



CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS  
DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
UNIDAD MÉRIDA  
DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA HUMANA

**PERCEPCIÓN, CONOCIMIENTO LOCAL Y DESCRIPCIÓN DE LA  
CALIDAD DEL AGUA DE CENOTES DE INTERÉS TURÍSTICO Y  
RECREACIONAL**

Tesis que presenta:

**Violeta Amapola Nava Galindo**

Para obtener el grado de:

Maestra en Ciencias en la especialidad de Ecología Humana

Directora de tesis:

Dra. Almira Hoogesteyn Reul

## AGRADECIMIENTOS

A mi hermana Erándeni, por haber nacido en el momento en que nació y desde entonces aceptar acompañarme el resto de la vida. A Gonzalo y Bertha por malcriarme y “biencriarme” con tanto cariño. Por enseñarme que en este mundo caben todos los mundos y que “ser joven y no ser revolucionario es una contradicción hasta biológica”. A Luis Alonso por ayudarles en esa ardua tarea.

A la Dra. Almira, por mostrarme el mundo de la investigación y por permitirme intentar ser una mujer integral, pero sobre todo por confiar en mí y creer en que “la empresa puede perdonar un momento de locura”.

A la Dra. Julia Fraga por acompañarme desde mi ingreso al posgrado y por acercarme a la antropología. A la Dra. Guadalupe Álvarez, por sus oportunos comentarios y por el interés y prontitud en sus correcciones. A la Dra. Ana García por su desinteresado interés y por proporcionarnos datos valiosos para la selección de los cenotes de estudio. A Lane Fargher por su increíble clase de Ecología Sociocultural.

A José Luis Febles, porque esta tesis no hubiera sido posible sin su apoyo en el campo, consejos y revisiones. A él le debo la mitad de los resultados.

A mis hermanos de generación Marce, Dave, Rom, Octavio, Dan y Arturo. No hay aprendizaje más valioso que el que ellos me dejaron. Porque me enseñaron lo increíble y valioso del trabajo interdisciplinario. Por compartir comidas, alegrías, trabajo y conocimientos. Sin ustedes yo no hubiera terminado esta maestría.

A los Urinadores, Julien, Arraxid, Albar y José Manuel, que me enseñaron y acompañaron a ese mundo secreto bajo las aguas de los cenotes. A Jorge por ayudarme tanto durante el último jalón.

A Iván, por ser mi cómplice y compañero de vida. Por haber recorrido este camino conmigo. Desde siempre y para siempre te lo agradezco. A donde sea que te dirijas ahora, te quiero verde.

Y sobre todo, al pueblo de México que hizo posible mis estudios a través del CONACYT.

# CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>vi</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ix</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	
1. Los cenotes.....	3
1.1. La importancia de los cenotes en la península.....	5
2. Contaminación del acuífero.....	6
2.1. Contaminación fecal en los cuerpos de agua de uso recreativo y su impacto sobre la salud humana.....	7
2.1.1. Marco legal.....	9
2.2. Vulnerabilidad del acuífero.....	10
2.2.1. Características hidrogeológicas de vulnerabilidad.....	11
2.2.2. Características antrópicas de vulnerabilidad.....	13
2.3. Percepción y conocimientos locales.....	14
2.3.1. Percepción de la calidad del agua.....	15
2.3.2. Conocimientos sobre la hidrología del cenote.....	17
2.4. Planteamiento del problema y justificación.....	18
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>21</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	
1. Tipo de investigación.....	22
2. Población y muestra.....	22
2.1. Criterios de selección de cenotes.....	22
2.2. Criterios de inclusión para el administrador de cenote.....	26
3. Entrevista mixta.....	26
4. Prueba piloto.....	27
5. Construcción de índices	

5.1. Índice de conocimientos.....	27
5.2. Índice de percepción del riesgo a enfermar.....	29
5.3. Índice de percepción del riesgo de contaminación del cenote.....	29
6. Análisis Microbiológico.....	30
4.1. Colección de la muestra.....	30
4.2. Recuento de coliformes totales y coliformes fecales.....	31
7. Procesamiento estadístico.....	32
 <b>RESULTADOS</b>	
1. ENCUESTAMIXTA.....	32
1.1. Conocimientos de la hidrogeología del cenote.....	35
1.1.1. Índice de conocimiento.....	35
1.2. Percepciones de la calidad del agua.....	39
1.3. Percepciones de riesgo a enfermarse por contacto con agua contaminada.....	40
1.3.1. Índice de percepción de riesgo a enfermar.....	42
1.4. Percepciones de riesgo a la contaminación del cenote.....	44
1.4.1. Índice de percepción del riesgo de contaminación del cenote.....	51
1.5. Índice de conocimiento y escolaridad.....	52
1.6. Índice de conocimiento e índices de percepción de riesgo.....	52
2. CONTEO DE COLIFORMES Y COLIFORMES FECALES.....	53
 <b>DISCUSIÓN</b>	
1. Calidad bacteriológica del agua.....	58
1.1. Disposición de residuos en los cenotes.....	60
1.1.1. Número de visitantes y contaminación en los cenotes.....	64
2. Percepciones de la calidad del agua.....	65
3. Percepción de riesgo a enfermarse por contacto con agua contaminada.....	69
1.2. Cambios en el uso del agua.....	70
4. Percepciones del riesgo a la contaminación del cenote.....	71
5. Conocimientos de la hidrogeología del cenote.....	75
1.3. Educación formal y conocimientos de la hidrología del cenote.....	78
 <b>CONCLUSIONES</b> .....	 82
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	85
<b>ANEXOS</b> .....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Tipos de cenotes.....	<b>4</b>
<b>Figura 2:</b> Percepción de la calidad del agua y orientación del comportamiento.....	<b>16</b>
<b>Figura 3:</b> Prueba piloto, lugar de muestreo I.....	<b>27</b>
<b>Figura 4:</b> Prueba piloto, lugar de muestreo II.....	<b>27</b>
<b>Figura 5:</b> Diagrama de flujo del proceso de conteo de coliformes mediante las placas 3M <sup>®</sup> Petrifilm <sup>®</sup> .....	<b>30</b>
<b>Figura 6:</b> Placa de recuento clasificada como incontable por rebasar las 200 UFC.....	<b>31</b>
<b>Figura 7:</b> Escolaridad de los administradores entrevistados.....	<b>33</b>
<b>Figura 8:</b> Gráfico de distribución de puntajes del índice de conocimiento hidrogeológico en administradores del estudio.....	<b>35</b>
<b>Figura 9:</b> Gráfica de distribución de puntuaciones en el índice de percepción de riesgo a enfermarse con agua contaminada.....	<b>42</b>
<b>Figura 10:</b> Distribución de los administradores por puntajes obtenidos en el índice de percepción de riesgo a la contaminación del cenote.....	<b>51</b>
<b>Figura 11:</b> Mapa de distribución de cenotes muestreados.....	<b>53</b>
<b>Figura 12:</b> UFC de <i>E.coli</i> por cenote.....	<b>55</b>
<b>Figura 13:</b> UFC de <i>E.coli</i> y número de visitantes por cenote.....	<b>56</b>
<b>Figura 14:</b> Poblaciones humanas localizadas a un radio de 5 km por cenote.....	<b>57</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1:</b> Normas y límites máximos permisibles para la calidad del agua para uso público.....	9
<b>Cuadro 2:</b> Cenotes que cumplen con los criterios de selección del estudio.....	24
<b>Cuadro 3:</b> Selección de cenotes ampliada.....	25
<b>Cuadro 4:</b> Ítems utilizados para elaborar el índice de conocimiento.....	28
<b>Cuadro 5:</b> Mecanismo de administración de los cenotes turísticos.....	33
<b>Cuadro 6:</b> Sistema de disposición de efluentes en 29 cenotes en el estado de Yucatán.....	34
<b>Cuadro 7:</b> Métodos de disposición de residuos sólidos en cenotes en el estado de Yucatán.....	34
<b>Cuadro 8:</b> Actividades de limpieza realizadas en las instalaciones dentro y alrededor de los cenotes..	35
<b>Cuadro 9:</b> Clasificación de respuestas como correctas o incorrectas para la sección de preguntas de conocimientos de la hidrogeología de los cenotes.....	37
<b>Cuadro 10:</b> Respuestas a la pregunta ¿Por qué el agua en Yucatán está sólo debajo del suelo y no hay ríos ni lagunas?.....	38
<b>Cuadro 11:</b> Respuestas a la pregunta ¿Hacia dónde se mueve el agua del cenote?.....	38
<b>Cuadro 12:</b> Respuestas a la pregunta ¿Por qué el agua de cenote es transparente?.....	39
<b>Cuadro 13:</b> Respuestas a la pregunta ¿Cómo evaluaría la calidad del agua de su cenote?.....	40
<b>Cuadro 14:</b> Respuestas a las preguntas sobre percepción de riesgo a enfermarse por contacto con agua de los cenotes.....	41
<b>Cuadro 15:</b> Respuestas a la pregunta ¿Por qué se enferma la gente al tomar agua del cenote?.....	41
<b>Cuadro 16:</b> Clasificación nominal de la percepción del riesgo.....	42
<b>Cuadro 17:</b> Medios por los cuales los administradores se enteraron acerca de la contaminación de los cenotes.....	45
<b>Cuadro 18:</b> Comparación de métodos de detección de agua contaminada vs agua limpia.....	46
<b>Cuadro 19:</b> Nombre de cenotes contaminados o localidades con cenotes contaminados.....	46
<b>Cuadro 20:</b> Respuestas para la sección de preguntas de riesgo de contaminación del cenote.....	47
<b>Cuadro 21:</b> Percepción de situaciones que ponen en riesgo de contaminación al cenote.....	48
<b>Cuadro 22:</b> Respuestas a la pregunta ¿Cuál cree usted que es la mayor amenaza para el agua de sus cenote?.....	49
<b>Cuadro 23:</b> Respuestas a la pregunta ¿Qué hace usted para evitar que su cenote se contamine?.....	50
<b>Cuadro 24:</b> Respuestas a la pregunta ¿Quién tiene mayor impacto en la protección de los cenotes?...	50
<b>Cuadro 25:</b> Niveles de coliformestotales (CT) y coliformes fecales ( <i>E.coli</i> ) por cenote .....	54

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO I:</b> Encuesta mixta aplicada a los administradores de cenotes.....	93
<b>ANEXO II:</b> Preguntas del índice de percepción de riesgo a enfermarse.....	98
<b>ANEXO III:</b> Preguntas del índice de percepción de riesgo a la contaminación del cenote.....	99

## **RESUMEN**

En la península de Yucatán, las características kársticas del terreno han dado lugar a la formación de un acuífero subterráneo que representa la única fuente de agua dulce para el consumo humano en la región. Estas mismas características permitieron la formación de los cenotes, que son cuerpos de agua que alcanzan el manto freático. Estos cuerpos de agua tienen una importancia económica, ecológica e histórica para los habitantes del estado, por lo que su contaminación representa un serio problema. Diferentes estudios han detectado la presencia de distintas sustancias contaminantes en las aguas de los cenotes, a pesar de ello, su uso como lugar turístico para el nado es ampliamente promovido en el estado, lo cual puede tener consecuencias tanto en la salud de los bañistas como en la calidad del agua de estas formaciones geológicas.

En el presente estudio se realizó un análisis microbiológico de los niveles de coliformes y coliformes fecales en 31 cenotes de interés turístico y recreacional. Se encontró que 19 de los 31 cenotes no cumplen con los requerimientos de la NOM-003-ECOL-1997 que regula la calidad de aguas residuales tratadas que se reutilicen en servicios al público con contacto directo. Estos resultados se compararon con las percepciones de la calidad del agua reportadas por los individuos que administraban el cuerpo de agua.

Mediante una entrevista se recabaron las percepciones de los administradores ante el riesgo de contaminación de su cenote y sus conocimientos relacionados con la hidrogeología de los cenotes. Los resultados indican que los administradores percibían que los cenotes corrían riesgo de ser contaminados, pero no percibían el riesgo a que los bañistas se enfermaran por el contacto con el agua del cenote. Acerca de los conocimientos del funcionamiento hídrico de los cenotes, los administradores reportaron ciertas creencias que no coinciden con lo reportado en la literatura científica. Esto puede deberse a la falta de mecanismos adecuados de difusión de la información científica aunado a la complejidad del funcionamiento de los acuíferos kársticos.

## **ABSTRACT**

The karstic characteristics of the Yucatan Peninsula in Mexico gave rise to an underground aquifer. This aquifer is the main water source for human consumption in the region. This karstic landscape has sinkholes, named “cenotes”. Cenotes are water bodies that expose the groundwater to the surface. These water bodies have great economic, ecologic and historical value for the inhabitants of the region. Pollutions of these water bodies pose a serious problem. Several studies have shown the presence of contaminants in these sinkholes. Despite the water contamination, the sinkholes are used for recreational purposes, people using them as swimming pools. This activity has been encouraged in the region, with purpose of increasing revenues for low income rural dwellers, but has not taken into account the influence contaminated water could have in the swimmers health and the environment.

In this study we present the results of microbiological analyses, in which coliforms and fecal coliforms were counted in water samples of 31 sinkholes that are used by local and foreign tourists. We found that 19 of this water bodies didn't met the requirements of the Mexican Norm for sewage effluents that might have direct contact with people (NOM-003-ECOL-1997). These results were associated with the perceptions cenote managers held related to water quality.

During the interviews we also compiled information on to the hydrogeological knowledge and the risk perceptions of the sinkholes managers. The manager perceived contamination risk of the water, but didn't perceive health risks derived from swimming in this water. Their knowledge about the hydrogeology of the sinkholes presented discrepancies from the scientific information. The lack of knowledge could be because of the lack of information flow between scientists and the yucatecan society, additionally the dynamics of the karst aquifer are very complex.

## INTRODUCCIÓN

Los acuíferos kársticos están entre las fuentes de agua de aprovechamiento humano más importantes en el mundo (Andreo et al., 2006; Ghasemizadeh et al., 2012). Proveen de agua dulce para el consumo a un cuarto de la población mundial (Mahler et al., 2000). En el estado de Yucatán, México, el acuífero kárstico provee casi la totalidad del agua dulce para la población (Steinich & Marín, 1997; Cuevas et al., 2002).

Por sus características geológicas, estos importantes acuíferos son muy susceptibles a la contaminación comparados con otros sistemas hidrogeológicos (Mahler et al., 2000; Aranda, 1994; Graniel et al., 1999; Escolero et al., 2002). Esto se debe a que en el terreno kárstico el suelo está constituido en su mayoría por roca resquebrajada y fragmentada, cuyas fisuras y solubilidad en agua confieren una alta permeabilidad al terreno (Batllori-Sampedro et al., 2006; González-Herrera et al., 2002); además, debido a la escasa o nula capa de suelo recubriendo la roca madre, los contaminantes llegan sin un proceso de filtrado al manto freático (Mahler et al., 2000; Calò & Parise, 2009). Una vez allí pueden almacenarse o distribuirse extendiendo el problema de contaminación (Field, 1993; Ghasemizadeh et al., 2012).

En la Península de Yucatán, México, el tipo de suelo no sólo ha permitido la formación de un acuífero subterráneo con valor por el agua que proporciona. Las formas kársticas, como depresiones, cenotes y cuevas, creadas por la acción de la lluvia sobre la capa más externa del suelo (González-Herrera et al., 2002; Schmitter-Soto et al., 2002; Ghasemizadeh et al., 2012; Kauffer et al., 2012), tienen un valor histórico, cultural y económico para los habitantes del estado. De estas formas kársticas destacan, por su importancia cultural y ambiental, los cenotes.

Estos cuerpos de agua fueron la fuente del líquido vital para las comunidades mayas de la península, quienes crearon un valor simbólico y espiritual alrededor de la figura del cenote, convirtiendo estos cuerpos de agua en centros de veneración y culto, y se practicaron en torno a ellos una serie de ritos asociados a la lluvia y a la fertilidad (Martos, 2007). En la actualidad, algunas comunidades siguen otorgándoles valor cultural y espiritual, pero el cenote también se ha convertido en el centro de atención de la actividad turística en el estado.

La búsqueda de atractivos turísticos ha ocasionado un intenso uso de los cenotes como lugares para el nado recreativo. No existen antecedentes en la península acerca de las consecuencias que el uso turístico de los cenotes tendrá sobre la calidad del agua de los mismos y del acuífero. Adicionalmente, si las aguas del cenote no cumplen con la normativa de calidad del agua de uso recreacional podrían representar un problema serio de salud para los bañistas.

Este problema, tanto de salud como de contaminación, sólo puede ser remediado si los actores involucrados perciben su existencia. El reconocer que los cenotes son vulnerables a la contaminación y que dicha contaminación puede afectar la salud de los bañistas, es un paso imprescindible para la toma de acciones dirigidas a la prevención y a la remediación. De entre los sujetos que tendrían la posibilidad de implementar medidas para la protección de los cenotes de uso turístico, se encuentran sus dueños y administradores. Pues son ellos los que se encuentran en contacto constante con el cuerpo de agua y, al ser su sustento económico, podrían tener un interés por su protección y conservación.

Para la protección de los cenotes, no es suficiente que los administradores sean conscientes de que existe un problema de contaminación, deben además contar con los conocimientos adecuados que les permitan conocer las razones de la vulnerabilidad del acuífero, las posibles fuentes de contaminación y las acciones de protección y remediación que pueden poner en práctica. El conocimiento permitiría tomar decisiones informadas, basadas en la hidrogeología del acuífero.

El presente estudio tuvo por objetivo analizar la calidad microbiológica del agua de cenotes de interés turístico y compararla con diferentes normas, nacionales e internacionales, referentes a la calidad del agua para uso recreacional. Esto se realizó a la par de la recolección de datos acerca de la percepción de los administradores de cenotes acerca de la calidad del agua de sus cenotes, de su percepción de riesgo a que el cenote se contamine y de los conocimientos que poseen acerca de la hidrogeología de los mismos.

Pude comparar la calidad del agua percibida *vs.* la calidad microbiológica del agua evaluada mediante la detección de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) de coliformes totales y fecales. Adicionalmente se evaluó si los administradores percibían riesgo a la

contaminación de los cenotes y las consecuencias de dicha contaminación sobre la salud de los usuarios. También se analizaron los conocimientos que tienen acerca de las fuentes de contaminación, las razones de la vulnerabilidad del acuífero y las medidas que pueden tomar para mitigar el problema.

## **MARCO TEÓRICO**

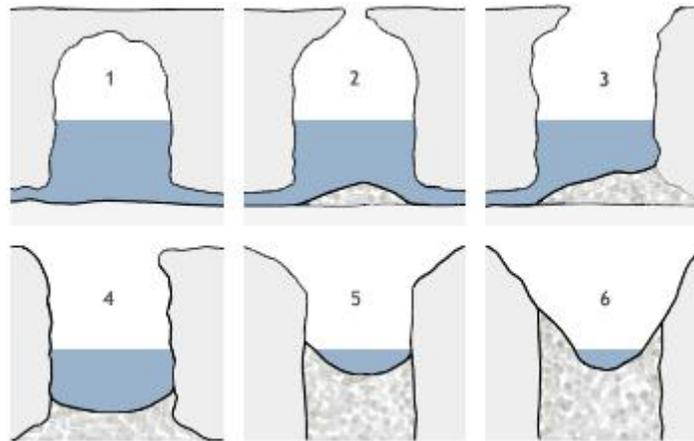
### **1. Los cenotes**

Una de las características más representativas del paisaje de la Península de Yucatán son sus cenotes. Estos cuerpos de agua están cargados de un significado histórico y han sido objeto de veneración para las comunidades mayas. Durante mucho tiempo fueron el único punto de acceso al acuífero subterráneo y objeto de control de acceso al agua. En la actualidad, los cenotes constituyen un elemento central en la oferta turística que este estado ofrece al mundo. Debido a ello, estos cuerpos de agua juegan un papel primordial en el desarrollo del estado.

El término cenote, proviene de la palabra maya d'zonot o ts'ono'ot, que significa caverna de depósito de agua (Beddows et al., 2007). Pero hidrogeológicamente, un cenote puede describirse como un cuerpo de agua que alcanza el manto freático y que se ha formado por la disolución de las rocas del subsuelo. Esto quiere decir, que los cenotes sólo pueden formarse en terrenos donde el paisaje esté compuesto de rocas que sean solubles en agua (caliza, dolomita y halita) (Tarbuck & Lutgens, 2005). En estos terrenos, también llamados terrenos kársticos, se presentan fenómenos de disolución, colapso y construcción de la roca. Son estos mismos procesos los que dan origen a los cenotes.

Para que ocurra la formación de un cenote, en primer lugar debe ocurrir un proceso de disolución, en donde el agua de lluvia, ligeramente ácida por la absorción del hidróxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico, disuelve la piedra caliza haciéndola más porosa y generando conductos y cavidades. Estos conductos y cavidades se ensanchan por la disolución producida por la actividad pluvial y por la circulación subterránea del manto freático, formando cuevas kársticas. A esta dinámica le sigue el fenómeno de colapso, proceso ligado a las fluctuaciones del nivel del mar. Al bajar el nivel del mar baja el nivel del freático, dejando cavidades aéreas en las cuevas, debido a esto, secciones del techo de la cueva se desploman dando origen a un

cenote. El proceso de formación continúa con la construcción, en donde el agua de lluvia se infiltra por las cavidades aéreas del cenote llevando disueltos minerales de la roca, los cuales precipitan y dan lugar a espeleotemas (Beddows et al., 2007). Así, dependiendo del proceso de formación en el que se encuentren se definirá el tipo de cenote, como se ilustra en la Figura 1.



**Figura 1:** Tipos de cenotes. 1) Cueva abovedada, 2) cenote tipo cántaro, 3) cenote de paredes verticales, 4) cenote tipo léntico, 5) azolve y hundimiento de paredes, 6) cenote tipo aguada. Fuente: Gobierno del Estado de Yucatán 2012-2018.

En regiones donde el terreno está constituido por rocas solubles en agua, estos mismos mecanismos de disolución, colapso y construcción van moldeando el paisaje en un proceso denominado evolución kárstica. La península de Yucatán, al tener un subsuelo constituido en su mayoría por rocas solubles, ha pasado por este proceso desde hace unos 60 ó 70 millones de años (Plioceno-Mioceno) (Escolero et al., 2002). Debido a esto, la permeabilidad de la superficie rocosa, la cantidad y naturaleza de fracturas y fisuras en el suelo es tal que provoca la filtración del agua de lluvia y no permiten la acumulación de cuerpos superficiales de agua (Kauffer et al., 2012; Escolero et al., 2002). Es decir que la totalidad del agua dulce en el estado se encuentra contenida en un acuífero subterráneo (Escolero et al., 2002). Este acuífero constituye la única fuente de agua dulce para los asentamientos humanos de la Península (Steinich & Marín, 1997, Cuevas et al., 2002); incluyendo las ciudades de Mérida, Cancún y Playa del Carmen (Martos, 2007; Antowich, 1999).

## **1.1 La importancia de los cenotes en la península**

Los cenotes son ecosistemas característicos y trascendentes para el desarrollo de la vida en la península. Estos cuerpos de agua, vinculados a las selvas circundantes, permiten el sustento de la biodiversidad en la región y de los asentamientos humanos (Kauffer et al., 2012).

Históricamente, los mayas dependían en gran medida de las acumulaciones subterráneas de líquido para su supervivencia. Es por esto que los cenotes, al ser una formación que permitía el acceso directo al agua subterránea, influyeron en la ubicación y desarrollo de los asentamientos (Martos, 2007; Gallareta, 2007). Los gobernantes mayas sabían de la importancia de los cenotes, de allí el estricto control de uso de los mismos y el significado espiritual que se les otorgaba (Martos, 2007).

Estos cuerpos de agua eran considerados como lugares de nacimiento de la vida, ventanas al inframundo y contenedores de aguas sagradas (Antowich, 1999). Existe evidencia arqueológica que demuestra la variedad y riqueza de los ritos llevados a cabo en estos cuerpos de agua. Hoy en día, aún perduran ciertas prácticas de veneración del cenote entre las comunidades mayas, por ejemplo la realización de ofrendas o la extracción de agua sagrada para rituales de petición de lluvias. A pesar de que la obtención de agua dulce en las grandes ciudades de la península se realiza a través de pozos profundos (Pacheco et al., 2001), existen poblaciones en donde los cenotes siguen siendo la principal fuente de obtención de agua dulce y su importancia en la vida espiritual de las comunidades sigue siendo predominante (Antowich, 1999). Pero, para otras comunidades, el simbolismo espiritual de estos cuerpos de agua está cambiando y los cenotes están tomando valor por el rol que juegan en el desarrollo del turismo rural (Martos, 2007).

El estado de Yucatán se caracteriza por ser un centro turístico de importancia en México y el mundo. Destacan su legado histórico precolombino que puede observarse en una gran cantidad de zonas arqueológicas, sus haciendas de la época del auge henequenero (muchas de ellas ahora convertidas en hoteles o en restaurantes), su gastronomía y desde luego los cenotes, que cada día atraen una mayor cantidad de turistas. Su atractivo escénico, la posibilidad de bañarse en sus aguas en un clima de intenso calor y el significado cultural contenido en los rituales y creencias que aún perduran alrededor de la figura del cenote

(García & Xool, 2012; Martos, 2007) lo convierten en un recurso de aprovechamiento turístico. Este auge en el sector turístico representa un nuevo reto para la conservación y protección del acuífero en lo general y de los cenotes en lo particular, pues no existe un antecedente de las consecuencias ecológicas de su uso como fuente de agua recreacional.

## **2. Contaminación del acuífero**

En la actualidad, con las crecientes demandas de las poblaciones humanas, las reservas, el suministro y la calidad del agua han pasado a ser temas apremiantes a nivel mundial (Al Radif, 1999; Hermanowicz, 2008). Los problemas de contaminación del agua no sólo afectan las reservas y la calidad de agua, también aumentan el consumo energético necesario para su obtención. Esto se debe a que, cuando un cuerpo de agua se contamina no puede ser utilizado para consumo humano sin tratamientos previos. Las alternativas que surgen a la problemática son: (i) la búsqueda de una nueva fuente de abastecimiento que cumpla con los requerimientos de calidad del agua o (ii) recurrir a procesos de purificación del agua contaminada los cuales suelen ser excesivamente costosos e ineficientes para algunos contaminantes. En el caso del estado de Yucatán, no se cuenta con reservas alternativas al acuífero subterráneo y los mecanismos de saneamiento de un acuífero kárstico son complejos y en la mayoría de los casos no redituables (Ekmekçi & Günay, 1997), por lo que en un caso grave de contaminación el tratamiento y uso de la reserva podría volverse excesivamente costoso.

Al conocer las características e importancia que el acuífero subterráneo y los cenotes tienen para los habitantes de la península de Yucatán podemos dimensionar la gravedad que supone la contaminación de los mismos. Lamentablemente, la literatura científica indica que la calidad del agua del subterráneo es ya un problema latente en la península (Marín & Perry, 1994; Marín et al., 2000; Cuevas et al., 2002; De la Lanza, 2006; Metcalfe et al., 2011; Arcega-Cabrera et al., 2014; Derrien et al., 2015). Diferentes estudios han detectado la presencia de contaminantes a concentraciones por encima de los niveles permisibles que aparecen en las normas nacionales para calidad del agua. Entre los contaminantes encontrados destacan coliformes fecales (principalmente por deficiencias en el alcantarillado y la insuficiencia de plantas de tratamiento de aguas residuales), nitratos, plaguicidas, fármacos y estupefacientes (Marín & Perry, 1994; Alcocer et al., 1998; Pacheco et al., 2001; Metcalfe et

al., 2011; Bautista et al., 2011; Kauffer et al., 2012).

## **2.1. Contaminación fecal en los cuerpos de agua de uso recreativo y su impacto sobre la salud humana**

La calidad del agua para uso recreacional es un tema de gran relevancia para la salud pública, especialmente cuando existe riesgo de contaminación fecal, fenómeno que puede tener serias consecuencias para la salud de los usuarios (Ravenscroft & Church, 2011). Existe en la literatura suficiente evidencia epidemiológica que sugiere que el contacto con agua para uso recreacional contaminada es un factor de riesgo para el desarrollo de infecciones oculares, de oído, nariz y garganta, irritaciones cutáneas, enfermedades respiratorias y enfermedades gastrointestinales (Soller et al., 2010; Sanborn & Takaro, 2013). Estas últimas pueden incluir problemas serios a la salud como infecciones con *Shigella sonneri*, *Escherichia coli*, con parásitos y con virus entéricos, derivados principalmente de las aguas residuales o de desechos animales (Mansilha et al., 2009). Existen estudios en los que se encuentra una relación estadísticamente significativa entre la frecuencia de enfermedades relacionadas con el nado y las concentraciones de *E. coli* y enterococos en cuerpos de agua dulce de uso recreacional (Dufour, 1984; Edberg et al., 1997; Wade et al., 2003).

Los niños son el grupo poblacional que sufre mayor riesgo por la exposición a aguas recreacionales contaminadas, debido a que suelen permanecer por mayor tiempo en el agua y son propensos a tragar, intencional o accidentalmente, más agua que los adultos (Children's Environment and Health Action Plan for Europe, 2004). Otro grupo vulnerable son los turistas provenientes del extranjero u otros estados de la república, quienes carecen de inmunidad ante los patógenos endémicos (Guidelines for safe recreational water environments, 2003). Se debe tomar en cuenta que existen microorganismos patógenos que pueden provocar una infección con la ingesta de un solo microorganismo (Mahler et al., 2000).

La presencia de microorganismos patógenos, como virus, bacterias y protozoarios, en los acuíferos subterráneos puede deberse a una gran cantidad de circunstancias. Algunas de las fuentes más comunes de contaminación en el estado son: la escorrentía de productos agroquímicos; efluentes urbanos e industriales; la inexistencia o mal funcionamiento de fosas sépticas y plantas de tratamiento de aguas residuales; la irrigación con aguas que solo han

pasado por un tratamiento primario (separación de sólidos y filtrado básico); el escurrimiento de sustancias acumuladas en calles y autopistas (Mahler et al., 2000); o las aguas de escorrentía de lluvia dirigidas directamente al nivel freático superior a través de un sistema de pozos pluviales.

El origen de la contaminación por coliformes puede provenir de diferentes fuentes, debido a que estas bacterias habitan en el intestino de los humanos y otros animales homeotermos. Su detección en el agua no indica forzosamente la presencia de desechos sanitarios, puede deberse también a la presencia de desechos fecales animales. Pero la contaminación provocada por los desechos fecales de animales domésticos también está asociada a la presencia de patógenos como *Clostridium perfringens*, *Cryptosporidium spp.*, *Giardia spp.*, y virus entéricos (Cox et al., 2005), por lo que las actividades ganaderas pueden estar afectando la calidad del recurso.

La presencia de desechos fecales considerados peligrosos ya ha sido identificada en las aguas de los cenotes (Kauffer et al., 2012; Bautista et al., 2011, Arcega-Cabrera et al., 2014; Derrien et al., 2015). Esto cobra mayor relevancia dada la creciente demanda en el uso turístico de los cenotes (Martos, 2007). Cuando la calidad de agua del cenote y del acuífero está comprometida, también lo estará la salud de los usuarios.

El turismo, además de ocasionar un incremento en la demanda de agua, tiene impacto negativo en la contaminación de las fuentes de agua. Este ha sido el caso los cenotes Calavera, Sacbé, Xcaret, Xcaret río y Edén, donde se observó contaminación por ortofosfatos y materia orgánica; se encontró que los niveles de coliformes fecales rebasaban los criterios establecidos por la NOM-245-SSA1-2010, que establece los niveles de contaminantes permitidos en las albercas. El fenómeno se presume es debido a sistemas de tratamiento de agua defectuosos o inexistentes en las instalaciones hoteleras y/o en poblaciones cercanas, o también debido a actividades turísticas como la natación y el buceo (De la Lanza, 2006), en donde la liberación de heces por los bañistas introduce bacterias en las aguas de los cenotes (Cassanovas-Massana & Blanch, 2013).

### 2.1.1 Marco legal

Internacionalmente existen diferentes normas para evaluar la calidad de aguas de uso público recreacional, como lagos, mares o piscinas (Cuadro 1). En México sólo existe una Norma Oficial Mexicana (NOM), que reglamenta específicamente la calidad de cuerpos de agua de uso recreacional. Esta norma (NOM-245-SSA1-2010) regula la calidad del agua y requisitos sanitarios que debe cumplir el agua de las albercas (Diario Oficial de la Federación, 2012). Pero la NOM-245-SSA1-2010 no es aplicable al agua de los cenotes ya que estos son cuerpos de agua naturales que no pueden ser sometidos a procesos químicos de filtrado ni desinfección, recordemos que son el hábitat de una gran cantidad de flora y fauna de la región. Existen otras normas que definen las características que las aguas residuales y aguas residuales tratadas deben tener para que puedan ser vertidas a cuerpos de agua naturales que pudieran servir como guía para definir la calidad microbiológica del agua de cenotes a falta de una Norma Mexicana específica (Cuadro 1).

**Cuadro 1:** Normas y límites máximos permisibles para la calidad del agua para uso público.

Norma	Descripción	Límite máximo permisible
<b>NOM-003-ECOL-1997</b>	Aguas residuales tratadas que se reutilicen en servicios al público con contacto directo	240 UFC de <i>E. coli</i> / 100 mL (promedio mensual).
<b>NOM-003-ECOL-1997</b>	Aguas residuales tratadas que se reutilicen en servicios al público con contacto indirecto u ocasional	1000 UFC de <i>E. coli</i> / 100 mL (promedio mensual).
<b>NOM-001-ECOL-1996</b>	Descarga de aguas residuales vertidas en bienes en aguas nacionales	- 1000 UFC de <i>E. coli</i> / 100 mL (promedio mensual).  - 2000 UFC de <i>E. coli</i> / 100 mL (promedio diario).
<b>OFFICE OF WATER 820-F-12-058*</b>	Calidad de cuerpos de agua dulce de uso recreacional	410 UFC de <i>E. coli</i> / 100 mL**

\*Norma publicada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América.

\*\*No más del 10% de las muestras mensuales deberá rebasar este límite. Esta norma recomienda al menos un muestreo por semana.

En el estado de Yucatán, el gobierno planteó la posibilidad de utilizar los cenotes como recursos turísticos, a través de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (SEDUMA) publicó el proyecto: “Saneamiento y manejo integral de cenotes”, en el que se analiza la posibilidad de utilizar mecanismos de pago por servicios ambientales para habilitar los cenotes como lugares de recreación (SEDUMA, 2011). Se espera que la actividad turística sea económicamente redituable para sus dueños y que permita la conservación del recurso (SEDUMA, 2011). Ante este hecho hay que considerar que, para el año de publicación de este documento, no existía la normativa necesaria para regular el uso turístico de los cenotes sin poner el riesgo la calidad del agua. Hoy en día la mayoría de los cenotes que son explotados como lugares de turismo, no cuentan con estudios de impacto ambiental que incluyan las especificaciones para el manejo adecuado para su conservación, ni para el cuidado de la diversidad de fauna y flora asociada a su ecología. Además no se han definido restricciones en cuanto a capacidades de carga o límites máximos permitidos relacionados con el número de turistas que pueden hacer uso de los cenotes.

A partir del 17 de junio del 2014, comienzan a tomarse acciones oficiales para la regulación del uso turístico de los cenotes. Esto mediante la publicación el “Reglamento de la Ley de Protección al Medio Ambiente del Estado de Yucatán en Materia de Cenotes, Cuevas y Grutas”. Este documento contiene, entre otros puntos, los lineamientos para la construcción de los sistemas sanitarios y el tratamiento de aguas servidas en grutas, cuevas y cenotes que serán utilizados para el uso recreativo. Esto era necesario debido a que las aguas subterráneas del país pueden ser utilizadas sin necesidad de un permiso o concesión federal, y su extracción sólo requiere de realizar un registro y pagar contribuciones a las autoridades fiscales (CONAGUA, 2014).

## **2.2. Vulnerabilidad del acuífero**

Las razones de la presencia y los niveles de contaminantes en el acuífero subterráneo del estado de Yucatán son varias. Existen factores tanto antropogénicos como hidrogeológicos que favorecen la contaminación del acuífero. Esta combinación de factores torna a los acuíferos kársticos en los sistemas hidrológicos más vulnerables a la contaminación (Mahler et al., 2000; Aranda, 1994; Graniel et al., 1999; Escolero et al., 2002).

### **2.2.1. Características hidrogeológicas de vulnerabilidad**

En los acuíferos subterráneos, contrariamente a lo que podría pensarse, los flujos de agua subterráneos no emulan los flujos superficiales de los ríos. Existen muy pocos casos en los que efectivamente, bajo tierra, existan cuerpos con flujos parecidos a los de los ríos superficiales. Esto es debido a que la dinámica de los acuíferos subterráneos se da de poro a poro o entre las grietas del subsuelo, y por lo tanto es extremadamente lenta, con velocidades típicas de unos pocos centímetros al día (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Para poder describir el sistema de flujo regional de un acuífero subterráneo se debe partir del conocimiento de dos conceptos hidrológicos: la conductividad hidráulica y el gradiente hidráulico. La conductividad hidráulica se refiere a la capacidad del suelo para permitir el flujo de agua a través de él por unidad de área en la dirección transversal de flujo. Es decir, es una constante de la velocidad de flujo de un líquido para un tipo de suelo dado, que se mide generalmente por volumen de líquido por unidad de tiempo (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Por otro lado, el gradiente hidráulico es una medida que nos permite conocer la diferencia de energía potencial de un fluido en dos puntos distantes entre sí. Se calcula conociendo la diferencia de altura entre la superficie del líquido en los puntos a medir y la separación horizontal de dichos puntos, es decir, la pendiente que existe entre ellos (Tarbuck & Lutgens, 2005). Lógicamente, entre más pronunciada sea la pendiente entre dos puntos mayor será la energía potencial del agua en el punto más alto y su propensión a fluir.

La conjunción de estas dos medidas, dadas por las características del relieve, nos ayuda a conocer la dinámica de flujo de un cuerpo de agua. En la península de Yucatán, dado el tipo de paisaje kárstico (permeabilidad, fragmentación, solubilidad de la roca) existe una alta conductividad hidráulica, con valores de 0.1 a 1 m/s (González-Herrera et al., 2002). Por lo que, teóricamente, el agua tiene una gran facilidad de flujo tanto horizontal como vertical en el suelo de la península. Verticalmente, se tienen datos de que las infiltraciones por precipitaciones van del 25 al 40%. Pero para el flujo horizontal hay que tomar en cuenta que esta alta conductividad va acompañada de un muy bajo gradiente hidráulico: 7-10mm/km (González-Herrera et al., 2002), esto debido a que las únicas elevaciones prominentes se

encuentran al sur del estado (Sierra de Ticul) que en su punto más alto alcanzan aproximadamente 210 metros sobre el nivel del mar (INEGI, 2012). Estudios previos indican que a una distancia de entre 15 y 40 km de la costa, la elevación del manto acuífero es menor a 2 m sobre el nivel del mar. En la parte interior del estado la altura sobre el nivel del mar es entre 2 y 4 metros. Y en la zona más elevada, al suroeste del estado, aproximadamente a 160 km de la costa, el manto freático sólo sobrepasa por 10 m el nivel del mar (González-Herrera et al., 2002).

Debido a este bajo gradiente hidráulico, el agua no adquiere la energía potencial necesaria para crear un flujo horizontal. Es decir, el acuífero subterráneo de Yucatán, se encuentra asentado en una planicie, por lo tanto corre hacia el mar a velocidades muy bajas, con excepción de algunos lugares cercanos a la costa (Perry et al., 2009). Incluso, Marín (1990), describió el flujo horizontal de agua en los cenotes cercano a cero. Debido a estas velocidades de flujo la tasa de recambio del agua de los cenotes es baja. Para que se de una renovación mayor se necesita un aumento en el gradiente hidráulico, lo cual ocurre estacionalmente por la temporada de lluvias (Kauffer et al., 2012; Bautista et al., 2011; Beddows et al., 2007).

A estas características de flujo, se suman las condiciones de permeabilidad de la roca que conforma la superficie de la península, lo que potencia el riesgo de contaminación de este acuífero. En el paisaje kárstico, debido a la escasa o nula capa de suelo recubriendo la roca madre (Mahler et al., 2000) y a la presencia de fracturas y fisuras en la roca se inhiben los mecanismos de filtración de los contaminantes microbiológicos. Lo cual puede permitir que los efluentes con cargas de patógenos lleguen con toda su potencial infecciosa al manto freático (Calò & Parise, 2009). Además, la complejidad del flujo en estos acuíferos ocasiona tres fenómenos que impactan en la contaminación: i) la convergencia de flujos desde puntos distantes, que ocasionan la acumulación de sustancias provenientes de diferentes fuentes tanto cercanas como lejanas, ii) la dispersión de flujos y por lo tanto de contaminantes, que ocasiona que un depósito de contaminantes subterráneos pueda diseminarse a los alrededores, y iii) el confinamiento de cuerpos de agua que desemboca en la capacidad de acumular y almacenar dichas sustancias por largos periodos de tiempo (Field, 1993; Ghasemizadeh et al., 2012).

### **2.2.2. Características antrópicas de vulnerabilidad**

Existen cinco problemas principales a los que toda población ubicada en un sistema kárstico se enfrenta: 1) La imposibilidad de determinar con certeza los patrones de flujos subterráneos, 2) la escasés o ausencia de cuerpos de aguas superficiales, 3) la inestabilidad de la superficie terrestre, 4) la filtración de líquidos al subsuelo y 5) la dificultad de la disposición sustentable de residuos humanos, tanto sólidos como líquidos (Field, 1993). El estado de Yucatán se enfrenta a estas dificultades, pero sobre todo, debe hacer frente a la falta de un sistema de drenaje y la insuficiencia de las plantas de tratamiento de aguas servidas.

Según el Programa Estatal de Desarrollo Urbano de Yucatán 2014 (Centro Eure, 2014), en el estado se generan poco más de 27 millones de m<sup>3</sup> de aguas residuales al año. De esta cantidad casi 6 millones de m<sup>3</sup> corresponden a efluentes domésticos, de los cuales, debido a la insuficiencia de plantas de tratamiento, sólo reciben tratamiento el 2.4%. El estado cuenta con un total de 25 plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, las cuales no alcanzan a cubrir las necesidades de la entidad. A nivel nacional el estado ocupa el lugar 30 de 32 entidades en cuanto al tratamiento de sus efluentes domésticos. A esto se le agrega que no existe en el estado un sistema de alcantarillado que dé cobertura a las poblaciones en el estado y que tampoco tiene un sistema de tratamiento de aguas de escorrentía, estas entran directamente al manto.

En cuanto a los desechos industriales se generan 16.4 millones de m<sup>3</sup> al año, que representan el porcentaje más elevado respecto del total de efluentes en el estado (60.66%), seguida de las pecuarias (17.24%) y la acuicultura (0.16%). De este conjunto de descargas, las generadas por granjas porcícolas representan un grave problema de contaminación para el acuífero, pues sólo el 63% recibe un tratamiento parcial (Centro Eure, 2014). Recordemos que debido a la permeabilidad, fisuras y fracturas en el suelo estas aguas servidas al ser descargadas directamente al suelo o a sistemas primarios defectuosos pueden llegar directamente al manto freático.

Esta situación persiste a pesar de que se cuenta con el marco legal necesario para la prevención y control de la contaminación del agua. A partir de la década de los 80's se publican una serie de normativas con el fin de regular el tratamiento de aguas residuales: la

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente (1988), el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua en el Municipio de Mérida (1994) y el Reglamento de Protección al Ambiente y del Equilibrio Ecológico del Municipio de Mérida (2005). Pero no ha existido congruencia entre la teoría normativa y la práctica en el estado (Febles-Patrón & Hoogesteijn, 2008).

### **3. Percepción y conocimientos locales**

Como puede apreciarse, es necesario comprender cómo tanto las características hidrogeológicas del terreno como las acciones humanas contribuyen al estado de vulnerabilidad del acuífero de Yucatán frente a la contaminación. Por lo que, para lograr un manejo adecuado del acuífero y de sus cenotes es necesario que los habitantes de la península y los actores que manejan directamente el recurso conozcan estas condiciones de vulnerabilidad y sepan actuar para aminorarla.

En cuanto a los cenotes de uso turístico los principales grupos involucrados en su aprovechamiento económico son: Los particulares y las cooperativas que administran el cuerpo de agua y los organismos gubernamentales de regulación del medio ambiente o de los recursos hídricos. Al ser los administradores los sujetos que se encuentran en constante interacción con el cuerpo de agua se forman una concepción de su funcionamiento. Además se encuentran interactuando tanto con los turistas como con los organismos gubernamentales, lo que los puede llevar a observar comportamientos o acciones que ayuden o perjudiquen la preservación de los cenotes.

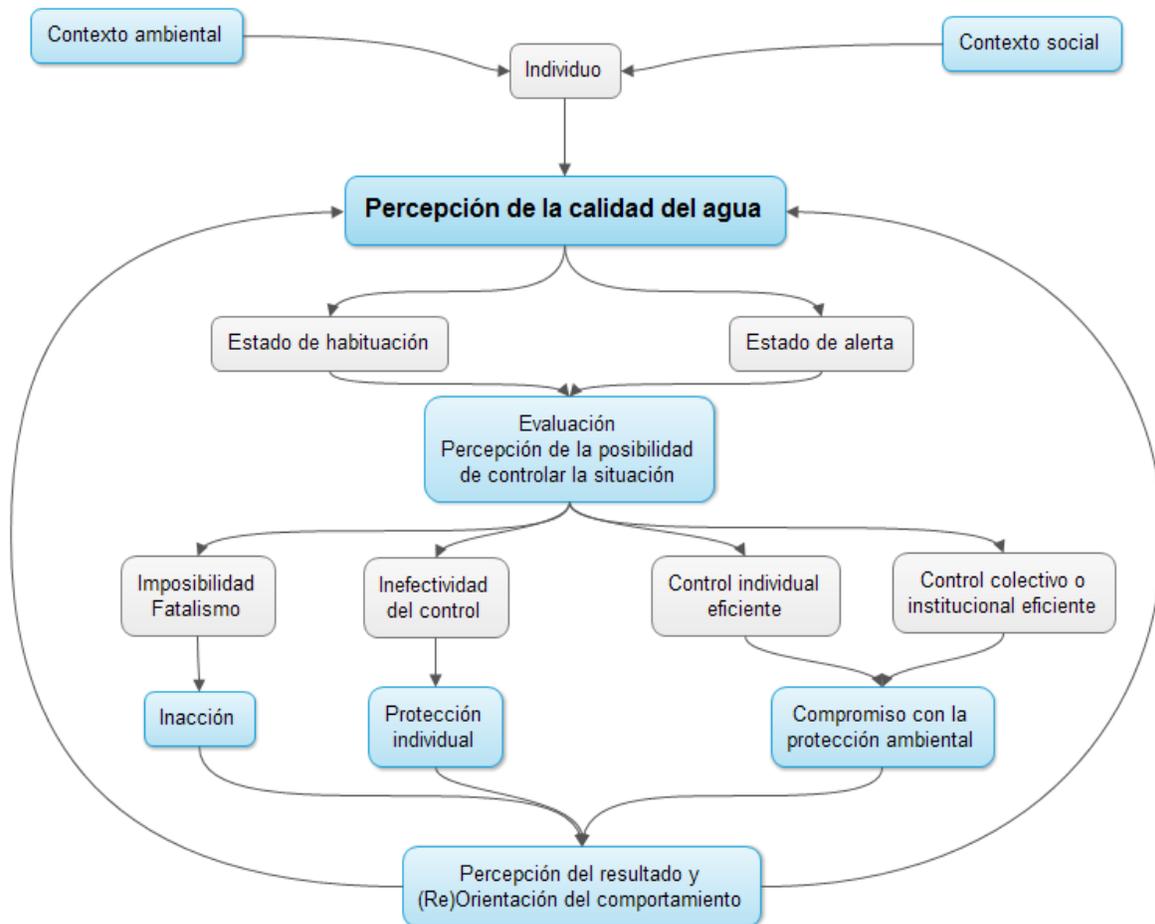
En base a estas experiencias, a los conocimientos que tengan sobre el acuífero subterráneo y su percepción de riesgo ante la contaminación, los administradores podrán considerar necesario o útil realizar acciones que protejan el cenote que administran, el cual es una fuente importante de aprovisionamiento económico. Es por esto que se decide enfocar el presente estudio en observar los conocimientos y percepciones de riesgo que poseen los administradores de cenotes en torno al recurso que administran.

### **3.1. Percepción de la calidad del agua**

La percepción, al ser una selección y jerarquización de estímulos físicos y sensaciones se apoya en componentes ambientales y socioculturales (Vargas, 1994). Referente a los cenotes, las percepciones de limpieza del agua pueden descansar en las características físicas observables (transparencia, color, olor, presencia de materia orgánica en el cenote, vegetación circundante, entre otros), además de la relación espiritual y utilitaria que se tenga con el cenote (Story & Forsyth, 2008). Será la evaluación de la calidad del agua, resultante de su interacción con el cenote, la que les permitiría descubrir cambios y signos de deterioro, y en su caso aplicar medidas de mitigación (Figura 2).

Para los administradores de origen maya, existe también una relación cultural e histórica. En el pasado las sociedades mayas tenían un estricto control sobre el recurso, que lograban empleando tanto poder físico como espiritual. Así, el agua dentro de las culturas se llena de simbolismos, volviéndose un elemento fundamental de la religión y el arte (Moser et al., 2010). El papel que juega el agua dentro de la sociedad y la cultura va permitiendo que se construya una serie de opiniones, conocimientos y creencias en torno al recurso, constituyendo una representación social del objeto (Moser et al., 2010). Este constructo social tiene una influencia en las vivencias y construcciones de cada individuo que forma parte del grupo. Pero no serán el único determinante en la relación que desarrolle una persona con su ambiente.

Además del componente sociocultural, el comportamiento ecológico también se ve influenciado por las experiencias, los valores, las aspiraciones y las preferencias individuales (Moser et al., 2010). Los individuos desarrollarán una relación con el cuerpo de agua que administran y tanto su entorno sociocultural como sus experiencias individuales influirán en la conformación de su percepción ante el recurso (Moser et al., 2010). Así, tanto las representaciones sociales como las características individuales se conjuntan para dar lugar a un comportamiento frente al recurso agua/cenote.



**Figura 2:** Percepción de la calidad del agua y orientación del comportamiento. Modificada de Moser et al. 2010

Los cenotes de uso turístico son administrados mediante diversos mecanismos, ya sea de manera privada o como cooperativas, y por individuos de diferentes características demográficas. Los administradores de cenotes desarrollan una percepción individual (diferente a la de cualquier otro actor) de la calidad del agua del cuerpo que administran y de la vulnerabilidad de dicho recurso a ser contaminado. Las percepciones, actitudes, expectativas y comportamientos ante circunstancias ambientales dadas, darán forma a diferentes estrategias de uso y manejo (Moser et al., 2010), en este estudio específicamente a las decisiones de uso y manejo de los cenotes.

Para lograr el manejo adecuado de un recurso, lo más importante es entender cómo los individuos que lo manejan, perciben y entienden dicho recurso. En el caso de la contaminación

de cenotes ¿los administradores reconocen la existencia de un problema de contaminación? ¿Qué magnitud le otorgan al problema de contaminación? Si el administrador no percibe la presencia de un problema ¿tendrá motivaciones suficientes para comprometerse con la solución del mismo? (Story & Forsyth, 2008). Por la forma en la que ocurre la contaminación y por la dificultad de identificarla dependiendo del compuesto contaminante, las personas se acostumbran, aceptándolo como normal. La pregunta que surge: ¿Será éste el caso de los cenotes?

### **3.2. Conocimientos sobre la hidrología del cenote**

Otro componente cognitivo que pueden llegar a influenciar en el comportamiento es el conjunto de conocimientos o creencias que un administrador posea sobre el funcionamiento hidrológico de su cenote. En el presente estudio las creencias se definirán como conocimientos, las construcciones personales que pretenden explicar el funcionamiento del entorno que rodea a un individuo y la forma en que éste debe manejarlo. Estas creencias pueden ser ciertas o no, desde otras perspectivas, por ejemplo la científica (Burns & Gomolinska, 2001; Glikman et al., 2011).

Los conocimientos apoyados en los conocimientos científicos, aunque no son el único componente, son necesarios para desarrollar actitudes y comportamientos de cuidado y protección ambiental (Bamberg & Moser, 2007). Muchos problemas ambientales no se hacen evidentes sin conocimientos técnicos (Robelia & Murphy, 2012). Para el correcto manejo de los bienes ambientales es necesario conocer su funcionamiento (Flores-Díaz et al., 2014). Por ejemplo, se necesita un cierto conocimiento de las condiciones de permeabilidad del suelo y de las dinámicas de flujo de los acuíferos kársticos, para entender cuáles son los riesgos de contaminación al cual el manto freático puede estar sujeto y las posibles acciones de mitigación. Así, las acciones de prevención y remediación que los individuos emprendan tendrán efectividad más eficiente en tanto estén basadas en información científicamente comprobada.

Debido a la complejidad del sistema hidrogeológico característico del estado de Yucatán, los conocimientos y percepciones obtenidas por la experiencia y los saberes locales, podrían diferir del conocimiento producido por la comunidad científica, y probablemente generar una concepción errónea del funcionamiento hidrológico. Si solo se usa la capacidad

organoléptica para determinar el grado de contaminación de un sistema, se puede incurrir en errores. Muchas sustancias solo se hacen perceptibles a los sentidos cuando sus concentraciones son extremadamente elevadas. Por ejemplo la percepción de la calidad del agua, que se ha demostrado se basa principalmente en las características de turbidez del agua (Artell et al., 2013; Dinus, 1981; Smith & Davies-Colley, 1992; Steinwender et al., 2007), siendo que aguas percibidas como cristalinas pueden contener sustancias peligrosas que no dan coloración alguna, ni otras características organolépticas perceptibles para los humanos.

La conciencia de la existencia de los problemas de contaminación de los acuíferos es poco frecuente en la población en general, principalmente porque estos problemas son poco perceptibles a través del uso de los sentidos o las características organolépticas del agua (Story & Forsyth, 2008). Las fuentes de contaminación pueden estar a kilómetros de distancia, sin que los usuarios del cuerpo de agua conozcan dicha fuente. Es por esto que, la percepción y el conocimiento del sistema definirán la apreciación o no de un riesgo (McDaniels et al., 1997), y, por lo tanto las estrategias de uso y manejo (Moser et al., 2010). Si se percibe un riesgo pueden aparecer medidas de mitigación de impacto, si no se percibe un riesgo no se plantea siquiera una estrategia de mitigación o solución.

#### **4. Planteamiento del problema y justificación**

En la península de Yucatán, existe un proceso de contaminación del acuífero subterráneo y de los cenotes que está afectando directamente un recurso hidrológico vital para la población humana de la región (Marín & Perry, 1994; Marín et al., 2000; Cuevas et al., 2002; De la Lanza, 2006; Metcalfe et al., 2011; Arcega-Cabrera et al., 2014; Derrien et al., 2015). Este problema se origina a partir de diferentes actividades humanas que merman la calidad el agua del acuífero, principalmente la falta de tratamiento de efluentes urbanos e industriales.

La contaminación de los cuerpos de agua de uso recreacional es un problema de salud pública. La contaminación de las fuentes de agua para uso doméstico o recreativo puede volverse un grave problema de salud pública. La presencia de desechos fecales en cuerpos de agua utilizados para la recreación con contacto primario puede ocasionar problemas infecciosos en las mucosas expuestas, en el tracto gastrointestinal y en las vías genitourinarias (Soller et al., 2010; Sanborn & Takaro, 2013).

A pesar de ello, el gobierno del estado promueve el uso de los cenotes como recurso recreacional, que presuntamente funcionaría como un medio de subsistencia económica para sus administradores y una forma de protección del acuífero (SEFOTUR, 2001; Gobierno del Estado de Yucatán, 2013). Es decir, que se tiene por un lado la información arrojada por la comunidad científica que indica que los cenotes están contaminados y que esto puede representar un grave problema de salud para los bañistas, y por otro lado se tiene a las instituciones gubernamentales promoviendo su uso para la explotación turística, sin importar las consecuencias que esto pudiera tener para la calidad del agua de los cenotes y la salud de los usuarios.

Los administradores de cenotes, son los individuos que interactúan permanentemente con estos cuerpos de agua. Son capaces de tomar decisiones de manejo o conservación, dependiendo de la relación que tengan con este cuerpo de agua y de sus conocimientos sobre su funcionamiento hídrico. Debido a que estos individuos tienen una proximidad e influencia sobre el recurso hídrico, en el presente estudio se plantean las siguientes preguntas: ¿Qué conocimientos tienen los administradores de cenotes acerca de la contaminación en dichos cuerpos de agua?, ¿perciben los administradores que el agua está contaminada?, ¿perciben la vulnerabilidad del cuerpo de agua que administran?, ¿qué conocimientos poseen acerca del funcionamiento hidrogeológico de los cenotes?

Los administradores de cenotes seleccionan la información de la cual apropiarse para con ella construir las ideas que tiene del medio hidrológico que los rodea (O'Connor & Tindall, 1990). Los conocimientos y percepciones de riesgo que tengan estos individuos influirán en los mecanismos que adopten para la protección de los cuerpos de agua que administran. De su conocimiento y percepción acerca de la vulnerabilidad del acuífero dependerá la importancia que le den al cumplimiento de las normas y reglamentos para la protección de estos cuerpos de agua que el Estado comienza a generar.

Si los administradores de cenotes turísticos perciben un problema y tienen los conocimientos de cómo se genera este problema y qué acciones se pueden tomar para evitarlo, tendrán más herramientas que les permitan tomar medidas para proteger el cuerpo de agua que les proporciona un sustento económico y que forma parte del sistema de subterráneo que

integra su única fuente de agua dulce. Recordemos que son los expertos los que generan la información para crear mecanismos de protección al ambiente, es el Estado quien genera las políticas públicas de conservación preferiblemente apoyadas en la experiencia de los expertos, pero es la población en general, y en nuestro caso los administradores, los que implementarán dichas políticas. Si los administradores no comparten las preocupaciones ni comprenden las razones por las cuales se implementan las políticas y normativas para proteger el recurso hídrico, será difícil que las acepten y las pongan en práctica. El conocimiento del daño que ciertas actividades antropogénicas ocasionan al acuífero subterráneo puede llevar a la búsqueda de soluciones que beneficien a esta y las siguientes generaciones de habitantes del estado. En cambio, la falta de conocimiento en conjunto con los mitos y creencias erradas, pueden aumentar la afectación del acuífero.

El conocer las percepciones de riesgo y los conocimientos de los administradores de cenotes permitirá detectar los vacíos de conocimiento y generar mecanismos de difusión de la información. Esto con la finalidad de mejorar la aceptación de las políticas públicas de conservación del acuífero. La trascendencia de este estudio es mayor debido a que no hay antecedentes en la literatura científica relacionados con el conocimiento y la percepción que administradores de cenotes tienen sobre estos cuerpos de agua, por lo tanto es un estudio exploratorio que dará pie a más investigaciones sobre el tema.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Describir los conocimientos y percepciones de los administradores de cenotes de uso turístico en Yucatán, en relación a la hidrología y la contaminación fecal de estos cuerpos de agua.

### **Específicos**

- Sistematizar el conocimiento de los administradores acerca de las características hidrogeológicas de los cenotes.
- Conocer la percepción de los administradores acerca del riesgo a enfermarse por la presencia de materia fecal en los cenotes de interés turístico y recreacional.
- Conocer la percepción de los administradores de cenotes acerca del riesgo a que se contamine el cuerpo de agua.
- Realizar una detección cuantitativa de la presencia de coliformes y coliformes fecales en el agua en cenotes de interés turístico y recreacional.
- Cotejar la percepción de los administradores de cenotes de interés turístico y recreacional con los resultados cuantitativos de la presencia de coliformes y coliformes fecales en el agua de los cenotes estudiados.
- Comparara los niveles de contaminación fecal con los límites máximos permitidos en la normativa que regula la calidad de las aguas de uso recreacional.

## **METODOLOGÍA**

### **1. Tipo de investigación**

Este estudio se definió en dos grandes áreas: a) la percepción y el conocimiento de los administradores de cuerpos de aguas recreacionales (cenotes) y b) la calidad del agua de los cenotes estudiados.

El trabajo realizado fue de carácter descriptivo y exploratorio al no encontrarse antecedentes de este tipo de estudio con esta muestra, en la literatura. Se usaron varias herramientas metodológicas: i) Entrevista mixta a los administradores de cenotes, adicionalmente durante las visitas, se realizó observación directa de las instalaciones de los cenotes; ii) Análisis cuantitativo de la presencia de coliformes y coliformes fecales en el agua, esto mediante el uso de Placas 3M<sup>®</sup> Petrifilm<sup>®</sup>.

### **2. Población y muestra**

Para la aplicación de entrevistas mixtas, la muestra estuvo formada por administradores y personal de las cooperativas que administran cenotes de interés turístico y recreacional en el estado de Yucatán. Para este estudio se definió como cenote turístico aquel cuyo uso se explota de manera comercial generando dividendos a dueños o administradores. Se definió como cenote recreacional aquel en donde las personas hacen uso del mismo sin pagar arancel alguno por ello. La selección de la muestra de cenotes del estudio fue de tipo teórico intencional (Pérez, 1994). Esto con el fin de seleccionar los cenotes con mayor impacto turístico de la región y por lo tanto en los que existe mayor cantidad de bañistas expuestos a posibles contaminantes fecales en el agua. Ya seleccionados los cenotes de la muestra se realizó una entrevista mixta al administrador del cuerpo de agua seleccionado. Se realizó observación directa de las instalaciones sanitarias y por último se solicitó una muestra de agua para su posterior análisis microbiológico.

#### **2.1. Criterios de selección de cenotes**

Se identificaron los cenotes turísticos y recreacionales bajo cuatro características de inclusión. Los cenotes debían cumplir con tres o más de los requisitos que se enlistan a continuación:

1. Estar publicitados en más de tres direcciones web al analizar los primeros 15 resultados de la búsqueda en Google, utilizando las palabras clave “Cenotes Turísticos Yucatán” y “Yucatan Tourism Cenotes” (en inglés).
2. Estar publicitados en más de tres revistas o materiales impresos de promoción del turismo en Yucatán. Dichos materiales están disponibles en centros de información turística, puestos de revistas, tiendas de autoservicios y agencias de viajes en la ciudad de Mérida, Yucatán.
3. Presentar una afluencia mayor a 2,000 visitantes por año (dos temporadas altas de 125 visitantes/semana). Para los cenotes operados por el sector social este dato se obtuvo de investigaciones previas hechas en el departamento de Ecología Humana (Com. Pers. Dra. Ana García Sílberman). Se recurrió a la Unidad de Acceso a la Información Pública del Estado de Yucatán para la obtención de información de los cenotes operados por el Patronato de las Unidades de Servicios Culturales y Turísticos del Estado de Yucatán (CULTUR), el cual es un órgano estatal responsable de un patrimonio compuesto por 13 paradores turísticos ubicados en zonas arqueológicas, grutas y cenotes.
4. Recibir afluencia de grupos de turistas en camiones que ofrecen paquetes turísticos. Estos datos se obtuvieron por investigaciones previas en el Departamento de Ecología Humana (Com. Pers. Dra. Almira Hoogesteyn).

Se identificaron diez cenotes que cumplían con los requisitos propuestos, estos se muestran en el Cuadro 2. Para aprovechar al máximo la publicidad y afluencia de turistas a la zona en estudio se decidió extender la muestra añadiendo cenotes vecinos que se encontraran en una ubicación cercana a los cenotes identificados, ya que los turistas suelen visitar a más de un cenote durante los recorridos diarios. Con estos criterios se amplió la muestra a 31 cenotes (Cuadro 3).

**Cuadro 2:** Cenotes que cumplen con los criterios de selección del estudio.

<b>Nombre</b>	<b>Localidad</b>	<b>Municipio</b>	<b>Online &gt;3</b>	<b>Escrito &gt;3</b>	<b>Afluencia &gt;2000 al año</b>	<b>Transporte público/ Turoperadores</b>
<b>Cenotes de Cuzamá Bolonchoojol, Chaczinicche, Chelentún</b>	Chinkila	Cuzamá	X	X	X	X
<b>Cenotes de Homún</b>	Homún	Homún	X	X	X	X
<b>Xlakah o Xlacaj</b>	Dzibilchaltún	Mérida	X	X	X	X
<b>X-Canché</b>	Ek Balam	Temozón	X	X	X	X
<b>Xbatún</b>	San Antonio Mulix	Umán	X	X	X	
<b>Sak Mul Há</b>	Valladolid	Valladolid	X	X	X	
<b>Xkekén</b>	Dzitnup	Valladolid	X	X	X	
<b>Zací</b>	Valladolid	Valladolid	X	X	X	
<b>Dzul Há*</b>	Hacienda Sotuta de Peón	Tecoh	X	X	X	X
<b>Yokdzonot</b>	Yokdzonot	Yaxcabá	X	X	X	

\*Este cenote se encontraba ofertado como actividad incorporada al recorrido de la hacienda de Sotuta de Peón.

**Cuadro 3:** Selección de cenotes ampliada.

	<b>Nombre</b>	<b>Localidad</b>	<b>Municipio</b>	<b>Online &gt;3</b>	<b>Escrito &gt;3</b>	<b>Afluencia &gt;2000 al año</b>	<b>Camiones</b>
<b>1</b>	San Ignacio o Tuunich - Há	Chocholá	Chocholá	x	x		
<b>2</b>	Bolonchoojol o Bolom-Chokol	Chinkila	Cuzamá	x	x	x	x
<b>3</b>	Santa Cruz		Cuzamá				
<b>4</b>	Tsapakal		Cuzamá				
<b>5</b>	Chansinic'Ché o Chak-zinik-ché	Cuzamá	Cuzamá	x	x	x	x
<b>6</b>	Chelentún	Cuzamá	Cuzamá	x	x	x	x
<b>7</b>	Santa Rosa	Homún	Homún	x*	x*	x	x
<b>8</b>	Santa María	Homún	Homún				
<b>9</b>	Tza Ujun Kat	Homún	Homún				
<b>10</b>	Balmil/Uaymil	Homún	Homún				
<b>11</b>	Yaxbakaltún	Homún	Homún				
<b>12</b>	Xlakah o Xlacaj	Dzibilchaltún	Mérida	x	x	x	x
<b>13</b>	Dzul Há	Hacienda Sotuta de Peón	Tecoh	x	x		
<b>14</b>	Kalcuch	Sabacché	Tecoh			x	
<b>15</b>	Tzabnah	Tecoh	Tecoh				
<b>16</b>	Noh Mozón	Tecoh	Tecoh		x		
<b>17</b>	Nayáh	Tecoh	Tecoh				
<b>18</b>	Xocché		Tecoh				
<b>19</b>	Hubikú	Temozón	Temozón				
<b>20</b>	X-Canché	Ek Balam	Temozón	x	x	x	x
<b>21</b>	Ik Kil	Pisté	Tinum	x	x		
<b>22</b>	Xbatún	San Antonio Mulix	Umán	x	x	x	
<b>23</b>	Dzombacal	San Antonio Mulix	Umán				
<b>24</b>	Oxmán	Valladolid	Valladolid				
<b>25</b>	Sak Mul Há	Valladolid	Valladolid	x	x	x	
<b>28</b>	Suytún	Valladolid	Valladolid				
<b>29</b>	Yokdzonot	Yokdzonot	Yaxcabá	x	x		x
<b>30</b>	Kankirinché		Abalá	x			
<b>31</b>	Chihuan	Holcá	Kantunil	x			

\* Los cenotes de Homún se encontraron publicitados como un conjunto y no como un cenote en específico.

## **2.2. Criterios de inclusión para el administrador de cenote**

Se realizaron entrevistas a todos aquellos administradores de cenotes turísticos que aceptaran contestar el instrumento diseñado.

- Privado: se entrevistó al dueño del cenote. Si este no se encontró en el lugar, se entrevistó al encargado/a.
- Cooperativa: se entrevistó a algún miembro de la cooperativa que tuviera mayor participación en el la misma cooperativa. Los representantes de la cooperativa fueron los que reportaron a quien consideraban su vocero.

## **3. Entrevista mixta**

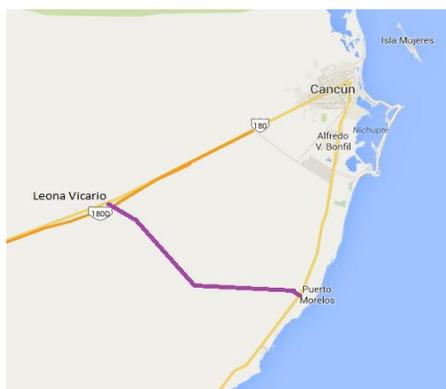
El instrumento diseñado tuvo por objeto evaluar tres aspectos.

1. Conocimientos que los administradores tenían sobre la hidrología del cenote, se evaluó si los administradores manejaron conceptos como la dinámica de flujo subterránea (forma y velocidad de flujo) y la capacidad de infiltración del suelo.
2. La percepción que tenían los administradores sobre la calidad del agua a través de su evaluación de la calidad del agua y de aspectos organolépticos percibidos, como color y olor.
3. La percepción que los administradores tenían sobre el riesgo de la contaminación fecal a la salud. Este último punto se dividió en: a) percepción del riesgo a enfermarse por contacto con aguas contaminadas, ya fuera por contacto por nado y por ingesta, y b) percepción del riesgo a que el cenote se contaminara. Para la sección de percepción de riesgo a la contaminación del cenote se inició la encuesta preguntando qué tanto sabían los administradores del problema de contaminación de los cenotes. Adicionalmente se construyeron reactivos en los que se preguntaba si un escenario presentado por la investigadora, era riesgoso para la calidad del agua de su cenote. Se abordó también el tema de las posibles acciones que los administradores pueden tomar para mitigar el riesgo de contaminación y qué actores podrían ayudar a evitar dicho problema.

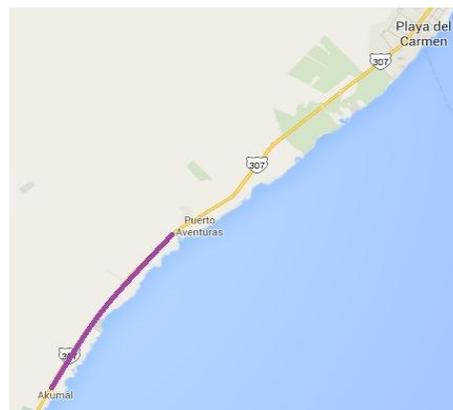
Se recabó también información sociodemográfica de cada administrador entrevistado.

## 4. Prueba piloto

Se realizó una prueba piloto para el análisis y adecuación de la entrevista mixta diseñada. La prueba se llevó a cabo en el estado de Quintana Roo, sobre la carretera que comunica Cancún con Leona Vicario y Puerto Aventura con Akumal (Figuras 3 y 4), que también cuenta con cenotes de uso turístico. Mediante el esfuerzo de muestreo se logró entrevistar a ocho administradores de cenotes. La aplicación del instrumento piloto nos permitió adecuar la redacción de algunos reactivos, eliminar ítems que no aportaban información para los objetivos específicos de la investigación y agregar preguntas que surgieron durante la plática con los administradores. El instrumento obtenido a partir de dichas modificaciones fue el utilizado para la realización de este proyecto de investigación (ANEXO 1).



**Figura 3:** Prueba piloto, lugar de muestreo I. prueba piloto. La línea morada indica la carretera entre Puerto Morelos y Leona Vicario donde se encuentra la Ruta de los Cenotes. Modificado de Google Maps.



**Figura 4:** Prueba piloto, lugar de muestreo II. La línea morada indica la carretera entre Puerto Aventuras y Akumal. Modificado de Google Maps.

## 5. Construcción de índices

### 5.1. Índice de conocimientos

Con las preguntas de la sección de conocimientos se construyó un “índice de conocimiento”. El índice evaluó el nivel de concordancia entre los conocimientos de los administradores y el conocimiento científico relacionado con la hidrogeología de los cenotes. Este índice se construyó con nueve ítems del guión de la entrevista mixta (Cuadro 4). Se examinaron las respuestas obtenidas para los reactivos seleccionados y se elaboró un criterio para su

evaluación. Si la respuesta del administrador era diferente a la establecida por la literatura científica o respondía “No sé”, el reactivo era calificado con un valor de cero puntos (0). Si la respuesta era correcta, el reactivo era calificado con un valor de un punto (1). Se sumaron las puntuaciones individuales para obtener un cálculo final por administrador. La mínima puntuación en el índice es cero, que corresponde a ninguna pregunta respondida correctamente. La máxima puntuación es nueve, correspondiente a todas las preguntas respondidas correctamente.

**Cuadro 4:** Ítems utilizados para elaborar el índice de conocimiento. La columna: “Moda”, presenta la respuesta más mencionada a cada pregunta, la columna: “Información científica” contiene la respuesta obtenida a través de la literatura científica.

<b>Pregunta</b>	<b>Moda</b>	<b>Información científica</b>
¿De dónde proviene el agua de los cenotes?	Ríos/venas subterráneas	Del acuífero subterráneo y de la lluvia.
¿Hay agua en todas partes bajo el suelo de Yucatán?	Sí	Sí
¿Por qué el agua aquí está sólo debajo del suelo y no hay ríos o lagunas?	No sé	Por la geología kárstica
¿A qué velocidad se mueve el agua abajo de la tierra?	Lento	Muy lento/Lento
¿Se renueva el agua del cenote?	Sí	Sí
¿Cada cuánto tiempo se renueva?	Diario/Constante	Estacional
¿Cómo se mueve el agua debajo de la tierra?	Ríos/venas subterráneas	Fisuras y fracturas en el subsuelo
¿Se filtra con facilidad el agua de lluvia que cae al suelo alrededor del cenote?	Sí	Sí
¿Qué cosas que estén a los alrededores se pueden filtrar por el suelo hacia el agua del cenote?	Ninguna	Cualquier sustancia que pueda lixivarse o colarse a través del karst

Para clasificar las respuestas como correctas o incorrectas se cotejo la información que proveyeron los administradores con la información que provee la literatura científica sobre el tema. Debido a que el objetivo del estudio no era evaluar si los individuos contaban con el vocabulario técnico en hidrogeología, se consideraron como correctas las respuestas que conceptualmente describieran al mismo proceso físico, independientemente del vocabulario utilizado. No podemos pretender entender las concepciones que el otro tiene de la naturaleza si el único marco comparativo que utilizamos proviene de una epistemología no universal (Hviding 2001).

## **5.2. Índice de percepción de riesgo a enfermar**

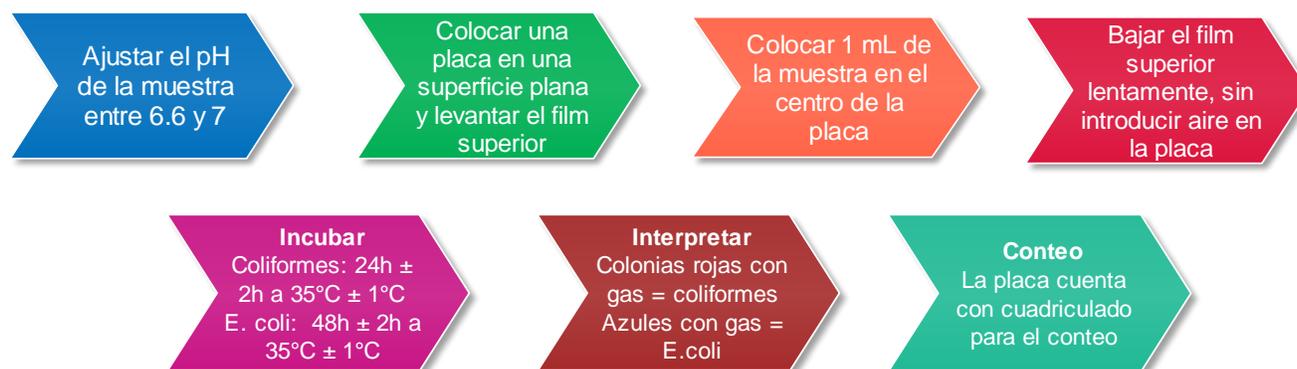
Se construyó un “Índice de la percepción del riesgo a enfermar por contacto con el agua del cenote”. Este índice se construyó con seis de los reactivos utilizados en la sección de percepción del riesgo de la entrevista mixta (ver ANEXO II). Se evaluaron las respuestas de los administradores y se creó un criterio para su calificación. Si el administrador de cenotes reportaba alguna de las situaciones presentadas por el investigador como riesgosa para la salud su respuesta se calificaba con dos puntos (2). Si el administrador no sabía si la situación presentada era de riesgo se le asignaba un punto (1). Se le dio un valor de cero (0) a las respuestas en las que el entrevistado no considerara la situación como un peligro para el usuario. Se decidió esta forma de calificación ya que si una persona no sabe que una situación implica un peligro, no puede percibir un riesgo pero esto no es lo mismo que negar que haya algún riesgo. Inmediato a la asignación de valores, se sumaron las puntuaciones individuales para obtener un cálculo final por individuo, el cuál fue dividido entre el número de preguntas evaluadas. Por lo tanto, el índice comprende valores del 0 al 1. Valores cercanos a cero representan que no se percibe riesgo y valores cercanos a uno indican la percepción de un alto riesgo.

## **5.3. Índice de percepción del riesgo de contaminación del cenote**

Se construyó un “Índice de percepción del riesgo de contaminación del cenote” para analizar cómo cada administrador percibía la vulnerabilidad que el cenote tenía a la contaminación. Este índice se construyó con 16 de los reactivos utilizados en la sección de percepción del riesgo de la entrevista mixta (ver ANEXO III). Se evaluaron las respuestas obtenidas y se creó un criterio para su evaluación. Al igual que en el índice de percepción de riesgo a enfermarse, si el sujeto consideraba una situación como riesgosa se le atribuían dos puntos (2), si no sabía si la situación era de riesgo se le evaluaba con un punto (1) y recibía cero (0) puntos al no considerar la situación como riesgosa. Se realizó la sumatoria de las puntuaciones individuales obtenidas. Dicho valor se dividió entre el número de preguntas evaluadas. Por lo tanto, el índice comprende valores del 0 al 1. Valores cercanos a cero representan que no se percibe un riesgo de contaminación de los cenotes y valores cercanos a uno indican que se percibe un alto riesgo a que los cenotes se contaminen.

## 6. Análisis microbiológico

Como una medida objetiva de contaminación fecal, se realizaron cultivos bacterianos utilizando como material de medición Placas 3M<sup>®</sup> Petrifilm<sup>®</sup> (3M Corporation, St. Paul, Minesotta, EUA). Estas placas contienen un medio de cultivo preparado para el recuento de coliformes. Contienen los nutrientes del agar Violeta Rojo Bilis, un agente gelificante soluble en agua fría, un indicador de la actividad glucuronidasa y un indicador de tetrazolio que facilita la diferenciación de colonias y el conteo. Adicionalmente permite la diferenciación de coliformes y coliformes fecales a través del uso de un film superior a la placa, que atrapa el gas producido por la fermentación de la lactosa por los Coliformes y por *E.coli* (3M Microbiology, Sin fecha). Este método de conteo de microorganismos ha demostrado una buena correlación con otros métodos estandarizados como el del número más probable y el de filtración por membrana (Beloti et al., 2003; Schraft & Watterworth, 2005). El método de uso de las placas Petrifilm<sup>®</sup> se presenta en la Figura 5.



**Figura 5:** Diagrama de flujo del proceso de conteo de coliformes mediante las placas 3M<sup>®</sup> Petrifilm<sup>®</sup>.

### 6.1. Colección de la muestra

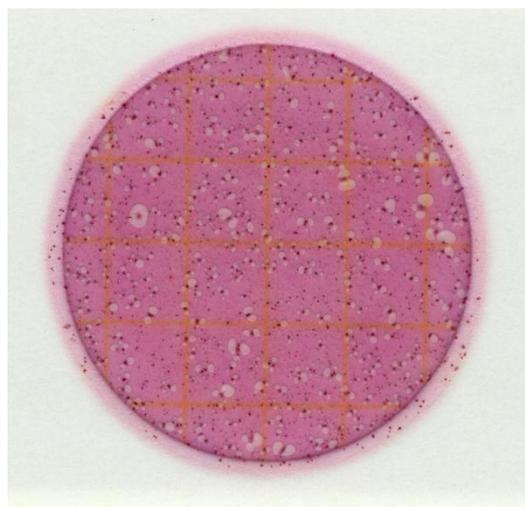
La muestra se tomó a la profundidad de 30 centímetros de la superficie del agua y a no menos de 30 cm del fondo del cuerpo de agua. Fue recolectada en el lugar donde los turistas tenían acceso al agua. Cuando el lugar de acceso tenía una profundidad menor a 60 cm se adentró en el agua hasta alcanzarse la profundidad de un metro. El agua se recolectó en frascos de plástico de 100 mL. El frasco se introdujo con la boca hacia abajo hasta la profundidad

seleccionada, se retiró el tapón y se invirtió el recipiente hasta llenarlo a dos tercios, aproximadamente, de su capacidad. Se colocó el tapón y se sacó el frasco del agua. Después de su recolección, la muestra se mantuvo a una temperatura de 4°C, sin permitir la congelación, hasta su procesamiento en el laboratorio el mismo día de la recolección.

## 6.2. Recuento de coliformes totales y coliformes fecales

El recuento de coliformes se llevó a cabo en una campana de flujo laminar, ESCO® Class II BSC (Hatboro, Pennsylvania, USA), según las especificaciones de las placas 3M® Petrifilm® Placas para Recuento de *E. coli* y Coliformes Totales (Figura 6). Se realizaron siembras por duplicado de la muestra en forma directa, en dilución 1:10 y en dilución 1:100. Para cada proceso de análisis se realizó una siembra de blanco con el diluyente utilizado para las muestras, pipetas y puntillas, esto para detectar fuentes de contaminación en el proceso. El diluyente utilizado fue solución de cloruro de sodio al 0.9%, Solución CS PISA® (Laboratorios PISA, Guadalajara, Jalisco, México). La toma de muestra se realizó mediante pipeta automática de 1 mL, Pipetman® (Gilson S.A.S., Villiers-le-Bel, France).

Se realizó el conteo en las placas enumerando las Unidades Formadoras de Colonia (UFC) por muestra. Por recomendación la guía de interpretación 3M® Petrifilm® se realizó el conteo para la dilución que contaran con una cantidad menor a 200 UFC por placa. Si la cantidad de UFC por placa rebasaba este criterio se procedía a la lectura de la placa con la dilución siguiente (Figura 6). Después del recuento individual se sacó un promedio de las lecturas para cada muestra y ese fue el valor considerado como resultado final del recuento.



**Figura 6:** Placa de recuento clasificada como incontable por rebasar las 200 UFC. En este caso se procedió al recuento de la dilución siguiente.

## **7. Procesamiento estadístico**

Toda la información obtenida tanto de la entrevista mixta como del análisis microbiológico del agua se recopiló en una base de datos en el programa Microsoft Office Excel 2007 (Microsoft México S.A., Distrito Federal, México). Los gráficos y tablas de frecuencias fueron realizados en este mismo programa. La estadística de asociación fue obtenida con el paquete estadístico InfoStat versión estudiantil 2014 (Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina). Los mapas del estudio fueron realizados mediante ESRI® ArcMap® 9.3 (ESRI, Redlands, California, USA).

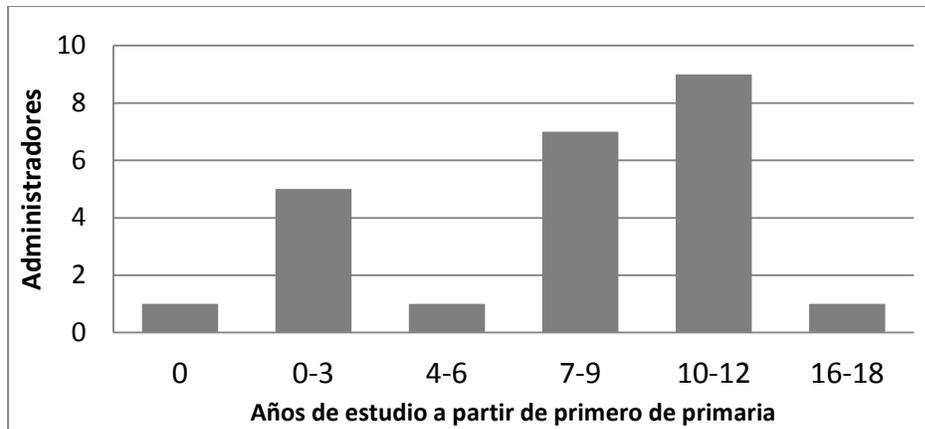
## **RESULTADOS**

### **1. ENCUESTA MIXTA**

Se logró la inclusión en el estudio de 31 cenotes de interés turístico o recreacional. De la lista original de cenotes seleccionados sólo en uno no se logró recolectarla muestra de agua, ni se realizó la entrevista con el administrador del recurso, ya que las personas implicadas no accedieron a contestar la encuesta ni permitieron el acceso al cenote. Debido a esta imposibilidad, se decidió incluir en el estudio otro cenote cercano.

De los cenotes estudiados dos no contaban con administrador, por lo que fueron clasificados como recreacionales al ser utilizados por vacacionistas, turistas y personas de la localidad pero sin generar lucro. Los otros 29 cenotes fueron clasificados como turísticos. Algunos individuos administraban más de un cenote, por lo cual se tomaron 31 muestras de agua pero se tienen solo 24 entrevistas. La muestra clasificada por género presentó seis mujeres y 18 hombres. La edad media de los entrevistados fue de 41.8 años con una desviación estándar de 15.2 años.

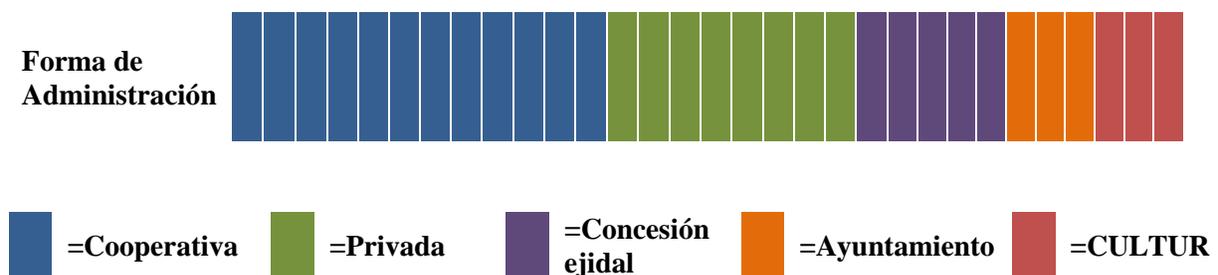
En cuanto a la escolaridad de los participantes la mediana fue de 9 años estudiados a partir del primer año de primaria, con un mínimo (min) de 0 años y una máximo (Max) de 17 años (Figura 7). Esta mediana equivale a tercero secundaria en el sistema educativo mexicano.



**Figura 7:** Escolaridad de los administradores entrevistados.

Como diferentes formas de administración de los cenotes se encontraron las cooperativas, los cenotes privados, los administrados por el Ayuntamiento Municipal, los manejados como concesión ejidal y los administrados por la paraestatal CULTUR (Cuadro 5). Doce de los veinticuatro administradores encuestados reportaron ser dueños del cenote y doce reportaron ser solamente empleados del lugar. La mediana del tiempo laborando en el cenote fue de 3 años (min=3 meses; Max=16 años).

**Cuadro 5:** Tipo de administración de los cenotes turísticos incluidos en este estudio. Cada recuadro corresponde a un cenote (N=29).



Durante la encuesta se les solicitó información a los administradores acerca de las instalaciones sanitarias del área adyacente a sus cenotes y la forma de disposición de residuos sólidos. Veintitrés cenotes contaban con instalaciones sanitarias, mientras que ocho no tenían instalaciones sanitarias. En los cenotes donde no se contaba con instalaciones sanitarias seis administradores reportaron que los visitantes utilizaban los baños de negocios aledaños y dos que los visitantes hacían sus necesidades fisiológicas al aire libre en el terreno

alrededor del cenote. De los cenotes que sí contaban con baño se le preguntó al administrador acerca de su sistema de disposición de aguas servidas. Los resultados se muestran en la Cuadro 6.

**Cuadro 6:** Sistema de disposición de efluentes de facilidades sanitarias en 29 cenotes en el estado de Yucatán. Información reportada por el administrador del cenote.

<b>Sistema de disposición de efluentes</b>	<b>Frecuencia</b>
Fosa séptica	9
Sistema de tratamiento con humedal	7
Sin instalaciones sanitarias	5
Baño seco	3
No sé	3
Sumidero	2

La Cuadro 7 indica las diferentes alternativas de los administradores para resolver el problema de la recolección y disposición de residuos sólidos. También se les preguntó si realizaban algún tipo de limpieza en las instalaciones del cenote. Esto con el fin de conocer qué sustancias se emplean en el mantenimiento y limpieza de las instalaciones (escaleras, plataformas o cualquier superficie alrededor del cenote). Los resultados se muestran en la Cuadro 8.

**Cuadro 7:** Métodos de disposición de residuos sólidos en cenotes en el estado de Yucatán. Información reportada por el administrador del cenote.

<b>Disposición de la basura</b>	<b>Frecuencia</b>
La recoge el Ayuntamiento	12
Se quema	6
Se traslada al basurero municipal	6
Se contrata a una empresa o persona para que se la lleve	3
Se entierra	1
No sé	1

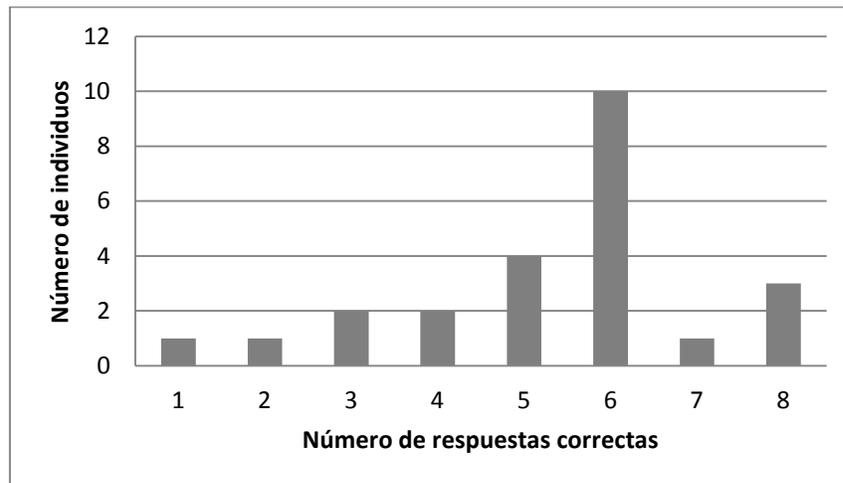
**Cuadro 8:** Actividades de limpieza realizadas en las instalaciones dentro y alrededor de los cenotes (N=29).

<b>Limpieza en las instalaciones</b>	<b>Frecuencia</b>
No se hace limpieza	7
Se recoge la basura	3
Se barre o lava sólo con agua	11
Se barnizan las escaleras	2
Se limpia con productos biodegradables	1
Se retira el lirio cuando crece mucho	1
Se limpia con productos de limpieza (cloro, pinol, detergente)	3
No sé	1

## 1.1. Conocimientos de la hidrogeología del cenote

### 1.1.1. Índice de conocimiento

El índice nos muestra el número de respuestas correctas por administrador de cenote (Figura 8). Se construyó con nueve preguntas referentes la hidrogeología de los cenotes (Cuadro 4).



**Figura 8:** Distribución de puntajes del índice de conocimiento hidrogeológico en administradores del estudio. El máximo puntaje posible era nueve, cuando todas las respuestas dadas estaban correctas (Cuadro 4), el mínimo cero cuando ninguna respuesta fue contestada correctamente.

Hubo preguntas del índice que causaron mayor dificultad a los administradores de cenotes y se observó que ciertos conocimientos están más difundidos entre la población. En la Cuadro 9, podemos observar en orden ascendente las preguntas del índice que causaron mayor dificultad entre los administradores. Cada pregunta fue formulada para indagar acerca de cuáles eran las concepciones acerca del gradiente hidráulico y de la conductividad hidráulica.

La pregunta con más respuestas incorrectas se refirieron a la formación y existencia del acuífero subterráneo. Las respuestas a esta pregunta fueron bastante variadas. La moda de respuesta a este ítem fue “No sé”, repetida por 11 administradores. Pero hubo otras respuestas, incorrectas, que dan cuenta de diferentes explicaciones a esta característica del acuífero. Dichas respuestas se encuentran representadas en la Cuadro 10.

Otra pregunta que causó dificultad fue: ¿Cada cuánto se renueva el agua del cenote? Cuatro administradores respondieron que era una cuestión estacional debida a la temporada de lluvias. Tres respondieron no saber. Once respondieron que diario o constantemente y dos administradores declararon que cerca de la medianoche se “activa” el cenote y el agua se renueva. En esta sección también se constató que la concepción de que el agua se mueve debajo del acuífero mediante “ríos subterráneo” es compartida por 18 de 24 administradores.

La última pregunta que causó dificultad fue: ¿Qué otras cosas [aparte de la lluvia] se pueden filtrar por el suelo hacia el agua del cenote? Nueve administradores respondieron que ninguna cosa aparte de la lluvia puede filtrarse hacia el cenote. Siete respondieron que todos los líquidos pueden filtrarse, pero en su cenote no. Sólo tres mencionaron que cualquier líquido que caiga cerca. Tres dijeron no saber y dos mencionaron basura y animales muertos.



**Cuadro 10:** Respuestas a la pregunta ¿Por qué el agua en Yucatán está sólo debajo del suelo y no hay ríos ni lagunas? (N=25)\*.

<b>Respuesta</b>	<b>Frecuencia</b>
No sé	11
Por el meteorito	4
Por el nivel del mar	3
Por el terreno de piedra caliza	3
Así es la Naturaleza/Dios	2
Porque no hay montañas	2

\*Uno de los administradores proporcionó dos respuestas.

Una de las preguntas que no se incluyeron en el índice de conocimientos fue: ¿hacia dónde se mueve el agua de los cenotes? Esto por su difícil clasificación como correcta o incorrecta. Estudios científicos han demostrado que el movimiento general del acuífero en la península ocurre hacia el mar, debido a la leve pendiente. Pero debido a la complejidad del suelo kárstico cada cenote cuenta con patrones de flujo diferentes, incluso en dirección opuesta a la pendiente (Gonzalez-Herrera et al., 2002). Las respuestas de los administradores a dicha pregunta se muestran en la Cuadro 11.

**Cuadro 11:** Respuestas a la pregunta ¿Hacia dónde se mueve el agua del cenote?

<b>Respuesta</b>	<b>Frecuencia</b>
No sé	9
Circula entre los cenotes	6
Al norte	3
Hacia el mar	3
Otros	3

## 1.2. Percepción de la calidad del agua

Una sección de la encuesta mixta fue dirigida a analizar la percepción de la calidad del agua de cenote que tenían los administradores. Para ello se realizaron varias preguntas acerca de las características organolépticas del agua del cenote. Para evaluar el componente olfativo de la percepción se le preguntó a los administradores: ¿A qué huele el agua de su cenote? La mayoría, 12 de 24 administradores, reportaron que el agua de su cenote no tenía olor; nueve respondieron que tenía un “olor natural”, sin describir más acerca del término utilizado; dos individuos reportaron que el cenote olía como a pescado o marisco; y uno más contestó que su cenote olía a tierra.

Para investigar sobre el componente visual en la percepción de los administradores, se les cuestionó acerca de si existe algún color de agua que indique limpieza, a lo que 16 respondieron que el color del agua no tenía que ver con la limpieza del agua, siete respondieron que sí había un color que indicaba limpieza y uno respondió no saber. De los administradores que reportaron que el color del agua indica limpieza cuatro dijeron que el color azul es el que indica limpieza; tres más consideraban al “transparente” como un color, que indicaba limpieza. El Cuadro 13 muestra las respuestas a la pregunta: ¿por qué el agua del cenote es transparente? Respecto al color del agua, también se les preguntó si éste cambiaba durante el año, a lo cual cinco administradores respondieron que sí y 19 que no.

**Cuadro 12:** Respuestas a la pregunta ¿Por qué el agua de cenote es transparente?

Respuesta	Frecuencia
No sé	6
Porque se filtra naturalmente y se limpia	4
Se mantiene limpia por la corriente	3
Porque tiene techo/es tipo cueva y no le entre basura	2
Por la profundidad	2
Así es la naturaleza	2
Otros	5

Al terminar con las preguntas referentes a la percepción organoléptica se prosiguió a realizar la sección de percepción de riesgo de la entrevista, en donde se pidió a los

administradores evaluaran la calidad del agua de su cenote. Esta pregunta se hizo al final de la encuesta ya que podía despertar ciertas susceptibilidades, los resultados se muestran en el Cuadro 13.

**Cuadro 13:** Respuestas a la pregunta ¿Cómo evaluaría la calidad del agua de su cenote?

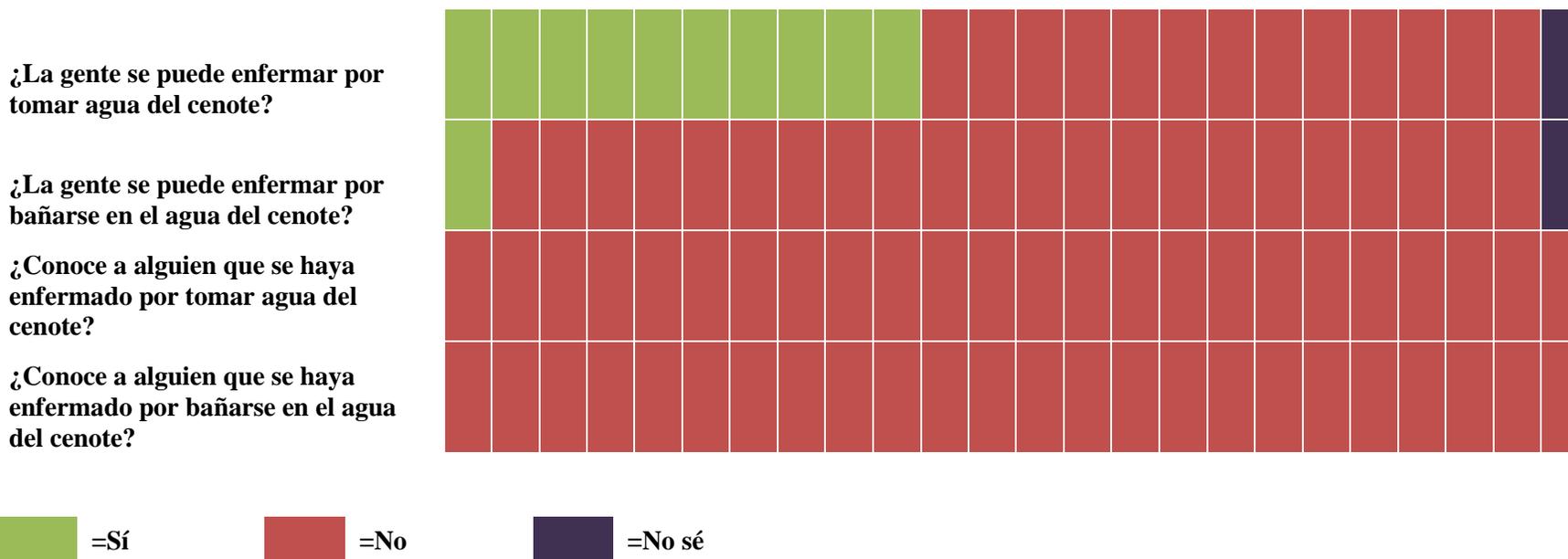
<b>Respuesta</b>	<b>Frecuencia</b>
Limpia	20
Ni limpia ni sucia	2
Normal, como agua de cenote	1
Un poco contaminada	1

### **1.3. Percepción de riesgo a enfermarse por contacto con agua contaminada**

Esta sección estuvo conformada por 13 reactivos encaminados a indagar si los administradores percibían algún riesgo a la salud por el uso del agua del cenote. Se realizaron preguntas en torno a dos usos principales: el consumo directo del agua del cenote y la inmersión en el agua del cenote. Las respuestas de los administradores se muestran en el Cuadro 14.

A los administradores que reportaron percibir riesgos para la salud por el consumo directo del agua de cenote se les preguntó acerca de la razón del riesgo. Esto para indagar si asociaban razones de calidad microbiológica del agua y el riesgo a enfermarse. Los resultados para esta pregunta se muestran en el cuadro 15. Sólo un administrador consideró que la gente puede enfermar por bañarse en el agua del cenote, pero las causas que reportó estaban asociadas a la temperatura del agua y el posible desarrollo de resfriados, no a la calidad microbiológica del agua.

**Cuadro 14:** Respuestas a las preguntas sobre percepción de riesgo a enfermarse por contacto con agua de los cenotes. Cada recuadro corresponde a la respuesta de un administrador (N=24).

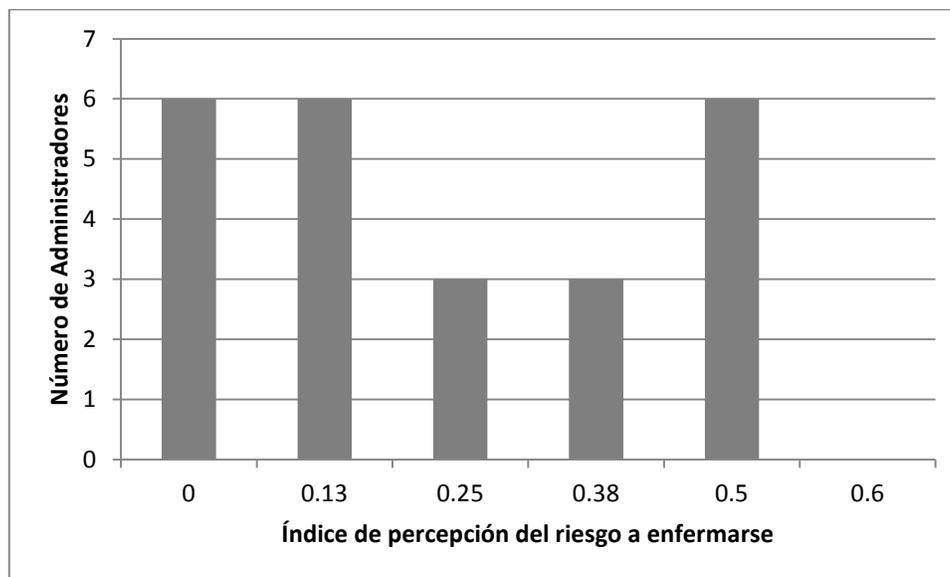


**Cuadro 15:** Respuestas a la pregunta ¿Por qué se enferma la gente al tomar agua del cenote? Ésta pregunta realizó a los administradores que consideraron que la gente sí se puede enfermar por tomar agua del cenote (N=10).

¿Por qué se enferma la gente al tomar el agua del cenote?	Frecuencia
Los bañistas ensucian el agua (bloqueadores, orinan, traen infecciones).	5
La gente en los pueblos conecta sus baños a pozos	1
Por el sarro de la piedra caliza	1
Porque el agua subterránea no se debe tomar	1
Porque el agua se debe hervir antes de tomar	1

### 1.3.1. Índice de percepción de riesgo a enfermarse

Con este índice se puede observar la distribución de los individuos en cuanto a su percepción de riesgo por contacto primario con el agua del cenote. Como se observa en la Figura 9, ningún administrador percibió más del 50% de las situaciones de uso del agua como riesgosas para la salud (N=24). Si consideramos una etiqueta nominal para las diferentes puntuaciones de los índices, como se muestra en el Cuadro 16, podemos observar que la mayoría de los administradores considera que no hay riesgo o hay un riesgo bajo para la salud por el contacto directo con el agua del cenote.



**Figura 9:** Gráfica de distribución de puntuaciones en el índice de percepción de riesgo a enfermarse con agua contaminada (N=24), donde 0 indica que no hay riesgo y 1 indica que hay riesgo.

**Cuadro 16:** Clasificación nominal de la percepción del riesgo. Realizada en base a los valores del índice de percepción de riesgo a enfermarse por contacto con agua contaminada (N=24).

Valor del índice	Etiqueta nominal	Número de administradores
0.0	Sin riesgo	6
0.01-0.20	Riesgo muy bajo	6
0.21-0.40	Riesgo bajo	6
0.41-0.60	Riesgo medio	6
0.61-0.80	Riesgo alto	0
0.81-1.0	Riesgo muy alto	0

Un aspecto a resaltar fue la constante referencia a que en tiempos antiguos el agua de cenote se utilizaba para tomar y nunca causó problemas a los habitantes de la región. Seis administradores mencionaron que no es causa de problemas para la salud el tomar el agua del cenote, que antiguamente la gente de allí tomaba el agua. Incluso hubo tres administradores que mencionaron que el tomar agua del cenote tenía propiedades medicinales. Por ejemplo lo mencionado por el siguiente administrador:

*“De hecho hay una señora que vino hace 5 años y volvió por agua, porque tenía artritis y volvió porque se curó al bañarse y tomar agua del cenote. Eso no lo sabíamos nosotros hasta que nos contó la señora. También hay gente que vuelve cada seis meses a nadar y llenarse de energía”.*

Seis de los administradores en el estudio al preguntárseles sobre si puede enfermar la gente por bañarse en el agua del cenote contestaron tomar un baño en el agua de cenote es curativo.

*“Al contrario, dicen que es buena, que es pura. A veces dicen que si estás enfermo de tos vas allá y se te quita si te metes a bañar.”*

Respecto al mismo tema, otro administrador menciona:

*“Al contrario, sana uno al salir de bañarse del agua del cenote. Por los químicos de la misma tierra curan a la gente.”*

Pero también hubo administradores que reconocieron que el agua de cenote, si bien era usada por las generaciones anteriores sin problemas, en la actualidad, la actividad antropogénica ha mermado su calidad. A continuación se presentan cuatro de los comentarios realizados por diferentes administradores.

Administrador 1: *“Es agua sana y saludable. Pero como luego la gente se baña... pero de que se puede tomar, se puede.”*

Administrador 2: *“Depende del cenote. Hay en unos de los que se puede tomar, en los que se baña la gente no se puede tomar por las infecciones que trae.”*

Administrador 3: *“En los que se baña la gente sí [se puede enfermar por tomar el agua], porque pueden orinar o según como lo trate la gente. En los del monte vírgenes no, en esos la gente toma.”*

Administrador 4: *“En cenotes cerca de comunidades o dentro de pueblos sí podría ser*

[que la gente se enferme por tomar el agua].”

Incluso hubo administradores que referían problemas de manejo y uso del recurso como fuente del problema. Un administrador mencionó cómo la falta de sistemas apropiados de manejo de efluentes afecta la calidad del agua de los cenotes:

*“Yo desde mis antepasados tomaba agua de cenote. Pero porque antes no había contaminación. Pero desde que vino el agua potable hubo gente que empezó a conectar sus baños al pozo. Antes todo era al aire libre y el sol lo secaba. Y no escurría tanto para abajo”*

Mientras que otro menciona cómo el uso de los cenotes ha ido cambiando históricamente. De exclusivo para el consumo humano a recreacional.

*“Antes de los garrafones se tomaba el agua del cenote y nunca surgió ningún problema. La gente no tenía acceso al cenote, era sólo para sacar agua.”*

Pero a pesar de las diferencias en las respuestas, domina la percepción general de que el contacto por bañarse en las aguas del cenote no acarrea ningún riesgo para la salud.

#### **1.4. Percepción de riesgo a la contaminación del cenote**

Esta sección fue dirigida a analizar si los administradores de cenotes percibían la vulnerabilidad del cuerpo de agua que administran, es decir, si percibían algún riesgo de que el cenote se contaminara. Para ello se comenzó indagando acerca del concepto de contaminación de cada administrador. Todos los administradores reportaron estar familiarizados con el término, al igual que haber escuchado acerca de la contaminación del agua. La mayoría definió a la contaminación como un estado pernicioso del agua que se suscita por la acumulación de basura, cremas o jabones. De las definiciones más completas está la del siguiente administrador:

*“Tirar los desechos tóxicos en un cenote, bañarse con champú, bronceador, jabón, es cuando se genera la contaminación del agua.”*

Hubo tres administradores que hicieron referencia a la proliferación de bacterias dañinas en el agua. Por ejemplo, uno de los administradores mencionó acerca de la contaminación:

*“[Es] El estado del agua cuando no está limpio y puede traer enfermedades. Puede contaminar el agua con bacterias o algo que afecte a los humanos o animales que vivan allá.”*

Otro más mencionó:

*“Es cuando tiramos basura y desperdicio que le nutre bacterias al agua y para nosotros es dañina.”*

Los administradores reportaron haber escuchado acerca de la contaminación de los cenotes mediante diferentes medios. Estos se presentan en el Cuadro 17.

**Cuadro 17:** Medios por los cuales los administradores se enteraron acerca de la contaminación de los cenotes.

<b>Medio</b>	<b>Frecuencia</b>
Medios de comunicación masiva (periódico, televisión, radio, revistas)	15
Comunicaciones personales	7
Comunicaciones de personal del gobierno (INAH, SEDUMA, CONAGUA)	4
Experiencia propia / lo he visto	2
Comunicación de la comunidad científica	1

Ya habiendo conocido si el administrador estaba familiarizado con el término de contaminación del agua se procedió a realizar preguntas acerca de cómo detectar la contaminación en un cuerpo de agua. Trece administradores reportaron que mediante características organolépticas como color, olor, sabor o consistencia se puede detectar cuando el agua está contaminada. Ocho de ellos afirmaron que no se puede saber hasta que se hagan análisis del agua para detectar la contaminación. Dos respondieron que tanto con análisis u observando las propiedades organolépticas era posible detectar la contaminación y un administrador más respondió no saber cómo detectarla.

Es importante comparar estas respuestas con las respuestas obtenidas, más adelante en la encuesta, a la pregunta ¿Cómo podemos saber si el agua está limpia? Las diferencias se marcan en el Cuadro 18. Estas discrepancias podrían deberse a una concepción diferente de los términos limpieza y contaminación. En donde la contaminación es detectada por las características organolépticas, pero para detectar limpieza es necesario realizar análisis.

**Cuadro 18:** Comparación de métodos de detección de agua contaminada vs agua limpia.

Método de detección	Frecuencia (N=24)	
	Agua contaminada	Agua limpia
Organoléptico	13	9
Análisis de laboratorio	8	8
Organoléptico y análisis	2	6
No sé	1	1

Se prosiguió la encuesta realizando preguntas generales acerca la contaminación de los cenotes (Cuadro 20). Estas preguntas estaban dirigidas a conocer si el administrador estaba familiarizado con el fenómeno de contaminación del agua y si lo consideraba un problema latente. Inmediatamente se prosiguió a presentar a los administradores posibles situaciones que ellos evaluaron como de riesgo o no para la calidad el agua de su cenote (Cuadro 21).

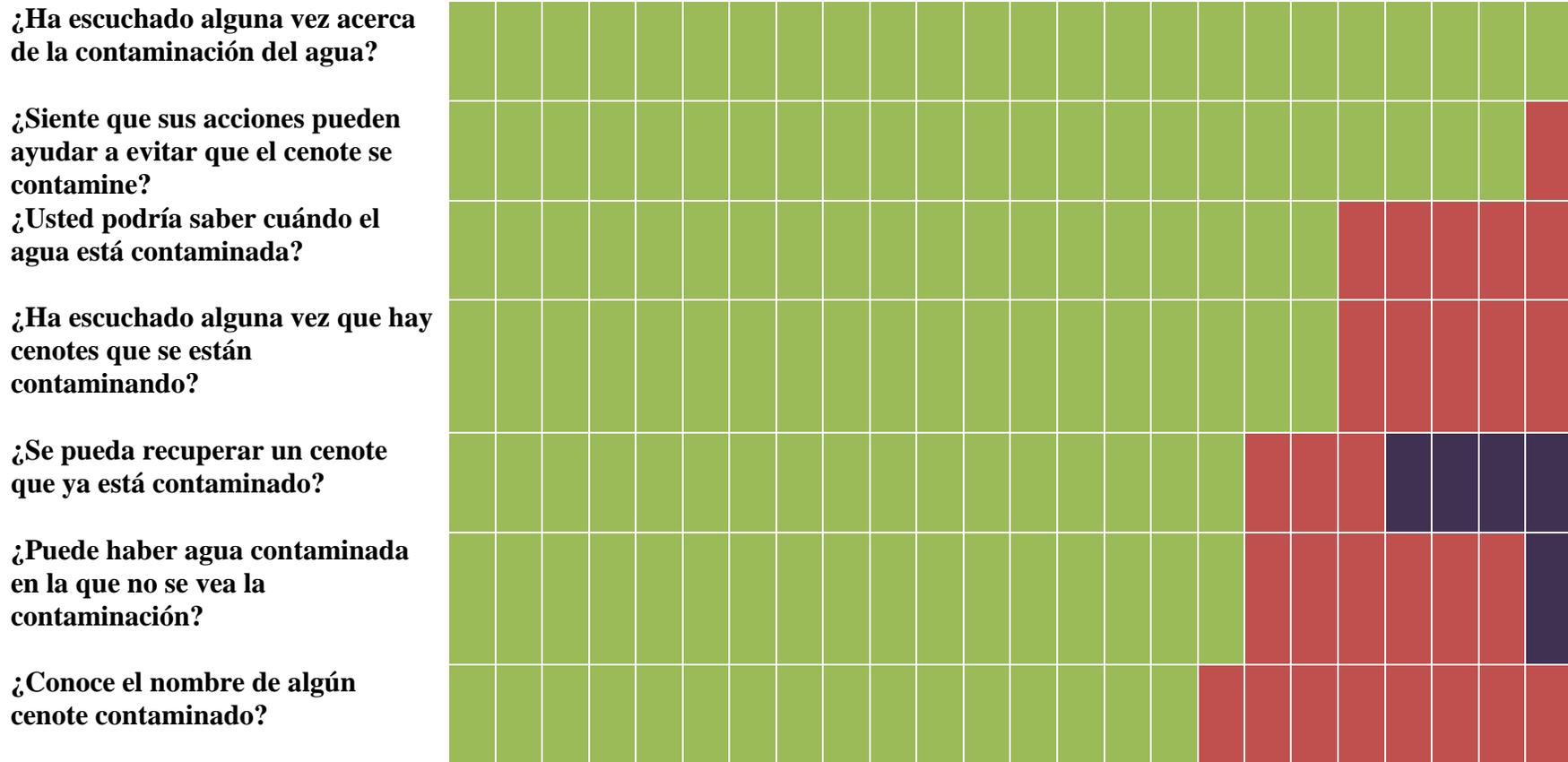
Se les preguntó, a los administradores, acerca de cenotes específicos que se identificaban como cenotes contaminados. La lista de cenotes mencionados se presenta en el Cuadro 19. Algunos administradores mencionaban cenotes cercanos al suyo, incluso en la misma localidad, pero no el suyo. El problema siempre era visto como de otros y no propio.

**Cuadro 19:** Nombre de cenotes contaminados o localidades con cenotes contaminados. Información provista por los administradores entrevistados.

Localidad o nombre mencionado	F*	Localidad o nombre mencionado	F*	Localidad o nombre mencionado	F*
Yaxcabá	1	Libre Unión	1	Mucuiché	1
Cuncunúl	1	Cenote azul	1	Abalá	1
San Antonio	1	Guaná	1	Xocchel	1
Zací, Valladolid	2	Chocholá	1	Ochil	1
Cenote Sagrado de Chichén	2	Cuzamá	1	Dzibilchaltún	1
Tivoli, Tulipanes, Por la Ford, Por Eladios, Mérida	1	Sotuta	1		

\*F= Frecuencia

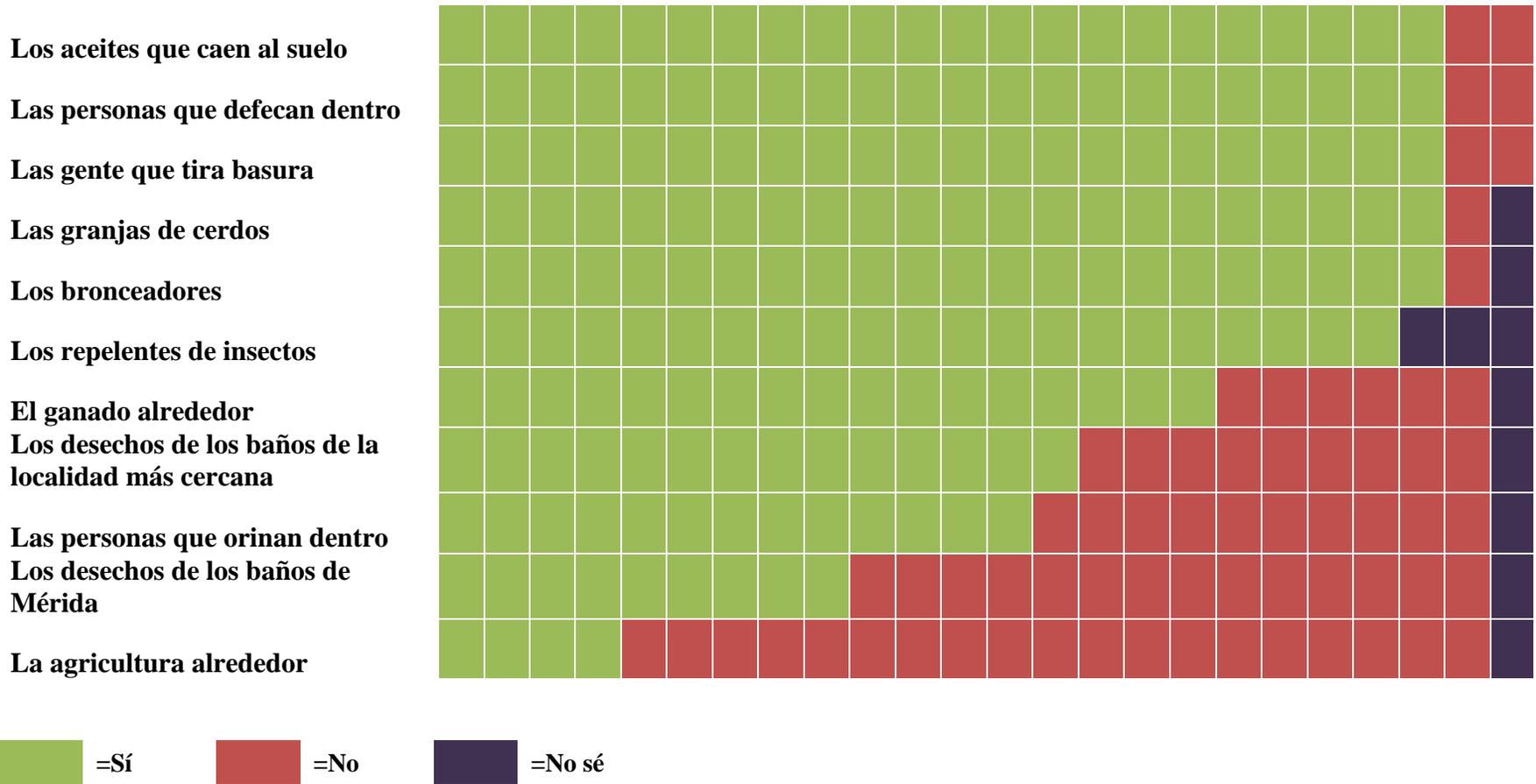
**Cuadro 20:** Respuestas para la sección de preguntas de riesgo de contaminación del cenote. Cada recuadro corresponde a la respuesta de un administrador (N=24). Las preguntas están ordenadas descendentemente en base al número de respuestas afirmativas (Sí) y no en el orden que se preguntaron.



=Sí
  =No
  =No sé

**Cuadro 21:** Percepción de situaciones que ponen en riesgo de contaminación al cenote. Cada recuadro corresponde a la respuesta de un administrador (N=24). Las preguntas están ordenadas en base al número de respuestas afirmativas (Sí) y no en el orden que se preguntaron.

**¿Usted cree que \_\_\_\_\_ puede(n) contaminar los cenotes?**



Al preguntárseles acerca de qué era lo que estaba contaminando a los cenotes, sólo cinco individuos respondieron que el drenaje. Catorce asociaron la contaminación a la basura y a las cremas bloqueadoras que utilizan los visitantes. Dos dijeron no saber qué es lo que contamina a los cenotes y tres más respondieron que cualquier sustancia extraña al cenote podía perjudicarlo. A continuación se muestra el comentario de uno de ellos:

*“Cremas, bloqueadores, aceites, fertilizantes, herbicidas. Todo tipo de químico con la lluvia puede filtrarse al subsuelo.”*

Se continuó preguntando a los administradores cuál creían que era la mayor amenaza para la calidad del agua de su cenote. Las respuestas se muestran en la Cuadro 22.

**Cuadro 22:** Respuestas a la pregunta ¿Cuál cree usted que es la mayor amenaza para el agua de sus cenote? (N=24).

<b>¿Cuál cree usted que es la mayor amenaza para el agua de su cenote?</b>	<b>Frecuencia</b>
Basura	5
Cremas bloqueadoras y bronceadoras	7
Cualquier químico que se eche la gente	4
Filtraciones de aguas negras	2
Que entren personas alcoholizadas	2
No hay amenazas	2
Otras *(Exceso de gente, animales muertos)	2

Todos los administradores de cenotes encuestados externaron que los turistas podían ser una causa de contaminación de los cenotes. En su mayoría esto se atribuyó a los bloqueadores, repelentes y otras cremas que los visitantes se colocaban antes de entrar al agua, 19 administradores mencionaron este problema. Hubo también cinco menciones a la basura dejada en el sitio por los visitantes. Solamente dos mencionaron como problema el que los bañistas realizaran sus necesidades fisiológicas en el agua y uno mencionó meterse al agua portando infecciones.

Ante este problema de contaminación por los turistas, algunos administradores reportaron tomar medidas paliativas y de control (Cuadro 23). Y como ya se presentó antes (Cuadro 20) la mayoría de los administradores entrevistados perciben que sus acciones sí pueden ayudar a evitar que los cenotes se contaminen. Esto puede constatarse al analizar las respuestas que dieron los administradores a la pregunta: ¿Quién puede tener mayor impacto en la protección de los cenotes? (Cuadro 24).

**Cuadro 23:** Respuestas a la pregunta ¿Qué hace usted para evitar que su cenote se contamine? (N=24).

<b>¿Qué hace usted para evitar que su cenote se contamine?</b>	<b>Frecuencia</b>
Tenemos reglas y letreros	8
Tenemos personal de vigilancia, damos indicaciones y limpiamos	6
Limpiamos	5
Limpiamos y damos indicaciones verbales	5
No dejamos que la gente entre con mochila	1

**Cuadro 24:** Respuestas a la pregunta ¿Quién tiene mayor impacto en la protección de los cenotes? Algunos individuos mencionaron más de una categoría como respuesta.

<b>¿Quién tiene mayor impacto en la protección de los cenotes?</b>	<b>Frecuencia</b>
Los dueños	9
Todos	7
El Gobierno	6
La población donde se encuentra el cenote	5
Los cuidadores	3
Prestadores de servicios turísticos	1

Ante la pregunta de quién es el actor con mayor responsabilidad en el cuidado de los cenotes los administradores respondieron de la siguiente forma: Doce individuos respondieron que la responsabilidad era compartida por todos los habitantes de la península. Nueve mencionaron que la mayor responsabilidad la tiene los dueños del cenote. Sólo dos personas mencionaron como principal responsable al gobierno y uno más señaló a los turistas. Las diferentes expresiones fueron bastante ilustrativas. Por ejemplo uno de los administradores mencionó:

*“Los pobladores son los que tienen que cuidar porque el gobierno viene una vez y luego se olvida. En cambio los pueblos deben cuidar porque de allí es el agua que tomarán. En cambio el gobierno solo viene, le interesa la zona turística y ya se va.”*

Otro más comenta respecto al gobierno:

*“Está difícil pedirle al gobierno que venga, así que nosotros mismos tenemos que hacer algo.”*

Un administrador que responsabiliza a los dueños y administradores de los cenotes propone:

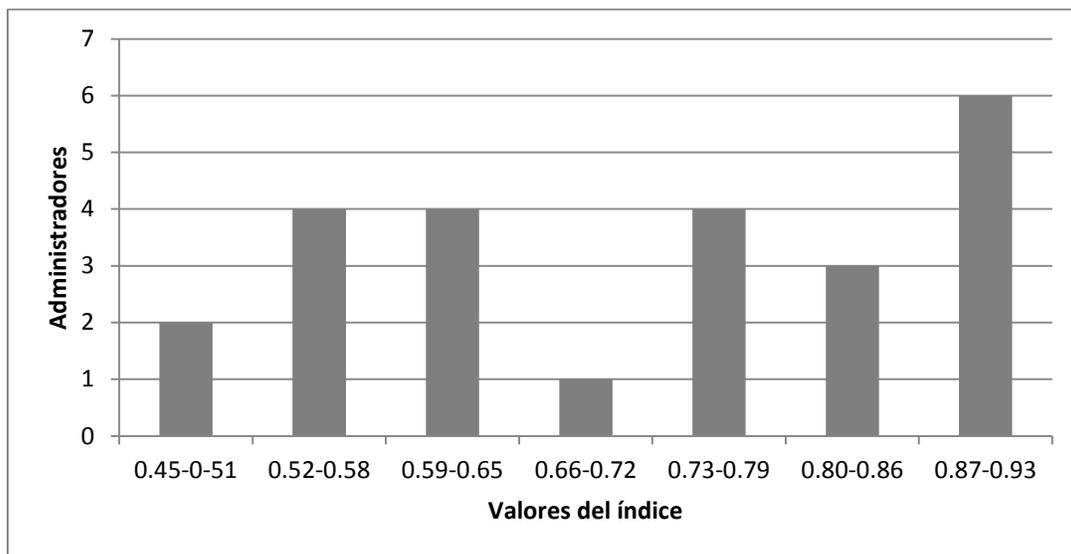
*“Se podrían congregar los prestadores de servicios y poner criterios uniformes para cuidar y para hacer conciencia.”*

Todos los administradores que mencionaron al gobierno ya sea como responsable o como el actor con mayor impacto en la protección, hicieron alusión a la divulgación del problema y las medidas para mitigarlo, así como capacitación para los encargados de los cenotes. Para ello, dijeron, pueden utilizarse los medios de comunicación o material impreso elaborado por el gobierno del estado.

*“Es cuestión de cultura, hay que inculcarle a la gente cómo debe dirigirse en esos sitios... El dueño y el gobierno promoviendo acciones para mantener limpio. Si la gente tuviera conciencia y supiera dirigirse en estos lugares se mantendrían limpios.”*

#### **1.4.1. Índice de percepción del riesgo de contaminación del cenote**

El índice nos permite observar cómo se distribuyen los administradores en cuanto a su percepción de riesgo a que se contamine el cenote (Figura 8). El administrador que obtuvo el puntaje mínimo en el índice sumó 0.47, mientras el que mayor puntaje obtuvo 0.87. Es decir 18 administradores consideraron que más de la mitad de las situaciones presentadas eran riesgosas para la calidad del agua del cenote.



**Figura 10:** Distribución de los administradores por puntajes obtenidos en el índice de percepción de riesgo a la contaminación del cenote.

### **1.5. Índice de conocimiento y escolaridad**

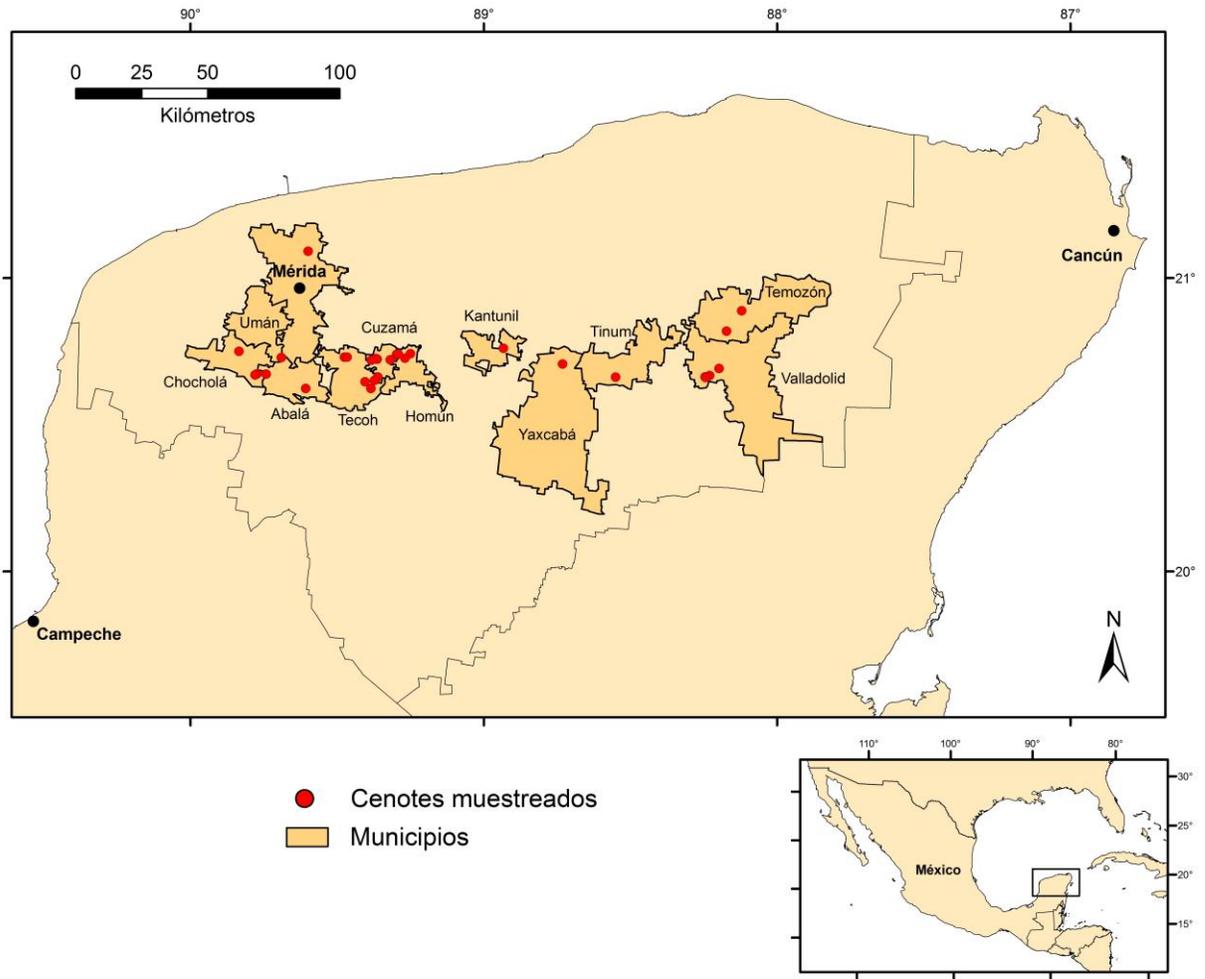
Se realizó un análisis de la asociación entre el grado de escolaridad de los administradores de cenotes y el número de respuestas correctas que obtuvieron en el índice de conocimientos elaborado. El resultado ( $r_s=0.26$ ;  $gl=22$ ,  $p=0.22$ ) nos indica que no se encontró asociación entre el grado de escolaridad de los individuos y sus conocimientos acerca de la hidrogeología de los cenotes. Tampoco se encontró asociación entre la escolaridad y los índices de percepción de riesgo de contaminación del cenote ( $r_s=0.11$ ;  $gl=22$ ,  $p=0.6$ ) y a enfermarse por contacto con agua contaminada ( $r_s=0.26$ ;  $gl=22$ ,  $p=0.22$ ).

### **1.6. Índice de conocimiento e índices de percepción de riesgo**

Se encontró que no existe asociación ( $r_s=0.14$ ;  $gl=22$ ,  $p=0.52$ ) entre las respuestas correctas en relación a la hidrogeología del cenote y la percepción del riesgo a que el cenote se contamine. No pudo asegurarse una asociación entre la percepción de riesgo a enfermarse por contacto con el agua contaminada y el índice de conocimiento; a pesar que esta regresión nos dio un valor de  $p$  estadísticamente significativo ( $p=0.01$ ), la regresión es sumamente débil ( $r_s=0.49$ ).

## 2. CONTEO DE COLIFORMES Y COLIFORMES FECALES

La ubicación de los cenotes muestreados se muestra en la Figura 11. Los resultados de los conteos de coliformes totales y coliformes fecales para cada cenote se muestran en el Cuadro 26.



**Figura 11:** Mapa de distribución de cenotes muestreados.

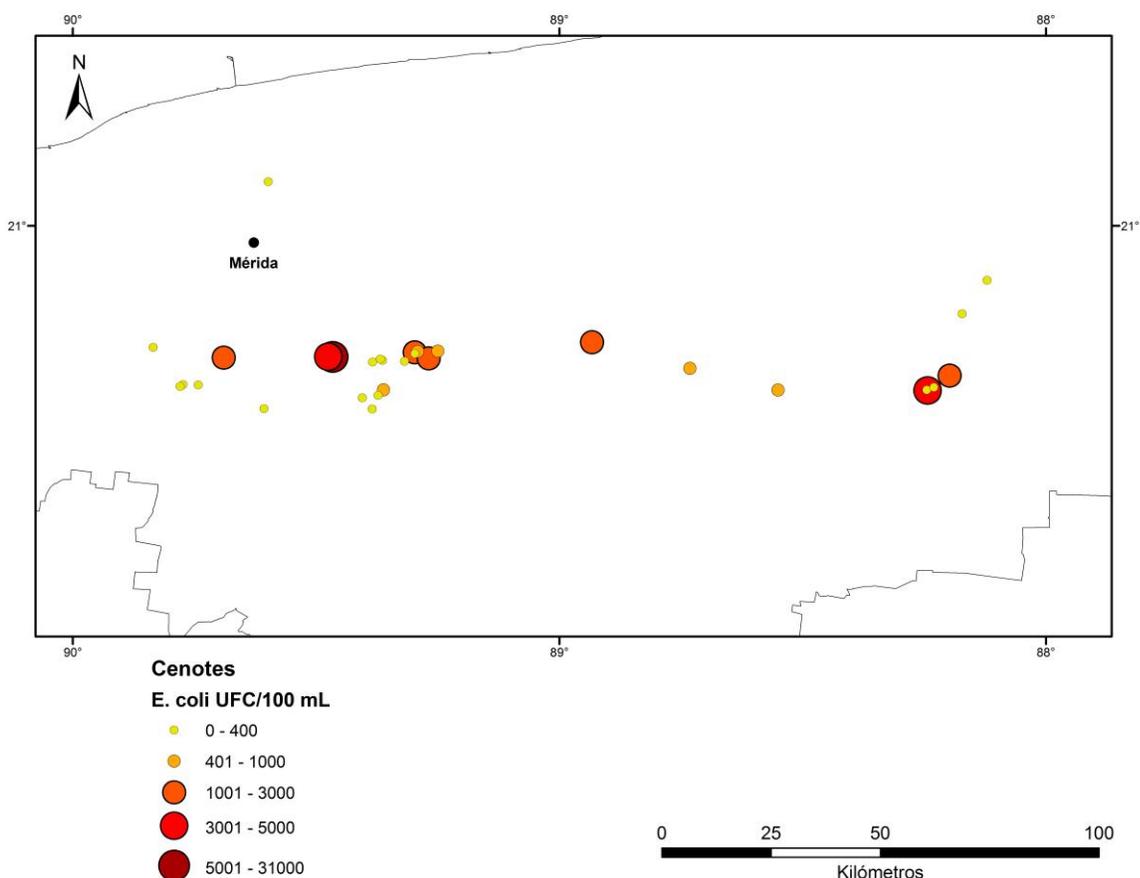
**Cuadro 25:** Niveles de coliformes totales (CT) y coliformes fecales (*E.coli*) por cenote.

Cenote	CT/100mL	<i>E.coli</i> /100mL
1	2000	0
2	2000	0
3	3250	0
4	6800	0
5	1900	200
6	13150	600*
7	500	0
8	26950	4400**
9	215500	31000**
10	12800	0
11	12500	1900*
12	3050	400*
13	3850	200
14	2400	300*
15	13200	200
16	6200	400*
17	14150	2000**
18	28300	5000**
19	7250	800*
20	6300	500*
21	4600	1600**
22	5600	0
23	2750	1000**
24	5500	1800**
25	14750	3000**
26	9450	900*
27	7850	300
28	1850	0
29	9100	300
30	4750	400*
31	19400	200

\*Número de UFC que rebasan los límites permitidos por la norma para la calidad del agua de uso recreacional de la EPA: OFFICE OF WATER 820-F-12-058

\*\*Número de UFC que rebasan los límites permitidos tanto por OFFICE OF WATER 820-F-12-058 como por la Norma Oficial Mexicana para descargas de aguas residuales en cuerpos de agua de uso recreacional: NOM-001-ECOL-1996.

Los resultados de los niveles de coliformes fecales en los cenotes y su distribución espacial se muestran en la Figura 12.

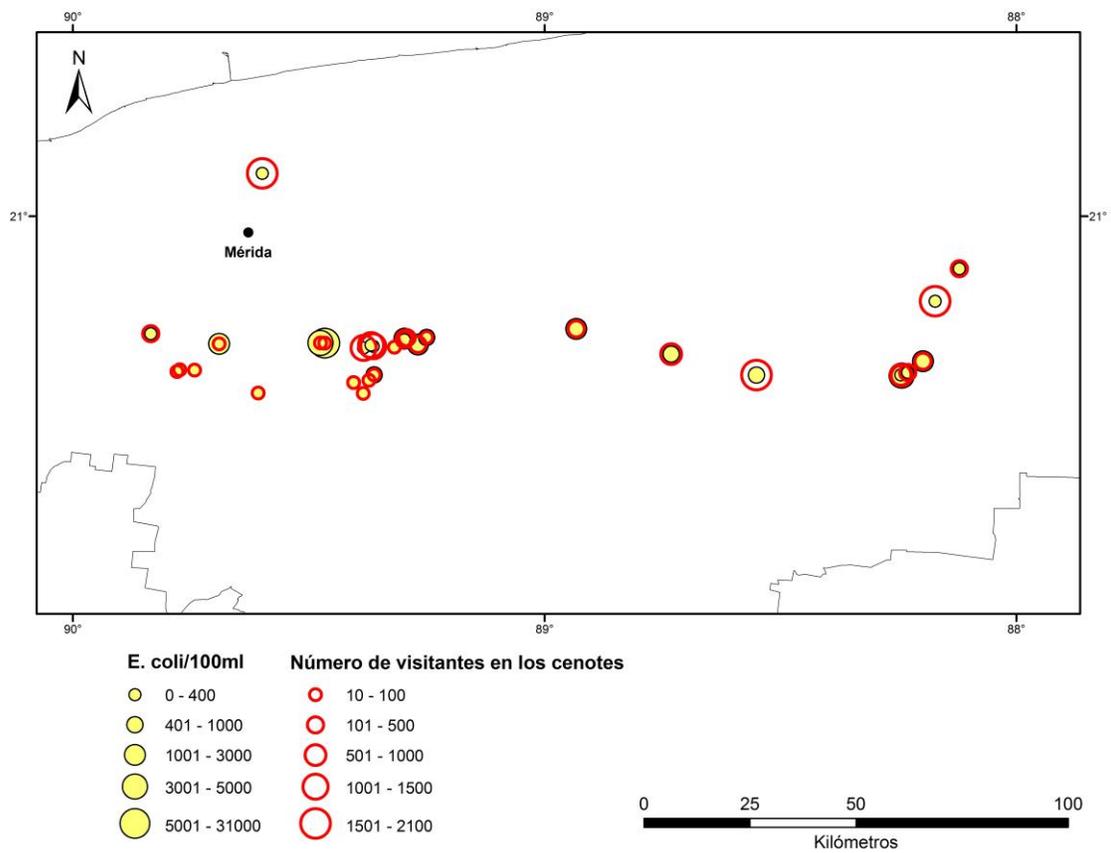


**Figura 12:** UFC de *E. coli* por cenote.

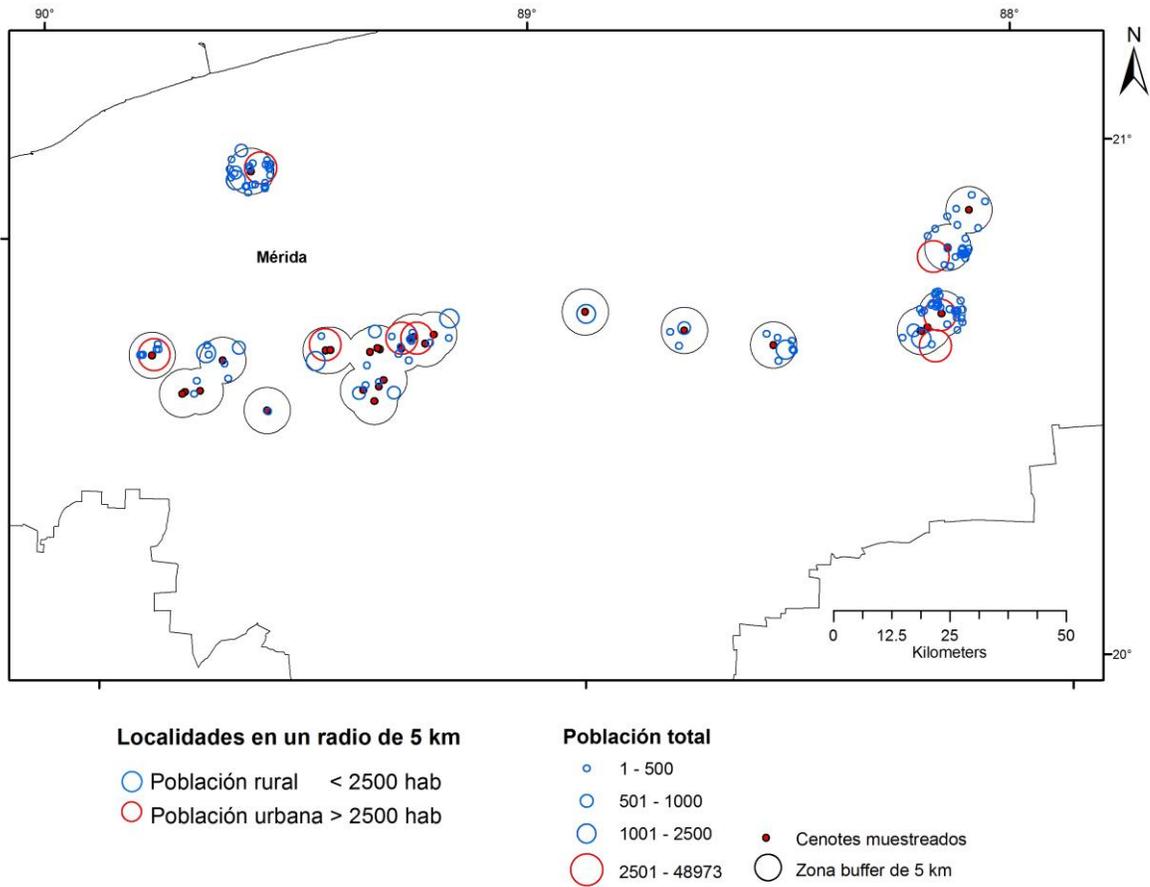
Se realizaron mapas comparativos del número de visitantes por cenote y el nivel de contaminación microbiológica que presentaban. La Figura 13 representa el nivel de coliformes fecales y número de visitantes por cenote. Se realizó una correlación entre el número de visitantes en cada cenote y su nivel de coliformes fecales. No se encontró asociación estadística entre las dos variables ( $r=-0.17$ ,  $p=0.37$ ).

Se construyó un mapa representando las poblaciones urbanas y rurales localizadas a un radio de 5 km del cenote (Figura 14). Esto con la finalidad de ubicar posibles fuentes de contaminación por efluentes domésticos. Además se buscó una asociación entre el número de habitantes en un radio de 5 km del cenote y el número de UFC de *E. coli* en el agua. El resultado arrojó que no existe correlación entre las variables ( $r= 0.07$ ,  $p= 0.69$ ). La

asociación tampoco se encontró para el número de UFC de coliformes totales en el agua ( $r=0.09$ ,  $p=0.61$ ).



**Figura 13:** UFC de *E.coli* y número de visitantes por cenote.



**Figura 14:** Poblaciones humanas localizadas a un radio de 5 km por cenote (INEGI, 2010).

## DISCUSIÓN

### 1. Calidad bacteriológica del agua

Al analizar los resultados obtenidos en el conteo de coliformes totales y *E. coli* en el agua de los cenotes, queda de manifiesto que la contaminación fecal del primer manto acuífero en la península de Yucatán es un problema real y grave. Cuando comparamos los niveles de coliformes encontrados en los cenotes turísticos con las diferentes normativas nacionales e internacionales para aguas de uso recreacional (Cuadro 1), podemos determinar si la calidad del agua es segura para los bañistas. Por ejemplo, 13 de los 31 cenotes en el estudio sobrepasaron los límites permisibles establecidos por los lineamientos de la EPA en OFFICE OF WATER 820-F-12-058. Estos lineamientos son específicos para cuerpos de agua dulce de uso recreacional. Es decir, estos 13 cenotes no cumplen con la norma establecida por la EPA para proteger la salud de los usuarios. Se puede aseverar que la calidad del agua de dichos cenotes no proporciona condiciones de salubridad adecuadas a los bañistas.

Ahora, considerando los lineamientos establecidos por la norma NOM-003-ECOL-1997, que determina los niveles permisibles de contaminación microbiológica en aguas residuales tratadas, 19 de los 31 cenotes no cumplen con los requerimientos. Esto es más alarmante aún si consideramos el límite máximo permisible para aguas residuales tratadas que se reutilizan en servicios al público con contacto indirecto u ocasional; para esta norma, nueve de los 31 cenotes no cumplirían con los requerimientos estipulados. Es decir, estos 9 cenotes ni siquiera cumplen con los criterios para aguas que formarán parte de fuentes, lagos artificiales o cuerpos de agua que no se usa con fines recreacionales.

El resultado más preocupante surge al comparar los conteos bacteriológicos con los criterios de la norma NOM-001-ECOL-1996 que determina el número de contaminación microbiológica permitida en aguas residuales vertidas en bienes y aguas nacionales, observamos que cinco de los cenotes no cumplen siquiera con los límites permitidos en esta norma. Esto representa un riesgo de salud pública. Consideremos que cinco cenotes, promovidos como turísticos, no cumplen con los lineamientos para la calidad de aguas residuales sin tratamiento que se descargan a suelos o cuerpos de agua nacionales. Además,

otros dos cenotes (cenotes 11 y 24) presentaron contajes ligeramente inferiores a los límites establecidos por la normativa.

Los resultados de este estudio evidencian la necesidad apremiante de un programa de manejo y protección de los cenotes, en el cual un componente primordial debe ser la evaluación de la calidad del agua mediante el monitoreo continuo. Esto permitiría detectar promedios mensuales de niveles de contaminación fecal, permitiría definir en qué estaciones del año y en cuáles cuerpos de agua existen valores pico de contaminación fecal. Recordemos que las normas para calidad de agua especifican como límite un nivel promedio de UFC, pero también incluyen un valor umbral que se refiere al nivel de coliformes que no debe ser rebasado por ninguna medición individual sin importar si el promedio de las mediciones cumple con los criterios de la norma.

Debido al carácter transversal del presente estudio, sólo pudo realizarse una toma de muestra de agua por cenote estudiado. Por lo que los límites utilizados para la comparación de las normas con los resultados bacteriológicos fueron los referentes a los niveles umbral. Esto deja abierta la posibilidad de que cenotes que se encontraron debajo del umbral pero con valores muy cercanos, no logren pasar las especificaciones al realizar el promedio de varias mediciones. O incluso que cenotes que cumplieron en ese momento con los niveles especificados por la norma rebasen el valor umbral en subsecuentes colecciones de muestra.

Muchos pueden ser los factores que influyen en la calidad del agua de los cenotes, desde los sistemas de disposición de efluentes o residuos sólidos en poblaciones circundantes, hasta el número de visitantes que recibe el cuerpo de agua. Pero, debido al carácter complejo del suelo kárstico, la identificación de las fuentes de contaminación es sumamente complicado.

Para el presente estudio se realizó una comparación entre el nivel de coliformes fecales encontrados en los cenotes y la cantidad de población total que habita dentro de una circunferencia de 5 km con centro en el cenote (Figura 13). Esta comparación tuvo la intención de buscar una asociación entre los asentamientos humanos y los niveles de coliformes en los cenotes. Recordemos que en la península de Yucatán no existe un sistema

integral de tratamiento o disposición de efluentes urbanos. Los resultados obtenidos ( $r=0.07$ ,  $p= 0.69$ ) no permiten confirmar una correlación entre el número de habitantes alrededor del cenote y los niveles de contaminación fecal en los mismos. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Arcega-Cabrera et al., 2014, y puede deberse a la complejidad del flujo subterráneo en el sistema kárstico. Este estudio hace referencia a la dificultad de relacionar el nivel de contaminantes en un cenote con posibles fuentes de contaminación aledañas. En dicho estudio se construyó un índice de fuentes de contaminación compuesto por la distancia y la cantidad de zonas urbanas circundantes al cenote, las granjas de animales de consumo humano que se encontraran a 5 km a la redonda y el tipo de suelo en el área de estudio. Mediante análisis espacial se buscó la relación entre dicho índice y los niveles de esteroides fecales en el agua. Los resultados del trabajo mostraron que no existe una relación clara entre los niveles de esteroides fecales y las fuentes de contaminación circundantes. Por lo que los autores concluyen que esto puede ser debido a las características del intrincado sistema de conductos y fracturas del terreno, que no sólo propicia filtraciones sino también la adsorción y encapsulamiento de contaminantes microbiológicos.

### **1.1. Disposición de residuos en los cenotes**

La forma de disposición de residuos sólidos y de efluentes dentro de las instalaciones del cenote también puede ser un factor que propicie la contaminación del agua. Este punto se abordó en la encuesta mixta realizada a los administradores de cenotes. En ella se evidenció que existen prácticas como la quema de basura en los alrededores del cenote o el entierro de los desechos sólidos (Cuadro 6). Veintiún administradores reportaron que sus desechos sólidos terminaban, mediante diferentes mecanismos, en los basureros municipales. No fue el objetivo de este estudio analizar si la disposición de residuos sólidos son las adecuadas para garantizar la protección del acuífero subterráneo; sería un punto adicional a tratar en futuras investigaciones relacionadas con el tema.

En cuanto a las instalaciones sanitarias, tres cenotes contaban con baño seco y siete con sistema de tratamiento de aguas con humedal artificial. En tres cenotes no se pudo comprobar el sistema de disposición de efluentes, y 15 disponían de un sistema sanitario deficiente para el tipo de suelo en el estado de Yucatán: Sumideros, fosas sépticas o sin

instalaciones sanitarias. En este punto es necesario aclarar algunas características de las fosas sépticas que nos llevan a considerarlas como un sistema inadecuado para la disposición de efluentes en el estado de Yucatán.

Existen regiones geográficas donde el tipo y grosor de suelo permiten la retención de líquidos. Si bajo estas condiciones existieran descargas de aguas de desecho a la superficie terrestre, podría darse un bloqueo de la migración vertical de contaminantes, sobre todo microbiológicos. Esto a través de mecanismos de sorción del agua residual con el suelo o de la inactivación de los microorganismos por competencia con organismos propios del suelo o de las comunidades de organismos del subsuelo (Katz et al., 2009). Pero, en contraste a la descarga de aguas residuales en la superficie, los efluentes provenientes de las fosas sépticas se vierten por debajo de esta barrera natural. Por lo que no pasan por el proceso de filtración y adsorción necesario, lo que hace que los indicadores y patógenos sean fácilmente detectables en los lugares donde los sistemas de fosa séptica son utilizados (Paul et al., 1995; Griffin et al., 1999, 2003; Lipp et al., 2002), sobre todo en terrenos kársticos (Mahler et al., 2000). Por ejemplo, en una cuenca con características kársticas en el norte de Florida, similares a las de Yucatán, se detectaron efluentes de fosas sépticas como la fuente más probable de contaminación por materia orgánica liberando aguas de desechos sanitarios, compuestos farmacéuticos y microorganismos (Katz & Griffin, 2008).

En el caso de Yucatán, el problema no solamente es el efluente descargado por debajo de dicha barrera, sino las condiciones kársticas. Debido a las fracturas y la porosidad del suelo los contaminantes líquidos pueden llegar directamente al acuífero sin sufrir transformación alguna. Lo que se conjuga con el problema de las condiciones inadecuadas de construcción y mantenimiento de las fosas sépticas en el estado, señalado por Febles-Patrón & Hoogesteijn, 2008. Debido a esto, las fosas sépticas no deberían ser el sistema de elección para la disposición de efluentes en el estado de Yucatán.

La regulación de las formas adecuadas para la disposición de efluentes en los cenotes es un campo que debe concernir al gobierno del estado. Tomemos como punto de partida el “Reglamento de la Ley de Protección al Medio Ambiente del Estado de Yucatán en Materia de Cenotes, Cuevas y Grutas”. Este documento contiene, entre otros puntos, los

lineamientos para la construcción de los sistemas sanitarios y el tratamiento de aguas en grutas, cuevas y cenotes que serán utilizados para el uso recreativo. Referente al tratamiento de aguas, el reglamento dispone en el artículo 24 *verbatim*:

*“Las aguas utilizadas para los servicios sanitarios deberán ser tratadas mediante biodigestores sellados, los cuales estarán situados a una distancia mínima de setenta y cinco metros fuera del radio que comprende la superficie acuática del cenote, cueva o gruta para prevenir su contaminación.”*

Mientras que para la construcción e instalación de servicios sanitarios refiere en el artículo 23, *verbatim*:

*“Toda construcción e instalación de servicios sanitarios requerirá de un estudio para verificar la dirección de los flujos subterráneos y definir la ubicación de dichos servicios en sitios que no afecten la calidad del agua de los cenotes, cuevas y grutas. Los módulos sanitarios deberán contar con la infraestructura necesaria para otorgar el servicio, de acuerdo al estudio de capacidad de carga turística del cenote, cueva o gruta. Las instalaciones de estos servicios deberán localizarse a una distancia de por lo menos setenta y cinco metros a partir de la boca del cenote, cueva o gruta.”*

Estos lineamientos tienen serias deficiencias que deben ser consideradas si en verdad se busca la protección de los cuerpos de agua. Primeramente, un tratamiento mediante un biodigestor sellado, como lo sugiere el artículo 24, es solamente un tratamiento primario. El tratamiento primario utiliza procesos mecánicos para remover los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables y la materia flotante, su objetivo no es la desinfección (Pescod, 1992). En un estudio realizado en las aguas de una gran planta de tratamiento primario se encontró que el tratamiento mecánico es capaz de remover solamente el 25% de los coliformes fecales en el agua (Payment et al., 2001). Los efluentes resultantes de un tratamiento primario no son aptos para su disposición directa en un cuerpo de agua; en principio, dicha agua residual debería seguir con un proceso de filtración antes de llegar al acuífero. Pero como ya se ha mencionado las condiciones kársticas de la península no proporcionan las condiciones necesario para que se den procesos de adsorción, filtración e inactivación de compuestos dentro de los efluentes. Esto quiere

decir, que para no afectar a los bañistas, los efluentes de las instalaciones sanitarias en los cenotes deben cumplir con los límites permisibles para la descarga de aguas residuales tratadas en cuanto salgan del biodigestor, pues es posible que mediante fracturas se infiltren directamente al manto acuífero. Recordemos que la norma NOM-003-ECOL-1997, indica que las aguas residuales que se descargarán a cuerpos de agua en donde se realicen actividades recreativas con contacto directo, como el nado, no deberán sobrepasar las 240 UFC/100 mL, y es este el criterio que deberían seguir los efluentes que se descarguen a los cenotes.

En lo que se refiere a la construcción del sanitario (artículo 23), los lineamientos especifican que se deben realizar estudios sobre los patrones de flujo subterráneos y así definir en qué lugar colocar la salida de efluentes. Esto con el fin de que los desechos no afecten a los cenotes. Entonces, ¿Es válido contaminar otra parte de acuífero siempre y cuando no se afecte el bien turístico? ¿Se estaría protegiendo un cuerpo de agua para su uso turístico más que al acuífero como fuente de agua dulce para los habitantes de la península?

También habría que considerar las dificultades que representa realizar un estudio sobre las direcciones de flujo en cada cenote, que va desde un análisis morfoestructural con métodos que pueden necesitar de resonancia magnética nuclear, hasta el análisis hidrodinámico que requerirá de marcadores ambientales y artificiales (Pulido-Bosch, 2001). Este procedimiento tendría que seguirse en cada cenote, pues los flujos a escala tan pequeña como la superficie circundante a un cenote turístico puede ser significativamente diferente y mucho más complicada que el patrón de flujo general (Bauer-Gottwein et al., 2011 en Arcega-Cabrera et al., 2014). Incluso pueden existir eventos como el colapso de cavernas, sedimentación o cambios en los niveles del acuífero causados por la sobreexplotación o estacionalidad que cambien las direcciones de flujo subterráneo (Schmitter-Soto et al., 2002; Steinich & Marín, 1997). Además, los estudios de flujo deberían ser longitudinales para asegurar que los cenotes no se encuentren en lo que Steinich & Marín (1997) llamaron Zonas de Alta Variabilidad, donde los cambios en los gradientes hidráulicos son comunes. Esto sucede, por ejemplo, en el anillo de cenotes (Steinich et al., 1996; Escolero et al., 2000; Gonzalez-Herrera et al., 2002). Todo esto hace

bastante costoso el asegurar la localización en donde los efluentes de los servicios sanitarios no se dirijan hacia los cenotes.

Todos estos problemas, referentes a la disposición de los efluentes sanitarios, podrían evitarse mediante la promoción de baños secos en los cenotes turísticos y en toda la península. La implementación de baños secos en los cenotes de uso turístico es una alternativa que no ha sido explorada por las autoridades. Este modelo de instalación sanitaria no requiere de complejos estudios de flujos subterráneos, no utiliza agua como mecanismo de limpieza ayudando así a su conservación y la composta producida serviría para mejorar la calidad agrícola de la zona. Este sistema ha sido recomendado por la SEMARNAT como un sistema sanitario que logra impedir la transferencia de contaminantes fecales al subsuelo. Por lo que es una buena opción para regiones en donde el acuífero subterráneo se encuentra a menos de 3 m debajo de la superficie (SEMARNAT, 2008).

## **1.2. Número de visitantes y contaminación en los cenotes**

Además de los desechos sanitarios, otra posible fuente de contaminación analizada fue la cantidad de bañistas que recibe el cenote con relación a los niveles de coliformes fecales. Los cenotes, a diferencia de las piscinas, no reciben un tratamiento de filtración ni de regulación de microorganismos en el agua y la literatura indica que los visitantes pueden afectar seriamente la calidad del cuerpo de agua al sumergirse en ellos (Alcocer et al., 1998). Adicionalmente, los turistas, producen desechos sólidos (basura) y sanitarios que, dependiendo de la disposición que los encargados del cenote realicen, pueden afectar seriamente la calidad del cuerpo de agua. Se pudiera ponderar que ha mayor número de bañistas, mayor contaminación microbiológica, sin embargo, los resultados indicaron que no podemos hacer dicha asociación, dado que no hubo correlación entre el número de bañistas con el conteo microbiológico ( $r=-0.17$ ,  $p=0.37$ , Figura 13). Con este análisis podemos concluir que hay cenotes en donde los bañistas están expuestos a los niveles más altos de coliformes y por lo tanto es en estos cenotes donde los bañistas corren el mayor riesgo de contraer infecciones, debido a la cantidad de individuos expuestos. Sabemos que la probabilidad de que surjan casos de infección no solo depende de los niveles de

exposición a contaminantes, también dependerá del número de bañistas que visitan los cenotes contaminados.

Tampoco fue posible encontrar una correlación entre el número de habitantes en un radio de 5 km con los niveles de UFC encontrados ( $r= 0.07$ ,  $p= 0.69$ , Figura 14), esto solo corrobora las dificultades de encontrar las fuentes de contaminación en estos sistemas como reportado por Arcega-Cabrera et al., 2014.

Todos los resultados obtenidos relacionados con conteos microbiológicos se compararon con los resultados de la entrevista mixta que se les aplicó a los administradores de cenotes. Pues el hecho de que la contaminación se pueda medir, no quiere decir que los individuos expuestos a ella perciban su existencia. Si se da el caso de que la contaminación sea percibida por los administradores, no se sabe si lo perciben como un problema que puede asociarse a la salud de los bañistas.

## **2. Percepción de la calidad del agua**

Evidentemente existe una primera evaluación organoléptica que los individuos pueden realizar acerca de la calidad del agua de su cenote. En este estudio, los administradores declararon, en su mayoría (16 de 24), no guiarse por el color del líquido para evaluar la calidad del agua de su cenote cuando se les preguntó si el color del agua indicaba limpieza. Pero cuando se les preguntó cómo se puede reconocer el agua contaminada, 13 de 24 respondieron que lo hacían mediante métodos organolépticos (color y olor) (Cuadro 18). Es decir, que ocho de los administradores que declararon no utilizar el color como método de evaluación de la calidad del agua, en una pregunta subsecuente cambiaron su declaración y respondieron que podrían detectar la contaminación en su cenote mediante el olor y el color del líquido. Esto concuerda con las investigaciones que encuentran que el ser humano se guía principalmente en la transparencia y el color para realizar evaluaciones de la calidad del agua (Dinius, 1981; Smith et al., 1991; Smith et al., 1995; Davies-Colley, 2001).

Al cambiar la palabra “contaminada” por la palabra “limpia”, en la pregunta ¿cómo detectar si el agua está contaminada? Hubo un cambio en la respuesta por parte de los administradores, de 13 que declararon detectar la contaminación por medios organolépticos pasaron a ser nueve los que declararon usar este método (Cuadro 18). Cuatro

administradores, que antes declararon detectar organolépticamente la contaminación cambiaron el método a seguir por una combinación de organoléptico con análisis de laboratorio. Esto puede deberse tanto a una diferencia entre la concepción de lo limpio y lo contaminado, como a que la pregunta sobre la limpieza se realizó en una parte posterior de la entrevista, donde ya se había abordado el tema de los análisis laboratoriales del agua y los individuos encontraban pertinente incluirlo en su respuesta. Estos cambios en las declaraciones de los administradores durante la entrevista, nos permiten observar las dificultades de investigación que surgen cuando se evalúa la información proveniente de entrevistas. Esta experiencia nos indica la importancia de diseñar encuestas y guiones de entrevistas que traten de aclarar el mismo concepto desde diferentes perspectivas, y la importancia de comparar las declaraciones de los entrevistados con medidas ambientales objetivas, que ofrezcan información adicional a la que se pueda recabar a través de las declaraciones de los entrevistados.

Al pedirles que evaluaran la calidad del agua del cenote que administraban, veinte administradores declararon que el agua de su cenote estaba limpia. Tres consideraron que el agua no se puede clasificar ni como limpia ni como sucia. Y solamente un individuo declaró que su cenote estaba un poco contaminado. Esta persona hizo la siguiente declaración:

*“Está limpia de transparente, pero sí tiene un poquito de contaminación, no se puede tomar”*

Al indagar más al respecto, esta persona declaró que la mayor amenaza para los cenotes son los bloqueadores, cremas y demás químicos que utiliza la gente que se baña. Incluso declaró que en su cenote “se hace una capíta de grasa”. Este administrador fue el único sujeto entrevistado que declaró que en su cenote se podían observar las consecuencias de las presiones de contaminación provocadas por el turismo.

La evaluación subjetiva de la calidad del agua realizada por los administradores contrasta con los resultados obtenidos en la evaluación microbiológica del agua. Trece de los 31 cenotes no cumplieron con los criterios microbiológicos de la EPA para agua dulce de uso recreacional. Esta discrepancia puede tener diferentes explicaciones. La evaluación

de la calidad el agua realizada por los administradores se ve afectada tanto por los estímulos que el entorno físico brinde a los sentidos, como por las condiciones histórico-sociales en las que los individuos se desarrollan, sus expectativas y conocimientos (Vargas, 1994; Benez et al., 2010). Por lo que el proceso perceptivo dependerá del entorno de vida del administrador y de la relación que tenga con el cenote. Analizando la relación sujeto-objeto, podemos entender que declarar que el cuerpo de agua que les proporciona un sustento económico, está contaminado, puede ser comprometedora para su subsiguiente uso. En segundo lugar, las condiciones de transparencia de los cenotes hacen fácil la asociación visual de claridad con limpieza (Artell et al., 2013; Dinus, 1981; Smith & Davies-Colley, 1992; Steinwender et al., 2007). Aquí, el administrador interactúa con un cuerpo de agua que es transparente y esa percepción la asocia con un concepto de limpieza. Lo que representa un problema, pues niveles altos de coliformes fecales pueden no causar afectaciones en la claridad el agua y por lo tanto no disparan una percepción de riesgo en los administradores (Pendleton et al., 2001; Lepesteur et al., 2008). En estos dos factores, las condiciones físicas y sociales se conjuntan y propician que el problema de contaminación no sea percibido, es difícil que la percepción coincida con las mediciones objetivas en un ambiente complejo (Artell et al. 2013).

Un tercer aspecto, evidenciado en este estudio, es que la contaminación microbiológica derivada de efluentes no es percibida como un riesgo por los administradores de los cenotes. La sección de resultados evidencia (Cuadro 22) que para once administradores los productos químicos cosméticos que los bañistas utilizan son percibida como la mayor amenaza que sufre el agua de sus cenotes; comparado con sólo dos administradores que mencionaron la filtración de aguas servidas como la mayor amenaza para la calidad su cuerpo de agua. Los administradores están conscientes de que los desechos sanitarios pueden contaminar sus cenotes (Cuadro 21), pero no consideran el hecho como una amenaza real. Esto puede ser un problema serio, pues, como ya se mencionó, la contaminación microbiológica generalmente no es perceptible por la vía sensorial y es subestimada aunque represente un peligro para la salud de los usuarios.

Este fenómeno donde los administradores de cenotes perciben un mayor riesgo en los productos farmacéuticos y cosméticos que en los efluentes urbanos e industriales es un

excelente ejemplo de cómo en muchos casos la evaluación de riesgo de los expertos no coincide con la del resto de la población. Esto se debe a que las percepciones son influenciadas por las dimensiones sociales, afectivas y cognitivas (Soares & Millán, 2014), las cuales se construyen en formas diferentes para los científicos expertos en vulnerabilidad del karst. Los científicos forman un grupo social con valores, creencias y un entorno cultural e ideológico diferente a la población “no experta”, que desde el referente sociológico, son la base de la construcción de los riesgos (Moser, 2004; Steg & Sievers, 2000).

Para la comunidad científica, la filtración de los efluentes no tratados al acuífero es un riesgo mayor para la sustentabilidad, la amenaza de contaminación fecal a la única fuente de agua dulce de la península (Marín & Perry, 1994; Alcocer et al., 1998; Escolero et al., 2000), o la inyección de aguas no tratadas en pozos (Pacheco & Cabrera, 1997; Pacheco et al., 2000; Marín et al., 2000). Pero para los administradores, la contaminación microbiológica generada por el uso recreacional y turístico de los cenotes, sería la amenaza de mayor grado (Alcocer et al., 1998), pero no por ello irrelevante.

Esta minimización del problema de la disposición de efluentes también puede detectarse en algunos documentos gubernamentales. Como por ejemplo en el Programa Estatal de Desarrollo Urbano de Yucatán 2014, el cual no menciona la falta de plantas de tratamiento para los efluentes urbanos como una de las mayores amenazas para el acuífero. En este documento se declara *verbatim*:

*“Por las características bacteriológicas, la calidad del agua en la entidad no es aceptable, lo cual es originado principalmente por los coliformes fecales que se derivan del fecalismo al aire libre y el inadecuado tratamiento de las heces fecales de los animales. Esta condición es más pronunciada en las regiones V y VI donde se registran condiciones peligrosas y muy contaminadas. “ p. 37 (Centro Eure, 2014).*

Otro fenómeno de percepción que puede parecer contradictorio es el hecho de que 20 de 24 administradores perciban su cenote como limpio, a pesar de que 19 hayan escuchado que hay cenotes contaminados y de que 16 administradores reportaron conocer el nombre de algún cenote que está contaminado (Cuadro 19). Los nombres de los cenotes

contaminados correspondieron incluso a cenotes en la misma población que el cenote del individuo entrevistado. Es decir, los administradores son conscientes de que el problema existe, pero no lo aceptan como propio, sino como problema del vecino.

### **3. Percepción de riesgo a enfermarse por contacto con agua contaminada**

En un estudio publicado por Benez y colaboradores (2010) realizado en la microcuenca del río Fogótico, Chiapas se cuestiona la relación de la percepción de la calidad del agua con los diferentes usos que se le da al agua. En este estudio se propone que dependiendo del uso que los administradores le den al agua se tendrá una referencia acerca de la noción que tienen sobre la limpieza del agua. Considerando que esta misma propuesta, en el presente estudio se construyó la sección de percepción de riesgo a enfermarse por contacto con el agua del cenote.

Los resultados de dicha sección (Cuadro 14) nos muestran que 10 administradores consideran que el agua del cenote no es apta para beber. Pero recordemos que 20 de 24, la evaluaron como “limpia”. Es decir que su concepto de limpieza no abarca necesariamente la posibilidad de su potabilidad. Incluso, de los administradores que respondieron que las personas pueden enfermarse si consumen el agua del cenote, sólo uno lo atribuyó a la contaminación del agua por efluentes urbanos (Cuadro 15).

En cuanto a la posibilidad de enfermarse por bañarse en las aguas del cenote, solo un administrador reportó que este fenómeno podía suceder, y las razones que reportó no se referían a la calidad microbiológica del agua, sino a características físicas como su baja temperatura que podría ocasionar resfriados. Esto sigue reforzando la teoría de que los administradores no perciben la contaminación microbiológica como un tema primordial para la conservación de los cenotes.

En general, los administradores no percibieron un riesgo considerable a la salud por tener contacto con el agua de cenote. Como se muestra en el Cuadro 16, 18 de 24 administradores obtuvieron una puntuación en el índice de percepción del riesgo a enfermar menor a 0.40, lo que equivale en términos nominales a considerar el riesgo por contacto con el agua del cenote de bajo a muy bajo. Incluso seis administradores reportaron que no existe riesgo alguno, para la salud, por cualquier tipo de contacto o uso del agua de cenote.

Es importante recalcar que la mayoría (23 de 24) no percibió riesgo alguno por bañarse en el agua del cenote.

### **3.1. Cambios en el uso del agua**

Un aspecto que no se esperaba, y se pudo observar al realizar esta parte de la entrevista, fue la mención constante de que el agua de los cenotes fue utilizada por los antiguos habitantes de la península como agua de consumo humano. Los administradores recalcaron que generaciones anteriores bebían del agua de los cenotes sin que les ocasionara ningún problema. Seis de 24, administradores utilizaron este hecho para recalcar que si el agua era consumida antes podía seguir siendo consumida en la actualidad. Pero otros cuatro individuos hicieron énfasis en que el agua ya no podía ser consumida como en tiempos pasados, pues había diferencias de uso que habían disminuido la calidad del líquido. Incluso hubo una mención a que con la llegada del agua entubada algunas personas comenzaron a conectar sus sumideros a los cenotes.

Estas diferencias de uso reportadas por algunos administradores son ciertas. Algunas poblaciones de la península de Yucatán han adoptado un modelo de desarrollo en donde el cenote deja de ser un objeto de veneración para convertirse en un objeto de lucro (Martos 2007). Aunque aún se conservan algunas prácticas de veneración, el significado que estos cuerpos de agua tenían para los antiguos mayas ha cambiado. En la antigüedad, los gobernantes mayas estaban conscientes de que el control físico y simbólico de esta fuente de agua dulce representaba el dominio político, social y económico de sus comunidades (Martos 2007). El acceso al agua daba poder y control por su importancia para la agricultura y en general para el sustento de la vida diaria. Pero hoy en día, los mecanismos de acceso al agua son diferentes a los que existían en las antiguas dinastías mayas, el agua pasa a ser un derecho humano inalienable. Inclusive, sin necesidad de irnos tan atrás en el tiempo, existe una diferencia en los mecanismos de acceso al agua antes y después de la llegada del agua potable. Esto podría facilitar la transición cultural del uso del cenote desde la veneración a la explotación turística.

La búsqueda de la aventura, lo exótico, lo auténtico o lo antiguo, ha llevado al turismo a colocar la mirada en los cenotes. En Yucatán se continúa la búsqueda de nuevos

cenotes y la promoción gubernamental de estos cuerpos de agua para su uso como destino turístico. Incluso hay casos extremos, en donde los grandes actores turísticos se han dado a la tarea de crear cenotes artificiales e incluso “sistemas de ríos subterráneos” artificiales para ofrecer a los visitantes (Martos 2007).

Con todo este movimiento mediático de promoción al turismo, no es de extrañar que la población del estado de Yucatán comenzará a concebir a los cenotes como un atractivo turístico, olvidando que son una estructura derivada de las condiciones físicas que confieren una alta vulnerabilidad a su reserva hídrica y que deberían ser un recordatorio de que el acuífero subterráneo es la única fuente de agua dulce en el estado. Si se pretende que los cenotes entren en una dinámica de uso para el turismo, debe asegurarse primeramente la protección del acuífero subterráneo.

#### **4. Percepción del riesgo a la contaminación del cenote**

Diez y nueve de 24 administradores reconocen que el discurso de la contaminación del cenote es regular y cotidiano. Incluso, se sienten capaces de detectar la contaminación. Se apreció una actitud optimista hacia los problemas de contaminación de los cenotes, 23 de 24 administradores consideran que tienen la capacidad de realizar o están realizando acciones que pueden evitar que los cenotes se contaminen. Diez y siete administradores declararon que se puede recuperar un cenote que ya se encuentra contaminado (Cuadro 20). Para ello hicieron referencia a la necesidad de sacar la basura, de que buzos entren a limpiar el cenote y sus entradas de agua y dejar que la corriente y el tiempo hagan su trabajo. Las investigaciones científicas nos indican que el saneamiento de los acuíferos kársticos es un proceso muy complejo, que en ocasiones representa esfuerzos y recursos exorbitantes (Ekmekçi & Günay, 1996), por lo que no se debe buscar la remediación si no la prevención.

En cuanto a las situaciones o sustancias específicas que los administradores concordaron pueden contaminar a sus cenotes fueron considerados los aceites, la basura, las granjas de cerdos, los repelentes de insectos, los bloqueadores y las personas que defecan dentro de los cenotes (Cuadro 21). En cuanto a las personas que orinan dentro del cenote, la ganadería alrededor del cenote y los efluentes de las facilidades sanitarias en las localidades cercanas, hubo una mayor ambivalencia de opiniones, pues hubo siete de 11

administradores que no las consideraron como un riesgo para la calidad del agua. Extrañamente los desechos de la ciudad de Mérida fueron considerados como riesgosos para 15 de los administradores, sin importar la distancia de su cenote a la ciudad. Esto puede deberse a la percepción de que la población de la ciudad es tan grande que sus desechos son un riesgo mayor que los generados por los poblados cercanos. Por último, la agricultura alrededor del cenote fue considerada como una actividad riesgosa solamente por cuatro administradores, los cuales mencionaron los agroquímicos que pudieran filtrarse al manto freático.

En las respuestas existe una contradicción que surge al analizar las nociones de flujo subterráneo y las percepciones de riesgo. La mayoría de los administradores consideran que el hecho de que los bañistas defequen en los cenotes perjudica el agua de su cenote, pero no son capaces de hacer la asociación con el tema de contaminación fecal y la disposición de efluentes de la comunidad cercana al cenote; esto, a pesar de que en la sección de conocimientos de la entrevista mixta reportaron que existe una conectividad del acuífero mediante “ríos subterráneos” y que el flujo de agua es constante entre los cenotes. Es decir, sí conciben que los contaminantes puedan transportarse a través del acuífero, conocen las condiciones de filtración del suelo, pero no concientizan la relación entre los efluentes que la comunidad cercana produce y el riesgo de contaminación del cenote / acuífero. Puede ser que se dé un fenómeno de negación, en el que se percibe que la dispersión de la contaminación es posible, pero es un inconveniente declarar que el cuerpo de agua que les proporciona un sustento esté en riesgo.

En cuanto a la percepción de las consecuencias que tiene sobre la calidad del agua el uso turístico del cenote, los administradores concordaron (24 de 24) que los turistas representan un riesgo para la calidad del agua de su cenote. Diecinueve, mencionaron como el principal problema las cremas que utilizan los turistas, que durante el baño se quedan en el agua. Como segunda amenaza de contaminación, cinco individuos mencionaron la basura. Sólo dos entrevistados mencionaron el drenaje o las aguas de las industrias. Evidentemente el riesgo a que los turistas introduzcan sustancias cosméticas al cenote es una situación de riesgo a la cual los administradores están constantemente expuestos y sobre la que pueden tener un cierto control. Por el contrario, la mala disposición de los

residuos sólidos y los efluentes urbanos e industriales, podría ser un riesgo considerado tan incontrolable que los individuos simplemente adopten una actitud de negación, habituación o resignación. También es posible, que los administradores no tengan conocimiento acerca de la vulnerabilidad del acuífero debido a sus condiciones físicas y a la falta de tratamiento de efluentes que ocurre en el estado.

El índice de percepción de riesgo a la contaminación del cenote (Figura 10) nos indica que la mayoría de los administradores percibió que más de la mitad de las situaciones que se le presentaron en la entrevista, son de riesgo. Esto contrasta con el índice de percepción de riesgo a enfermarse por contacto con agua contaminada, en el que se observó que los administradores no percibían un riesgo de enfermarse por contacto con el agua de su cenote. Es decir, los entrevistados perciben un riesgo de contaminación del agua de moderado a alto, pero al mismo tiempo no perciben un riesgo en que las personas o incluso ellos mismos naden en el cenote. Esta incapacidad de relacionar que el cenote se puede contaminar con la afectación a la salud de las personas puede deberse a que en una situación de riesgo que es familiar o disfrutable, el peligro suele ser minimizado (Burger & Gochfeld, 2006, Cuevas, 2014), o que quizás se acepta por el hecho de que nadar es una decisión individual.

Se realizó una prueba estadística para averiguar si existía una asociación entre el índice de percepción de riesgo a la contaminación del cenote y el índice de conocimientos, no se encontró correlación alguna ( $r_s=0.14$ ;  $gl=22$ ,  $p=0.52$ ). Estos resultados indican que los administradores no relacionan sus conocimientos sobre las características hidrogeológicas del sistema con la vulnerabilidad del mismo; no vinculan sus conocimientos teóricos con la situación práctica de su cenote. Observan que el agua de lluvia se filtra fácilmente al subsuelo, pero no lo asocian con que cualquier compuesto que pueda estar en la superficie o en el agua que se filtra hacia el cenote, como por ejemplo, los aceites de auto, desechos orgánicos e inorgánicos, incluyendo desechos fecales.

En cuanto a las acciones que se pueden tomar para lograr la protección de los cenotes, veintitrés de los veinticuatro administradores reportan que existe efectividad en sus acciones de protección. Entre las acciones de protección realizadas por los administradores están la limpieza de las instalaciones del cenote, la colocación de pautas y letreros,

información verbal a los visitantes sobre el correcto comportamiento en el área y vigilancia que haga cumplir las reglas (Cuadro 23).

Los administradores llevan a cabo estas acciones de protección pues sienten que tienen una responsabilidad primordial en el cuidado de estos cuerpos de agua. Esto concuerda con la teoría que menciona que los individuos que se sienten más responsables por algún problema ambiental también sienten que sus acciones pueden hacer una diferencia positiva (Story & Forsyth, 2008).

En este estudio, se observó un sentimiento de responsabilidad por el cuidado de los cenotes. La mayoría de los entrevistados (21 de 24) consideran que los dueños de los cenotes o toda la población de las comunidades incluyendo a los dueños, son los actores con la mayor responsabilidad de proteger a los cenotes. Sorprendentemente sólo dos personas consideraron que el gobierno era el principal responsable y una más mencionó a los turistas como responsables. En cuanto a quiénes son los actores con mayor impacto en la protección de los cuerpos de agua, los administradores son optimistas en cuanto a su poder de injerencia y consideran que los dueños en primer lugar y toda la población en segundo lugar, son los actores con mayor poder de protección de los cenotes (Cuadro 24).

Estos resultados nos llevan a pensar que los administradores tienen una buena disposición a recibir capacitaciones e información acerca del papel activo que pueden jugar en la protección de sus cuerpos de agua. Esta disposición puede ser aprovechada por las instituciones gubernamentales para desarrollar políticas públicas que promuevan la protección del acuífero. Diferentes estudios han demostrado que el sentimiento de responsabilidad es uno de los mejores predictores del comportamiento, mejor que el conocimiento o variables demográficas (Story & Forsyth, 2008).

Sería importante buscar diferentes medios de capacitación y difusión de la información para la promoción de la protección de los cenotes. La influencia que los medios de comunicación masiva, como los diarios y la televisión, tienen sobre la población debería ser aprovechada con este fin. Como pudimos observar en el Cuadro 17 los administradores habían escuchado hablar sobre la contaminación de los cenotes, en su mayoría, gracias a los medios de comunicación masiva. El segundo medio por el cual los

administradores se enteraban acerca de la contaminación e los cenotes era mediante comunicaciones personales, las cuales pueden o no coincidir con la información científica. Si la transmisión de la información científica no se realiza de manera continua y accesible, se puede producir una brecha importante entre la percepción pública del riesgo y la valoración científica del riesgo (Cohen, 1998). Es por esto que deben crearse canales de comunicación del riesgo y producir una oportunidad de comunicación entre el conocimiento científico y la población.

### **5. Conocimientos de la hidrogeología del cenote**

Al analizar los resultados de la sección de conocimiento de la hidrología del cenote, se observa que existen uno o dos conceptos generalizados en la población. Al referirnos a la forma en la que el agua se mueve en el acuífero subterráneo los administradores de cenotes (18 de 24) compartían la noción de ríos subterráneos, como mecanismo de flujo del agua. La otra concepción es que el agua de los cenotes se renueva continuamente, mencionada por 11 de los 24 administradores. Hubo, inclusive varias menciones acerca de la renovación completa del cuerpo de agua, a continuación se presenta una de ellas:

*“Se mete hoy [a bañar], pero mañana ya es otra agua diferente”.*

Esto podría deberse a la influencia del término “río subterráneo” como denominación para los conductos del acuífero. Como mencionan Tarbuck & Lutgens (2005), existe una creencia generalizada de que los flujos subterráneos son similares a los flujos superficiales, aunque esto rara vez ocurre. En general, en el sistema hídrico de Yucatán, el movimiento del agua es limitado, el flujo de agua se da entre los poros del subsuelo y el bajo gradiente hidráulico (7-10 mm/km) (González-Herrera et al., 2002), tornan el flujo subterráneo en los cenotes en valores cercanos a cero (Marín, 1990, en González-Herrera et al., 2002). Por ello, la renovación del cuerpo de agua es lenta y permite la acumulación de contaminantes, a diferencia de lo expresado por los administradores.

De las nueve preguntas realizadas acerca del funcionamiento hídrico de los cenotes, la mayoría de los administradores respondieron a más de la mitad de las preguntas correctamente (Figura 8). En general, los administradores conocen ciertos aspectos de los

fenómenos hidrogeológicos del lugar en donde viven, pero desconocen otros que son importantes para una comprensión completa del funcionamiento del acuífero, como por ejemplo el importante concepto de la capacidad de renovación del agua en los cenotes. Es problemático que conceptos hidrogeológicos importantes no estén presentes en los conocimientos locales, la información científica y el conocimiento especializado por lo general, no son accesibles a la población no científica (Gartin et al., 2010).

En esta sección de la entrevista, tres fueron las preguntas que causaron mayor dificultad. La primera es referente a la razón de la existencia de un acuífero subterráneo y a la ausencia de cuerpos de agua superficiales. Como se muestra en el Cuadro 9, en esta pregunta, once administradores reportaron no saber la razón de que en Yucatán el acuífero sea subterráneo. Cuatro administradores atribuyeron la existencia del acuífero subterráneo al impacto del meteorito en Chicxulub, el cual, según sus creencias, creó hoyos y cavernas en el suelo de la península, cavidades que después se llenaron de agua. Otros tres individuos respondieron que la razón del acuífero subterráneo es la elevación de la península con respecto al nivel del mar. Dos más respondieron que porque así es la naturaleza y dándole una explicación teológica. También hubo dos administradores que mencionaron que en Yucatán no hay ríos debido a la ausencia de montañas, pues los ríos nacen en las montañas. Esta es una conclusión obtenida de la observación de un sistema hídrico bastante complejo en el que no es fácil la apreciación de flujos o de cambios en la dinámica hídrica. Solamente hubo tres menciones que planteaban como causa del acuífero subterráneo las características del paisaje kárstico. Esto nos indica que la mayoría de los administradores (21 de 24) no conocen que la porosidad, las fracturas y la solubilidad en agua de la roca caliza es la razón de que en Yucatán no haya cuerpos de agua superficiales.

Los administradores sí proporcionaron respuestas a los otros dos ítems que causaron dificultad. Sin embargo, estas respuestas no correspondieron con la información científica actual. Una de estas preguntas fue: ¿cada cuánto se renueva el agua del cenote? A la cual solamente cuatro administradores respondieron que era una situación estacional dependiente de la temporada de lluvias. Tres respondieron no saber. Once respondieron que diario o constantemente y dos administradores declararon que cerca de la medianoche se “activa” el cenote y el agua se renueva. Las condiciones complejas del acuífero de Yucatán,

hacen difícil la adquisición de conocimientos a través de la observación y la experiencia directa. Los resultados de este estudio ponen en evidencia que los administradores tienen la concepción de que el agua está corriendo y si los contaminantes son pocos no se acumularán. Existe una contradicción entre percepción y conocimiento. El agua parece no moverse, los administradores reportan que el movimiento es lento o muy lento (Cuadro 4), pero si consideran que existen ríos subterráneos, entonces el agua fluye constantemente, hasta el punto que se renueva diariamente. Esta combinación de percepciones, creencias y condiciones físicas presentan un peligro para el acuífero, sobre todo considerando que el agua no circula, por lo cual la vulnerabilidad intrínseca se está pasando por alto.

La última pregunta que causó dificultad fue: ¿Qué otras cosas [aparte de la lluvia] se pueden filtrar por el suelo hacia el agua del cenote? Nueve administradores respondieron que ninguna cosa aparte de la lluvia puede filtrarse hacia el cenote. Siete respondieron que todos los líquidos pueden filtrarse, pero en su cenote no. Sólo tres mencionaron que cualquier líquido que caiga cerca. Tres dijeron no saber y dos mencionaron basura y animales muertos. Esta es una pregunta compleja, pues admitir que cualquier líquido puede filtrarse hacia el agua del cenote significa admitir que el cenote corre riesgo de contaminarse con las sustancias que se vierten a sus alrededores. Es por esto que aparece la necesidad entre los administradores de aclarar que: aunque cualquier líquido puede filtrarse hacia el agua de los cenotes, en su cenote no ocurre eso. Es decir, en cuanto al conocimiento sobre la posibilidad de infiltración de líquidos hacia el cenote pueden presentarse tres situaciones: i) la situación en donde el administrador no conozca las características del suelo y por lo tanto ignore el riesgo a que se contamine el cenote por derrames de contaminantes en el suelo, ii) el caso en el que sí se reconozca el riesgo debido a las características del paisaje, o iii) el caso en el que se tenga el conocimiento necesario para deducir el riesgo, pero que exista un mecanismo individual de negación del riesgo; este puede ser consciente o inconsciente. Estos mecanismos ya han sido descritos para otros casos en donde ciertas poblaciones sufren problemas de calidad o abastecimiento de agua (Moser et al., 2010).

El aceptar que todos los líquidos que se encuentran alrededor de los cenotes pueden filtrarse hacia el agua del cenote supone que si los administradores conocen fuentes de

contaminación, como criaderos de animales, derrames de agroquímicos, sumideros, etc., comprenden que sus cenotes pueden estar siendo contaminados y que el cuerpo de agua que les brinda un sustento económico podría estar en peligro o representa un riesgo para la salud de los bañistas. Esto puede poner a los individuos en un estado mental de incomodidad, también conocido como disonancia cognitiva, pues poseen dos conocimientos que se contraponen entre sí (Harmon-Jones, 2012): i) el cenote puede contaminarse y dañar la salud de los usuarios y ii) los usuarios del cenote representan una ganancia económica. Para evitar este estado de incongruencia, los individuos pueden tomar diferentes estrategias: i) incluir conocimientos que refuercen uno de los dos conocimientos, ii) sustraer uno de los conocimientos disonantes o iii) incrementar o disminuir la importancia de uno de los conocimientos (Harmon-Jones, 2012). En nuestro caso de estudio, los administradores pueden evitar esta disonancia cognitiva disminuyendo la importancia de sus conocimientos acerca de que el cenote puede recibir descargas de líquidos contaminantes. O podrían también aumentar la importancia que juegan las acciones que ellos realizan para evitar la contaminación de los cenotes.

### **5.1. Educación formal y conocimientos de la hidrología del cenote**

Al analizar los resultados de la sección de conocimientos de la entrevista nos surge la pregunta: ¿Cómo se construyen los conocimientos acerca de la hidrogeología de los cenotes? La observación y el empirismo influyen en la formación de conocimientos sobre el entorno natural (Vázquez, 1998). Perlas características físicas de los cenotes vuelven la observación directa un proceso complejo, pues los flujos son subterráneos y los conductos intrincados. La procedencia del agua del cenote, su tasa recambio o la velocidad de flujo son características de difícil análisis empírico. Aun así, en el presente estudio la mediana de tiempo laborando en el cenote es de tres años, los administradores están familiarizados con las características físicas del cuerpo de agua que administran. Por ejemplo, los cambios en los niveles del agua, la coloración y otros aspectos organolépticos. Al igual que los cambios que observan a través del tiempo por el efecto del turismo.

Adicionalmente a las observaciones empíricas, la educación formal juega un papel en la construcción de conocimientos acerca de los cenotes (Vázquez, 1998), aunque en este estudio no se encontró asociación entre el índice de conocimiento y la escolaridad de los

administradores de cenotes ( $r_s=0.26$ ;  $gl=22$ ,  $p=0.22$ ). Al observar la mediana de años de estudio (9 años), nos damos cuenta de que ésta equivale a haber cursados los niveles de educación básica, hasta tercero de secundaria. Esto indica que, en los niveles de educación básica en Yucatán, no se ha incluido material que abarquen los aspectos geográficos regionales o no ha sido el adecuado. Por lo menos durante las generaciones en que los entrevistados cursaron la educación básica. Si la educación formal en Yucatán proveyera a la población de los conocimientos necesarios para identificar las características regionales del suelo que dan lugar al manto freático, tales conocimientos deberían verse reflejados en la sección de conocimientos de la encuesta realizada. Para reforzar esta idea se revisaron los programas educativos y el material didáctico en los dos niveles de educación básica, en donde se aborda el tema de los cenotes: tercero de primaria y primero de secundaria.

El libro de texto obligatorio para tercero de primaria, titulado “Yucatán. La entidad en donde vivo” (Celis-Pérez, 2014), es el material para la enseñanza de las características regionales del estado. En él se plasman tres objetivos de aprendizaje, *verbatim*:

- 1) *Identificar temporal y espacialmente características del territorio y de la vida cotidiana de los habitantes de tu entidad a través del tiempo.*
- 2) *Emplear fuentes de información para conocer los cambios en las relaciones de los componentes naturales, económicos, sociales, políticos y culturales de tu entidad.*
- 3) *Participar en el cuidado y la conservación del ambiente, así como respetar y valorar el patrimonio natural y cultural de tu entidad.* (Pag. 4, Celis-Pérez, 2014).

El contenido de dicho libro de texto debería ir acorde a los objetivos planteados y uno de ellos se refiere al cuidado y la conservación del ambiente y el patrimonio. En el estado de Yucatán, el agua subterránea es la única fuente de agua dulce aprovechable para las actividades humanas y por lo tanto uno de los recursos más valiosos de la entidad. A pesar de esto, en el libro de texto sólo se dedica una y media páginas al tema “El agua en

Yucatán” (p. 16 y 17). En dicha sección se hace referencia al acuífero subterráneo de la siguiente manera:

*“... el agua que utilizamos se encuentra por debajo de la tierra en una extensa red de ríos subterráneos, de manera parecida a las venas que tiene nuestro cuerpo. Esto sucede porque la roca caliza deja pasar el agua de lluvia e impide su acumulación en lagos, ríos o arroyos superficiales.”*

Igualmente se explica que cuando existe disolución de la roca *“...algunas partes de los ríos subterráneos quedan al descubierto y reciben el nombre de cenotes.”* (Pag. 17, Celis-Pérez, 2014). Además, se hace una breve mención acerca de la importancia de los cenotes como cuerpos de aprovisionamiento de agua potable, como recurso turístico y como bien natural, cultural e histórico. Existe en el texto sólo una mención acerca de la contaminación de estos cuerpos de agua:

*“Evitemos contaminar el agua de los cenotes, ya que esta se conecta con los ríos subterráneos, que son nuestra fuente más importante de abastecimiento de agua”.*  
(Pag.17, Celis-Pérez, 2014)

Observamos el primer gran problema dentro de los enunciados – extensa red de ríos subterráneos – este concepto es errado ya que no existe tal red de ríos subterráneos. Adicionalmente se hace mención somera de la conductividad hidráulica y no se menciona el gradiente hidráulico. En relación a la contaminación se hace una referencia aislada, pues en el texto nunca se menciona cuáles son las causas y mecanismos mediante los cuales se contaminan los cenotes. Tampoco existe mención alguna de cómo es que se puede contribuir a proteger los cenotes, por lo tanto no se les brinda a los estudiantes con los elementos necesarios para promover acciones que protejan el acuífero subterráneo ni los cenotes.

En el libro de texto se propone como actividad complementaria la elaboración de carteles en los que se promueva el cuidado de los cenotes, pero como ya se mencionó, en el texto no se menciona una sola medida efectiva de protección de los cenotes. Otra de las actividades propuestas en esta sección es realizar una búsqueda online, para conocer más acerca del tema de los cenotes. La página referida para la búsqueda es

“<http://yucatan.travel/inicio/>” y se pide a los estudiantes que sigan los vínculos de “Productos turísticos”, “Turismo de naturaleza” y “Cenotes”. En principio, dicha dirección web es incorrecta, al indagar en el buscador Google se encontró la dirección que corresponde con el ejercicio: “yucatan.travel/turismodenaturaleza/” (SEFOTUR, 2012-2018), en la cual la referencia que se hace sobre los cenotes es la siguiente:

*“Cenotes*

*Cavidad con agua; formaciones únicas en el mundo, lugares de provisión de agua fresca en la planicie yucateca donde no hay ríos.”*

Es decir, se recomienda a los alumnos de educación primaria que para conocer más acerca de los cenotes investiguen en una página web dedicada al turismo. Claramente el valor turístico que se pretende dar a los cenotes desvía la atención de la importancia de estos cuerpos de agua como fuente única de abastecimiento de agua dulce en el estado. Lo que no corresponde a los objetivos de conservación del medio ambiente del libro.

Si se desea dar un panorama más completo acerca del funcionamiento del acuífero del estado y de la vulnerabilidad del acuífero, el proceso educativo debería enfocarse en transmitir principalmente dos conceptos: i) La alta conductividad hidráulica y ii) el escaso gradiente hidráulico. La comprensión de dichos conceptos y sobre todo su vinculación con los procesos diarios, permitirían una mejor comprensión del funcionamiento del sistema hídrico.

Por ejemplo, en el libro de texto antes mencionado se hace referencia al carácter poroso del suelo de Yucatán y a la ausencia de pendiente, pero solamente como datos aislados, o como una descripción del paisaje. No se pone en evidencia la relación de estas características con el flujo de agua subterráneo y la vulnerabilidad a la contaminación provocada por la facilidad de las filtraciones. Debe tenerse en claro que la facilidad con que el agua puede infiltrarse al subsuelo no es sólo una característica del agua de lluvia, sino que es extensivo a todos los líquidos (contaminantes o no). Además de evidenciar cuáles son las actividades humanas que ponen en riesgo la calidad del acuífero subterráneo (efluentes domésticos, industriales, agrícolas, fosas sépticas mal diseñadas, falta de plantas de tratamiento de aguas servidas, etc). La educación formal puede brindar información que

ayude a la conservación del acuífero sólo si los materiales didácticos disponibles y los planes de estudio son de calidad y tienen un enfoque de protección al ambiente.

La educación ambiental puede jugar un papel importante en la divulgación de conocimientos y en la adquisición de conductas que ayuden a la preservación del acuífero de Yucatán (Espejel-Rodríguez, & Flores-Hernández, 2012). Se necesita abordar la problemática desde diferentes enfoques, los medios de comunicación masiva o las capacitaciones gubernamentales podrían jugar un papel muy importante no sólo en la difusión de conocimientos, sino también en la prevención del riesgo (Cohen, 1998).

Un cambio positivo en el comportamiento de los habitantes de la península, con respecto a la protección de los cenotes, sólo será posible si la población tiene los conocimientos acerca de los riesgos que corre su acuífero, cuáles con los posibles contaminantes y qué actividades humanas ponen en riesgo la calidad el agua. Para que la población acepte o implemente medidas de protección se necesita la noción de que existe un riesgo, sino un conocimiento profundo de la naturaleza del riesgo y en qué manera y a qué poblaciones afecta (Burger & Gochfeld, 2006; Johnson & Pflugh, 2008).

## **CONCLUSIONES**

La vulnerabilidad del manto acuífero a la contaminación se ve acentuada por las condiciones geológicas de la península de Yucatán. Dichas características físicas aunadas a al uso tradicional que se le ha dado a la fuente de agua, han ocasionado un problema de calidad del agua en la única fuente de agua dulce disponible. La falta de sistemas de tratamientos de efluentes, la explotación no sustentable, la visualización de los cenotes como mero producto turístico, entre otras cosas, ocasionan una interacción no sustentable.

Podemos observar que en algunas poblaciones se da una ruptura con el aspecto mítico religioso que envolvía a los cenotes en la antigüedad y se transita a una forma de uso meramente utilitaria, en donde en nombre del desarrollo económico, se coloca el uso turístico de los cenotes como fin deseado. Al quedar la antigua relación cenote-sociedad en desuso, y perderse las normas y costumbres en torno al cuerpo de agua, el recurso ha perdido la protección religiosa/cultural. Los reglamentos gubernamentales actuales que

promueven su protección son débiles e ineficientes y desconocen completamente la vulnerabilidad del acuífero. Las pocas reglamentaciones que hay no se ponen en rigor.

En el caso de los cenotes de interés turístico y recreacional, la contaminación fecal representa el principal riesgo microbiológico para los usuarios de estos cuerpos de agua. Tanto la contaminación fecal directa o indirecta, de humanos o animales, puede poner en riesgo la salud de los bañistas. Y en contraposición, el uso sin regulación de los cenotes puede afectar su calidad del agua. Recordemos que una fuente importante de contaminación puede provenir, incluso, de las heces liberadas por los propios bañistas (Cassanovas-Massana & Blanch, 2013). En este estudio se encontró que la calidad del agua de 13 de 31 cenotes muestreados no cumple con la normativa que aseguran condiciones de salubridad necesarias para la actividad del nado. A pesar de ello, el gobierno promueve su uso turístico y recreacional.

Además, este estudio demostró que existe una discrepancia entre la calidad microbiológica del agua y la calidad percibida por los administradores del recurso. Esto podría ser debido tanto a la característica de transparencia de los cenotes, que puede ser confundida con limpieza del agua, como al hecho que representen un objeto de explotación económica y reconocer que se encuentran contaminados sería poner en peligro el ingreso económico. Esta divergencia entre la realidad y la percepción debida a la complejidad tanto del funcionamiento hídrico del cenote como de la relación administrador-cenote, pone en peligro al cuerpo de agua y a los usuarios del mismo.

El problema de la contaminación del acuífero subterráneo en Yucatán no es sólo un problema que concierne a los prestadores de servicios turísticos, es un problema de primordial importancia para la sobrevivencia y el desarrollo de las poblaciones humanas en el estado. Mientras los efluentes en la península no sean tratados adecuadamente, el acuífero subterráneo, la única fuente de agua dulce de los habitantes del estado, estará constantemente amenazada y vulnerable a la contaminación. Entre más tiempo se deje pasar para solucionar el problema de la disposición de efluentes mayor será el costo de remediación, considerando que esta fuera posible.

Alternativas, como los baños secos, deberán comenzar a considerarse. Por lo menos, en los servicios sanitarios que se ofrecen en los cenotes turísticos, los baños secos deben ser la opción de elección. La fosa séptica o los biodigestores simples, no brindan el tratamiento suficiente para que sus descargas entren en un tipo de terreno como el sistema kárstico de la península de Yucatán. Dichas alternativas deberían implementarse no sólo para el caso de los cenotes turísticos. La necesidad de generación de políticas públicas dirigidas a la protección del acuífero mediante un cambio en los sistemas de disposición de efluentes urbanos e industriales es urgente.

Existen dos condiciones que deben cumplirse para lograr una efectividad en la generación de políticas públicas de protección del sistema kárstico en el estado: (i) la generación de conocimientos hidrogeológicos locales y la generación de conciencia entre los habitantes de la península (Ekmekçi & Günay, 1996); (ii) la voluntad política para empezar a realizar las obras municipales y estatales que protejan el acuífero de aguas servidas.

La información científica de calidad permitiría generar políticas públicas con un verdadero sustento e impacto en la protección del acuífero. Durante la realización de este estudio notamos que para la península de Yucatán existe un vacío de conocimiento acerca de las características hidrogeológicas del acuífero subterráneo. Estudios de calidad que ayuden a dilucidar patrones de flujo, fuentes de contaminación, zonas de recarga, medidas de protección y remediación, entre otras características del karst en Yucatán, son necesarios para un correcto uso y manejo del acuífero. Un mayor esfuerzo debe hacerse para lograr que los habitantes del estado sean capaces de ligar el conocimiento teórico, del funcionamiento del acuífero, con las prácticas de protección. La educación formal y la divulgación científica deben ampliar sus esfuerzos para el logro de este objetivo. Y estos esfuerzos deberán ser constantes, pues la provisión continua de información a la población puede lograr un cambio en la percepción del riesgo mucho mayor que la comunicación esporádica (Wilkinson et al, 2000).

Las condiciones geo-físicas de la península no influyen o determinan las posibles catástrofes ambientales en el estado, es la actividad humana la que propicia o previene que las condiciones ambientales se conviertan en una catástrofe. Las estructuras sociales al

transformarse, reorganizarse y reconfigurarse pueden evitar que el problema de la contaminación del acuífero se transforme en un serio problema de calidad y abastecimiento de agua en el estado (Cuevas, 2014), aquí el rol del estado es preponderante. Es decir, la solución al problema de contaminación del agua que enfrenta Yucatán implica un cambio conductual de todos los actores sociales.

## BIBLIOGRAFÍA

- 3M Microbiology. Sin Fecha. Guía de Interpretación. Placas Petrifilm<sup>®</sup> para el Recuento de *E.coli*/Coliformes.
- Al Radif, A. (1999). Integrated water resources management (IWRM): an approach to face the challenges of the next century and to avert future crises. *Desalination*, 124(1-3): 145-153.
- Alcocer, J., Lugo, A., Marín, L. E., & Escobar, E. (1998). Hydrochemistry of waters from five cenotes and evaluation of their suitability for drinking-water supplies, northeastern Yucatan, Mexico. *Hydrogeology Journal*, 6(2), 293-301.
- Andreo, B., Goldscheider, N., Vadillo, I., Vías, J. M., Neukum, C., Sinreich, M., Jiménez, P., Brechenmacher, J., Carrasco, F., Hötzl, H., Perles, M., J., & Zwahlen, F. (2006). Karst groundwater protection: First application of a Pan-European Approach to vulnerability, hazard and risk mapping in the Sierra de Lívar (Southern Spain). *Science of the Total Environment*, 357(1): 54-73.
- Aranda, L. (1994). Protecting Chaac's gift: groundwater protection in Merida, Yucatan. Master thesis in City Planning, Department of Urban Studies and Planning. Massachusetts, Massachusetts Institute of Technology. USA. 111p.
- Arcega-Cabrera, F., Velázquez-Tavera, N., Fargher, L., Derrien, M., & Noreña-Barroso, E. (2014). Fecal sterols, seasonal variability, and probable sources along the ring of cenotes, Yucatan, Mexico. *Journal of contaminant hydrology*, 168: 41-49.
- Artell, J., Ahtiainen, H., & Pouta, E. (2013). Subjective vs. objective measures in the valuation of water quality. *Journal of environmental management*, 130: 288-96.
- Bamberg, S., & Möser, G. (2007). Twenty years after Hines, Hungerford, and Tomera: A new meta-analysis of psycho-social determinants of pro-environmental behaviour. *Journal of environmental psychology*, 27(1): 14-25.
- Batliori-Sampedro, E., González-Piedra, J. I., Díaz-Sosa, J., & Febles-Patrón, J. L. (2006). Caracterización hidrológica de la región costera noroccidental del estado de Yucatán, México. *Investigaciones Geográficas*, 59: 74-92.

- Bauer-Gottwein, P., Gondwe, B. R., Charvet, G., Marín, L. E., Rebolledo-Vieyra, M., & Merediz-Alonso, G. (2011). Review: The Yucatán Peninsula karst aquifer, Mexico. *Hydrogeology Journal*, 19(3): 507-524. Citado en: Arcega-Cabrera, F., Velázquez-Tavera, N., Fargher, L., Derrien, M., & Noreña-Barroso, E. (2014). Fecal sterols, seasonal variability, and probable sources along the ring of cenotes, Yucatan, Mexico. *Journal of contaminant hydrology*, 168: 41-49.
- Bautista, F., Aguilar, D., & Batllori, E. (2011). Amenazas, vulnerabilidad y riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en la península de Yucatán. *Teoría y Praxis*, 13(2):9-31.
- Beddows, P., Blanchon, P., Escobar, E., & Torres-Talamante, O. (2007). Los cenotes de la península de Yucatán. *Arqueología mexicana* 83:32-35.
- Beloti, V., Souza, J. A. D., Barros, M. D. A. F., Nero, L. A., Mattos, M. R. D., Gusmão, V. V., & Moraes, L. B. D. (2003). Evaluation of Petrifilm EC and HS for total coliforms and *Escherichia coli* enumeration in water. *Brazilian Journal of Microbiology*, 34(4): 301-304.
- Benez, M.C., Kauffer M., & Álvarez Gordillo G., 2010. Percepciones ambientales de la calidad del agua superficial en la microcuenca del río Fogótico, Chiapas. *Frontera Norte*, 22:129-158.
- Burger, J., & Gochfeld, M. (2006). A framework and information needs for the management of the risks from consumption of self-caught fish. *Environmental Research*, 101(2): 275-285.
- Burns, T., & Gomolinska, A. (2001). Socio-cognitive mechanisms of belief change: Applications of generalized game theory to belief revision, social fabrication, and self-fulfilling prophesy. *Cognitive Systems Research*, 2: 39-54.
- Calò, F., & Parise, M. (2009). Waste management and problems of groundwater pollution in karst environments in the context of a post-conflict scenario: The case of Mostar (Bosnia Herzegovina). *Habitat International*, 33(1): 63-72.
- Casanovas-Massana, A., & Blanch, A. R. (2013). Characterization of microbial populations associated with natural swimming pools. *International journal of hygiene and environmental health*, 216(2): 132-137.
- Celis-Pérez, E., Mena-Magaña, E., Matos-Noh, M., Rivero-Turriza, N., & Leal-Burgos, M. (2012). La entidad donde vivo. Yucatán. Tercer grado. Segunda edición. México, D.F. Secretaría de Educación Pública.
- Centro Eure. Estudios Territoriales y Políticas Públicas. (2014). Programa Estatal de Desarrollo Urbano de Yucatán (PEDUY). Gobierno del Estado de Yucatán. 2012-2018. Contrato No. SEDUMA-010-2013. 281 p.
- Cohen, B. L. (1998). Public perception versus results of scientific risk analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 59(1): 101-105.
- CONAGUA. (2014). Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento. Comisión Nacional del Agua. Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación: 11 de agosto del 2014.

- Cuevas, E., Pacheco Avila, J., Cabrera Sansores, A., Coronado, V., Vázquez, J., & Comas, M. (2002). Calidad química y bacteriológica del agua subterránea en el principal campo de pozos para el abastecimiento de Mérida, Yucatán, México. Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Memorias. México, D.F. 1-10 p.
- Davies-Colley, R., & Smith, D. (2001). Turbidity suspended sediment, and water clarity: a review. *Journal of the American Water Resources Association*, 37(5): 1085-1101.
- De la Lanza, G. (2006). Evaluación de la calidad ambiental y dinámica de la zona costera (playas) para la certificación Bandera Azul del Municipio Solidaridad, Q. Roo, México Influencia de la calidad del agua en el estado de conservación de los arrecifes coralinos de la Riviera Maya. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. CQ017. México D. F.
- Derrien, M., Cabrera, F. A., Tavera, N. L. V., Manzano, C. A. K., & Vizcaino, S. C. (2015). Sources and distribution of organic matter along the Ring of Cenotes, Yucatan, Mexico: Sterol markers and statistical approaches. *Science of the Total Environment*, 511: 223-229.
- Dinius, S. H. (1981). Public perceptions in water quality evaluation. *Water resources bulletin*, 17(1): 116-121.
- Diario Oficial de la Federación. (1997). Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. 30 de abril de 1997.
- Diario Oficial de la Federación. (1998). Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. 14 de enero de 1998.
- Diario Oficial de la Federación. (2012). Norma Oficial Mexicana NOM-245-SSA1-2010, Requisitos sanitarios y calidad del agua que deben cumplir las albercas. 25 de Junio del 2012.
- Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán. (2014). Reglamento de la Ley de Protección al Medio Ambiente del Estado de Yucatán en Materia de Cenotes, Cuevas y Grutas. 17 de Junio del 2014.
- Dufour, A. (1984). Health Effects Criteria for Fresh Recreational Waters. EPA-600/1-84-004. US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, USA.
- Edberg, S., LeClerc, H., & Robertson, J. (1997). Natural protection of spring and well drinking water against surface microbial contamination. II. Indicators and monitoring parameters for parasites. *Critical Reviews in Microbiology*, 23: 179- 206.
- Ekmekçi, M., & Günay, G. (1997). Role of public awareness in groundwater protection. *Environmental Geology*, 30(1-2): 81-87.
- Escolero, O. A., Marín, L. E., Steinich, B., & Pacheco, J. (2000). Delimitation of a hydrogeological reserve for a city within a karstic aquifer: the Merida, Yucatan example. *Landscape and Urban Planning*, 51(1): 53-62.

- Escolero, O. A., Marín, L. E., Steinich, B., Pacheco, A. J., Cabrera, S. A., & Alcocer, J. (2002). Development of a protection strategy of karst limestone aquifers: The Merida, Yucatan, Mexico case study. *Water Resources Management*, 16: 351-367.
- Espejel-Rodríguez, A., & Flores-Hernández, A. (2012). Educación ambiental escolar y comunitaria en el nivel medio superior, Puebla-Tlaxcala, México. *Revista mexicana de investigación educativa*, 17(55): 1173-1199.
- Febles-Patrón, J., & Hoogesteijn, A. (2008). Análisis del marco legal para la protección del agua subterránea en Mérida, Yucatán. *IngRev Académica*, 12, 71-79.
- Field, M. S., 1993. Karst hydrology and chemical contamination. *Journal of Environmental Systems*. 22(1): 1-26.
- Flores-Díaz, A. C., Castillo, A., Sánchez-Matías, M., & Maass, M. (2014). Local values and decisions: views and constraints for riparian management in western Mexico. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 3(414): 06.
- García, A. & Xool M. Turismo alternativo y desarrollo en la costa de Yucatán. En: Marín, G., García, A. & Daltabuit, M. (Coords.) (2012) Turismo, globalización y sociedades locales en la península de Yucatán, México. La Laguna (Tenerife): PASOS, RTPC. [www.pasosonline.org](http://www.pasosonline.org). Colección PASOS Edita nº 7.
- Gartin, M., B. Crona, A. Wutich, & P. Westerhoff. (2010). Urban ethnohydrology: cultural knowledge of water quality and water management in a desert city. *Ecology and Society*, 15(4): 36.
- Ghasemizadeh, R., Hellweger, F., Butscher, C., Padilla, I., Vesper, D., Field, M., & Alshawabkeh, A. (2012). Review: Groundwater flow and transport modeling of karst aquifers, with particular reference to the North Coast Limestone aquifer system of Puerto Rico. *Hydrogeology journal*, 20(8): 1441-1461.
- Glikman, J. A., Vaske, J. J., Bath, A. J., Ciucci, P., & Boitani, L. (2011). Residents' support for wolf and bear conservation: the moderating influence of knowledge. *European Journal of Wildlife Research*, 58(1): 295-302.
- Gobierno del Estado de Yucatán 2012-2018. (2013). Plan de Desarrollo 2012-2018 Yucatán. Mérida, Yucatán, México.
- Gobierno del Estado de Yucatán 2012-2018. (Sin fecha). Tipos de cenotes. [Fecha de consulta: 27 de julio del 2015]. Disponible en: <[http://www.yucatan.gob.mx/menu/?id=tipos\\_cenotes](http://www.yucatan.gob.mx/menu/?id=tipos_cenotes)>
- González-Herrera, R., Sánchez-y-Pinto, I., & Gamboa-Vargas, J. (2002). Groundwater-flow modeling in the Yucatan karstic aquifer, Mexico. *Hydrogeology Journal*, 10(5): 539-552.
- Graniel, C., Morris, L. & Carrillo, J. (1999). Effects of urbanization on groundwater resources of Merida, Yucatan, Mexico. *Environmental Geology*, 37: 303-312.
- Griffin, D. W., Donaldson, K. A., Paul, J. H., & Rose, J. B. (2003). Pathogenic human viruses in coastal waters. *Clinical microbiology reviews*, 16(1): 129-143.
- Harmon-Jones, E. (2012). Cognitive Dissonance Theory. En: V. S. Ramachandran (ed.). *The Encyclopedia of Human Behavior*, vol. 1, pp. 543-549. Academic Press.

- Hermanowicz, S. W. (2008). Sustainability in water resources management: changes in meaning and perception. *Sustainability Science*, 3(2): 181-188.
- INEGI (2010). Localidades de la República Mexicana, Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Disponible en: <[http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/loc2010gw.xml?\\_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc\\_html.xsl&\\_indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/loc2010gw.xml?_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no)>, Fecha de consulta: 30 de abril de 2015.
- INEGI. (2012). Perspectiva Estadística de Yucatán diciembre 2012. [Fecha de consulta: 27 de julio del 2015]. Disponible en: <<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/yuc/territorio/relieve.aspx?tema=me>>
- Johnson, B. B., & Pflugh, K. K. (2008). Local Officials' and Citizens' Views on Freshwater Wetlands. *Society & Natural Resources*, 21(5): 387-403.
- Katz, B. G., & Griffin, D. W. (2008). Using chemical and microbiological indicators to track the impacts from the land application of treated municipal wastewater and other sources on groundwater quality in a karstic springs basin. *Environmental Geology*, 55(4): 801-821.
- Katz, B. G., Griffin, D. W., & Davis, J. H. (2009). Groundwater quality impacts from the land application of treated municipal wastewater in a large karstic spring basin: chemical and microbiological indicators. *Science of the Total Environment*, 407(8): 2872-2886.
- Kauffer E., & Villanueva C. (2012). Retos de la gestión de una cuenca construida: la Península de Yucatán en México, *Revista del Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe*, 3(2): 81-91.
- Lepesteur, M., Wegner, A., Moore, S., & McComb, A. (2008). Importance of public information and perception for managing recreational activities in the Peel-Harvey estuary, Western Australia. *Journal of environmental management*, 87(3): 389-95.
- Mahler, B. J., Personné, J. C., Lods, G. F., & Drogue, C. (2000). Transport of free and particulate-associated bacteria in karst. *Journal of Hydrology*, 238(3): 179-193.
- Mansilha, C. R., Coelho, C. A., Heitor, A. M., Amado, J., Martins, J. P., & Gameiro, P. (2009). Bathing waters: new directive, new standards, new quality approach. *Marine pollution bulletin*, 58(10): 1562-5.
- Marín, L. E. (1990). Field investigations and numerical simulation of groundwater flow in the karstic aquifer of northwestern Yucatan, Mexico. PhD Thesis, Northern Illinois University, Dekalb, Illinois, USA. 183 p.
- Marín, L. & Perry, E. (1994). The hydrogeology and contamination potential of northwestern Yucatán, México. *Geofísica Internacional*, 3: 619-623.
- Marín, L. E., Steinich, B., Pacheco, J., & Escolero, O. A. (2000). Hydrogeology of a contaminated sole-source karst aquifer, Mérida, Yucatán, Mexico. *Geofísica Internacional*, 39(4): 359-365.

- Martos, L. (2007). Los cenotes en la actualidad, Entre la veneración y la explotación. *Arqueología mexicana* 83, 32-35.
- McDaniels, T. L., Axelrod, L. J., Cavanagh, N. S., & Slovic, P. (1997). Perception of ecological risk to water environments. *Risk analysis*, 17(3): 341-52.
- Metcalf, C. D., Beddows, P. A., Bouchot, G. G., Metcalfe, T. L., 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(4): 991-997.
- Moser, G. (2004). La psicología ambiental en el siglo XXI: El desafío del desarrollo sustentable. *Revista de Psicología*, 12: 11-17.
- Moser, G., Navarro, O., Ratiu, E., & Weiss, K. (2010). Cultural background and environmental context of water perception and use. In Corral-Verdugo, García-Cadena, & Frias-Armenta (Eds.), *Psychological Approaches to Sustainability. Current trends in theory and research*. Nova Science Publishers. . [Fecha de consulta: 27 de marzo del 2014]. Disponible en: [http://www.academia.edu/1347144/Cultural\\_background\\_and\\_environmental\\_context\\_of\\_water\\_perception\\_and\\_use](http://www.academia.edu/1347144/Cultural_background_and_environmental_context_of_water_perception_and_use)
- Pacheco, A. J. & Cabrera, S. A. (1997), Ground water contamination by nitrates in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Hydrogeology*. 2: 47-53.
- Pacheco, J., Marín, L., Cabrera, A., Steinich, B., & Escolero, O. (2001). Nitrate temporal and spatial patterns in 12 water-supply wells, Yucatan, Mexico. *Environmental Geology*, 40(6): 708-715.
- Paul, J. H., Rose, J. B., Jiang, S., Kellogg, C., & Shinn, E. A. (1995). Occurrence of fecal indicator bacteria in surface waters and the subsurface aquifer in Key Largo, Florida. *Applied and Environmental Microbiology*, 61(6): 2235-2241.
- Payment, P., Plante, R., & Cejka, P. (2001). Removal of indicator bacteria, human enteric viruses, Giardia cysts, and Cryptosporidium oocysts at a large wastewater primary treatment facility. *Canadian Journal of Microbiology*, 47(3): 188-193.
- Pendleton, L., Martin, N., & Webster, D. G. (2001). Public perceptions of environmental quality: a survey study of beach use and perceptions in Los Angeles County. *Marine pollution bulletin*, 42(11): 1155-60.
- Pescod, M. B. (1992). Wastewater treatment and use in agriculture. FAO irrigation and drainage paper 47. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, FAO. Roma, 1992. [Fecha de consulta: 12 de junio del 2015]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/t0551e/t0551e05.htm#3.2.2> primary treatment
- Perry, E., Paytan, A., Pedersen, B., & Velazquez-Oliman, G. (2009). Groundwater geochemistry of the Yucatan Peninsula, Mexico: Constraints on stratigraphy and hydrogeology. *Journal of Hydrology*, 367(1-2): 27-40.
- Pulido-Bosch, A. (2001). Investigación y exploración de acuíferos kársticos. *Boletín geológico y minero*, 112(2): 65-76.

- Ravenscroft, N., & Church, A. (2011). The attitudes of recreational user representatives to pollution reduction and the implementation of the European Water Framework Directive. *Land Use Policy*, 28(1): 167-174.
- Robelia, B. & Murphy, T. (2012). What do people know about key environmental issues? A review of environmental knowledge surveys. *Environmental Education Research*, 18(3): 299-321.
- Sanborn, M., & Takaro, T. (2013). Recreational water-related illness: office management and prevention. *Canadian Family Physician-Le Médecin de famille canadien*, 59(5): 491-5.
- Schmitter-Soto, J., Comín, F., Escobar-Briones, E., Herrera-Silveira, J., Alcocer, J., Suárez-Morales, E., Elías-Gutiérrez, M., Díaz-Arce, V., Marín, L.E., & Steinich, B. (2002). Hydrogeochemical and biological characteristics of cenotes in the Yucatan Peninsula (SE Mexico). *Hydrobiologia*, 467: 215-228.
- Schraft, H., & Watterworth, L. A. (2005). Enumeration of heterotrophs, fecal coliforms and *Escherichia coli* in water: comparison of 3M™ Petrifilm™ plates with standard plating procedures. *Journal of microbiological methods*, 60(3): 335-342.
- SEDUMA. (2011). Saneamiento y manejo integral de cenotes (Sitio RAMSAR Anillo de Cenotes) Componente: Mecanismos de pago por servicios ambientales 2011. Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente. SEMARNAT. CONANP. 59 p.
- SEFOTUR. (2001). Programa Estatal de Turismo de Yucatán 2001-2007. Primera edición. Secretaría de Turismo. Gobierno del estado de Yucatán. Yucatán, México. 171 p.
- SEFOTUR. (2012-2018). Turismo de naturaleza. [Fecha de consulta: 12 de junio del 2015]. Disponible en: <http://yucatan.travel/turismodenaturaleza/>
- SEMARNAT. (2008). Sanitario seco. Transferencia de Tecnología y Divulgación sobre Técnicas para el Desarrollo Humano y Forestal Sustentable. 26 p.
- Smith, D. G., Cragg, A. M., & Croker, G. F. (1991). Water clarity criteria for bathing waters based on user perception. *Journal of Environmental Management*, 33(3): 285-299.
- Smith, D. G., & Davies-Colley, R. (1992). Perception of water clarity and colour in terms of suitability for recreational use. *Journal of environmental management*, 36: 225-235.
- Smith, D. G., Croker, G. F., & McFarlane, K. (1995). Human perception of water appearance. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 29(1): 29-43.
- Soares, D., & Millán, G. (2014). Construcción social del riesgo y la vulnerabilidad en la costa de Yucatán. En: Soares, D., Millán, G. & Gutiérrez, I. *Reflexiones y expresiones de la vulnerabilidad social en el sureste de México*, 208-236. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

- Soller, J. A., Schoen, M. E., Bartrand, T., Ravenscroft, J. E., & Ashbolt, N. J. (2010). Estimated human health risks from exposure to recreational waters impacted by human and non-human sources of faecal contamination. *Water research*, 44(16): 4674-91.
- Steinich, B., & Marín, L. (1997). Determination of flow characteristics in the aquifer of the Northwestern Peninsula of Yucatan, Mexico. *Journal of Hydrology*, 191: 315-331.
- Steinwender, A., Gundacker, C., & Wittmann, K. J. (2008). Objective versus subjective assessments of environmental quality of standing and running waters in a large city. *Landscape and Urban Planning*, 84(2): 116-126.
- Steg, L., & Sievers, I. (2000). Cultural theory and individual perceptions of environmental risks. *Environment and Behavior*, 32(2): 250-269.
- Story, P. A., & Forsyth, D. R. (2008). Watershed conservation and preservation: Environmental engagement as helping behavior. *Journal of Environmental Psychology*, 28(4): 305-317.
- Tarback, E. J., Lutgens, F. K., & Tasa, D. (2005). *Ciencias de la Tierra*. Prentice Hall, 8ª edición. Madrid, España.
- US EPA. (2012). Recreational Water Quality Criteria. Office of Water 820-F-12-058. [Fecha de consulta: 12 de febrero del 2015]. Disponible en: <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/health/recreation/>
- Vargas, L. (1994). Sobre el concepto de percepción. *ALTERIDADES*, 4(8): 47-53.
- Vázquez, G. (1998). La educación no formal y otros conceptos próximos. En: Sarramona, J., Vázquez, G., & Colom, A. (1998). *Educación no formal*. Barcelona, Ariel, 11-25.
- Wade, T. J., Pai, N., Eisenberg, J. N. S., & Colford, J. M. (2003). Do U.S. Environmental Protection Agency Water Quality Guidelines for Recreational Waters Prevent Gastrointestinal Illness? A Systematic Review and Meta-analysis. *Environmental Health Perspectives*, 111(8): 1102-1109.
- WHO. (2003). Guidelines for safe recreational water environments. Coastal and Fresh Waters, vol. 1. World Health Organization, Geneva.
- WHO. (2004). Children's Environment and Health Action Plan for Europe. Fourth Ministerial Conference on Environment and Health, Budapest, 23-25. June 2004. World Health Organization (EUR/04/ 5046267/7).
- Wilkinson, S., Annandale, D., & Taplin, R. (2000). The Influence of Information Provision on Environmental Risk Perception. *Australasian Journal of Environmental Management*, 7(1): 38-47.

## ANEXOS

### ANEXO I

#### Encuesta mixta aplicada a los administradores de cenotes

Buen día, mi nombre es Violeta Nava, estoy estudiando la maestría en Ecología Humana y estoy haciendo un trabajo para conocer cómo se encuentran los cenotes en el estado de Yucatán y qué opinan las personas de ellos. Me gustaría hacerle algunas preguntas, no hay respuestas malas o buenas, lo importante es saber lo que usted piense. Su nombre no va a ser publicado en ningún medio.

#### Aspectos demográficos

1. Nombre \_\_\_\_\_
2. Edad \_\_\_\_\_ 3. Sexo \_\_\_\_\_
4. Estudió (1)Sí \_\_\_\_\_ (0)No \_\_\_\_\_
5. Hasta qué grado \_\_\_\_\_
6. ¿De dónde es usted? \_\_\_\_\_
7. Usted en su casa tiene agua:  
(1)Entubada \_\_\_\_\_ (2)De pozo \_\_\_\_\_  
(3)De cenote \_\_\_\_\_ (4)Otros \_\_\_\_\_ ¿cuáles? \_\_\_\_\_

¿Qué agua usa para ...?

8. Tomar	9. Cocinar	10. Bañarte
(1) Garrafón _____	(1) Garrafón _____	(1) Garrafón _____
(2) De la llave (entubada) _____	(2) De la llave (entubada) _____	(2) De la llave (entubada) _____
(3) De pozo _____	(3) De pozo _____	(3) De pozo _____
(4) De cenote _____	(4) De cenote _____	(4) De cenote _____
(5) Otros _____ ¿cuáles? _____	(5) Otros _____ ¿cuáles? _____	(5) Otros _____ ¿cuáles? _____

11. ¿Le hace algo al agua antes de tomársela? (1)Sí \_\_\_\_\_ (0)No \_\_\_\_\_
12. ¿Qué le hace? \_\_\_\_\_
13. ¿De dónde se saca el agua entubada (de la llave)?  
(1) De cenotes \_\_\_\_\_ (3) Del subsuelo \_\_\_\_\_ Japay camión  
(2) De pozos \_\_\_\_\_ (4) Otros \_\_\_\_\_ ¿cuáles? \_\_\_\_\_

Ahora le voy a preguntar algunas cosas sobre el cenote: # de visitantes

14. ¿El cenote es privado o pertenece a una cooperativa? (1)Privado \_\_\_\_\_ (2)Cooperativa \_\_\_\_\_
15. ¿Es usted dueño de este cenote?(1)Sí \_\_\_\_\_ (0)No \_\_\_\_\_
16. ¿Cuánto tiempo tiene trabajando con este cenote? \_\_\_\_\_
17. ¿Tiene baño este cenote? (1)Sí \_\_\_\_\_ (0)No \_\_\_\_\_
18. **Si sí** ¿A qué distancia del cenote está el baño más cercano? \_\_\_\_\_
19. ¿A dónde se va el agua de los baños? \_\_\_\_\_
20. ¿Quién diseño el baño? \_\_\_\_\_
21. ¿Quién pagó para construir el baño? \_\_\_\_\_
22. **Si no** ¿Dónde hacen del baño las personas? \_\_\_\_\_
23. ¿Tiran basura los que vienen a nadar en el cenote? (1)Sí \_\_\_\_\_ (0)No \_\_\_\_\_
24. ¿Quién la limpia? \_\_\_\_\_
25. ¿Quién recoge la basura? \_\_\_\_\_
26. Si no hay servicio de colección ¿cómo dispone de ella?

(1) Tiraderos fuera de la comunidad	(2) La entierra¿dónde?_____	(3) La quema
(4) Otro_____		

27. ¿Se realiza algún tipo de limpieza en las instalaciones del cenote? (escaleras, plataformas, superficies alrededor del cenote, sustancias que utilizan)

\_\_\_\_\_

**Conocimientos de la hidrología del cenote**

28. ¿De dónde viene el agua del cenote? (No ofrecer las opciones)

- (1) De la lluvia\_\_\_\_\_
- (2) Del subsuelo\_\_\_\_\_
- (3) De ríos subterráneos\_\_\_\_\_
- (4) Del mar \_\_\_\_\_
- (5) Venas \_\_\_\_\_ ¿qué son las venas?\_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- (6) Otros  
¿cuáles?\_\_\_\_\_
- (7) No sé\_\_\_\_\_

29. ¿El agua del cenote corre (se mueve) hacia algún lado? (1)Sí\_\_\_\_ (2)No\_\_\_\_ (3)No sé\_\_\_\_\_

30. ¿Hacia dónde?\_\_\_\_\_

31. ¿Corre rápido o lento?

(1)Muy Rápido	(2)Rápido	(3)Ni rápido ni lento	(4)Lento	(5)Muy Lento
---------------	-----------	-----------------------	----------	--------------

32. ¿Hay agua en todas partes bajo del suelo de Yucatán? (1)Sí\_\_\_\_ (2)No\_\_\_\_ (3)No sé\_\_\_\_\_

33. ¿Por qué el agua aquí está sólo debajo del suelo y no hay ríos o lagunas?

\_\_\_\_\_

34. ¿Cómo se mueve el agua abajo de la tierra?

- (1) Por ríos subterráneos \_\_\_\_\_
- (2) Por venas subterráneas \_\_\_\_\_
- (3) Se filtra por las piedras\_\_\_\_\_
- (4) Por fracturas en las piedras\_\_\_\_\_
- (5) Otros\_\_\_\_\_ ¿cuáles?\_\_\_\_\_

35. Si contestó ríos/venas: Y esos ríos, ¿qué tan grandes serán? (Medida, milímetros, centímetros, metros)

\_\_\_\_\_

36. ¿Se renueva el agua del cenote o es siempre la misma? (1)Sí se renueva\_\_\_\_\_ (0)No se renueva\_\_\_\_\_

37. ¿Cada cuánto tiempo se renueva? (Insistir en que den una medida, días, semanas, etc.)

\_\_\_\_\_

38. ¿Cambia el nivel del agua del cenote en el tiempo de lluvias? (1)Sí\_\_\_\_ (2)No\_\_\_\_ (3)No sé\_\_\_\_\_

39. ¿Por qué? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

40. ¿Se filtra con facilidad el agua de lluvia que cae al suelo alrededor del cenote? (1) Sí\_\_\_\_(2)No\_\_\_\_ (3) No sé\_\_\_\_\_

41. ¿Qué otras cosas que estén a los alrededores se pueden filtrar entre las piedras hacia el agua del cenote?

---

---

### Percepción de la calidad del agua

42. ¿Sabe usted por qué el agua del cenote es transparente/turbia?

---

---

43. ¿A que huele el agua del cenote?

---

44. ¿El color del agua de este cenote cambia durante el año? (1)Sí\_\_\_\_ (2)No\_\_\_\_ (3)No sé\_\_\_\_

45. ¿Por qué? \_\_\_\_\_

46. ¿El color del cenote nos puede indicar limpieza del agua? (1)Sí\_\_\_\_ (2)No\_\_\_\_ (3)No sé\_\_\_\_

47. ¿Qué color es el que indica limpieza? \_\_\_\_\_

### Percepción del riesgo

#### A. A enfermarse

48. ¿La gente se puede enfermar al tomar el agua del cenote? (1)Sí\_\_\_\_ (2)No\_\_\_\_ (3)No sé\_\_\_\_

49. **Si sí:** ¿Por qué? (¿Qué tiene el agua que pueda enfermar a la gente?) \_\_\_\_\_

50. ¿De qué se puede enfermar la gente? (No dar opciones)

- (1) Infección gastrointestinal (diarrea/vómito)\_\_\_\_ (5) Infección ocular (conjuntivitis) \_\_\_\_  
(2) Infección de oídos (otitis)\_\_\_\_ (6) Infección de la piel (dermatitis)\_\_\_\_  
(3) Infecciones en heridas\_\_\_\_ (7) Parásitos\_\_\_\_  
(4) Infecciones genito-urinarias\_\_\_\_ (8) Dolor de cabeza / mareo / fiebre\_\_\_\_  
(9) Otras\_\_\_\_ ¿cuáles?\_\_\_\_\_

51. ¿Conoce a alguien que se haya enfermado por tomar el agua del cenote? (1)Sí\_\_\_\_ (0)No\_\_\_\_

52. **Si sí** ¿De qué?

- (1) Infección gastrointestinal (diarrea/vómito)\_\_\_\_ (5) Infección ocular (conjuntivitis) \_\_\_\_  
(2) Infección de oídos (otitis)\_\_\_\_ (6) Infección de la piel (dermatitis)\_\_\_\_  
(3) Infecciones en heridas\_\_\_\_ (7) Parásitos\_\_\_\_  
(4) Infecciones genito-urinarias\_\_\_\_ (8) Dolor de cabeza / mareo / fiebre\_\_\_\_  
(9) Otras\_\_\_\_ ¿cuáles?\_\_\_\_\_

53. ¿La gente se puede enfermar por bañarse en el agua del cenote? (1)Sí\_\_\_\_ (2)No\_\_\_\_ (3)No sé\_\_\_\_

54. ¿De qué se puede enfermar la gente? (No dar opciones)

- (1) Infección gastrointestinal (diarrea/vómito)\_\_\_\_ (5) Infección ocular (conjuntivitis) \_\_\_\_  
(2) Infección de oídos (otitis)\_\_\_\_ (6) Infección de la piel (dermatitis)\_\_\_\_  
(3) Infecciones en heridas\_\_\_\_ (7) Parásitos\_\_\_\_  
(4) Infecciones genito-urinarias\_\_\_\_ (8) Dolor de cabeza / mareo / fiebre\_\_\_\_  
(9) Otras\_\_\_\_ ¿cuáles?\_\_\_\_\_

55. ¿Conoce a alguien que se haya enfermado sólo por bañarse en el agua del cenote? (1)Sí\_\_\_\_ (0)No\_\_\_\_

56. **Si sí**¿De qué?

Infección intestinal (diarrea)\_\_\_\_ Infección ocular (conjuntivitis) \_\_\_\_  
Infección de oídos (otitis)\_\_\_\_ Infección de la piel (dermatitis)\_\_\_\_  
Infecciones en heridas\_\_\_\_ Parásitos\_\_\_\_  
Infecciones genito-urinarias\_\_\_\_ Dolor de cabeza / mareo / fiebre\_\_\_\_  
Otras ¿cuáles?\_\_\_\_\_

57. ¿Usted o su familia se bañan en el cenote? (1)Sí\_\_\_\_ (0)No\_\_\_\_

58. **Si no** ¿Por qué

no?\_\_\_\_\_

**B. De contaminación del cuerpo de agua**

60. ¿Ha escuchado, usted, alguna vez de la contaminación? (1)Sí\_\_\_\_ (0)No\_\_\_\_

61. **Si sí:** ¿Qué es la contaminación?

\_\_\_\_\_

62. ¿Qué cosas se pueden contaminar?(no dar opciones)

(1) Aire	(2) Agua	(3) Suelo	(4) Alimentos	(5) No sé
(5) Otro____ ¿Qué?				

63. ¿Podemos saber cuándo el agua está contaminada? (1)Sí\_\_\_\_ (0)No\_\_\_\_

64. ¿Cómo es el agua cuando está contaminada? (color, olor, sabor, basura, etc.)

\_\_\_\_\_

65. ¿Puede haber agua contaminada en la que no se vea la contaminación? (1)Sí\_\_\_\_ (2)No\_\_\_\_ (3)No sé\_\_\_\_

66. ¿Ha escuchado alguna vez que puede haber cenotes que se estén (contaminando/ensuciando)?

(1)Sí\_\_\_\_ (0)No\_\_\_\_

67. ¿Dónde lo ha escuchado?

(1) Televisión\_\_\_\_ (4) Radio\_\_\_\_  
(2) Periódico\_\_\_\_ (5) Mi familia\_\_\_\_  
(3) Estudiantes que vinieron a investigar\_\_\_\_ (6) He visto cenotes  
contaminados\_\_\_\_  
(4) Personal de la Japay (7) Investigadores/Científicos \_\_\_\_  
(8) Otros\_\_\_\_ ¿cuáles?\_\_\_\_\_

68. ¿Ha visto o escuchado de algún cenote contaminado? (1)Sí\_\_\_\_ (0)No\_\_\_\_

69. **Si sí**¿Cuál?\_\_\_\_\_

70. ¿Qué sustancias ha escuchado que contaminan los cenotes? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

71. ¿Cuál cree usted que es la mayor amenaza para el agua de su cenote?

\_\_\_\_\_

72. ¿Usted cree que los aceites que caen al suelo pueden contaminar los cenotes?	(1) Sí	(0)No
73. ¿Usted cree que las granjas de cerdos puedan contaminar los cenotes?		
74. ¿Usted cree que si las personas orinan dentro del cenote se pueda contaminar el agua?		
75. ¿Usted cree que si las personas defecan dentro del cenote se pueda contaminar?		
76. ¿Usted cree que el ganado alrededor pueda contaminar los cenotes?		
77. ¿Usted cree que la basura que tira la gente puede contaminar los cenotes?		
78. ¿Usted cree que los desechos de los baños de (localidad más cercana) pueden contaminar los cenotes?		
79. ¿Usted cree que los desechos de los baños de la ciudad de Mérida pueden contaminar este cenote?		
80. ¿Usted cree que los bronceadores pueden contaminar el cenote?	(1) Sí	(0)No
81. ¿Usted cree que los repelentes de insecto pueden contaminar los cenotes?		
82. ¿Usted cree que la agricultura alrededor puede contaminar los cenotes?		

83. ¿Usted cree que los turistas pueden contaminar este cenote? (1)Sí\_\_\_\_ (0)No\_\_\_\_

84. **Si sí**¿Cómo es que lo contaminan?\_\_\_\_\_

85. ¿Qué se puede hacer para evitar que los turistas contaminen el cenote?\_\_\_\_\_

86. ¿Cómo podemos saber si el agua de un cenote está limpia? (No dar opciones en un principio y palomear lo que digan, después dar las demás opciones y preguntar si creen que eso también nos ayuda a saberlo, marcar con un x.)

- |  |                             |
|--|-----------------------------|
| (1) Se ve transparente_____                  | (4) Huele bien_____         |
| (2) Hay árboles alrededor_____               | (5) Tiene peces dentro_____ |
| (3) Se tiene que hacer análisis de agua_____ | (6) Sabe bien_____          |
| (7)Otros____ ¿cuáles?                        |                             |

87. Usted diría que el agua de este cenote está:

(1) Limpia	(2) Ni limpia ni sucia	(3) Sucia	(4) No sé
------------	------------------------	-----------	-----------

88. ¿Por qué?

89. ¿Cree usted que se pueda limpiar un cenote que ya está contaminado? (1)Sí\_\_\_\_ (2)No\_\_\_\_(3)No sé\_\_\_\_

90. **Si sí**¿cómo?\_\_\_\_\_

91. ¿Siente usted que sus acciones pueden ayudar a que el cenote se contamine? (1)Sí\_\_\_\_ (2)No\_\_\_\_

92. ¿Por qué?\_\_\_\_\_

93. Si sí: ¿Qué puede hacer usted?

94. ¿Quién podría tener un mayor impacto en la protección de los cenotes? \_\_\_\_\_

95. ¿Quién cree usted que es el principal responsable de proteger los cenotes?

- |                             |                       |
|-----------------------------|-----------------------|
| (1) El gobierno             | (3) El dueño          |
| (2) Los turistas            | (4) Toda la población |
| (5) Otro _____ ¿Quién?_____ |                       |

96. ¿Qué debe hacer (respuesta de pregunta anterior) para evitar que los cenotes se contaminen?

Quisiera agregar algún otro comentario o experiencia

## ANEXO II

### Preguntas del índice de percepción de riesgo a enfermarse.

Pregunta	Puntuación por respuesta
¿La gente se puede enfermar al tomar el agua del cenote?	Sí=2; No sé=1; No=0
Si sí ¿Qué tiene el agua que podría hacer enfermar a la gente?	1=Relacionado con agua contaminada; 0= No relacionado con agua contaminada
¿De qué se puede enfermar la gente?	1=Relacionado con agua contaminada; 0= No relacionado con agua contaminada
¿La gente se puede enfermar por bañarse en el agua del cenote?	Sí=2; No sé=1; No=0
¿De qué se puede enfermar la gente?	1=Relacionado con agua contaminada; 0= No relacionado con agua contaminada
¿Puede haber agua contaminada en la que no se vea la contaminación?	Sí=2; No sé=1; No=0

## ANEXO III

### Preguntas del índice de percepción de riesgo a la contaminación del cenote y puntuación por respuesta

1. ¿Ha escuchado alguna vez que puede haber cenotes que se estén (contaminando/ensuciando)? Sí= 2 No= 0
2. ¿Usted cree que los aceites que caen al suelo pueden contaminar los cenotes? Sí=2 No=0 No sé=1
3. ¿Usted cree que las granjas de cerdos puedan contaminar los cenotes? Sí=2 No=0 No sé=1
4. ¿Usted cree que si las personas orinan dentro del cenote se pueda contaminar el agua? Sí=2 No=0 No sé=1
5. ¿Usted cree que si las personas defecan dentro del cenote se pueda contaminar? Sí=2 No=0 No sé=1
6. ¿Usted cree que el ganado alrededor pueda contaminar los cenotes? Sí=2 No=0 No sé=1
7. ¿Usted cree que la basura que tira la gente puede contaminar los cenotes? Sí=2 No=0 No sé=1
8. ¿Usted cree que los desechos de los baños de (localidad más cercana) pueden contaminar los cenotes? Sí=2 No=0 No sé=1
9. ¿Usted cree que los bronceadores pueden contaminar el cenote? Sí=2 No=0 No sé=1
10. ¿Usted cree que los repelentes de insecto pueden contaminar los cenotes? Sí=2 No=0 No sé=1
11. ¿Usted cree que la agricultura alrededor puede contaminar los cenotes? Sí=2 No=0 No sé=1
12. ¿Cuál cree usted que es la mayor amenaza para el agua de su cenote?  
1= Drenaje, Basura o sustancias químicas 0=Ninguna, que entren personas alcoholizadas
14. ¿Se puede recuperar un cenote que ya está contaminado? No= 2, Sí=0, No sé=1
15. ¿Usted cree que los turistas pueden contaminar los cenotes? No= 0, Sí=2, No sé=1
16. ¿Qué otras cosas que estén a los alrededores se pueden filtrar entre las piedras hacia el agua del cenote?  
Todos los líquidos=2; Otras (basura, hojas, animales muertos)/No sé= 1;  
No / Cualquier líquido, pero acá no = 0