de los más de 20 cenotes abiertos al público que existen en el municipio. Al llegar a cada parador turístico se cobra una cuota de ingreso y dentro de cada lugar se puede observar una pancarta con las reglas.

Sin embargo, pese a la existencia de las normas de entrada a los cenotes, se pudo observar en la visita a campo que algunas de estas reglas se incumplen, por lo que muchos turistas ingresan a estos sitios sin las medidas de precaución orientadas a no contaminar el agua con productos cosméticos. Además, los entrevistados comentaron el incremento en la sustracción de objetos personales a los visitantes, lo que si bien no tiene relación con la contaminación del agua, sí es una muestra de la falta de atención por parte de los encargados de vigilar las prácticas dentro de los cenotes. A escala regional, la falta de vigilancia y regulación local puede no tener un alto porcentaje de influencia en la contaminación si se compara con por ejemplo, la descarga de aguas residuales, pero fue considerada en el MCDA por su importancia para prevenir el deterioro de la calidad del agua por el contacto directo del acuífero con los contaminantes emergentes.

Otra de las razones por las que la falta de vigilancia y regulación local es tan importante, es porque la dinámica de llegada a los cenotes se ha modificado a lo largo del tiempo. Actualmente, es usual que los turistas lleguen a los paraderos turísticos sin acompañamiento de un guía y en su propio automóvil lo que, además de anular el ingreso económico del guía, aumenta la falta de vigilancia dentro de los cenotes, pues en muchas ocasiones, los turistas entran solos y sin conocimiento alguno de la normativa (si estos no leen la pancarta). Asimismo, los entrevistados reportaron que en muchas ocasiones los turistas que circulan en el poblado o dentro de los cenotes sin la supervisión de un guía suelen arrojar basura en los caminos e ir a exceso de velocidad. Uno de los entrevistados dijo:

“Hace falta un control en las entradas de vehículos. Que no estén tirando basura porque se van solos y no sé... tiran su bote de cerveza, de rompibles y todo eso... y la gente tiene que respetar”

Capitales comunitarios

En este segundo apartado se ofrece un acercamiento sobre los capitales comunitarios de Homún y cómo se ven afectados en el contexto de la contaminación del agua subterránea. Es decir, se describen los elementos que fueron identificados con las entrevistas semiestructuradas y con la búsqueda bibliográfica acerca de los capitales definidos en el marco teórico (capital económico, político, físico, humano, social, natural y cultural). Complementando la sección anterior y siguiendo con los elementos que conforman a la vulnerabilidad socioambiental, este análisis permite observar la susceptibilidad o sensibilidad, ante lo anteriormente presentado.

Capital económico

Del total de la población de Homún, alrededor de 3,767 personas son económicamente activas (INEGI, 2020) y como se expuso anteriormente, el comercio al por menor es lo que predomina en la región. Igualmente, en el municipio, de las 2,701 personas (de más de doce años) no económicamente activas 729 son hombres y 1,972 mujeres, la mayoría de las cuales se dedica a actividades domésticas. En Yucatán, el salario promedio mensual en el último trimestre del 2022 fue de \$7,000 para el empleo formal y \$4,000 para el empleo informal (INEGI, 2022). En cuanto a las actividades económicas en Homún, el 47% de sus habitantes se dedican a actividades relacionadas al turismo (empleos formales e informales) (Polanco-Rodríguez y Araujo, 2021), y de acuerdo con Velázquez-Juárez (2019), la mayoría de los cenotes generaba un ingreso promedio que iba desde los \$6,800 a los \$34,999 pesos mexicanos en un mes por parador, aunque había paradores que reportaban alrededor de \$85,000. La importancia de los cenotes en la economía del municipio se notó en las entrevistas realizadas, pues a decir de los participantes:

“La comunidad prácticamente ahorita ya vive del turismo, ya más del 50% de la gente ya está dedicada al turismo y lo mismo los comercios pues también les ayuda en eso, porque el turismo al llegar deja acá su dinero y la gente que está dedicada al turismo, pues acá mismo lo utiliza, lo gasta, claro, así que acá todos se benefician tanto los que trabajan para el turismo como los que tienen sus tienditas, sus restaurantes, sus cocinas económicas, los carniceros, las pollerías... es la cadenita”

“[Hablando del turismo en cenotes] De eso vive la gente, de eso vivimos todos, bueno, como el 50% de la comunidad directa e indirectamente vive de eso, a lo mejor hasta un poco más”

En términos del papel del capital económico en la vulnerabilidad, la importancia del turismo en Homún posee aspectos tanto positivos como negativos. El turismo es una actividad que ha reactivado la economía del poblado después de la caída del comercio de henequén, pero la excesiva dependencia de esta actividad frente a por ejemplo, un evento catastrófico como la contaminación del agua, podría significar una gran pérdida monetaria para los pobladores, pues como se observa en las citas anteriores, la disminución de visitantes representa el descenso de ingresos de muchas familias que dependen de la derrama generada por los turistas, por lo que se convierte en una actividad económica que genera una alta dependencia para garantizar los medios de vida de la población. Muestra de ello, fue lo ocurrido durante la pandemia por COVID-19, ya que de acuerdo con estimaciones, México sufrió pérdidas de aproximadamente \$69 mil millones de dólares del sector turismo, tanto por la falta de turistas como por la reducción de ingresos de los mismos turistas (CEPAL, 2020). Otro ejemplo de este hecho es la disminución de visitantes en áreas que contaban con gran popularidad como Acapulco, debido entre otras razones, a la excesiva contaminación de playas (Rivera-González, 2021). Lejos de las consecuencias a la economía de las familias por un evento específico, el turismo es una actividad estacional, que en gran medida depende de los periodos vacacionales y es no es una necesidad básica, por lo que es altamente sensible al clima político, a las condiciones meteorológicas y, en general, es una de las actividades más susceptibles a las crisis económicas que pueden generar vulnerabilidad (Escamilla, 2020).

La inquietud por la reducción de ingresos también se manifiesta en lo documentado por Velázquez-Juárez (2019), quien previo a la pandemia, testificó que parte de los habitantes de Homún no obtienen suficientes ganancias en temporada baja y deben buscar otra fuente de ingresos, obligando a los trabajadores a organizar su vida conforme a los ritmos del turismo. Esta preocupación aumenta si se toma en consideración que, si bien Yucatán presente una de las tasas de desempleo más bajas de todo el país (INEGI, 2020), los fenómenos de migración interna a los polos de

desarrollo turístico deriva, en muchas ocasiones, en la precarización laboral (Escamilla, 2020; Fernández et al., 2020). Es así como en gran parte las y los jóvenes que buscan empleo en temporada baja en su condición de migrantes, aislados de sus familias y de su comunidad de origen, son más vulnerables a la explotación laboral. Situación que se acrecenta con las mujeres, pues con el mismo grado de estudios que su contraparte, tienen en promedio un salario que apenas sobrepasa la mitad de los ingresos de los hombres en el mismo periodo (INEGI, 2022). Además que en México prevalece el estigma social de que la mujer debe estar encargada del hogar y en consecuencia tiene que distribuir el tiempo en más actividades (Burgos y Ortiz, 2022). Entonces, el papel del turismo para una economía no sólo se explica por la cantidad de turistas o la cantidad de divisas; sino por la dependencia de las regiones en las que se convierte en la única opción productiva y donde la economía nacional orienta el eje de la acumulación de riquezas hacia el turismo (Escamilla, 2020).

Las consecuencias económicas de la reducción del turismo a causa de la contaminación son claras para la comunidad, pues al preguntar sobre qué pasaría con las actividades económicas si el agua se contamina, la mayoría de los entrevistados habló sobre el declive que representaría para los habitantes este hecho:

“El turismo se va a afectar y de ahí nos jalas a nosotros [los mototaxis] y ya entonces el pueblo vuelve a caer porque gracias a eso pues tenemos un poco de trabajo porque de otra manera no hay, porque se acabó el henequén”

“Imagínense ¿de qué va a vivir tanta gente?, no afectaría sólo a uno sino al pueblo entero porque aunque no directo, pero sí estamos conectados... el turismo viene deja su dinero y ya pues compras en una tienda o vas a hacer compras de comida y ya es una cadena que nosotros estamos en uno solo”

Es importante mencionar que parte de los empleos que genera el turismo como los mototaxis o guías son informales y no cuentan con ninguna protección en cuanto, por ejemplo, a las condiciones laborales o la salud (CEPAL, 2001). En Homún 4,151 personas no tienen acceso a la seguridad social (Secretaría de Bienestar, 2022). Por lo que, pese a que la remuneración por el crecimiento del turismo ha beneficiado a la población en muchos aspectos, también fomenta el empleo informal, lo que a su vez puede configurar nuevas situaciones de vulnerabilidad, pues en Homún el 73.6% de la población ocupada está en el rubro de la informalidad (INEGI, 2022). En ese sentido,

una forma de remuneración de los servicios prestados por los guías es a base de propinas que son otorgadas por el consumidor en función de su satisfacción con el servicio. La adquisición de propinas permite acceder directamente a las divisas, lo que hace al trabajador mejorar su poder adquisitivo mientras que la moneda nacional se devalúe. Esta dinámica al mismo tiempo perpetúa un conjunto de relaciones de origen colonial con las cuales se legitima que ciertas clases sociales, de ciertos grupos étnicos, sirvan a otras (Escamilla, 2020).

A modo de síntesis, la dependencia de la comunidad de Homún y las características de la actividad económica del turismo, hacen que la vulnerabilidad socioambiental a la contaminación del agua sea mayor. Esto no necesariamente significa que si el turismo crece la vulnerabilidad aumenta o viceversa, pues se habla de la dependencia de esta actividad para la subsistencia, es decir de la falta de oportunidades laborales o de sistemas económicos sostenibles que brinden seguridad financiera o libertad para la organización de intercambio de bienes y servicios. Así pues, en el caso de Homún, la diversificación de las actividades económicas además del turismo podría significar la reducción de la vulnerabilidad frente a la contaminación del acuífero. De igual forma, es interesante analizar el papel de la dependencia económica como parte de los estímulos que, en el caso de Homún, sirvieron para la movilización de otros capitales, ¿la acción colectiva sería tan relevante en la comunidad si el descenso en los ingresos de gran parte de la población no dependiera visiblemente del acuífero?

Con respecto a otras actividades industriales y de comercio, de compra-venta al por menor, Homún cuenta con 139 empresas registradas, de las cuales 58 son tiendas de abarrotes. En cuanto a la actividad industrial, sobresale la confección de ropa con alrededor de 29 pequeñas empresas registradas (de menos de 10 empleados) y la elaboración de tortillas y pan con 16 establecimientos. Por su parte, existen 39 empresas dedicadas a la prestación de servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas (Rankeando, 2021). Además, se mencionaron en las entrevistas actividades económicas como la construcción, las artesanías y en menor medida otras que, aunque no son tan evidentes como el turismo, también dependen

directamente del agua de los cenotes por el abastecimiento, como la apicultura, la agricultura y la cría de cerdos y aves.

Desde otra perspectiva, los pobladores de Homún también pueden valerse de programas sociales que impulsen su capital económico y de las remesas que en el tercer trimestre de 2022 registraron un monto máximo de 16 mil dólares (INEGI, 2022). Respecto a los ingresos en materia de agua provenientes del Presupuesto de Egresos de la Federación (PEF), a Yucatán se le asignó en el ciclo del 2019-2021 un presupuesto de 245 millones de pesos. Sumado a ello, los estados cuentan con presupuestos específicos para cofinanciar proyectos, por ejemplo, con el programa PROAGUA y el el Fondo de Aportaciones para la Infraestructura Social se apoya la implementación de proyectos de agua potable y saneamiento. Igualmente, las empresas, las organizaciones de la sociedad civil (OSC), fundaciones y organismos de cooperación invierten sumas importantes de recursos para proyectos relacionados con el agua (CONAGUA, 2021).

Capital físico

Las preguntas sobre el capital físico se centraron en la infraestructura con la que cuenta la comunidad para el abastecimiento de agua y para la descarga y tratamiento de aguas residuales, así como para la disposición de los residuos sólidos urbanos. De acuerdo con estadísticas del Sistema Nacional de Información del Agua, en el municipio de Homún la cobertura universal, que incluye el agua entubada dentro de la vivienda y la conexión a las fosas sépticas, es del 94.91%, lo que contrasta con la cobertura de todos los municipios aledaños, ya que estos tienen un porcentaje de cobertura universal por encima del 98% (SINA, 2020). Así pues, la comunidad de Homún refirió que cuentan con agua entubada proveniente de pozos que administra el municipio y respecto al tratamiento que se le da al agua extraída de los pozos mencionaron:

“El agua potable pues nada más se le ponen cloro”

“No tienen el cuidado, o sea, no tiene el tratamiento que debe ser el agua. Es que pues acá nos acostumbramos que desde hace tiempo el agua de pozo se usa e hicieron la red de agua potable, pero no le dan el mantenimiento... de repente, se siente mucho el cloro y después de repente no se siente nada”

Con base en lo anterior, es importante distinguir que, aunque los entrevistados en ocasiones tomaban como sinónimo el agua potable y el agua entubada, el agua entubada no es apta para consumo humano. La cloración que se realiza se enfoca en eliminar microorganismos, pero como en muchos de los municipios del país, en Homún la cloración se realiza de forma manual y sin ningún otro tipo de filtro que aisle otros contaminantes perjudiciales para la salud. Según el testimonio de un entrevistado del sector gubernamental, no hay plantas de tratamiento de agua dentro de la REGAC.

Sobre la cobertura de la red de abastecimiento de agua, los entrevistados testificaron que hay pobladores que en época de sequías no cuentan con el servicio, aun cuando están conectados a la red de agua entubada, y pese a que fue poco abordado en las entrevistas, surge la interrogante del problema de la extracción de agua en grandes volúmenes, pues como se discutió anteriormente, uno de los mayores conflictos ambientales del agua es su extracción y sobreexplotación, situación que se debe atender, así se le considere a Yucatán como uno de los mayores reservorios de agua del país. De igual forma, ante este panorama se abre la discusión sobre si la infraestructura hidráulica atiende la necesidad y el derecho del agua para uso doméstico o no y sobre quiénes son los que sufren las consecuencias de la carencia de este recurso. En México, la gestión del agua prioriza garantizar grandes y crecientes volúmenes de este líquido para el abastecimiento de la industria, la agricultura de exportación, los servicios y las grandes ciudades, mientras que en las zonas rurales prevalecen rezagos en infraestructura para el abastecimiento humano (Zárate-Toledo, 2017). En tal sentido, el capital físico en Homún se podría ver afectado por la contaminación con la excavación y extracción para obtener agua de pozos más profundos, lo que a su vez trae consecuencias de intrusión salina. En ese caso, además de los daños al ecosistema y la biodiversidad, se perjudicaría la obtención de agua potable dado que la red de abastecimiento, además de verse deteriorada, sería insuficiente.

Por su parte, los sistemas de descarga de aguas residuales que predominan en el estado son las fosas sépticas o sumideros y Homún no es la excepción. Los primeros habitantes se abastecían de agua por medio de pozos someros de entre 5 y 10 metros

de profundidad y la eliminación de aguas residuales se llevó a cabo mediante sumideros (6 m. de profundidad). En ocasiones el sumidero estaba conectado al pozo de forma directa o se usaban las cavernas y cenotes para eliminar aguas residuales (Flebes-Patrón y Hoogesteijn, 2008). En ese sentido, como se pudo observar en la Figura 8, la disposición de las aguas residuales juega un papel preponderante en la contaminación del acuífero, ya que no solamente se trata de los residuos orgánicos con presencia de patógenos, estas aguas contienen un sinnúmero de compuestos poco amigables con el ambiente, desde elementos de uso cotidiano como jabones o cafeína hasta fármacos, aceites y por supuesto desechos industriales. Lo que representa, como se ha expuesto, un peligro mucho mayor en sistemas kársticos y pone en evidencia la poca atención que se ha dedicado a los sistemas de tratamiento de agua que permitan aminorar la filtración de los contaminantes en el afluente. Algunos de los pobladores de Homún cuentan con baños secos y biodigestores, algunos de ellos procedentes de programas gubernamentales. Sin embargo, de acuerdo con Nava (2015), el tratamiento mediante un biodigestor es solamente primario y remueve únicamente el 25% de los coliformes fecales en el agua, por lo que estos efluentes no son aptos para su disposición directa en un cuerpo de agua.

La contaminación de los mantos acuíferos a través de la disposición de las aguas residuales supone un riesgo para la salud pública, sobre todo en sitios donde el agua subterránea se encuentra a poca profundidad y en la cual se realizan actividades recreativas (Hoogesteijn et al., 2015). Por ello, el capital físico dirigido al sector salud también se consideró en el análisis. La infraestructura en salud del municipio de Homún son dos unidades médicas de consulta externa, en cuanto a los medicamentos un entrevistado mencionó que tanto la atención como los insumos médicos son sumamente escasos y deficientes. De hecho, de acuerdo con el informe anual sobre la situación de pobreza y rezago (2022), en el municipio de Homún hay alrededor de 1,734 personas que no tienen acceso a los servicios de salud.

Entonces, dado lo descrito, aspectos como la falta de infraestructura para el tratamiento del agua residual genera vulnerabilidad debido al poco control sobre los contaminantes que ingresan al acuífero. Del mismo modo, la carencia de infraestructura e insumos

orientados a la salud pública exacerba esta vulnerabilidad para la comunidad. Aunado a ello, la falta de garantía del servicio de agua potable de uso doméstico supone un incremento todavía mayor en la vulnerabilidad frente a la contaminación del agua, pues este líquido es vital para el mantenimiento higiénico básico que impide la propagación de otras enfermedades.

Debido a que, como se discutirá en la sección de vulnerabilidad, el capital físico se liga con otros capitales a través de la infraestructura, es necesario apuntar que en Homún, la infraestructura educativa consta de tres escuelas preescolares, cuatro primarias, dos secundarias y dos instituciones de nivel media superior. Como se mencionó en las características del sitio de estudio, de las 2,742 viviendas particulares habitadas en el municipio, el 1.7% no tiene energía eléctrica (Secretaría de Bienestar, 2022). Las principales vías de transporte son las carreteras que atraviesan el municipio y van en dirección a Cuzamá y Huhí, la carretera a San Isidro Ochil y la carretera hacia Hocabá.

Desde otra perspectiva, en cuanto a la infraestructura para la disposición de los RSU, Homún cuenta con un basurero municipal, recientemente renovado (SDS, 2019), y según entrevistados, con un creciente interés por parte de las autoridades en la instalación de basureros y en la recolección oportuna de los residuos, situación que puede disminuir un porcentaje de los contaminantes que percolan hacia el agua subterránea y por lo tanto disminuir la vulnerabilidad socioambiental en el municipio.

“El Ayuntamiento ahorita, pues nos está poniendo botes de basura en distintos puntos del pueblo”.

“El Ayuntamiento nos ha puesto días que debemos de sacar la basura a los botes porque este temprano ellos pasan a recogerla. Antes no, la gente cualquier día la amontonaba”.

Para terminar, respecto a la vivienda, INEGI (2020) reporta que 34 viviendas tienen piso de tierra, 1 660 tienen piso de cemento y 527 tienen madera. También, 1,509 viviendas tienen disponibilidad para almacenar agua y sobre el equipamiento doméstico y tecnologías, la mayoría de las viviendas cuenta con televisor (1,985), teléfono celular (1,764) y lavadora (1,369). Con el servicio de internet cuentan sólo 494 viviendas (22.2% de las viviendas). Los principales bienes para transporte son las bicicletas

(1,282) y las motocicletas (735). La disponibilidad de equipamiento doméstico, tecnológico y de transporte es de suma importancia en el análisis del capital físico, pues es a través de estas herramientas que otros capitales pueden generarse o transformarse. Por ejemplo, las motocicletas son esenciales para el servicio de los guías turísticos, los medios de comunicación (la radio, televisión o redes sociales) también juegan un papel preponderante en muchos aspectos de la cultura y las respuestas sociales a un evento o fenómeno determinado.

Capital natural

El capital natural es uno de los capitales más básicos y fundamentales debido a que este genera las condiciones vitales para la existencia de los seres vivos. Actualmente, este capital debe estudiarse bajo el entendimiento de que a nivel global se vive una crisis de agua en un escenario de cambio climático. En ese sentido, uno de los activos que refleja de forma visible la degradación ambiental, es la cobertura forestal o la vegetación. En Yucatán, predomina la selva baja caducifolia y pese a que no hay un gran número de estudios actualizados sobre el cambio de uso de suelo y la deforestación en la región, históricamente en México las selvas, en comparación con otros ecosistemas, son las que han sufrido mayor afectación con la disminución de la cobertura forestal, debido principalmente al cambio de uso de suelo para la urbanización, la agricultura (desde épocas coloniales para la siembra de henequén) y la ganadería (Ellis et al., 2017; Velasco y Velázquez, 2019). Pese a que en la PY hay mayor cantidad de estudios en donde aparentemente hay menor desmonte (Ellis et al., 2017), actualmente existe una tendencia generalizada en la reducción de las tasas anuales de deforestación respecto a años anteriores. No obstante, el decrecimiento forestal prevalece en las selvas cálido-húmedas, pues el 41.4% de las 208,850 ha/año que se talan en el país pertenecen a estos ecosistemas (CONAFOR, 2021). Desde otro punto de vista, cabe mencionar que la PY y el Caribe mexicano también cuentan con 26 Áreas Naturales Protegidas de competencia federal y nueve a nivel estatal (CONANP, 2022; SDS, 2018).

Respecto a las características del acuífero, además de la vulnerabilidad a la contaminación que se ha expuesto en el presente texto, se considera que la

disponibilidad de agua subterránea de la PY es de las más importantes del país. Se calcula que, de los acuíferos que conforman el área continental de la península, el promedio de agua anual disponible es de 3,466.105 millones de metros cúbicos (CONAGUA, 2021). No obstante, esta cantidad puede variar considerablemente pues las estimaciones no consideran la precipitación histórica. Los tres principales usos del agua a nivel PY refieren al uso agrícola (68% del total), público urbano y servicios, quienes conjuntan el 96% del total concesionado para explotación. Yucatán, tiene alrededor de 32,313 concesiones con un volumen total de extracción de 2,130,670,261.45 m³ anuales de agua (de acuerdo con cifras de 2020), por lo que es el estado con el mayor número de concesiones y de volumen de extracción en la PY (CONAGUA, 2021; Ríos-Contreras, 2020).

En otro orden de ideas, de acuerdo con EEA (2020) el flujo de los activos del capital natural también se presenta en forma de servicios ecosistémicos (SE). El concepto de SE es utilizado para describir un marco de referencia que estructura y sintetiza el entendimiento biofísico de los procesos ecosistémicos y el vínculo con el bienestar humano. Los SE identificados en la REGAC pueden agruparse en servicios de provisión (agua para consumo humano, riego agrícola y uso pecuario), regulación (mantenimiento de la cobertura vegetal y preservación de la biodiversidad), culturales (turismo y recreación, educación ambiental, investigación y cosmovisión) y de sustento (transporte, captación y depuración de agua y barrera contra la intrusión salina) (López-Monzalvo, 2017).

Acerca del capital natural que poseen los habitantes del municipio de Homún, además de los previamente descritos, los más evidentes son el agua subterránea, las cavernas y los cenotes. Sin embargo, como se verá en la discusión del capital político, es importante considerar que el acceso a estos recursos y algunos beneficios de los mismos se concentran en los poseedores de los terrenos. Con el deterioro de la calidad del agua este capital sería uno de los más afectados, causando vulnerabilidad debido a que como se mencionó, el acuífero es el recurso más importante para el abastecimiento de agua en el estado. Sin embargo, también es el hogar de una biota acuática poco estudiada, debido a las características de confinamiento en las que habita, pero que

forma parte de un ecosistema sumamente importante para el mantenimiento de la biodiversidad y de las actividades económicas del estado.

Los cenotes además de contener vida acuática son hogar de un gran número de especies de mamíferos, aves y pequeños anfibios, entre muchos otros. La biodiversidad de estos sitios permite también la existencia de otros ecosistemas, ya que son refugio de polinizadores como los murciélagos, que además de favorecer la reproducción de múltiples especies de plantas de importancia económica, son controladores de plagas debido a la dieta insectívora de algunos de ellos. De hecho, se estima que una colonia de murciélagos puede llegar a eliminar alrededor de 200 toneladas de insectos y que dispersan entre dos y ocho veces más semillas de plantas que las aves. Los murciélagos al igual que el resto de especies que habitan en los cenotes son indispensables para mantener otras poblaciones de animales como reptiles, aves y otros mamíferos que se alimentan de ellos (MacSwiney, 2010). Respecto a ello, uno de los entrevistados dijo:

“Dentro del cenote es biodiversidad, hay muchas aves, hay muchos animalitos que viven dentro del agua, murciélagos todo eso pues impactaría mucho [la contaminación] porque pues es un proceso. Mucha gente no lo entiende, por ejemplo, que a veces hay cenotes que no se ven muy limpios, pero por ejemplo la excreta de lo que es la golondrina, lo consumen los peces del agua, ellos lo limpian, es un proceso...por ejemplo, el del murciélago, lo mismo las golondrinas, o sea, los peces todo eso mantiene que se queden limpios los cenotes, nosotros somos los que lo contaminamos, no las aves”.

Sobre la biodiversidad, es importante destacar que la mayoría de los entrevistados no percibió disminución de plantas o animales en años recientes, sino que relatan todo lo contrario, que la cantidad de flora y fauna es la misma, algunos incluso afirman que actualmente es más frecuente observar “animales del monte”. Es de subrayar que el mayor número de avistamientos de animales que reportan los entrevistados podría no corresponder a un efecto positivo de la conservación, pues la generación de restos de comida en los paradores turísticos podría atraer a lo que se conoce como fauna oportunista. En referencia a ello, uno de los entrevistados del sector académico mencionó que incluso podría haber una correlación entre la cantidad de turistas y la cantidad de peces en un cenote. Parte de los riesgos que acompañan a la fauna

oportunista, es la transmisión de enfermedades entre especies de animales y entre seres humanos, situación que recibe el nombre de zoonosis. Tal es el caso de la toxoplasmosis, provocada por un parásito (*Toxoplasma gondii*) que puede tener varios hospederos como los gatos, los cerdos y los humanos y que se ha presentado en cerdos criados para comercialización en Yucatán (Cubas-Atienzar et al., 2018). En contraste a la fauna oportunista, el acondicionamiento de los cenotes para su uso turístico ha incluido la instalación de luminarias dentro de la caverna, lo que podría ser perjudicial tanto para los animales de hábitos nocturnos como para la fauna troglobia que habita en lugares de completa oscuridad.

Por otro lado, la introducción de especies invasoras también es un riesgo continuo para la biodiversidad local. Por ejemplo, el incremento en el número de viviendas no sólo implica el probable desmonte de la selva; también involucra el traslado de animales domésticos como los gatos, quienes, al ser descuidados por sus dueños, pueden convertirse en importantes depredadores de aves, pequeños mamíferos, anfibios e incluso reptiles. Con referencia a la importancia de la biodiversidad y del acuífero como fuente de abastecimiento de agua, hubo pocas menciones en las entrevistas, ya que como se ha revisado, el interés se dirigía principalmente a las actividades turísticas al mencionar a los cenotes. Sin embargo, esto podría deberse a la dirección que tomó la conversación al realizar la entrevista y no necesariamente a una falta de interés de los entrevistados.

En resumen, el acuífero yucateco es susceptible a la contaminación debido a sus características hidrogeológicas como la alta permeabilidad y el gran número de grietas del suelo kárstico. Esta situación se agrava por la pérdida de cobertura forestal, el cambio en las redes tróficas (incluyendo pérdida de biodiversidad e introducción de especies), el cambio climático y la exposición a los múltiples contaminantes anteriormente descritos (Ver sección Problemas de contaminación), deteriorando así la calidad del agua para todo ser vivo. En el caso del capital natural, donde el agua y los cenotes son un eje fundamental para las actividades económicas y por lo tanto para los medios de vida de la comunidad de Homún, la vulnerabilidad por la contaminación del

agua subterránea trasciende la esfera de “lo ambiental” a “lo social”, originando y agudizando otros estados de esta problemática.

Capital político

El capital político se relaciona con el acceso al poder y la influencia en la toma de decisiones, al igual que a la vinculación de la comunidad con entidades gubernamentales. Este capital es fundamental para comprender el impacto que tienen las estructuras y procesos institucionales en los medios de vida de las comunidades. Además, el arreglo político es a partir del cual se construye una estructura de derechos y estos últimos, en el marco de capitales comunitarios, se pueden considerar como activos que limitan o permiten las opciones de subsistencia (Baumann y Sinha, 2001). El acceso al poder puede ser analizado desde distintas perspectivas, pero es de anotar que, la estructura social generalmente le otorga más poder, entendiéndolo como la influencia de unos individuos sobre otros, a las personas o grupos con características específicas que, en la mayoría de las ocasiones, están ligadas con concepciones culturales y la distribución inequitativa de recursos, y no con su capacidad de ejercer el poder. En ese marco, características como la edad, el género, el poder adquisitivo, la pertenencia a un grupo étnico e incluso el color de piel son factores que tienen un efecto en la toma de decisiones.

De igual forma, estas concepciones culturales repercuten en la formulación de leyes, reglamentos e iniciativas que reproducen y acentúan la vulnerabilidad de los grupos con menor acceso al poder. Desde esta perspectiva, para analizar y ejemplificar el capital político en Homún, se debe retomar el contexto del conflicto con la granja porcícola, en el cual los pobladores no estaban conformes con la supuesta consulta pública para la aprobación del proyecto y elaboraron una consulta propia donde manifestaron su rechazo al megaproyecto. En primera instancia, no se respetó a los homunenses al no cumplir con el convenio 169 de la OIT al momento de la aprobación del megaproyecto y tampoco se respetó la consulta elaborada por el pueblo, es decir se acalló la voz de los pueblos mayas sobre las decisiones de su propia vida. El desplazamiento de las poblaciones en la participación y en el derecho a decidir sobre sus territorios se identifica como un rasgo inherente al racismo institucional, pues cabe preguntarse ¿por

qué los lugares que elige, por ejemplo, la industria porcícola, coinciden con los territorios de las comunidades mayas? (López-Fabila, 2020).

En el discurso político la respuesta a la pregunta anterior sería: para mejorar la condición vulnerable de estas comunidades atrayendo el desarrollo y la modernización, transformando los territorios en espacios productivos. Es bajo esta narrativa que se sustenta una historia colonial de extracción y dominación que define a los territorios indígenas como lugares ociosos que deben ser incorporados al progreso. Estos discursos refuerzan las jerarquías raciales que reproducen el arquetipo del indígena frágil, devaluando sus vidas y ocultando las prácticas socio-políticas que en primer lugar los violentan y vulnerabilizan. En ese sentido, no sólo se responsabiliza a las empresas, sino al entramado político-institucional, donde resalta el papel del Estado que ha servido para garantizar que se instalen y produzcan zonas de sacrificio (Linding y Villegas, 2019; López-Fabila, 2020).

Desde este ángulo y como breve reflexión de las prácticas socio-políticas que subyacen la desigualdad, el racismo puede traducirse en lo que Michael Foucault describió como tácticas de biopoder y biopolítica, las cuales se refieren al poder sobre la vida a través de tecnologías de dominación tales como leyes y políticas públicas para la gestión de la vida humana. No obstante, en un contexto de deterioro de la calidad del agua como el que se ha descrito en el presente texto, también se puede hablar de la necropolítica, el poder de dar muerte con tecnologías de explotación y destrucción. Si se considera que no todas las personas tienen garantizados los mismos derechos que otras (como el saneamiento básico o el acceso a servicios de salud), se entiende que la necropolítica establece tácticas para definir lo que puede hacer vivir y lo que puede dejarlas morir, es decir, cuando los regímenes de desigualdad determinan qué cuerpos deben afrontar los riesgos de la contaminación del agua, la biopolítica se convierte en necropolítica (André-Aparecido, 2021).

Retomando el nivel local, como se mencionó, los capitales se presentan de manera diferenciada dependiendo de la escala (la comunidad, el hogar o el individuo) por lo que, acerca de la vinculación de las autoridades municipales con la comunidad, entre los entrevistados hay opiniones encontradas. Algunos pobladores expresaron que se

realizan constantes reuniones para escuchar y dar solución a las inconformidades. Mientras que otros manifestaron la frecuente ausencia de las y los encargados de la presidencia en el municipio a lo largo de los años. Pese a ello, los habitantes reconocen el esfuerzo de la regidora actual en cuanto a iniciativas para mitigar la contaminación.

Según las entrevistas, a nivel municipal, existe preferencia en la toma de decisiones para ciertos sectores de la comunidad de Homún. La desigualdad en la participación ha generado inconformidad en algunos de los entrevistados:

“Cuando se trata de la granja nos convocan a todos, vámonos a pelear por esto, pero cuando se trata de que nosotros queramos hacer un comentario sobre la situación que se está ocasionando en cuestión a lo que necesitamos que se haga para que podamos tener un trabajo...nunca hemos sido entendidos, nunca nos han dado la oportunidad... nunca nos han tomado en cuenta más bien”.

“Desafortunadamente jamás hemos sido escuchados aquí, es nada más los que son escuchados, por ejemplo, por cualquier alcalde que sea son a los cenoteros que son los que imponen”.

En función de lo anterior, el capital político de la comunidad de Homún refleja el acceso desigual al poder y a la toma de decisiones porque favorece a los que cuentan con cenotes, es decir, a los que tienen el capital natural y económico para ser escuchados. Fuera de la escala local, si se retoma la situación del conflicto con la granja, la vulnerabilidad del capital político (el racismo y la falta de participación en la toma de decisiones) de la comunidad de Homún, permitió a grupos con mayor acceso al poder decidir acerca de un proyecto que podría ser perjudicial para la comunidad, pero a la vez despertó un sentimiento de inconformidad que desencadenó una serie de movilizaciones que fortalecerían, con el paso del tiempo, tanto el capital social como el capital político. En términos de las consecuencias del capital político de Homún respecto a la contaminación del agua, la desigualdad de participación podría desencadenar en mayor inconformidad en los habitantes del municipio, propiciando estructuras de poder que fragmenten, aíslen y vulneren aún más a algunos sectores de la sociedad.

Por su parte, también es de destacar el empoderamiento social que atrajo la participación de niñas y niños en Homún, quienes alzaron la voz para garantizar su

derecho al agua y a un medio ambiente sano. Estas estrategias incorporan a la infancia en los espacios públicos y en la toma de decisiones y además permiten, junto con la educación ambiental, construir una conciencia crítica e integral de su relación con la biósfera. También, se promueve el desarrollo de valores y capacidades individuales y colectivas de personas con aptitudes para la transformación social en un panorama de degradación ambiental.

Capital humano

El capital humano generalmente está asociado a tres variables clave: la educación, la salud y la capacitación, ya que de acuerdo con diversos académicos estos elementos se vinculan con la capacidad de prevención y diversidad de respuestas para afrontar una situación de vulnerabilidad (Renwei et al., 2019). La educación es uno de los factores más estudiados en términos del capital humano, pues además de la perspectiva sobre el aumento de capacidades y habilidades, uno de los dos grandes enfoques de análisis de este rubro, afirma que la educación es un activo directamente relacionado con producir mejores ingresos en las personas (Chavez, 2015). Coincidentemente con ello, de acuerdo con el INEGI (2022) en Yucatán, y en la mayoría de los estados de México, el salario aumenta conforme los grados académicos. Si bien el papel que desempeña la educación en la determinación de los ingresos se ha confirmado en diversos estudios, como se ha mostrado en el presente texto, hay una gran diversidad de variables estructurales que influyen en este y otros activos (Young y Pandey, 2007). Asimismo, Bebbington (1999), señala que la posesión de capital humano no sólo significa que las personas producen más y de manera eficiente; también les da la capacidad de comprometerse de manera significativa con el mundo y por lo tanto, transformarlo.

En el contexto de la contaminación del agua en cenotes, en general, en las entrevistas realizadas, la mayoría de los participantes demostró conocimiento sobre la conexión de los cuerpos de agua, la biodiversidad, detalles sobre la formación de los cenotes, la fácil infiltración por el tipo de suelo y otros fenómenos hidrogeológicos, pero también se observaron deficiencias o malinterpretaciones de otros aspectos que forman parte del funcionamiento del ecosistema. Por ejemplo, la noción sobre la alta velocidad del flujo

del agua no está del todo apegada a la realidad, dado que al preguntar sobre si se podría remediar la contaminación de un cenote, una de las respuestas más frecuentes fue que sería complicado, ya que esta contaminación podría difundirse a través de canales o “venas”. El término de “venas” fue uno de los más mencionados por los entrevistados para describir la conexión del acuífero y el flujo de éste. Por lo que predominaron aseveraciones como:

“Son venas cuando se contamina uno, se contaminan todos porque son venas”

“Dicen que los cenotes tienen venas gira el agua, fluye y así como fluye, pues va contaminando todo lo demás”

Esta concepción generalizada de movimiento continuo y veloz del agua en los cenotes, de acuerdo con Nava (2015), podría deberse a la idea ampliamente difundida de los “ríos subterráneos”, término que también fue usual en las respuestas de la comunidad de Homún y miembros de ONG entrevistados. El flujo subterráneo, como se mencionó, es limitado, de un gradiente hidráulico con valores cercanos a cero (González-Herrera et al., 2002). Sin embargo, esto no significa que los contaminantes sólo se acumulan en donde fueron depositados, ya que además de la difusión a través del flujo, los contaminantes viajan a través de las grietas y poros del relieve kárstico, trayectoria que difícilmente es completamente recta de forma vertical u horizontal.

Para estudiar el capital humano en el aspecto de la educación, también es necesario saber de qué forma se construyen los conocimientos acerca de los cenotes y los ecosistemas de los que forman parte los habitantes de esta región. En la educación formal a nivel básico en Yucatán, se ha reportado que los libros de texto contienen contadas menciones del acuífero, su importancia o las causas de su contaminación e incluso existen actividades complementarias que dirigen a las y los alumnos a páginas web dedicadas al turismo en cenotes (Nava, 2015). En ese sentido, un programa educativo realizado con talleres en nueve comunidades del este de Yucatán, mostró que los estudiantes usualmente obtenían su conocimiento acerca de los cenotes principalmente por sus abuelos u otros ancianos en la comunidad, y que el aprendizaje en el aula no está conectado de manera significativa a su entorno local o a las tradiciones indígenas en una especie de rompimiento con la tierra, el patrimonio y las

características bioculturales de la región, lo que contribuye a un sentimiento de alienación formal en vez de educación formal (Landry et al., 2021). Trenzar el conocimiento científico con el conocimiento tradicional sobre los cenotes revitalizaría la cultura local y ayudaría a la preservación del acuífero (López-Maldonado y Berkes, 2017).

Además de la educación académica y el conocimiento tradicional sobre los cenotes, como se mencionó con el análisis de MCDA, la capacitación es parte fundamental para el desarrollo de estrategias que permitan un manejo sostenible de estos espacios. Del mismo modo, no sólo se requiere conocimiento acerca del funcionamiento del ecosistema pues, al explotar los cenotes de forma turística, también se necesitan conocimientos, aptitudes y habilidades para, por ejemplo, administrar las ganancias obtenidas del turismo, idiomas, prevención de accidentes, historia del sitio, pruebas de calidad del agua e incluso de temas alejados de la actividad turística, con el fin de diversificar las actividades económicas. En ese sentido, los entrevistados reportaron capacitaciones esporádicas para el manejo de turistas, protocolos de seguridad e inglés para comunicarse con los visitantes. Asimismo, mencionaron la desaparición de programas que fomentaban el aprendizaje de oficios como la confección de ropa, la carpintería, la herrería, etc.

De la misma manera, el acceso a la información es clave para el desarrollo del capital humano, y además es un factor determinante en la movilización de los otros activos que componen el marco de capitales comunitarios. El acceso a la información fidedigna y comprensible (de lenguaje universal y que atienda la diversidad lingüística) permite la libertad de decisión sobre aspectos relevantes de la vida de las comunidades. En el caso del deterioro del agua, la población y el público en general deberían tener información sobre, por ejemplo, la calidad del agua subterránea, sobre todo en contextos donde se utilizan estos cuerpos de agua para el abastecimiento y la recreación. La información y la capacitación podrían tener efectos positivos en el monitoreo de algunos parámetros del acuífero e incentivarían el surgimiento de propuestas para mitigar la contaminación del mismo.

En otro orden de ideas, el capital humano también se relaciona con los procesos de migración. En Homún, el auge del turismo ha disminuido el traslado de pobladores en busca de mayores ingresos, como se expresa a continuación:

“Cuando se acabó el henequén pues la gente se iba a Mérida a trabajar, tanto hombres como mujeres se iban a Mérida a trabajar y cuando empezó esto del turismo, pues la gente ya regresó”.

La demanda turística no sólo ha reducido el flujo de habitantes de Homún a otras localidades, también ha atraído trabajadores de comunidades aledañas a este poblado y ha aumentado la venta de terrenos, ya sea para viviendas o para la creación de nuevos paradores turísticos, como se pudo observar con la venta de terrenos en el análisis del MCDA. El efecto social de la llegada de personas ajenas a Homún es un aspecto interesante de analizar, puesto que ha causado controversia entre los habitantes. Muchos de los cuales mostraron recelo ante los foráneos, ya que temen el desplazamiento de los establecimientos locales por paradores de grandes inversores o la inseguridad que podría causar la entrada de personas externas. No obstante, el desplazamiento de la población también podría ser una consecuencia del deterioro de la calidad del agua.

Al respecto, algunos autores señalan que la vulnerabilidad del capital humano también se puede estudiar a través de la demografía, pues la transición demográfica en ocasiones conlleva el descenso de la fecundidad y la mortalidad cuyos efectos, a largo plazo, son la desaceleración del crecimiento poblacional y el envejecimiento de la población (CEPAL, 2001). En este caso, la pirámide poblacional total de Homún no indica que este elemento sea de preocupación, pues existe una tasa de nacimientos superior a la tasa de mortalidad (INEGI, 2020). No obstante, esta novedosa perspectiva de análisis del capital humano requiere de una investigación focalizada más en un nivel de hogar para visualizar las dinámicas de, por ejemplo, la migración o el cambio en la jefatura del hogar, pues las estrategias de subsistencia de una familia ante el desempleo pueden generar reconfiguraciones de los roles familiares y otros estados de vulnerabilidad en los infantes, que deben trabajar para compensar la falta de ingresos.

El tercer y último elemento del capital humano que se preguntó en las entrevistas es la salud. La falta de salud debido a la contaminación del agua subterránea puede ser un impedimento para invertir en el resto de los capitales, por ello es una base fundamental contar con este elemento. Bleakley (2010) afirma que la mala salud especialmente en la infancia podría inhibir la formación de capital humano a largo y corto plazo, ya que el desarrollo fisiológico y cognitivo de una persona ocurre en la niñez. Asimismo, factores como la nutrición y los hábitos alimenticios, así como el consumo de sustancias nocivas a lo largo de la vida influyen significativamente en el deterioro de este elemento. En Homún las principales dificultades para realizar actividades cotidianas son la discapacidad física (generalmente por edad), visual, auditiva y motriz (INEGI, 2020). Respecto a la salud mental, Yucatán es el estado con el porcentaje más alto de todo el país (35.3%) de muertes por suicidio en relación al total de muertes violentas por entidad federativa (INEGI, 2021). Acerca del consumo de drogas el 10.7% de la población yucateca de entre 12 y 65 años es dependiente al alcohol y el 15.4% al tabaco, mientras que el 10.8% ha consumido alguna vez drogas ilegales, porcentaje mayor al consumo a nivel nacional (CIJ, 2018).

Aunado a las condiciones de salud mencionadas, el contacto con agua contaminada, como se describió ampliamente en el apartado sobre los problemas de contaminación, es un factor de riesgo para el desarrollo de infecciones oculares, de oído, nariz, garganta, irritaciones cutáneas y enfermedades respiratorias y gastrointestinales, entre otras (Hoogesteijn et al., 2015). En las entrevistas, el deterioro de la salud asociado a los cenotes se relacionó principalmente con las creencias sobre la falta de respeto a estos espacios, pero en su mayoría, los entrevistados negaron que el contacto con el agua hubiera causado algún daño. No obstante, diversos estudios muestran la presencia de coliformes fecales en cenotes de uso turístico en Homún (Hoogesteijn et al., 2015; Nava, 2015; Ríos-Contreras, 2020). Aunque la correlación entre coliformes y patógenos no siempre representa un riesgo, es necesario contar con servicios y atención médica capaces de hacer frente a cualquiera de los padecimientos que podrían ocasionar estos microorganismos y sustancias contaminantes en la población. El acceso a servicios de salud de calidad (incluyendo la prevención) a nivel nacional es un tema que puede ser analizado desde diversas vertientes, desde la cobertura

universal hasta la justicia sanitaria, pero lo que es cierto es que a nivel local en Homún, los entrevistados reportaron múltiples deficiencias en el sistema de salud, incluyendo que, como ya se mencionó en el capital físico, la infraestructura básica de servicios médicos que hay en el municipio es insuficiente.

Si bien la oferta en los servicios de salud se relaciona con la demanda de los mismos, la baja percepción del riesgo a enfermarse por contacto con el agua de los cenotes puede deberse a que en una situación de riesgo que es familiar o disfrutable, el peligro suele ser minimizado (Nava, 2015). Sin embargo, algunos de los entrevistados, a pesar de no reconocer el riesgo actual, enfatizaron que su salud podría deteriorarse, si en el futuro, el agua se contamina, lo que coincide con lo expresado sobre la percepción de la conservación de los cenotes de Homún. Es decir, si el cenote está conservado no habría riesgo de enfermarse. Esta idea podría provenir de la falta de acceso a la información sobre la calidad del agua o la falta de cultura de la prevención, pero es importante mencionar que algunos dueños de cenotes, a consecuencia del juicio contra la granja porcina, establecieron contacto con investigadores, quienes les informaron sobre el estado microbiológico de los cuerpos de agua y, de acuerdo con lo dicho por los entrevistados, se encontraban dentro de los límites permisibles. La difusión de esa información también podría estar relacionada con la baja percepción de riesgo actual a enfermarse del resto de los habitantes del municipio.

Entre los aspectos del capital humano que influyen en la vulnerabilidad socioambiental del municipio de Homún, destaca la falta de capacitación y acceso a la información, así como la educación, los cuales son elementos clave para el desarrollo de habilidades y estrategias frente a la contaminación del agua. Por lo que la carencia de ellos intensifica la vulnerabilidad y la desigualdad en otros capitales como puede ser en el acceso al poder y a una seguridad económica o patrimonial. De igual forma, la salud es primordial, pues es de las principales consecuencias de la contaminación del acuífero, ya que aumenta la exposición a patógenos que pueden generar graves padecimientos y que, como se expuso con el capital físico, no se cuenta con las capacidades para tratarlos.

Capital social

El capital social es uno de los elementos más populares y debatidos del marco de capitales comunitarios, cuenta con un gran número y diversidad de definiciones. De entre ellas destacan las formuladas por Bourdieu (1997) y Putman (1993). A grandes rasgos, el primero explica el capital social como el conjunto de redes y relaciones de ayuda mutua que pueden movilizarse para el beneficio de los individuos; mientras que Putman lo define como la confianza, normas y redes que facilitan las acciones coordinadas (Morsut et al., 2022; Soares y Murillo-Licea, 2013). A partir de estas definiciones se han desarrollado una serie de investigaciones que exploran el papel del capital social en, por ejemplo, el aumento de la resiliencia de las comunidades ante desastres, en la salud y en la vulnerabilidad, entre otros. En ese sentido, diferentes autores han discutido sobre la importancia de los mecanismos de articulación entre personas y grupos en el comportamiento humano y las actividades sociales, por lo que se ha identificado como uno de los más importantes para hacer frente a la vulnerabilidad (Soares y Murillo-Licea, 2013).

Los mecanismos de articulación entre personas y grupos como la confianza, el reconocimiento mutuo y la comunicación, son la base de las redes y las relaciones sociales y son parte de la complejidad del concepto de capital social, pues éstas son flexibles y cambiantes a lo largo del tiempo. No obstante, al menos a escala de colectivos o territorios, existe cierta permanencia temporal de estas relaciones, lo que permite estudiar estos vínculos con los tres principales tipos de capital social. El “bonding” hace referencia en las relaciones entre individuos con características comunes como la pertenencia a alguna etnia o a un mismo poblado, es decir, son las relaciones internas del colectivo o grupo; el “bridging” se basa en relaciones de individuos con características diferentes como los pertenecientes a otra cooperativa, a otro grupo o a otra entidad; y el “linking”, que se asemeja al *bridging*, tiene una componente jerárquica, por ejemplo, las relaciones con las instituciones. Entonces, el capital social *bonding* es la base para el fortalecimiento del grupo o colectivo, pero son las relaciones de tipo *bridging* las que crean puentes entre diferentes grupos, lo que

facilita y favorece el acceso a los recursos con los que no cuenta el colectivo (Esparcia et al., 2016).

Como se mencionó en el análisis del MCDA con la falta de cohesión, en Homún los habitantes refirieron que existe buena relación entre los pobladores, la fortaleza del tejido social en pequeñas comunidades refleja las formas como se unen sus intereses, pero también, estos vínculos se construyen en el espacio físico que comparten (CEPAL, 2010; Ferreti y Arreóla, 2013). En ese sentido, Kaztman (2007) expone que al reducir los espacios de encuentro comunitario o al deteriorarse la calidad del agua se puede producir una segmentación que erosiona capacidades como la empatía, el reconocimiento del otro y en general la solidaridad social. De igual forma, la identidad cultural, el sentido de pertenencia y la apropiación constituyen un eje central en el entramado de relaciones entre los individuos, por lo que son elemento clave para el capital social. Dado lo anterior, con lo ocurrido con la granja porcícola se puede suponer que, los miembros de la comunidad de Homún al ver amenazados algunos de sus medios de vida como el capital natural, utilizaron esa cohesión social transformándola en acción colectiva para la defensa de los cenotes y del espacio comunitario, expresando también que este es parte de su identidad cultural.

En este proceso de resistencia surgieron relaciones del tipo bridging, ya que la movilización atrajo la atención de diferentes organizaciones con distintos intereses. Un entrevistado comentó que han entablado comunicación y formado redes de aprendizaje, donde comparten experiencias y conocimientos, con pueblos o colectivos que al igual que ellos están en defensa de su territorio ante megaproyectos de toda clase tanto dentro como fuera de Yucatán. Esta situación ilustra el poder del capital social y también el cómo evolucionan y cambian los vínculos sociales, pues al compartir características (como la defensa del territorio y la búsqueda de justicia) los enlaces que eran *bringing* pueden convertirse en *bonding*. Además del contacto con colectivos en situaciones similares, en Homún se han contactado y conectado con ONG, con comunicadores (periodistas, documentalistas) e investigadores que han ampliado la red que conforma su capital social.

Es importante anotar que, si bien la población en general de Homún estuvo involucrada en la acción colectiva y las movilizaciones en el conflicto con la granja, fueron los cenoteros quienes las encabezaron. De hecho, a decir de uno de los entrevistados, a raíz de este problema se consolidó la organización denominada Ka'nan ts'onot o los guardianes de los cenotes. Esta organización asociada al cuidado del agua y de los cenotes es una de las más importantes en la comunidad, pues ha promovido diversas acciones para la protección de estos sitios. Sin embargo, Ka'nan ts'onot no es la única asociación vinculada con el agua, pues también están los ejidatarios y las cuatro cooperativas de uso y aprovechamiento turístico de los cenotes. Cabe destacar que algunos de los miembros de estos grupos participan en varios de ellos.

Con respecto a la vulnerabilidad socioambiental, en Homún el capital social también parece ser uno de los elementos que se ha incrementado a raíz del conflicto con la granja porcina. El capital social ha logrado reducir la vulnerabilidad de esta comunidad a través de la formación de redes de comunicación donde circula información que ha servido para que los pobladores se involucren en la toma de decisiones, así como en la acción colectiva y la vinculación con otros actores. En términos generales, el fortalecimiento de las redes de confianza entre los pobladores ha promovido el interés por el bien común y el fortalecimiento de los valores identitarios en la comunidad, empoderamiento que también significa, por su conexión con otros capitales, la reducción de la vulnerabilidad socioambiental.

Capital cultural

Como se ha expuesto con el marco de capitales comunitarios, los activos no son sólo los medios de vida a través de los cuales las personas se ganan la vida; también dan significado a su mundo. El capital cultural refleja la cosmovisión y la relación que tienen los pobladores con el agua y los cenotes. De acuerdo con Chávez y colaboradores (2012) los mayas han expresado de distintas formas su relación con el agua a lo largo de la historia, pues hay expresiones reflejadas en diferentes textos, códices y vestigios, pero también están presentes en el lenguaje, en las costumbres y tradiciones. Dado que el capital cultural está en constante construcción y modificación mediante la

interacción con otros capitales, resulta evidente que también estos capitales estén influidos por las expresiones culturales.

Las entrevistas realizadas en Homún se enfocaron en la relación de los habitantes con los cenotes, y con ellas se pudieron recopilar algunos datos sobre las tradiciones y cosmovisiones de los habitantes de esta localidad. No obstante, el capital cultural que rodea las prácticas y las expresiones culturales en torno al agua es un elemento dinámico y muy amplio, por lo que describirlo requiere de un estudio dedicado a ello que no pretende abarcar esta investigación. En las entrevistas se destacó la mención de la ceremonia Jets Lu'um realizada en los cenotes por un x'men o chamán maya con la cual se pide autorización a los "dueños de los cenotes" hacer uso de ese espacio, como se explica a continuación:

"En cada cenote se pide un permiso, se llama Jets Lu'um que es asentamiento de la tierra o pedir permiso a la tierra".

"Lo que es el Jets Lu'um... es para darle de las gracias al lugar de que tú lo estás usando, es una esta manera de agradecer a los dueños del cenote de que te permitan trabajar acá".

"Cuando vas a empezar a trabajar un cenote, a abrirlo para que entre gente, pues para nuestros antepasados, nuestros dueños de cenotes gente que entre, es gente desconocida. Tienes que hacer que se acostumbre, tienen que pedir un permiso, se hace una ceremonia. Nosotros le llamamos el Jets Lu'um que es preparar una comida especial que se llama Máatan k'ol que es a base de masa de manteca, se entierra y lo preparan, hay un x'men o un brujo que pide permiso, hace todo el ritual la bendición y ya se le ofrenda porque le estás pidiendo permiso para entrar en su casa".

Las descripciones de los entrevistados sobre el Jets Lu'um, se centran en pedir autorización o permiso a los dueños de los cenotes, elemento que contrasta con la bibliografía consultada pues en ella se le otorga una connotación de apaciguar a los dioses o limpiar de malos espíritus (Thomass, 2010). Esto demuestra lo amplio y complejo del concepto de capital cultural, pues incluso de una misma ceremonia se pueden tener concepciones distintas. De igual modo, en las descripciones sobre el capital cultural, en algunos casos, entran en juego las ideas del investigador o comunicador al pretender interpretarlas bajo su propio sistema cultural o de ideas. El Jets Lu'um, fue la ceremonia asociada a los cenotes y al agua más mencionada, pero

también se nombraron las bodas mayas y no se descarta que existan otros rituales en torno al agua que no fueron explicados debido a la dirección de la conversación. También, es cierto que muchas de estas ceremonias, tradiciones y creencias han dejado de tener la importancia que antiguamente poseían, pues se conoce que el agua y su deidad son mencionados en diversos rituales mayas antiguos (Chávez et al., 2012).

En todos los relatos sobre los cenotes se habla de un ente conocido como “dueño del cenote”. De acuerdo con los entrevistados este personaje custodia la caverna y, como se mencionó, tiene un papel importante en la autorización de entrada y uso de los cenotes. Los dueños de los cenotes han sido descritos con forma de animales, en Antochiw, (1999) una de las citas habla sobre un pájaro Toh que es el dueño del cenote y salió a pasear, mientras que uno de los entrevistados mencionó que se presentan en forma de culebras.

“Se sabe de antemano que en cada cenote hay un dueño, nuestros abuelitos eso nos han dicho... nos han contado de que cada cenote tiene un dueño, de hecho, cuando tú antes de entrar a un cenote, tú tienes que pedir permiso, te paras a la entrada, saludas y pues dices que viniste a visitar, y ya puedes pasar”.

“Hay aluxitos son los que... nosotros tenemos la costumbre de que cada cenote tiene un dueño como es una entrada al inframundo y pues nuestras creencias, son así. Entonces en cada cenote hay un dueño, los aluxes son parte de o a veces son compañeros del dueño... si normalmente este le llamamos dueños o aire o vientos que son los dueños de cada lugar sagrado”.

Asimismo, los dueños de los cenotes están asociados a “castigos”, si no se presenta respeto por el sitio y se falta con las normas y tradiciones. Los entrevistados hablaron acerca de la experiencia de un turista que se enfermó gravemente después de haber tomado una piedra del cenote, otro entrevistado informó que su hijo estuvo en riesgo de perder la vida a causa de lo mismo. Las piedras a las que se refieren los entrevistados podrían ser las estalactitas o estalagmitas que se forman en las cavernas de los cenotes. De igual forma, al preguntar sobre qué sucedería si el Jets Lu'um no se realiza se dijo:

“Te atienes a lo que pueda pasar, o sea no te garantiza que puedas tener éxito porque lo que hemos visto a lo mejor dirán son creencias, pero son cosas para nosotros, pues muy aún dentro de la modernidad tenemos cosas muy sagradas, lo que pasa que no te permiten trabajar bien esa parte, porque empiezas a ver culebras empiezas a ver la gente que entra a tus visitantes no se sienten cómodos porque les empiezan ¡ay una culebra!”

Esta relación entre la salud, el bienestar y las cosmovisiones es un aspecto interesante de analizar, pues demuestra que, pese a que la introducción de la dinámica turística ha permeado en la comunidad de Homún, aún se conserva cierto respeto por las entidades consideradas sagradas. Al respecto, uno de los entrevistados comentó que a raíz del problema con la granja se interesaron en reconectar con su cultura ancestral, lo que podría fortalecer los valores culturales para la conservación del acuífero, ya que la cosmovisión como se pudo percibir, puede determinar el comportamiento de los habitantes ante cierto recurso (López-Maldonado y Berkes, 2017). Por otro lado, los entrevistados expresaron que si el acuífero se contamina estas prácticas ceremoniales y algunas de las formas de concebir al agua y a los cenotes se perderían o se reemplazarían por sentimientos de rechazo.

Existen muchos aspectos del capital cultural que pueden ligarse a la vulnerabilidad, desde el ya mencionado racismo hasta la vinculación de la sociedad y el ambiente. Por ejemplo, la pérdida o transformación de valores simbólicos de elementos que formaron parte importante de la cosmogonía maya puede modificar las conductas de las personas hacia esos elementos. Si los cenotes sólo se observan como un bien que genera ingresos, podrían ignorarse los daños derivados de la contaminación del agua mientras este siga produciendo ganancias. Por lo que en ese sentido, como se pudo observar con los testimonios de los pobladores de Homún, el respeto e interés hacia los cenotes y a los múltiples beneficios que traen estos ecosistemas puede catalizar la movilización de los capitales para la reducción de la vulnerabilidad.

Acciones

En esta sección se presenta el último de los aspectos relacionados con la vulnerabilidad: las capacidades adaptativas, respondiendo a la pregunta de investigación sobre las estrategias que han emprendido los diversos actores involucrados para mitigar el deterioro de la calidad del agua. Este análisis forma parte del modelo multicriterio, pues se buscó ligar las acciones con los elementos que inciden en la contaminación para obtener cuál de ellas era la más importante en el contexto de la contaminación del agua en Homún. Cabe mencionar que las acciones se centran en la escala local, por lo que no se tomaron en consideración pactos internacionales, convenciones o proyectos fuera de lo comunicado por los entrevistados. Las acciones identificadas que forman parte del modelo multicriterio son: *Mantenimiento*, *Creación de organizaciones*, *Estrategias de gestión pública*, *Acción colectiva*, *Educación ambiental*, *Instituciones informales* y *Biodigestores*. El resultado del MCDA muestra la importancia de cada elemento con respecto a la incidencia de estos sobre la contaminación del agua de los cenotes (Figura 11).

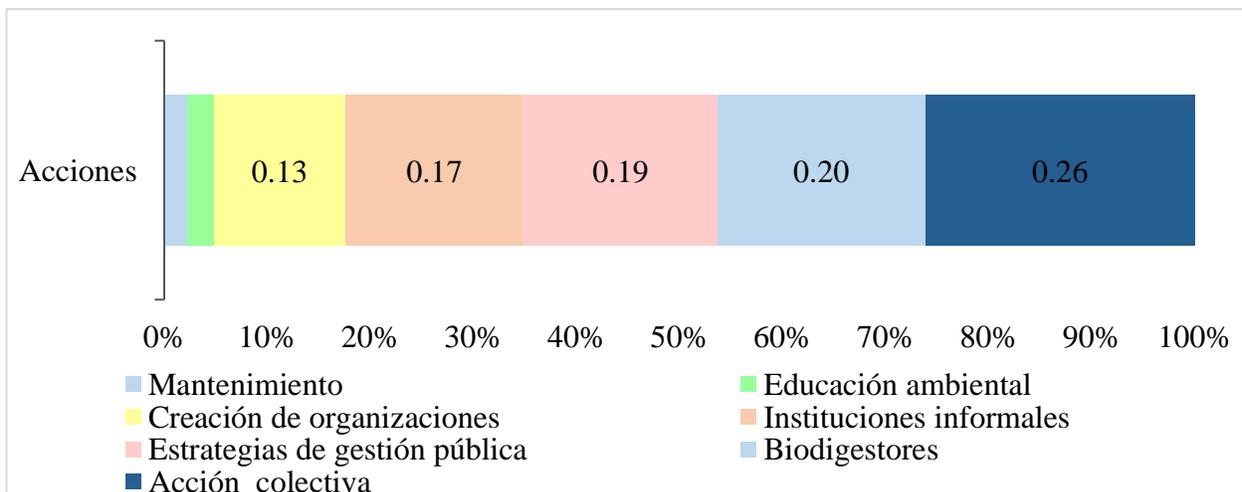


Figura 11. Importancia de los subcriterios del cúmulo *Acciones* con respecto a la meta. Se muestra el vector de prioridades por promedio y el porcentaje acumulado.

Una de las acciones más mencionadas por los entrevistados fue el *Mantenimiento de los espacios públicos*, así como de los paraderos turísticos. Estas estrategias de separación y recolección de residuos sólidos urbanos van más allá del aporte estético; permiten la reutilización de materiales reciclables como componentes electrónicos, cartón, papel, vidrio etc. y la generación de composta con algunos elementos de la

basura orgánica que ayudan al crecimiento de las plantas, lo que podría utilizarse en pequeños huertos. De igual manera, las actividades de mantenimiento promueven hábitos para evitar los tiraderos clandestinos y la incineración de basura que generan contaminantes y afectan a la biodiversidad.

La *educación ambiental*, también refuerza e inspira actitudes y comportamientos que pueden contribuir al surgimiento de hábitos que mitiguen la contaminación, debido a ello es otra de las acciones identificadas y llevadas a cabo por la comunidad. Adicionalmente, tras el conflicto con la granja, los pobladores y en especial Ka'nan ts'onot han realizado diversas estrategias didácticas, como la proyección de cine documental, con el fin de concientizar a las personas sobre la importancia de los cenotes y la herencia cultural que estos representan. Sin restar importancia a los esfuerzos de *mantenimiento y educación ambiental* que se realizan en la comunidad, el resultado del modelo multicriterio (Figura 11) denota que estas acciones deben ir acompañadas de, por ejemplo, en el caso de la educación ambiental, un plan de estudios que integre aprendizajes acerca del entorno ambiental y su relevancia.

La posición que ocupa el subcriterio de *creación de organizaciones* en el MCDA se debe principalmente a la importancia que tuvo el desarrollo de liderazgos locales a través de la cooperación y comunicación entre los habitantes de Homún para hacer frente a la amenaza de la instalación de una mega granja porcícola. El origen de Ka'nan ts'onot ha cimentado las bases para la consolidación de vínculos con otros colectivos, organizaciones e investigadores que trabajan no sólo por el acceso a la justicia, sino también por la posibilidad de transformar la forma de concebir las relaciones entre el medio ambiente y la sociedad. Sin embargo, como se refleja en el MCDA, a la *creación de organizaciones* dedicadas a la protección del acuífero en Homún, le anteceden procesos organizativos para la formulación de una normativa común que regule el acceso a los cenotes:

“Fue por medio de nosotros mismos que tomamos los acuerdos y el ayuntamiento nos dijo que sí, estuvo de acuerdo, de hecho, acá en Homún cuando tú vayas a entrar a un cenote, tú tienes que portar tu chaleco, sepas o no sepas nadar, es obligatorio para evitar accidentes”

En ese sentido, parte importante de la dinámica de las *instituciones informales* orientadas al uso y cuidado de los cenotes, es que involucra a un gran número de personas dedicadas al turismo y que se trabaja colectivamente (más allá de cualquier organización específica) por prevenir el deterioro de la calidad del agua. De la misma forma, el uso de métodos alternativos de disposición de aguas residuales provee a los pobladores de mayores estrategias para disminuir los efectos de los sumideros. Si bien, como se mencionó, los *biodigestores* dan únicamente un tratamiento primario y deben estar acompañados de una capacitación adecuada para ser usados, es un primer paso para el desarrollo de equipamiento que dé pie a nuevas estrategias para la gestión de los efluentes.

Al igual que el uso de *biodigestores* y las *instituciones informales*, en el MCDA, las *estrategias de gestión pública* ocuparon una posición media de importancia en relación con la meta. A nivel estatal, además de la legislación existente, algunos de los programas más representativos son la Estrategia de Recuperación Integral de Cenotes y el protocolo y certificado de buenas prácticas sanitarias, iniciativa de la Secretaría de Fomento Turístico de Yucatán. También, los habitantes de Homún, reportaron la presencia constante de “personas de salubridad” que van a observar los cenotes y a revisar que todo cumpla con las regulaciones establecidas, pero no se pudo establecer a que institución o proyecto se asociaban. Por otro lado, un porcentaje de los entrevistados desconocía o negaba la existencia de cualquier tipo de apoyo relacionado con el agua.

Finalmente, el subcriterio que tuvo la mayor importancia fue la *acción colectiva*. La *acción colectiva*, en el caso de la comunidad de Homún, representó un parteaguas en muchos sentidos, por ejemplo, a nivel jurídico el fallo a favor de niñas y niños por la defensa del derecho al agua y a un medio ambiente sano, es un veredicto pocas veces visto en México. De igual forma, *la acción colectiva* impulsó un ejercicio de participación (la consulta pública) en donde fueron escuchadas las voces de los habitantes. También, derivado de la movilización de la población, se visibilizó un conflicto socioambiental que aqueja a varias localidades. Además, se promovió la comunicación, el acceso a la información y en general el fortalecimiento del capital social de la comunidad. Es por

ello, que la *acción colectiva* juega un papel fundamental en el desarrollo de las capacidades adaptativas frente a la contaminación de cenotes. No obstante, aunque este subcriterio sea el más importante, todos los elementos incluidos en el cúmulo de Acciones se complementan, pues uno solo no es suficiente para enfrentar el deterioro de la calidad del agua.

Vulnerabilidad socioambiental en Homún

En este apartado, se integran los componentes de la vulnerabilidad (exposición, sensibilidad y capacidades adaptativas) por medio de la discusión sobre cómo las interacciones, la presencia, la ausencia, la distribución y la movilización de los capitales identificados a lo largo del presente texto determinan la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero en Homún. Evaluar lo anterior, requiere conocer la variedad de factores que se han descrito, porque distintos tipos de alteraciones en el orden o las características que conforman el sistema pueden dar lugar a diferentes respuestas sociales. Pese a que la diversidad de elementos que componen este análisis es amplia, es un enfoque que abre la discusión acerca de cómo se configura la vulnerabilidad y las respuestas que esta desencadena.

En Homún se puede observar una estrecha relación del capital económico con el capital natural, pues parte importante de la población depende de la explotación turística de los cenotes. En ese sentido, la consolidación del capital económico representa una alternativa para la falta de empleos en la comunidad y refleja el camino que han tomado las estrategias gubernamentales en la zona sureste del país, donde la popularidad de Cancún y la Riviera Maya ha desatado un crecimiento exponencial del sector turismo. No obstante, la dependencia de esta actividad económica también ha conformado nuevas situaciones de vulnerabilidad. Al respecto, si bien la dinámica turística en Homún no corresponde a un turismo masivo, vale la pena preguntarse si éste realmente modifica las formas en las que los recursos se controlan. Y en consecuencia si estos recursos dan pie al desarrollo de alternativas de subsistencia, pues finalmente al existir la constante promoción y apoyo de las entidades gubernamentales a este sector, se

invisibilizan otras formas de ganarse la vida y se orilla a las poblaciones a optar por este tipo de actividad.

La diversificación de las actividades económicas, además de ser un factor institucional y económico, requiere del capital humano por medio del acceso a la educación. El acceso a este activo no sólo involucra la gratuidad de la educación, también se relaciona con la capacidad económica de las familias; si éstas no cuentan con los recursos para las necesidades básicas, difícilmente tendrán la capacidad de invertir en el capital humano. Además, el acceso a la educación se liga con el capital físico, pues la carencia de infraestructura y herramientas cercanas a los sitios de residencia es un factor que contribuye a la deserción escolar y por lo tanto a la disminución del desarrollo de capacidades y habilidades para disminuir la vulnerabilidad. Al respecto se puede decir que en Homún, pese a que hay dos instituciones de nivel media superior, el grado máximo de estudios es la secundaria, por lo que se deben analizar con mayor profundidad los motivos del abandono escolar para fortalecer este activo del capital humano.

Desde otra perspectiva, el capital cultural es otro de los capitales con mayor presencia en este tipo de relación de la naturaleza y la economía, ya que de éste depende desde cómo se formulan las políticas públicas (a nivel internacional, nacional y estatal) con el establecimiento de prioridades, hasta cómo un individuo se comporta en su entorno. Desde el punto de vista del capital económico y al considerar que el turismo de aventura, de naturaleza y de sol y playa son los principales atractivos, es interesante observar el fenómeno de la “disneyzación” y “folklorización”, ya que se vende un concepto de selva o un concepto de pueblos indígenas con el fin de satisfacer las expectativas de los visitantes. Por lo que es común observar a guerreros mayas que no necesariamente reflejan al indígena actual y que de manera ilusoria presentan lo “salvaje”, contribuyendo a una perspectiva colonial en donde predominan relaciones de dominación. Esta relación también se vincula con el capital político, ya que se refuerza también con el hecho de que parte importante de los prestadores de servicios turísticos son población indígena que tiene la necesidad de laborar en empleos (en ocasiones precarios) para servir a quienes cuentan con los recursos para disfrutarlos. En el caso

de Homún, la presencia del fenómeno de la “disneyzación” no es tan clara como en otros sitios de la península, pero como se discutió con el capital político, permanece un racismo estructural que vulnerabiliza también a los habitantes de este territorio.

Este racismo se manifiesta también con la selección de espacios para la instalación de industrias contaminantes creando una mayor vulnerabilidad sanitaria en las poblaciones que no cuentan con los activos para hacerles frente. Por ejemplo, en Homún, el abastecimiento de agua depende del acuífero, por lo que si éste se encuentra contaminado y causa daño a la salud, la atención médica que se brinda a nivel local podría no ser suficiente y el acceso a atención especializada es un escenario aún más alejado. Esto evidencia la importancia del análisis de los capitales comunitarios frente a la contaminación, pues se observa la sinergia del capital político, natural, humano (salud) y físico (infraestructura médica y de tratamiento de agua).

No obstante, en la comunidad, la degradación del capital natural significó un proceso de movilización del capital social en donde, como se observó con el MCDA, la acción colectiva fue uno de los elementos determinantes para evitar una mayor contaminación que pusiera en riesgo no sólo su capital humano sino también su capital económico. Asimismo, al movilizar los activos del capital social este se fortaleció y sirvió como insumo para un cambio en el acceso al poder y para la generación de iniciativas que refuerzan el capital humano como algunas de las acciones mencionadas con anterioridad. El poder del capital social también se observa en la creación y establecimiento de instituciones informales para la protección del capital natural y en la asociación con las entidades gubernamentales municipales para efectuar acciones conjuntas para el mismo fin. Por lo tanto, se puede afirmar que el capital social en el caso de Homún tiene un poder transformador que ha permitido reducir la vulnerabilidad socioambiental.

Por otro lado, así como el capital social fue el que más incidió en los procesos de mitigación de la contaminación, la ausencia de un capital físico adecuado a nivel local que busque aminorar los efectos del deterioro ambiental, provoca que este sea uno de los capitales con mayores deficiencias. Aunado al poco tratamiento de las aguas residuales, está, la ya discutida, escasa infraestructura sanitaria. La carencia de

módulos de atención a la salud es muy importante en un contexto de contaminación, pues como se describió en las secciones anteriores existe un gran número de amenazas que aunque no se presenten a nivel local tienen una magnitud de impacto a distintas escalas espaciales y temporales.

A modo de síntesis y retomando los elementos que cruzan entre capitales y vulnerabilidad que se han mencionado en líneas anteriores, la contaminación del agua debilita el capital económico a través de la disminución de ingresos, pero a la vez este fue un incentivo para la movilización del capital cultural y el capital social con la creación de organizaciones, el reforzamiento de prácticas tradicionales y el fortalecimiento de la cohesión social. Proceso que además incidió en el incremento del capital político, situación que tiene un efecto en la reducción de la vulnerabilidad socioambiental. De la misma forma, las condiciones del capital físico aumentan la vulnerabilidad socioambiental con la carencia de infraestructura adecuada para el tratamiento del agua residual, así como con la escasez de herramientas y espacios orientados a la salud pública. Así pues, la salud es un factor del capital humano que también influye en la vulnerabilidad de la población con el deterioro del capital natural.

CONCLUSIONES

La vulnerabilidad es un proceso dinámico que se construye y transforma a través de los capitales y se determina por la exposición, susceptibilidad y capacidad de adaptación. Por ello, en esta investigación se pretendió incorporar diversos elementos que amplíen la discusión acerca de este concepto y así se generen reflexiones que contribuyan al manejo sostenible del acuífero. Asimismo, se buscó la sinergia del análisis cualitativo y cuantitativo como alternativa para el estudio de los factores que más inciden en la contaminación del agua subterránea. Esta investigación también permitió corroborar los resultados de otras investigaciones y al incorporar elementos poco abordados, como la perspectiva de la comunidad y las acciones que han tomado frente a la contaminación, aporta al debate de la vulnerabilidad socioambiental en materia hídrica. Por ejemplo, el cómo la contaminación del acuífero si bien intensifica el estado de vulnerabilidad socioambiental de la comunidad en algunos aspectos también fortaleció la cohesión social y la acción colectiva.

Por otra parte, el uso del análisis multicriterio permitió fragmentar los componentes de un problema de decisión en partes pequeñas y analizarlos mediante comparaciones pareadas. No obstante, se encontró la dificultad de realizar comparaciones desequilibradas de elementos de un mismo cúmulo, por ejemplo la venta de terrenos versus los megaproyectos. Por lo que se propone que adicionalmente al AHP en futuros estudios se complemente la investigación con un ANP en donde se visualicen los subcriterios en forma de red.

La contaminación biológica en Homún, de acuerdo al MCDA, es la que más influencia tiene en el deterioro de la calidad del acuífero, donde actividades económicas como la industria pecuaria, factores político-institucionales como la descarga de aguas residuales y la falta de tratamiento de estas, así como el impulso a los megaproyectos y a la urbanización, son los factores identificados con mayor relevancia en esta problemática que tiene consecuencias en la salud pública, en el deterioro de los ecosistemas y en la pérdida de biodiversidad. Por su parte, la contaminación química también juega un papel importante en la degradación de la calidad del agua por medio de agroquímicos y contaminantes emergentes. Los RSU fueron los de menor influencia en la contaminación, pero se debe poner atención al correcto depósito de estos residuos para evitar la infiltración de sustancias nocivas al agua. Asimismo, se deben implementar mayores acciones dirigidas al reciclaje, reutilización y separación de los RSU, así como prestar atención al aumento en la capacidad de los basureros conforme al aumento de visitantes y habitantes de los municipios.

Acerca de la contaminación generada por la actividad pecuaria, aunque la percepción de los entrevistados se observa influenciada por el conflicto de la comunidad con el megaproyecto de la granja porcícola, la generación de desechos, la extracción de grandes volúmenes de agua y las consecuencias a los medios de vida de las comunidades son preocupaciones crecientes en Yucatán, por lo que se deben buscar estrategias que mitiguen el impacto ambiental del crecimiento de la industria porcina en el estado. Por ejemplo, mejorar la separación de las excretas de los cerdos en sólidos y líquidos para favorecer un tratamiento especializado para cada uno, la separación del agua residual cuando se apliquen hormonas o medicamentos para que estos no

generen contaminación química. Así como, el establecimiento de las granjas en sitios más idóneos como el suroeste del estado, la búsqueda de alimentos para los cerdos como plantas o semillas que se den en la región para aminorar el cambio de uso de suelo y el uso de agroquímicos que actualmente se da con la soya. A la vez que se deben fortalecer elementos esenciales del capital físico como la infraestructura para la disposición de aguas residuales, así como la calidad y cantidad de los servicios e insumos médicos en especial en las regiones aledañas a las granjas porcícolas. Aunado a ello, se deben incrementar los esfuerzos para la competencia justa en la producción y comercialización de carne de cerdo para evitar el acaparamiento de un solo grupo.

De igual forma, con respecto a la contaminación del turismo, debido al riesgo a la salud pública, es necesario generar las normativas necesarias para establecer los límites permisibles de microorganismos en áreas de uso recreativo, tomando en consideración la biodiversidad de ecosistemas como los cenotes. Asimismo, es necesario el fortalecimiento de los esfuerzos locales para la inspección y vigilancia continua en los cenotes. También, se debe recalcar el cumplimiento del reglamento antes de ingresar a estos espacios.

En el cúmulo político-institucional se identificó la descarga y saneamiento (tratamiento) de aguas residuales como el factor que más incide en el deterioro del acuífero, ya que la mayoría de los habitantes de Homún cuenta con fosas sépticas que en ocasiones no cumplen su función de filtración de las aguas residuales y estas logran traspasar al agua. En ese sentido, Yucatán ocupa el penúltimo lugar a nivel nacional en cuanto a cobertura de tratamiento de aguas residuales. Por lo que la descarga de efluentes debe ser un tema prioritario para la generación de estrategias de mitigación de la contaminación del agua subterránea. Igualmente, se debe prestar atención a la urbanización y a la creciente demanda de servicios básicos dado que el crecimiento del turismo en la zona de Homún y en general, en Yucatán, va en ascenso constante.

Sobre los capitales comunitarios, el capital económico se puede ver afectado por la contaminación por medio de la reducción de visitantes y consecuente reducción de ingresos de gran parte de los habitantes de Homún. En ese sentido, la dependencia de

la actividad económica del turismo podría configurar nuevos estados de vulnerabilidad, pues es una actividad fluctuante y que fomenta los empleos informales. También se perjudicarían otras actividades que dependen del abastecimiento de agua como la apicultura, la agricultura y la cría a pequeña escala de cerdos y aves. Los activos del capital físico son los que más deficiencias tienen, pues el sistema de descarga y saneamiento de agua potable es insuficiente para evitar las filtraciones de contaminantes al acuífero y no hay plantas de tratamiento disponibles en la región. Los espacios de depósito de RSU aunque se han rehabilitado recientemente deben seguir las disposiciones oficiales para evitar la degradación del suelo y del agua, así como poner atención en la evolución del crecimiento poblacional o de consumo y las actividades económicas para adecuar los tiraderos a las nuevas condiciones. Adicionalmente, se deben reforzar los sistemas de abastecimiento, ya que actualmente, pese a que Yucatán cuenta con el mayor número y volumen de extracción de agua en la península, prevalecen rezagos en la infraestructura para el abastecimiento doméstico. La extracción de grandes volúmenes de agua está asociada con la intrusión salina, lo que además de los daños al ecosistema y la biodiversidad, perjudicaría la obtención de agua potable y magnificaría la vulnerabilidad de las comunidades.

Por otra parte, en el capital político se exhibe una relación desigual al acceso al poder que refuerza las jerarquías raciales fomentando prácticas socio-políticas que producen zonas de sacrificio, por lo que se puede hablar de una necropolítica. A escala local, con las entrevistas se observó una preferencia hacia la participación de los grupos con mayor poder sobre los cenotes, lo que en términos de contaminación del agua podría provocar inequidades en las estructuras de poder que fragmenten y aislen a los sectores de la sociedad más vulnerables. Asimismo, se destaca la incorporación de niñas y niños en los procesos de toma de decisiones que involucran su futuro. Misma situación que debe atenderse por medio de la educación, activo del capital humano, pues esta fomenta el desarrollo de capacidades y habilidades. Ligado a ello está el acceso a la información y la capacitación no sólo en torno a la preservación del acuífero sino también en otras habilidades que permitan alternativas de subsistencia. Uno de los elementos esenciales del capital humano es la salud, pues el deterioro de esta a causa de la contaminación del agua subterránea puede ser un impedimento para invertir en el

resto de los capitales. Aunado a ello, no existen las condiciones de infraestructura e insumos para afrontar problemas de salud graves en Homún.

El agua subterránea, las cavernas y los cenotes son parte del capital natural que poseen los habitantes del municipio. Este capital, evidentemente, es el de mayor afectación con el deterioro de la calidad del agua, dado que el acuífero es la fuente de abastecimiento más importante en el estado, pero también, es el responsable de la existencia de los ecosistemas y es el hogar de muchas especies de plantas y animales de importancia económica. De igual forma, en Homún se debe prestar atención al cuidado de la biodiversidad, pues la fragmentación del ecosistema, la introducción de especies y el cambio en la cadena trófica podrían ocasionar un desequilibrio que derive en la transmisión de enfermedades entre especies, intensificando un panorama sanitario complejo que acrecienta la vulnerabilidad socioambiental.

En Homún el capital social se identificó como uno de los más importantes para hacer frente a la vulnerabilidad, ya que la comunidad al ver amenazados algunos de sus medios de vida, como el capital natural, inició la acción colectiva para la defensa de los cenotes, fortaleciendo y creando así nuevos vínculos entre la comunidad y otros grupos. Esta movilización también incentivó en algunos pobladores la recuperación de su identidad como indígenas mayas. En ese sentido, las prácticas tradicionales como el Jets Lu'um y las creencias que exhiben el respeto a los cenotes fueron los principales elementos identificados en el capital cultural. Del mismo modo, se reconoció que los efectos de la contaminación del agua subterránea sobre el capital social y cultural incluirían la fragmentación del tejido social, desplazamiento y pérdida de espacios de encuentro en donde se formen relaciones sociales, la pérdida de la identidad territorial y la desaparición o modificación de ceremonias y otras costumbres relacionadas con los cenotes.

Acerca de las capacidades adaptativas que conforman el estudio de la vulnerabilidad, se identificó que acciones como el mantenimiento, el uso de biodigestores, las instituciones informales, la educación ambiental, la creación de organizaciones y las estrategias de gestión pública, de acuerdo con los entrevistados, juegan un papel importante en la mitigación de la contaminación. Igualmente, se destacó la acción

colectiva como un parteaguas en la disminución de la vulnerabilidad en Homún. No obstante, aunque este subcriterio sea el más importante, todos los elementos incluidos en el cúmulo de Acciones del MCDA se complementan.

Respecto a la configuración de los capitales, el social fue el que más incidió en los procesos de mitigación de la contaminación, pero la ausencia de un capital físico adecuado a nivel local que busque aminorar los efectos del deterioro ambiental, provoca que este sea uno de los capitales con mayores deficiencias. Aunado a ello, el capital físico se liga con otros capitales a través de la infraestructura y el equipamiento por lo que es un elemento al que se le debe dar prioridad. En cuanto a las relaciones del capital económico con el resto, se recomienda para evitar la dependencia de una sola actividad y disminuir la vulnerabilidad, la diversificación de las actividades económicas a través de la mejora en la oferta de empleo y la remuneración justa. Además, profundizar en el capital humano y cultural por ejemplo, en el acceso a una educación que promueva el desarrollo de capacidades y habilidades y a la vez integre el conocimiento tradicional para formar así personas capaces de interpretar y transformar su entorno.

En tal sentido, es necesario invertir en la generación de espacios y adquisición de herramientas que faciliten el acceso a la información y a tecnologías que estimulen la creatividad para prevenir situaciones de vulnerabilidad o en su caso hacerles frente. Desde otra perspectiva, en el capital político, para transformar las relaciones de dominación se necesita una reforma estructural que reconozca las desigualdades y brinde alternativas respetando la multiculturalidad. Adicionalmente, el empoderamiento de la identidad cultural (capital cultural) podría recuperar los conocimientos tradicionales y con ello, revalorizar la importancia del agua y de los cenotes (capital natural).

La caracterización de la vulnerabilidad socioambiental ante la contaminación del agua de los cenotes en el municipio de Homún, permitió identificar los factores ambientales, socioculturales, político-institucionales y económicos, así como la afectación a los capitales comunitarios y las acciones que se han emprendido para mitigarla. Lo que posibilita a través de un estudio integral elementos que contribuyen a las reflexiones sobre el manejo sostenible de los cenotes y los efectos del deterioro de la calidad del

agua en comunidades como Homún que dependen completamente de este recurso tanto para el abastecimiento, como para el desarrollo de sus medios de vida. Asimismo, la descripción de varios elementos que componen la vulnerabilidad provee una visión que posibilita la generación de estrategias para fortalecer los capitales y reducir la vulnerabilidad.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Duarte, Y., Bautista, F., Mendoza, M. E., Frausto, O., Ihl, T., & Delgado, C. (2016). IVAKY: Índice de la vulnerabilidad del acuífero kárstico yucateco a la contaminación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15(3), 913–933.
- Alcayna-Stevens, T. (2015). *Slum socio-ecology: An exploratory characterisation of vulnerability to climate-change related disasters in the urban context*. Universidad de Oviedo.
- Alcocer, J., Lugo, A., Sánchez, M., & Escobar, E. (1999). Contaminación del agua subterránea en la península de Yucatán, México. *Imagen Veterinaria*, 41.
- André-Aparecido, A. (2021). *Acceso a la salud y vulnerabilidad socioambiental en tiempos de pandemia de coronavirus* [Maestría]. Universidad Jaume I.
- Antochiw, M. (1999). Mitos y leyendas de los cenotes de Yucatán. En *Cenotes y grutas de Yucatán* (pp. 16–29). Compañía Editorial de la Península.
- Arias, M. (2011). Hacia un constructivismo realista: De la naturaleza al medio ambiente. *ISEGORÍA. Revista de Filosofía Moral y Política*, 44, 285–301.
- Ávila-García, P. (2008). Vulnerabilidad socioambiental, seguridad hídrica y escenarios de crisis por el agua en México. *Ciencias*, 90, 46–57.
- Aznar, J., & Guijarro, F. (2020). *Nuevos métodos de valoración. Modelos multicriterio*. Editorial Universitat Politècnica de València.
- Baños, O. (2000). La península de Yucatán en la ruta de la modernidad (1970-1995). *Revista Mexicana del Caribe*, 5(9), 164–190.
- Baumann, P., & Sinha, S. (2001). Linking development with democratic processes in India: Political capital and sustainable livelihoods analysis. *ODI. Natural Resource Perspectives*, 68, 1–4.
- Bausch, J., Bojórquez-Tapia, L. A., & Eakin, H. (2014). Agro-environmental sustainability assessment using multicriteria decision analysis and system analysis. *Sustainability Science*, 9, 303–319.
- Bautista, F., Aguilar, Y., & Batllori, E. (2011). Amenazas, vulnerabilidad y riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en la Península de Yucatán. *Teoría y praxis*, 9, 9–31.
- Bautista, F., Aguilar, Y., & Gijón-Yescas, G. (2022). Las granjas porcinas en zonas de karst: ¿Cómo pasamos de la contaminación a la sustentabilidad? *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(93), 1–23.
- Bebbington, A. (1999). Capitals and Capabilities: A Framework for Analyzing Peasant Viability, Rural Livelihoods and Poverty. *World Development*, 27(12), 2021–2044.
- Becerra, M., Sáinz, J., & Muñoz, C. (2006). Los conflictos por agua en México. Diagnóstico y análisis. *Gestión y Política Pública*, 15(1), 111–143.
- Bernache, G. (2012). Riesgo de contaminación por disposición final de residuos. Un estudio de la región centro occidente de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(1), 99–107.

- Binder, C., Hinkel, J., Bots, P. W. G., & Pahl-Wostl, C. (2013). Comparison of Frameworks for Analyzing Social-ecological Systems. *Ecology and Society*, 18(4), 26.
- Blaikie, P., Cannon, T., David, I., & Wisner, B. (1996). *Vulnerabilidad. El entorno social, político y económico de los desastres* (1a ed.). Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina.
- Blanco, R., Enseñat, F., & Mondragón, J. (2019). La capacidad de carga psicosocial del turista: Instrumento de medición para el desarrollo sostenible en la turistificación de los cenotes. *Cuadernos de Turismo*, 43, 169–186.
- Bleakley, H. (2010). Health, Human Capital and Development. *Annual Review of Economics*, 2(1), 283–310.
- Bojórquez-Tapia, L. A., Hernández-Aguilar, B., Martínez, A., & Siqueiros-García, M. (2016). *Mental model and networks-based methodologies for the development of AHP/ANP structures*. 4.
- Bojórquez-Tapia, L. A., Juárez-Marusich, L., & Cruz-Bello, G. (2002). Integrating Fuzzy Logic, Optimization and GIS for Ecological Impact Assessments. *Environmental Management*, 30(3), 418–433.
- Bojórquez-Tapia, L. A., Luna-González, L., Cruz-Bello, G., Gómez-Priego, P., Juárez-Marusich, L., & Rosas-Pérez, I. (2011). Regional environmental assessment for multiagency policy making: Implementing an environmental ontology through GIS-MCDA. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 38, 539–563.
- Bojórquez-Tapia, L. A., Sánchez-Colon, S., & Flores, A. (2005). Building Consensus in Environmental Impact Assessment Through Multicriteria Modeling and Sensitivity Analysis. *Environmental Management*, 36(3), 469–481.
- Bolio, E. R., Cabrera, S., Bautista, F., & Pacheco-Ávila, J. (2011). Aplicación de la metodología EPIK para establecer la vulnerabilidad del agua subterránea en el estado de Yucatán. *Teoría y praxis*, 9, 55–72.
- Bolio, J. (2014). Mérida metropolitana. Evolución histórica y rasgos actuales-una perspectiva urbana-. En R. López & L. Ramírez (Eds.), *Crecimiento urbano y cambio social: Escenarios de transformación de la zona metropolitana de Mérida* (Primera, pp. 21–61). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Burgos, L., & Ortiz, R. (2022). Precariedad laboral con enfoque de género en Yucatán. En M. Mora, S. Serrano, & E. Mota, *Reconfigurando territorios a partir de la cultura, el empoderamiento de las mujeres y nuevos turismo* (Vol. 4, pp. 289–298). UNAM-AMECIDER.
- Burton, I., Malone, E., & Huq, S. (2005). *Marco de políticas de adaptación al cambio climático: Desarrollo de estrategias, políticas y medidas* (B. Lim & E. Spanger-Siegfried, Eds.; Primera). PNUD.
- Carrquiriborde, I. (2012). La estructura de vulnerabilidad y el escenario de un gran desastre. *Investigaciones Geográficas*, 77, 75–88.
- Castillo, T., Carrillo, C., Echeverría, R., & Fuentes, J. (2012). Cohesión social y ordenamiento ecológico en un municipio rural del sureste mexicano. *Psicoperspectivas. Individuo y Sociedad*, 11(1), 53–81.
- CEPAL. (2001). *Seminario internacional sobre las diferentes expresiones de la vulnerabilidad social en América Latina y el Caribe* (p. 28) [Informe de la Reunión de Expertos]. Naciones Unidas.
- CEPAL. (2010). *Cohesión social en América Latina. Una revisión de conceptos, marcos de referencia e indicadores*. Naciones Unidas.
- CEPAL. (2016). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe* (1er ed.). Naciones Unidas.

- CEPAL. (2020). *Evaluación de los efectos e impactos de la pandemia de COVID-19 sobre el turismo en América Latina y el Caribe: Aplicación de la metodología para la evaluación de desastres (DaLA)*. Naciones Unidas.
- Cervantes-Pichardo, A. (2019). *Análisis interdisciplinario de los procesos de contaminación del agua subterránea en el noreste de Yucatán* [Licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Chacón, L. (2021a, junio 18). Las granjas de cerdos que incomodan en Kinchil: “Huele a Kekén, huele a mierda”. *Voces libres*. <https://voceslibres.mx/yucatan/las-granjas-de-cerdos-que-incomodan-en-kinchil-huele-a-keken-huele-a-mierda/>
- Chacón, L. (2021b, junio 19). Yucatán: Kekén disfraza monopolio de granjas porcícolas en pequeños criaderos. *Por Esto*.
- Chambers, R., & Conway, G. (1991). Sustainable rural livelihoods: Practical concepts for the 21st century. *IDS discussion paper*, 296.
- Chavez, A. (2015). Why way out of poverty? The Human Capital versus Human Capabilities approaches. *MASKANA*, 6(1), 19–25.
- Chávez, M., Eastmond, A., & Güémez, M. (2012). El agua en la cosmología maya yucateca a través del tiempo. *Ketzalcalli*, 1, 87–119.
- CIJ. Centro de Integración Juvenil. (2018). *Diagnóstico del consumo de drogas del área de influencia de los CIJ Mérida y CIJ Yucatán*. Estudio básico de comunidad objetivo. <http://www.cij.gob.mx/ebco2018-2024/9931/9931CD.html>
- Cobos, V., Navarro, J., & Rendón, O. (2014). Plaguicidas organoclorados: Contaminantes persistentes en cenotes de Yucatán. *Bioagrociencias*, 7(1), 24–27.
- CONAFOR. (2021). *Deforestación*. <https://snmf.cnf.gob.mx/deforestacion/>
- CONAGUA. (2021). *Programa Hídrico Regional 2021-2024. Región Hidrológico-Administrativa XII Península de Yucatán*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONANP. (2022). *Península de Yucatán y Caribe Mexicano*. https://simec.conanp.gob.mx/ficha_region.php?id_reg=9
- Cubas-Atienzar, A., Hide, G., Jiménez-Coello, M., Ortega-Pacheco, A., & Smith, J. (2018). Genotyping of *Toxoplasma gondii* from pigs in Yucatan, Mexico. *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports*, 14, 191–199.
- da Rocha, H. (2016). La multiterritorialización del conflicto de las hidroeléctricas: Los reasentamientos como puntos de empoderamiento del movimiento de los afectados por represas. *Estudios sociológicos*, 34(102), 567–602.
- de Miguel, T. (2022, junio 23). La lucha contra las granjas porcícolas de Yucatán toca las puertas de la Suprema Corte. *El país*. <https://elpais.com/mexico/2022-07-23/la-lucha-contra-las-granjas-porcicolas-de-yucatan-toca-a-las-puertas-de-la-suprema-corte.html>
- DFID. (1999). *Sustainable livelihoods guidance sheets*. Departamento para el Desarrollo Internacional.
- Díaz-Bravo, L., Torruco-García, U., Martínez-Hernández, M., & Varela-Ruiz, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Investigación en Educación Médica*, 2(7), 162–167.
- Domínguez, A. (2013). *La concepción maya del cenote y sus características geográficas a través de la iconografía del Códice de Madrid*. 10.
- Dytczak, M., & Ginda, G. (2011). *Principles and applications of AHP/ANP-based multiple MCDA methods approach*. 6.
- Eakin, H., & Bojórquez-Tapia, L. A. (2008). Insights into the composition of household vulnerability from multicriteria decision analysis. *Global Environmental Change*, 18, 112–127.
- Eakin, H., Bojórquez-Tapia, L. A., Monterde, R., Castellanos, E., & Hagggar, J. (2011). Adaptive Capacity and Social-Environmental Change: Theoretical and Operational Modeling of

- Smallholder Coffee Systems Response in Mesoamerican Pacific Rim. *Environmental Management*, 47, 352–267.
- Eakin, H., & Luers, A. (2006). Assessing The Vulnerability Of Social-Environmental Systems. *The Annual Review of Environment and Resources*, 31(1), 365–394.
- EEA. European Environment Agency. (2020). *Protecting, conserving an enhancing natural capital*. <https://www.eea.europa.eu/soer/2015/synthesis/report/3-naturalcapital>
- El Universal. (2021, agosto 6). El conflicto con Bonafont en Puebla es un tema de gobernabilidad, responde Conagua. *El Universal Puebla*. <https://www.eluniversalpuebla.com.mx/estado/el-conflicto-con-bonafont-en-puebla-es-un-tema-de-gobernabilidad-responde-conagua>
- Ellis, E., Hernández-Gómez, I., & Romero-Montero, J. (2017). Los procesos y causas del cambio en la cobertura forestal de la Península de Yucatán, México. *Ecosistemas*, 26(1), 101–111.
- Emery, M., & Flora, C. (2006). Spiraling-Up: Mapping Community Transformation with Community Capitals Framework. *Journal of the Community Development Society*, 37(1).
- Enciso, A. (2021, mayo 23). Clausura de paradores turísticos en Yucatán, claro acto de represalia. *La Jornada*. <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/05/23/estados/yucatan-coloca-sellos-de-suspension-en-granja-porcicola/>
- Escamilla, R. (2020). Turismo y dependencia en México: El trabajo en las ciudades turísticas de Quintana Roo. *Península*, 15(2), 31–54.
- Espadas, C., Reyes-García, C., & Carrillo-Niquete, G. (2021). La expansión urbana de Mérida, la de Yucatán, México y su contribución al cambio climático. *Desde el Herbario CICY*, 13, 232–238.
- Esparcia, J., Escribano, J., & Serrano, J. (2016). Una aproximación al enfoque del capital social y a su contribución al estudio de los procesos de desarrollo local. *Investigaciones Regionales*, 34, 49–71.
- Evia, C. A. (2009, agosto 2). Cenotes y grutas de Homún. *Unicornio*, 3–4.
- FEA, CEMDA, & Presencia Ciudadana Mexicana. (2006). *El agua en México: Lo que todas y todos debemos saber* (1er ed.).
- Feito, L. (2007). Vulnerabilidad. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 30(3), 7–22.
- Fernández, A. (2012). El agua: Un recurso esencial. *Química viva*, 3, 147–170.
- Fernández, A., Figueroa, M., Medina, A., & Pacheco, M. (2020). Migración interna y dinámicas laborales en la industria turística de la Riviera Maya, Quintana Roo, México. *ABRA*, 40(60).
- Ferreti, M., & Arreóla, M. (2013). Del tejido urbano al tejido social: Análisis de las propiedades morfológicas y funcionales. *Nova Scientia*, 5(9), 98–126.
- Flebes-Patrón, J., & Hoogesteijn, R. (2008). Análisis del Marco Legal para la Protección del Agua Subterránea en Mérida, Yucatán. *Ingeniería*, 12(3), 71–79.
- Flora, C., Flora, J., & Fey, S. (2004). *Rural communities: Legacy and change*. Westview Press.
- Flores, A., & Deniau, Y. (2019). *El megaproyecto para la península de Yucatán*. Geocomunes. http://geocomunes.org/Analisis_PDF/AnalisisGeneralYucatan.pdf
- Frutos, M., Martínez, R., Solano, E., & Núñez, E. (2020). Vulnerabilidad socioambiental ante desastres naturales: El caso de la región Laguna de Términos en Campeche. En *Gobernanza y Manejo de las Costas y Mares ante la Incertidumbre. Una Guía para Tomadores de Decisiones* (pp. 449–475). RICOMAR y Universidad Autónoma de Campeche.
- Garmendia, X. (2012). Análisis de las competencias federal, estatal y municipal de las aguas nacionales. Pasado, presente y futuro del agua en México. Una propuesta de reforma constitucional. *Revistas Jurídicas*, 96.

- Garrido, A., Cuevas, M. L., Cotler, H., González, D. I., & Tharme, R. (2010). Evaluación del grado de alteración ecohidrológica de los ríos y corrientes superficiales de México. *Investigación ambiental. Ciencia y política pública*, 2(1), 25–46.
- Gijón-Yescas, G. (2007). *Análisis espacial de la vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación en el estado de Yucatán, México* [Maestría]. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Gil, M., Soto, A., Usma, J., & Gutiérrez, O. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción+Limpia*, 7(2), 52–73.
- Gobierno Estatal de Yucatán. (2022). *Homún*. Municipios de Yucatán. https://www.yucatan.gob.mx/estado/ver_municipio.php?id=36
- González, R., Albornoz, B., Sánchez, I., & Osorio, J. (2018). El Acuífero Yucateco. Análisis del Riesgo de Contaminación con Apoyo de un Sistema de Información Geográfica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(4), 667–638.
- González, R., Rodríguez, R., & Coronado, V. (2007). Atenuación natural en el acuífero yucateco. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 23(1), 5–15.
- González, R., & Vega, R. (2002). Materiales de suelos de Yucatán factibles de utilizarse como cubierta en sitios de disposición de desechos sólidos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 18(2), 57–66.
- González-Herrera, R., & Rodríguez-Castillo, R. (2006). Contaminación del acuífero yucateco por lixiviado de residuos municipales. *Climate Variability and Change—Hydrological Impacts*, 308, 635–640.
- González-Herrera, R., Sánchez-y-Pinto, I., & Gamboa-Vargas, J. (2002). Groundwater-flow modeling in the Yucatan karstic aquifer, Mexico. *Hydrogeology Journal*, 10, 539–552.
- Greenpeace. (2020). *La carne que está consumiendo al planeta* (p. 44).
- Greenpeace México. (2022, abril 20). *Un nuevo triunfo: Mega granja porcícola de Homún se mantiene cerrada*. Greenpeace. <https://www.greenpeace.org/mexico/noticia/50747/un-nuevo-triunfo-mega-granja-porcicola-de-homun-se-mantiene-cerrada%EF%BF%BC/>
- Hans-Martin, F. (2007). Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change*, 17, 155–167.
- Hernández, R. A., Martínez, L. M., Peñuela-Arévalo, L. A., & Rivera-Reyes, S. (2019). Gestión del agua subterránea en los acuíferos de la cuenca del río Ayuquila-Armería en Jalisco y Colima, México. *Región y Sociedad*, 31, 26.
- Hernández-Aguilar, B., & Reyes-Jaime, A. (2022, junio 5). Seguridad alimentaria desde la sostenibilidad: El caso de las granjas porcícolas en Yucatán. *La Jornada*. <https://www.lajornadamaya.mx/opinion/196936/seguridad-alimentaria-desde-la-sostenibilidad-el-caso-de-las-granjas-porcicolas-en-yucatan>
- Hernández-Marquez, E. (2017). *Plaguicidas organoclorados en sedimentos y biomarcadores en Gambusia yucatanana en cuerpos de agua de Yucatán México: Aplicaciones para manejo ambiental* [Licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Herros-Salgado, A. (2018). *Comunidades bacterianas y contaminación por coliformes en pozos profundos de Hunucmá, Yucatán* [Licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hoogesteijn, R., Febles-Patrón, J. L., & Nava-Galindo, V. (2015). La contaminación fecal en cenotes de interés turístico y recreacional del estado de Yucatán. *Ingeniería*, 19(3), 169–175.
- Huerta, A. (2022). *Vulnerabilidad hídrica en las alcaldías de la Ciudad de México ante la escasez de agua* [Doctorado]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ibarra, L. (2016). Concentración de mercados, colusión y bienestar social en México. Una revisión metodológica. *El trimestre económico*, 83(331), 493–523.

- Iliffe, T. (1993). Fauna Troglobia Acuática de la Península de Yucatán. En S. I. Salazar-Vallejo & N. E. González (Eds.), *Biodiversidad Marina y Costera de México* (pp. 673–686). Comisión Nacional de Biodiversidad y CIQRO.
- IMPM. (2021). *Sistemas urbanos de drenaje pluvial sostenible para Mérida*. https://isla.merida.gob.mx/serviciosinternet/ordenamientoterritorial/docs/propuesta_SUD S.pdf
- INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Homún, Yucatán*.
- INEGI. (2019). *Censos Económicos*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/>
- INEGI. (2020). *Censo de Población y Vivienda*. Data México. <https://datamexico.org/es/profile/geo/homun#Industrias>
- INEGI. (2021). *Salud mental*. <https://www.inegi.org.mx/temas/salud/>
- INEGI. (2022). *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENOE)*. <https://www.inegi.org.mx/programas/enoe/15ymas/>
- Kaztman, R. (1999). *Activos y Estructura de Oportunidades: Estudios sobre vulnerabilidad social en Uruguay* (1a ed.). CEPAL-PNUD.
- Kaztman, R. (2007). La calidad de las relaciones sociales en las grandes ciudades de América Latina. *Pensamiento Iberoamericano*, 1, 177–205.
- Khafash, L. (2016). *Disneyzación, parques temáticos y cultura corporativa en el capitalismo terciario: Experiencias Xcaret, Riviera Maya (México)* [Tesis doctoral]. Universidad Complutense de Madrid.
- Kılıç, Z. (2020). The importance of water and conscious use of water. *International Journal of Hydrology*, 4(5), 239–241.
- Lagunes-Rodríguez, D. (2020). *Vulnerabilidad de las unidades de producción de café ante el cambio climático en el estado de Chiapas* [Licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Landry, K., McAnany, P., & Batún, A. (2021). Decolonizing the classroom an centering the biocultural heritage of cenotes in Yucatán, México. *The Mayanist*, 3(1), 19–38.
- Linding, E., & Villegas, A. (2019). Vulnerabilidad, violencia y política. *Acta poética*, 40(2), 27–38.
- López, C., Zambrano, L., Ruíz, R., Guzmán, M., Pérez, R., Sandoval, R., Hatch, G., Pineda, N., Pacheco-Vega, R., & Caldera, A. (2017). *El agua en México: Actores, sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica* (1er ed.). Fundación Friedrich Ebert.
- López-Fabila, A. (2020). Agroextractivismo y racismo ambiental: La industria porcícola en el estado de Yucatán. *Geopauta*, 4(4), 93–112.
- López-Maldonado, Y., & Berkes, F. (2017). Restoring the environment, revitalizing the culture: Cenote conservation in Yucatan, Mexico. *Ecology and Society*, 22(4), 14.
- López-Monzalvo, M. L. (2017). *Los servicios ecosistémicos como estrategia para la valoración del agua subterránea de la Reserva Geohidrológica del Anillo de Cenotes, Yucatán* [Maestría]. Centro de Investigación Científica de Yucatán.
- Lozano, L. & EF Península. (2018, noviembre 4). De qué se trata el conflicto de la granja porcícola en Homún. *El Financiero*. <https://www.elfinanciero.com.mx/peninsula/de-que-se-trata-el-conflicto-de-la-granja-porcicola-en-homun/>
- Luque, D., Murphy, A., Jones, E., Martínez-Yrizar, A., Búrquez, A., Manrique, T., & Esquer, D. (2019). *Río Sonora: El derrame de la Mina Buenavista del Cobre-Cananea, 2014* (1er ed.). Ave Editorial.
- Macias-Macias, J., Tapia-Gonzalez, J., Contreras-Escareño, F., Guzman-Novoa, E., Medina-Flores, C., & Mora-Peña, A. (2018). El efecto de los agroquímicos sobre las abejas melíferas (*Apis mellifera*) y su relación con el síndrome del colapso de las colonias.

- Avances de la Investigación sobre producción animal y seguridad alimentaria en México*, 161–170.
- MacSwiney, M. (2010). Murciélagos. En R. Durán & M. Méndez (Eds.), *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán* (1er ed., p. 496). CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA.
- Marín, G. (2010). Turismo, globalización y mercantilización del espacio y la cultura en la Riviera Maya: Un acercamiento a tres escenarios. En *Etnia, lengua y territorio. El sureste ante la globalización* (Primera, pp. 17–57).
- Marín, G., & García, A. (2012). Introducción. En G. Marín, A. García, & M. Daltabuit (Eds.), *Turismo, globalización y sociedades locales en la península de Yucatán, México* (Vol. 4, pp. 1–17). PASOS, Revista de Turismo y Patrimonio cultural.
- Martínez-Trejo, J. (2018). *Análisis bianual de hidrocarburos en el anillo de cenotes, Yucatán* [Maestría]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Méndez, D., Arancibia, E., & Giraldo, M. (2020). *Métodos de investigación social para estudios socioambientales. El proceso de la investigación*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Méndez, R., Castillo, E., Vázquez, E., Briceño, O., Coronado, V., Pat, R., & Garrido, P. (2009). Estimación del potencial contaminante de las granjas porcinas y avícolas del estado de Yucatán. *Ingeniería*, 13(2), 13–21.
- Merchán-Carreño, E., Campozano-Pilay, Y., & Figueroa-Morán, G. (2020). El manejo de los desechos tecnológicos y su impacto ambiental. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria de Ciencias de la Salud. Salud y Vida*, 4(7).
- Merino-Benítez, T., Grave, I., & Bojórquez-Tapia, L. (2020). *AHP- Based Social Vulnerability Index For Small Fisheries In Yucatan, Mexico*. International Symposium of the Analytic Hierarchy Process, Web Conference.
- Merlos-Riestra, R. (2019). *Propuesta de indicadores y estrategias para el manejo de cenotes con uso turístico en Yucatán* [Licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Metcalfe, C., Beddows, P., Gold, G., Metcalfe, T., Li, H., & Van Lavieren, H. (2011). Contaminants in the coastal karst aquifer system along the Caribbean coast of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Environmental Pollution*, 159, 991–997.
- Miller, T. R. (2013). Constructing sustainability science: Emerging perspectives and research trajectories. *Sustainability Science*, 8, 279–293.
- Morales-Pérez, D. (2021). *Cuantificación de contaminantes y análisis de diversidad de zooplancton en aguas subterránea de la Península de Yucatán* [Maestría]. Centro de Investigación Científica de Yucatán.
- Morsut, C., Kuran, C., Kruke, B., Orru, K., & Hansson, S. (2022). Linking resilience, vulnerability, social capital and risk awareness for crisis and disaster research. *Journal of Contingencies an Crisis Management*, 30(2), 137–147.
- Moser, C. (1998). The Asset Vulnerability Framework: Reassessing Urban Poverty Reduction Strategies. *World Development*, 26(1), 1–19.
- Murillo, E. (2021, mayo 20). Ordena la SCJN frenar construcción de granja porcícola en Yucatán. *La Jornada*, 29.
- Nava, V. (2015). *Percepción, Conocimiento Local y Descripción de la Calidad del Agua de Cenotes de Inter Turístico y Recreacional* [Tesis de Maestría]. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.
- Navarro, D., Vallejo, I., & Navarro, M. (2020). Análisis de la vulnerabilidad social a los riesgos naturales mediante técnicas estadísticas multivariantes. *Investigaciones Geográficas*, 74, 29–49.
- OMS. (2022). *Agua*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- ONU. (2014). *El derecho humano al agua y al saneamiento*. Decenio del Agua. https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml

- Osorio, J., & Orejuela, J. (2008). El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación. *Scientia et Technica*, 39, 247–252.
- Pacheco, J., Cabrera, A., & Marín, L. E. (2000). Bacteriological contamination in the karstic aquifer of Yucatán, Mexico. *Geofísica Internacional*, 39(3), 285–291.
- Pacheco, J., Cabrera, A., & Pérez, R. (2004). Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán, México. *Ingeniería*, 8(2), 165–179.
- Pacheco-Vega, R. (2014). Conflictos intratables por el agua en México: El caso de la disputa por la presa El Zapotillo entre Guanajuato y Jalisco. *Argumentos (México, D.F.)*, 27(74), 219–257.
- Pacto Global. (2019). *La relación entre las empresas y los ODS*. Conecta. Impulsando la Agenda 2030. <https://pactoglobal.cl/2019/la-relacion-entre-las-empresas-y-los-ods/>
- Parra, F., Martín, E., & Navarrete, R. (2016). *Análisis del comportamiento ambiental y social de la industria de la confección de Tekit, Yucatán*. 21° Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México.
- Peña, A. (2007). Una perspectiva social de la problemática del agua. *Investigaciones Geográficas*, 62, 125–137.
- Peña, J. (2012). *Crisis del agua: En Monterrey, Guadalajara, San Luis Potosí, León y la Ciudad de México (1950-2010)* (1er ed.). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pérez-Ceballos, R., & Pacheco-Ávila, J. (2004). Vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación por nitratos en el estado de Yucatán. *Ingeniería*, 8(1), 33–42.
- Pizarro, R. (2001). *La vulnerabilidad social y sus desafíos: Una mirada desde América Latina*. CEPAL.
- PNUD. (2006). *Informe sobre Desarrollo Humano 2006. Más allá de la escasez: Poder, pobreza y la crisis mundial del agua* (p. 422). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Polanco, A., Magaña, T., Cetz, J., & Quintal, R. (2019). Uso de agroquímicos cancerígenos en la región agrícola de Yucatán, México. *Centro Agrícola*, 46(2), 72–83.
- Polanco, A., Navarro, A., Solorio, J., Mena, G. J., Marrufo, J., & Del Valls, T. A. (2015). Contamination by organochlorine pesticides in the aquifer of the Ring of Cenotes in Yucatán, México. *Water an Enviroment Journal*, 29, 140–150.
- Polanco-Rodríguez, Á., & Araujo, A. (2021). Contaminación del agua en el Anillo de Cenotes: Escenario sociocultural, ambiental y político. En F. Árcega, P. Robledo, G. Rodríguez, & J. Durán, *Los ojos de Yucatán. Una ventana al mundo subterráneo* (1a ed., pp. 260–274). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pradilla, A. (2020). Espacios naturales ocupados y agua contaminada: Las irregularidades de las granjas porcícolas en Yucatán. *Animal Político*. <https://www.animalpolitico.com/2020/05/irregularidades-granjas-porcicolas-yucatan-greenpeace/>
- Rankeando. (2021). *Homún, Yucatán*. <https://rankeando.com/>
- Rendón, J. (2016). *Contaminación de cenotes con plaguicidas en la Península de Yucatán* (p. 13). Instituto EPOMEX. Universidad Autónoma de Campeche.
- Renwei, H., Fang, F., & Liu, Y. (2019). Influence of human capital on the livelihood strategy of farming households in poor mountainous areas: A case study of Liangshan Yi Autonomous Prefecture of Sichuan, China. *Progress in Geography*, 38(9), 1282–1893.
- Ríos-Contreras, K. (2020). *Los microorganismos como indicadores de la calidad ambiental en cuerpos de agua de uso turístico en la Península de Yucatán: Una propuesta de manejo en el contexto de la política ambiental* [Licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Rivera, A. R., & 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.
- Rivera-González, O. (2021). Factores generadores de la disminución del turismo y afectaciones posteriores, zona costera Acapulco, México. *Revista Geográfica de América Central*, 67, 242–274.
- Rodríguez, J. (2001). *Vulnerabilidad y grupos vulnerables: Un marco de referencia conceptual mirando a los jóvenes*. CEPAL.
- Rodríguez-Huerta, E., Rosas-Casals, M., & Hernández-Terrones, L. (2019). Water societal metabolism in the Yucatan Peninsula. The impact of climate change on the recharge of groundwater by 2030. *Journal of Cleaner Production*, 235, 272–287.
- Rojas, A. A. (2021). *Discurso gubernamental sobre vulnerabilidad en las políticas de cambio climático de Perú* [Maestría]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Román-Hernández, U. (2018). *Vulnerabilidad socioambiental de pobladores rurales del ejido cerro de Tumilco en Tuxpan, Veracruz, frente a eventos de cambios, riesgos y amenazas* [Maestría]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rosiles-González, G., Ávila-Torres, G., Moreno-Valenzuela, O., Acosta-González, G., Leal-Bautista, R. M., Grimaldo-Hernández, C., Brown, J., Chaidez-Quiroz, C., Betancourt, W., Gerba, C., & Hernández-Zepeda, C. (2017). Occurrence of Pepper Mild Mottle Virus (PMMoV) in Groundwater from a Karst Aquifer System in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Food and Environmental Virology*, 9, 487–497.
- Ruiz, N. (2012). La definición y medición de la vulnerabilidad social. Un enfoque normativo. *Investigaciones Geográficas*, 77, 63–74.
- Saaty, R. (1987). The Analytic Hierarchy Process – What It Is and How It Is Used. *Mathematical Modelling*, 9(3–5), 161–176.
- Saaty, T. (2001). Analytic hierarchy process. En *Encyclopedia of Operations Research and Management Science* (1er ed., pp. 19–28). Springer.
- Salazar, J. (2019). Continúa el fecalismo al aire libre en Yucatán. *SIPSE*. <https://sipse.com/novedades-yucatan/fecalismo-aire-libre-yucatan-340079.html>
- Schmitter-Soto, J., Escobar-Briones, E., Alcocer, J., Suárez-Morales, E., Elías-Gutiérrez, M., & Marín, L. (2002). Los cenotes de la Península de Yucatán. En G. De La Lanza & J. L. García (Eds.), *Lagos y presas de México* (Primera, pp. 337–381). AGT Editor.
- Schroeder, D., & Gefenas, E. (2009). Vulnerability: Too Vague and Too Broad? *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics*, 18, 113–121.
- Scoones, I. (1998). Sustainable Rural Livelihoods: A Framework for Analysis. *IDS Working Paper*, 72. <https://www.ids.ac.uk/publications/sustainable-rural-livelihoods-a-framework-for-analysis/>
- Scoones, I. (2009). Livelihoods perspectives and rural development. *Journal of Peasant Studies*, 36(1).
- SDG. (2017). *Estudio de caso: Gestión del agua y saneamiento con una perspectiva de género* (p. 8). Fondo para los Objetivos de Desarrollo Sostenible.
- SDS. (2019). *Saneamiento y rehabilitación del sitio de disposición final del municipio de Homún*. Residuos Sólidos. https://sds.yucatan.gob.mx/residuos-solidos/documentos/sanamiento_sdfsu_homun.pdf
- SDS. Secretaría de Desarrollo Sustentable. (2018). *Sistema de Áreas Naturales Protegidas del Estado de Yucatán (SANPY)*. <https://sds.yucatan.gob.mx/areas-naturales/sanpy.php>
- Secretaría de Bienestar. (2022). *Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2022*.
- SEFOTUR. (2022). *Estadísticas de turismo*.

- SEMARNAT. (2016). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde*. (p. 498). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SINA. (2020). *Cobertura de acceso al agua por municipio*. Sistema Nacional de Información del Agua. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=coberturaUniversal>
- Smith, D. N. I., Ortega-Camacho, D., Acosta-González, G., Leal-Bautista, R. M., Fox III, W. E., & Cejudo, E. (2020). A multi-approach assessment of land use effects on groundwater quality in a karstic aquifer. *Heliyon*, 6, 1–11.
- Soares, D., Gutiérrez-Montes, I. A., Romero-Pérez, R., López-Mera, R., Rivas-Platero, G., & Pinto-Decelis, G. (2011). *Capitales de la comunidad, medios de vida y vulnerabilidad social ante huracanes en la costa yucateca*. (Núm. 385; Serie Técnica, p. 74). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Soares, D., Munguía, T., Millán, G., Villareal, J., Salazar, H., & Méndez, G. (2014). *Vulnerabilidad y adaptación en Yucatán: Un acercamiento desde lo local y con enfoque de equidad de género* (1a ed.). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Soares, D., & Murillo-Licea, D. (2013). Capital social y vulnerabilidad ante eventos meteorológicos extremos: Lecciones desde el municipio de San Felipe, costa de Yucatán, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 4(1), 167–177.
- Soares, D., & Vargas, S. (2012). Capitales comunitarios y vulnerabilidad social frente al cambio climático en un municipio de Yucatán. *Trayectorias*, 33–34, 51–75.
- Szewrański, S., & Kazak, J. (2020). Socio-Environmental Vulnerability Assessment for Sustainable Management. *Sustainability*, 12(7906), 5.
- Tec, F. (2012). Distribución y contexto de las pictografías de Kanun ch'e'en, Homún Yucatán. *Mundos Subterráneos*, 22–23, 13–21.
- Thomass, H. (2010). Jeets' Lu'um: Asentar la tierra análisis de un rito maya de Yucatán. *Itinerarios. Revista de estudios lingüísticos, literarios, históricos y antropológicos*, 11, 35–54.
- Toledo, A. (2002). El agua en México y el mundo. *Gaceta Ecológica*, 64, 9–18.
- Torres, M., Basulto, Y., Cortés, J., García, K., Koh, Á., Puerto, F., & Pacheco, J. (2014). Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo de contaminación del agua subterránea en Yucatán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1(3), 189–203.
- Turner, B. L., Kasperson, R., Matson, P., McCarthy, J., Corell, R., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J., Luers, A., Martello, M., Polsky, C., Pulsipher, A., & Schiller, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *PNAS*, 100(14), 8074–8079.
- UNESCO. (2006). *El agua, una responsabilidad compartida* (Núm. 2; Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, p. 554). UNESCO.
- UNESCO. (2008). *Agua y diversidad cultural en México* (D. Murillo-Licea & I. Sandre-Osorio, Eds.). UNESCO.
- Vázquez, L. (1999). Los antecedentes de la identidad colectiva. En *Identidad, henequén y trabajo* (1er ed., pp. 95–143). El Colegio de México.
- Velasco, A., & Velázquez, D. (2019). El contexto geopolítico de la explotación forestal en la Península de Yucatán, México. *Perspectiva Geográfica*, 24(1), 116–137.
- Velázquez-Juárez, N. (2019). *Aproximación a una valoración integral del servicio de recreación en los cenotes de Homún, Yucatán* [Licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Villanueva, É. (2009). *El fin del oro verde. Conflicto social y movimiento campesino 1960-2008*. CEDRSSA.
- Villanueva-Gómez, G. (2016). *Índices de calidad del agua para la zona anillo de cenotes del estado de Yucatán* [Maestría]. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Villaseñor, A. (2021, abril 19). Los millonarios del agua acaparan más de una quinta parte del agua concesionada en México, revelan investigadores. *La Jornada de Oriente*.

- <https://www.lajornadadeoriente.com.mx/puebla/los-millonarios-del-agua-acaparan-mas-de-una-quinta-parte-del-agua-concesionada-en-mexico-revelan-investigadores/>
- Wallace, R. (2016). *Big Farms Make Big Flu. Dispatches on Influenza, Agribusiness, and the Nature of Science*. Monthly Review Press.
- Young, P., & Pandey, S. (2007). Human capital as structural vulnerability of US poverty. *Equal Opportunities International*, 26(1), 18–43.
- Zabala-Forero, F., & Victorino, I. (2019). Capacidad adaptativa y vulnerabilidad de la cuenca del río Orottoy ante el cambio climático, a partir del análisis de las variables de los medios de vida. *Biodiversidad en la práctica*, 4(1), 51–85.
- Zárate-Toledo, A. (2017). Retos y alternativas de la gestión local del agua en la periferia urbana de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. *Revista LiminaR. Estudios Sociales y Humanísticos*, 15(2), 126–139.
- Zulaica, L., & Ferraro, R. (2010). Vulnerabilidad socio-ambiental y dimensiones de la sustentabilidad en un sector del periurbano marplatense. *Estudios Socioterritoriales. Revista de geografía*, 8, 197–219.

ANEXOS

Anexo I. Guía de entrevistas

Datos de la entrevista semiestructurada (comunidad)

No. _____ Fecha: _____
Sitio: _____
Observaciones: _____

A) PROBLEMAS AMBIENTALES

1. ¿Desde su perspectiva cuáles considera que son los problemas ambientales aquí en su comunidad?
2. ¿En su opinión cuáles son los problemas de contaminación del agua?
3. ¿Existen plantas de tratamiento de agua aquí en Homún? ¿Funcionan?
4. ¿La comunidad tiene acceso a la información sobre la calidad del agua en su comunidad? En caso afirmativo ¿De dónde la obtiene?
5. Para las aguas residuales ¿cuenta usted en su vivienda con drenaje, fosa séptica u otro sistema?
6. ¿Cree que este sistema afecte la calidad del agua de los cenotes?

B) CENOTES

7. ¿Usted considera que son importantes los cenotes aquí en Homún? ¿Por qué?
8. ¿Sabe si en Homún hay alguna tradición/ritual o alguna leyenda que hable sobre los cenotes? ¿Ud. o su familia la practican?***
9. ¿En qué se utilizan los cenotes en Homún? ¿Y el agua de los cenotes?***

D) PREVENCIÓN/MITIGACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

18. ¿Sabe o conoce si hay algún tipo de apoyo del gobierno o alguna organización no gubernamental para prevenir la contaminación de cenotes? ¿Cuáles?
19. ¿Dentro de la comunidad ha escuchado si se ponen de acuerdo para realizar alguna acción para evitar la contaminación de los cenotes? (campañas para recoger basura, a lo mejor establecer reglas para los turistas, etc.)
20. ¿Sabe si existe algún reglamento o ley para evitar la contaminación de los cenotes? ¿Cuál?
21. ¿Usted ha tomado alguna capacitación para el cuidado de los cenotes? ¿Quién la impartió?
22. ¿Qué cuidados se les dan a los cenotes para que no se contaminen?
23. ¿Qué medidas o acciones cree que hacen falta para garantizar la calidad del agua de los cenotes?
24. ¿Considera usted que se puede limpiar un cenote que ya está contaminado? ¿Por qué?

E) SOBRE EL ENTREVISTADO

25. ¿A qué se dedica?
26. ¿Cuál es su lugar de nacimiento? ¿Y de residencia?
27. ¿Usted o algún familiar o conocido nacido en Homún ha tenido que vivir en otro lugar por falta de empleo?
28. ¿Considera usted que han llegado personas de otras comunidades para trabajar en Homún? ¿Por qué?

10. ¿Desde su perspectiva cómo considera que se encuentra el nivel de conservación de los cenotes en Homún en general? (Muy conservado, conservado, poco contaminado o contaminado)

C) CONTAMINACIÓN DE CENOTES

11. ¿Quién o qué cree usted que causa o causaría la contaminación de los cenotes?
12. ¿Usted tiene idea de hace cuánto y por qué empezó la contaminación? ***
13. ¿Ha notado una disminución en la cantidad de animales o plantas que habitan en las áreas cercanas a los cenotes? ¿Considera que la contaminación ha tenido que ver con esa disminución?***
14. ¿El agua de los cenotes ha enfermado a alguien (alguna infección, dolor de estómago, irritación en la piel)?
15. ¿Desde su perspectiva, cree que la contaminación afecta o afectaría su vida cotidiana? ¿Cómo? ¿Esta contaminación podría afectar a alguna tradición?***
16. ¿Cómo considera que se afectan o afectarían las actividades económicas con la contaminación de los cenotes?
17. ¿Cree que alguna de esas actividades es o puede ser riesgosa para la calidad del agua?

29. ¿Cuál considera que es la organización más importante en su comunidad (p. e. la que está más activa o tiene más miembros, la que se reúne más seguido)?
30. ¿Usted o su familia pertenecen a alguna organización social, grupo, colectivo o asociación de vecinos? ¿De qué tipo (ejidal, religiosa, ambiental)?
31. ¿Qué tan eficiente considera que es la organización en su comunidad para el bienestar del pueblo? (nada, poco eficiente, más o menos eficiente, eficiente o muy eficiente) ¿Por qué?
32. Recapitulando, de lo que hablamos (recapitulación de las notas) ¿en qué aspecto considera que hay que trabajar más para hacer frente a la contaminación de cenotes? (Resumir en capitales)

PRESTADORES DE SERVICIOS TURÍSTICOS

- + ¿Se tiene alguna medida para evitar la contaminación de los cenotes por parte de los turistas? ¿Cuáles?

*** En caso de que aplique la pregunta durante la conversación

Datos de la entrevista semiestructurada (sector privado)

No. _____ Fecha: _____
Sitio: _____
Observaciones: _____

A) PROBLEMAS AMBIENTALES

1. ¿Desde su perspectiva cuáles considera que son los problemas ambientales aquí en Yucatán/Homún?
2. ¿En su opinión cuáles son los problemas de contaminación del agua?
3. ¿Ustedes como (nombre de la actividad) tienen acceso a la información sobre la calidad del agua? En caso afirmativo ¿De dónde la obtiene?
4. ¿Cómo es el uso del agua en (nombre de la actividad)?

B) CONTAMINACIÓN DEL AGUA

4. ¿Desde su perspectiva cree usted que la contaminación afecta o afectaría su actividad económica? ¿De qué forma?
5. ¿Quién o qué cree usted que causa o causaría la contaminación de los cenotes?
6. ¿Sabe o conoce si se ha identificado alguna relación entre la contaminación del agua y la (actividad económica)?

Datos de la entrevista semiestructurada (gobierno)

No. _____ Fecha: _____
Sitio: _____
Observaciones: _____

A) PROBLEMAS AMBIENTALES

1. ¿Desde su perspectiva cuáles considera que son los principales problemas ambientales en Yucatán/Homún?
2. ¿Cuáles son las principales amenazas para la calidad del agua en Yucatán/ (REGAC)/Homún? ¿Quién o qué cree usted que las cause?*
3. ¿Existen plantas de tratamiento de agua cercanas a la Reserva Estatal Geohidrológica Anillo de Cenotes (REGAC)/Homún? ¿Funcionan?
4. ¿Sabe si el municipio y/o otra institución realiza monitoreos para conocer sobre la calidad del agua de los cenotes?
5. ¿La población tiene acceso a la información sobre la calidad del agua en su comunidad?
6. ¿Cómo se puede tener esta información?
7. En la Reserva Anillo de Cenotes/Homún ¿cuál es el principal sistema de depósito de aguas residuales? (drenaje, fosa séptica, otro)
8. ¿Cree que este sistema afecte la calidad del agua de los cenotes?

B) CENOTES

C) PREVENCIÓN/MITIGACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

7. ¿Nos podría explicar cuáles son las estrategias que se emplean en (nombre de la actividad) para evitar la contaminación del agua?
8. Relacionado con su actividad económica, ¿sabe o conoce si hay algún tipo de apoyo del gobierno para prevenir la contaminación del agua? ¿Cuáles?
9. ¿Sabe si existe algún reglamento o ley para evitar la contaminación del agua? ¿Cuál?
10. ¿Usted ha tomado alguna capacitación para el cuidado del agua en la (nombre de la actividad)? ¿Quién la impartió?
11. ¿Considera usted qué se puede limpiar el agua que ya está contaminada? ¿Por qué?

D) CENOTES

12. ¿Usted considera que son importantes los cenotes? ¿Por qué?
13. ¿Desde su perspectiva cómo considera que se encuentra el nivel de conservación de los cenotes/del acuífero en general? (Muy conservado, conservado, poco contaminado o contaminado)
14. Recapitulando, qué de lo que hablamos (recapitulación de las notas) ¿en qué aspecto considera que hay que trabajar más para hacer frente a la contaminación de cenotes/del acuífero? (Resumir en capitales)

9. ¿Cuál es el uso que se le da a los cenotes en REGAC/Homún? ¿Y al agua de los cenotes?***
10. ¿Desde su perspectiva cómo considera que se encuentra el nivel de conservación de los cenotes en la REGAC/Homún en general? (Muy conservado, conservado, poco contaminado o contaminado)

C) CONTAMINACIÓN DE CENOTES

11. ¿Quién o qué cree usted que causa o causaría la contaminación de los cenotes?
12. ¿Usted tiene idea de hace cuánto y por qué empezó la contaminación? ***
13. ¿Se ha notado una disminución en la cantidad de animales o plantas que habitan en las áreas cercanas a los cenotes? ¿Considera que la contaminación ha tenido que ver con esa disminución?***
14. ¿Sabe si se ha observado alguna relación entre la contaminación del agua y la incidencia de enfermedades en las poblaciones aledañas a los cenotes?
15. ¿Desde su perspectiva cree usted que la contaminación afecta o afectaría la vida cotidiana de las comunidades? ¿De qué forma?

D) ACTIVIDADES ECONOMICAS

16. ¿Cuáles son las principales actividades económicas en la REGAC/Homún?

17. ¿Existen programas de apoyo por parte del gobierno en alguna actividad económica? (P.e. agricultura, turismo, ganadería)
18. ¿Cómo considera qué se afectan o afectarían las actividades económicas con la contaminación de los cenotes?
19. ¿Cree que alguna de esas actividades es o puede ser riesgoso para la calidad del agua?

E) PREVENCIÓN/MITIGACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

20. ¿Existe algún programa o apoyo del gobierno para prevenir la contaminación de cenotes? Y de alguna ONG? ¿Cuáles?
21. ¿Existe algún reglamento o ley para evitar la contaminación de cenotes?
22. ¿Por parte del gobierno se imparten capacitaciones a los pobladores sobre el cuidado de los cenotes? ¿A los prestadores de servicios turísticos?***
23. En general, ¿qué tipo de charlas son las que se imparten para el cuidado de los cenotes? (hacia qué aspecto están orientadas, basura, agroquímicos, coliformes, etc.)
24. ¿Qué medidas o acciones cree que hacen falta para garantizar la calidad del agua de los cenotes?
25. ¿Hay manera de remediar la contaminación de un cenote? ¿Cómo?

C) CONTAMINACIÓN DE CENOTES

9. ¿Quién o qué causa o causaría la contaminación de los cenotes?
10. ¿Usted tiene idea de hace cuánto y por qué empezó la contaminación? ***
11. ¿Se ha notado una disminución en la cantidad de animales o plantas que habitan en las áreas cercanas a los cenotes? ¿Considera que la contaminación ha tenido que ver con esa disminución?***
12. ¿Sabe si se ha observado alguna relación entre la contaminación del agua y la incidencia de enfermedades en las poblaciones aledañas a los cenotes?
13. ¿Desde su perspectiva cree usted que la contaminación afecta o afectaría la vida cotidiana de las comunidades? ¿De qué forma?
14. ¿Cómo considera qué se afectan o afectarían las actividades económicas con la contaminación de los cenotes?
15. ¿Cree que alguna de esas actividades es o puede ser riesgoso para la calidad del agua?

D) PREVENCIÓN/MITIGACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

Datos de la entrevista semiestructurada (OSC/Academia)

No. _____ Fecha: _____
 Sitio: _____
 Observaciones: _____

A) PROBLEMAS AMBIENTALES

1. ¿Desde su perspectiva cuáles considera que son los problemas ambientales en Yucatán/ (REGAC)/Homún
2. ¿Cuáles son las principales amenazas para la calidad del agua en Yucatán/ (REGAC)/Homún? ¿Quién o qué cree usted que las cause?***
4. ¿Sabe si la población (en general) tiene acceso a la información sobre la calidad del agua en Yucatán/ (REGAC)/Homún? En caso afirmativo ¿De dónde la obtiene?

B) CENOTES

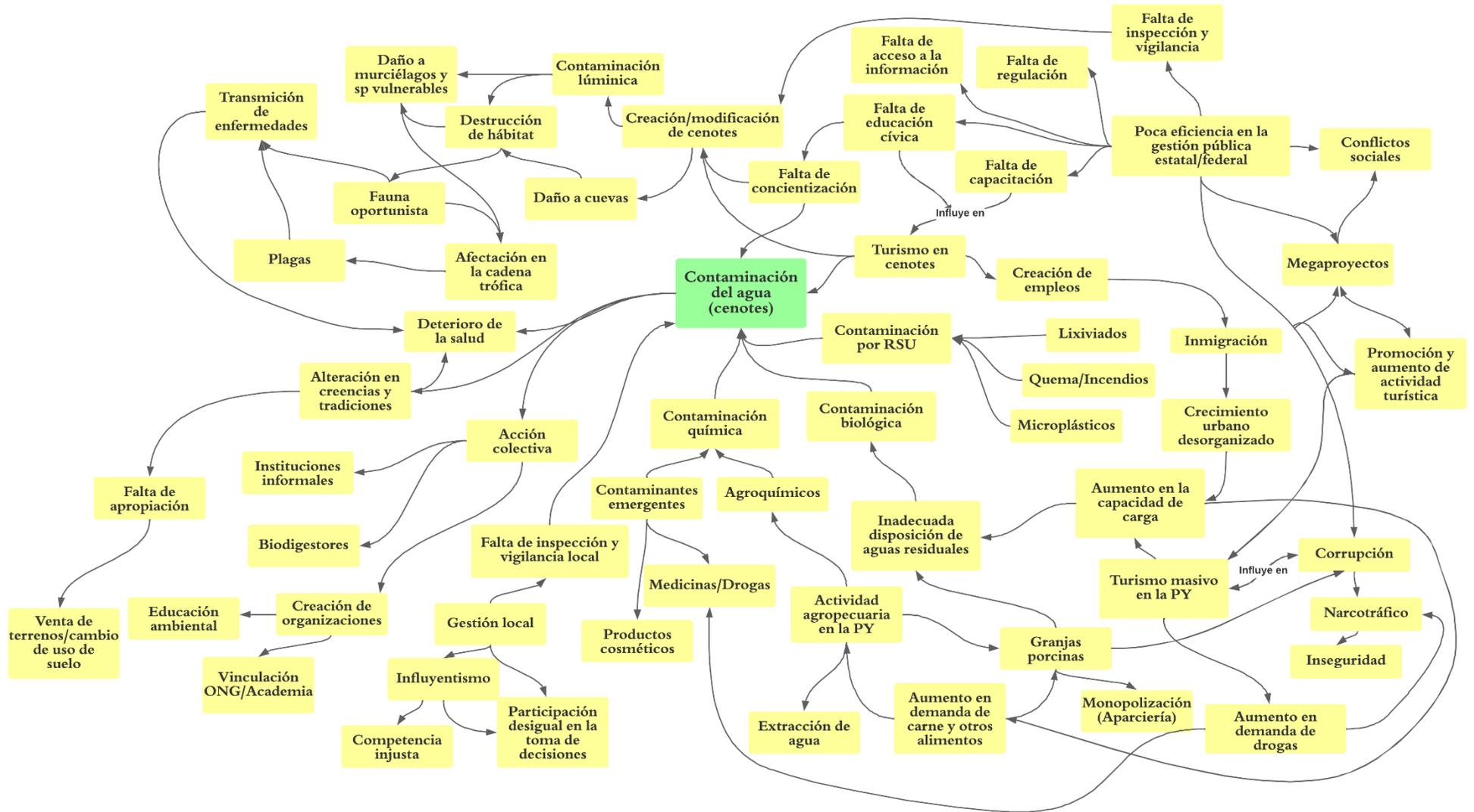
5. ¿Usted considera que son importantes los cenotes aquí en la REGAC/Homún/Yucatán? ¿Por qué?
6. ¿Culturalmente considera que los cenotes son importantes para la población?
7. ¿En qué se utilizan los cenotes en Homún/Yucatán/REGAC? ¿Y el agua de los cenotes?***
8. ¿Desde su perspectiva cómo considera que se encuentra el nivel de conservación de los cenotes en Homún en general? (Muy conservado, conservado, poco contaminado o contaminado)

16. ¿Sabe o conoce si hay algún tipo de apoyo del gobierno para prevenir la contaminación de cenotes? ¿Cuáles?
17. ¿Ustedes dan algún tipo de apoyo para prevenir la contaminación de los cenotes (campañas de recolección de basura, capacitaciones, difusión, etc)? ¿Cuáles?
18. ¿Sabe si existe algún reglamento o ley para evitar la contaminación de los cenotes? ¿Cuál?
19. ¿Qué cuidados se les dan a los cenotes para que no se contaminen?
20. ¿Qué medidas o acciones cree que hacen falta para garantizar la calidad del agua de los cenotes?
21. ¿Se puede restaurar un cenote que ya está contaminado? ¿Por qué?

22. Recapitulando, de lo que hablamos (recapitulación de las notas) ¿en qué aspecto considera que hay que trabajar más para hacer frente a la contaminación de cenotes? (Resumir en capitales)

*** En caso de que aplique la pregunta durante la conversación

Anexo II. Modelo mental en el que se basó el diseño del modelo multicriterio



Anexo III. Evidencia fotográfica de la visita a campo





