



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

**Evaluación de programas educativos y conocimientos en recursos  
hidrogeológicos de estudiantes de primaria en la ciudad de Mérida,  
Yucatán**

**Tesis que presenta:**

**Ana Sofía Lázaro Salazar**

**Para obtener el grado de:**

**Maestría en Ciencias en la especialidad de Ecología Humana**

**Directora de tesis:**

**Dra. Almira Lydia Hoogesteyn Reul**

**Mérida, Yucatán, México**

**Agosto de 2020**

## AGRADECIMIENTOS

Esta tesis no hubiera sido posible sin una enorme red de apoyo, gracias a las innumerables muestras de sororidad femenina y de solidaridad masculina pues, ser una bruja que hace ciencia y al mismo tiempo ser madre y esposa no es una tarea sencilla, con gratitud eterna a mi tribu.

A Raúl, mi esposo y compañero, gracias por la amorosa complicidad, por compartir el asombro por la vida, por contagiarme el amor por la ciencia, por respetar mis tiempos y no interferir en mi proceso de aprendizaje; coincidido contigo en que “La ciencia no se improvisa”.

A mis hijos Ana Sofía, Ahmed, Marco Antonio y Ana Laura, espero inculcarles el respeto por todos los seres vivos y la conciencia de la conexión que hay entre todos. Recuerden que tienen el poder de las pequeñas acciones individuales y pueden ser transformadores sociales desde la posición en la que se encuentren.

A mi madre Lourdes, eres el mejor modelo de tenacidad, fortaleza y generosidad.

A mi padre José Luis, gracias por el ejemplo de amor al conocimiento.

A Pamela, José Luis y Fernando, siempre cómplices, su amistad y compañerismo fueron sostén de este proceso.

A Blanca y Alicia empezar una maestría con una bebé de un año es una locura que fue posible gracias a su apoyo incondicional, gracias por tanto amor.

A Katia, Karla P., Patricia, Marisa, Karla C., Alina, Angelica, Lizzete, Fabiola, Carmen y Landy, por los ánimos y por cuidar a mis hijos mientras estaba en clase.

A la Dra. Gina Villagómez y al Arqueólogo Sergio Grosjean, por las cartas de recomendación para ingresar a la maestría, son un gran ejemplo de compromiso social.

A la doctora Almira, gracias por ser un ejemplo de cómo ejercer la ciencia con ética; no sólo me enseñó sobre el método científico, sino que se preocupó por inculcarme el espíritu de lucha, el amor por la ciencia y a que descubra el sentido de este camino en mí vida. Sé que fui un reto a su paciencia y aún falta un largo trecho, pero gracias por ver en mí lo que aún no sabía que tenía. La admiro mucho.

A José Luís Febles, gracias por tu paciencia para enseñar, por explicar las cosas difíciles de la forma más sencilla, por tu habilidad con los mapas y por tu destreza en el Photoshop, no sólo eres un científico, también eres un artista.

A Mario, compañero de laboratorio y amigo, eres un gran ejemplo. Sobreponerse a los demonios internos mientras se estudia un posgrado es para valientes, gracias por tu amistad.

Al doctor Lane, los simposios, las clases de Ecología Política y sociocultural, fueron un gran ejercicio de pensamiento crítico y de cuestionamiento, gracias por compartir tus conocimientos con tanta generosidad.

A la doctora Ana, gracias por sus comentarios certeros, por su sabiduría y por su disposición para brindar información y herramientas.

A la doctora Arely, gracias por las sugerencias y por ser promotora de la educación ambiental y compartir la visión de su importancia en la divulgación de la ciencia.

A los doctores que integran el departamento de Ecología Humana y que, a pesar de no estar en mi comité, participaron con sus comentarios, clases, reuniones de trabajo y palabras de ánimo: Dr. Federico Dickinson, Dra. Teresa Castillo, Dra. María Dolores Cervera, Dra. Daniela Martínez, Dr. Miguel Munguía, Dr. Salvador Montiel, Dr. Carlos Ibarra y Dr. Sudip Datta Banick.

A Celeste Vorrath, gracias por el apoyo en la coordinación y por compartir experiencias de vida, no sé cómo lo haces para lograr todo.

A Leonor Chablé y a los auxiliares Fabiola Echeverría, Ernesto Ochoa, Graciela Valentín, Dolores Viga, Susana Pérez, Armando Rojas, Ligia Uc, Rosa Méndez, Rocío Saide y Rodolfo Olgún, son parte esencial del departamento de Ecología humana.

A mis compañeras de generación Dulce, Liz, Dianilly, Jasset y María Fernanda, el cunero fue una gran experiencia de aprendizaje. Ameyally y Yahír, gracias por su amistad, fueron un gran apoyo.

Al Colegio Teresiano Enrique de Ossó, por la formación profesional y personal.

A los directores, maestros y estudiantes de las escuelas participantes, gracias por permitirme trabajar con ustedes y compartir la preocupación por el estado de los recursos hídricos, reconozco el esfuerzo, dedicación y condiciones en las que realizan su trabajo, espero que esta investigación sea un aporte para complementar los objetivos de la educación.

A la Secretaría de Educación del Gobierno del Estado de Yucatán por el material proporcionado y las facilidades brindadas.

Al pueblo de México, quien a través del Conacyt me permitió lograr esta meta.

## CONTENIDO

<b>Agradecimientos</b> .....	i
<b>Índice de figuras</b> .....	v
<b>Índice de cuadros</b> .....	vi
<b>Índice de anexos</b> .....	vii
<b>Resumen</b> .....	viii
<b>Abstract</b> .....	ix
<b>1. Introducción</b> .....	1
<b>1.1. Planteamiento del problema</b> .....	3
<b>1.2. Preguntas de investigación</b> .....	4
<b>1.3. Objetivos de la investigación</b> .....	4
<b>2. Antecedentes</b> .....	5
<b>2.1. Hidrósfera</b> .....	5
<b>2.2. Hidrogeología de Yucatán</b> .....	8
<b>2.2.1. Características del Karst</b> .....	11
<b>2.2.2. Vulnerabilidad del Karst por actividades antropogénicas</b> .....	12
<b>2.3. Ciencia y educación, un binomio necesario</b> .....	14
<b>2.3.1 Educación básica primaria en México</b> .....	15
<b>2.3.2. Situación actual de la Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) en México</b> .....	16
<b>2.3.3. Evaluación de la EDS en los programas educativos de nivel Primaria</b> .....	20
<b>2.3.4. Evaluación de conocimientos de estudiantes</b> .....	21
<b>3. Metodología</b> .....	24
<b>3.1. Tipo de Investigación</b> .....	24
<b>3.2. Población</b> .....	24
<b>3.3. Muestreo</b> .....	25
<b>3.4. Área de estudio</b> .....	26
<b>3.5. Técnicas de investigación</b> .....	27
<b>3.5.1. Identificación de las áreas del conocimiento hidrogeológico reportado en la literatura científica</b> .....	27

3.5.2. Evaluación de los programas educativos de nivel Primaria en materia hidrogeológica .....	30
3.5.3. Evaluación de los conocimientos de los estudiantes de sexto grado de Primaria, relacionados con la hidrogeología de Yucatán .....	31
3.5.3.1. Cuestionario autoaplicado .....	31
3.5.3.2. Entrevista semiestructurada .....	32
3.6. Prueba piloto .....	33
<b>4. Trabajo de campo</b> .....	36
4.1. Obtención de permisos .....	36
4.2. Aplicación de instrumentos de evaluación .....	37
<b>5. Resultados</b> .....	38
5.1. Conocimientos reportados en la literatura científica sobre la hidrogeología de Yucatán .....	38
5.2. Contenidos de los programas educativos del nivel Primaria en materia hidrogeológica .....	38
5.3. Conocimientos relacionados con la hidrogeología regional en estudiantes de sexto grado de primaria .....	45
5.3.1. Cuestionario autoaplicado .....	45
5.3.2. Entrevista .....	63
<b>6. Discusión y conclusiones</b> .....	75
6.1. Descripción hidrogeología regional y su abordaje en los programas educativos.....	75
6.2. Conocimientos de estudiantes sobre hidrogeología regional .....	84
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	94
<b>ANEXOS</b> .....	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Visualización del agua dulce en el planeta .....	5
<b>Figura 2:</b> Esquema ciclo hidrológico y tiempo de residencia de los recursos hídricos.....	7
<b>Figura 3:</b> Esquema de corte transversal del acuífero de la Península de Yucatán ...	10
<b>Figura 4:</b> Marco conceptual de la sostenibilidad en la educación.....	20
<b>Figura 5:</b> Mapa del área de influencia de la ciudad de Mérida en el estado de Yucatán y localización geográfica de las escuelas participantes en este estudio.....	26
<b>Figura 6:</b> Objetivos de investigación de publicaciones sobre hidrogeología regional.....	28
<b>Figura 7:</b> Frecuencia de publicaciones por año en evaluación educativa ambiental durante las dos últimas décadas .....	30
<b>Figura 8:</b> Histograma de frecuencias de elementos conceptuales en dibujos .....	53
<b>Figura 9:</b> Ejemplo elemento conceptual: Agua subterránea ....	54
<b>Figura 10:</b> Ejemplo elemento conceptual: Roca subterránea .....	54
<b>Figura 11:</b> Ejemplo elemento conceptual: Lente de agua dulce sobre agua salada ...	54
<b>Figura 12:</b> Ejemplo conceptualización errónea: Capa de roca entre el lente de agua dulce y salada.....	55
<b>Figura 13:</b> Ejemplo conceptualización errónea: tuberías entre las casas.....	55
<b>Figura 14:</b> Ejemplo conceptualización errónea: roca sólida .....	55
<b>Figura 15:</b> Ejemplo conceptualización errónea: agua superficial con olas.....	55
<b>Figura 16:</b> Ejemplo conceptualización errónea: Montañas rodeando agua superficial.....	55
<b>Figura 17:</b> Histograma de frecuencias de elementos contextuales en dibujos .....	56
<b>Figura 18:</b> Ejemplo elemento contextual: Flora .....	57
<b>Figura 19:</b> Ejemplo elemento contextual: Infraestructura urbana .....	57
<b>Figura 20:</b> Ejemplo elemento contextual: Infraestructura urbana de gestión de agua.....	57
<b>Figura 21:</b> Ejemplo elemento contextual: Personas .....	57
<b>Figura 22:</b> Gráfica de probabilidad normal de calificaciones .....	59

<b>Figura 23:</b> Gráfica de intervalos de calificación por escuela .....	60
<b>Figura 24:</b> Mapa de calificaciones aprobatorias y reprobatorias de acuerdo con la localización geográfica de las escuelas participantes .....	62

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1:</b> Comparación de publicaciones sobre hidrogeología e hidrogeología de Yucatán entre los años 1990 y 2018 en las bases de datos Web of Science y Google académico.....	27
<b>Cuadro 2:</b> Publicaciones base para la construcción del conocimiento hidrogeológico de la Península de Yucatán, por orden de antigüedad .....	29
<b>Cuadro 3:</b> Comparación entre información científica publicada e información contenida en programas educativos y libros de texto de los ejes temáticos de hidrogeología regional .....	39
<b>Cuadro 4:</b> Temas de hidrogeología abordados en programas educativos de primaria.....	40
<b>Cuadro 5:</b> Proporción de respuestas correctas e incorrectas por escuela sobre el ciclo del agua.....	46
<b>Cuadro 6:</b> Proporción de respuestas correctas sobre hidrogeología regional .....	47
<b>Cuadro 7:</b> Proporción de respuestas correctas, incorrectas y parcialmente correctas sobre disponibilidad, gestión y riesgos relacionados al agua .....	48
<b>Cuadro 8:</b> Estadística descriptiva de calificaciones del cuestionario .....	58
<b>Cuadro 9:</b> Diferencias entre las medias de las escuelas con las pruebas simultáneas de Tukey.....	61
<b>Cuadro 10:</b> Proporción de respuestas correctas e incorrectas de la entrevista .....	63
<b>Cuadro 11:</b> Proporción de respuestas correctas e incorrectas por escuela sobre temas de distribución, almacenamiento, infiltración y flujo del acuífero en entrevista .....	69
<b>Cuadro 12:</b> Proporción de respuestas correctas e incorrectas por escuela sobre temas de gestión, contaminación y riesgos para la salud relacionados al acuífero.....	71
<b>Cuadro 13:</b> Identificación de riesgos de contaminación del acuífero relacionados a la visita a cenotes .....	72
<b>Cuadro 14:</b> Correlación entre calificaciones aprobatorias y la visita a los cenotes ...	73

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Matriz de localización de coincidencias y discrepancias de contenidos hidrogeológicos .....	108
<b>Anexo 2:</b> Entrevista semiestructurada .....	109
<b>Anexo 3:</b> Cuestionario auto aplicado .....	111
<b>Anexo 4:</b> Consentimiento informado de participación de alumnos .....	115
<b>Anexo 5:</b> Consentimiento informado de participación de escuelas .....	117

## RESUMEN

El acuífero de Yucatán posee el 30% de las reservas de agua dulce de México. Actualmente presenta problemas de calidad y disponibilidad al ser fuente de abastecimiento y destinatario de las aguas residuales generadas por las actividades antrópicas. En estudios previos se ha identificado desconocimiento ciudadano sobre el sistema hidrogeológico; la deficiente gestión del recurso hídrico puede estar relacionada al desconocimiento de este. El objetivo del estudio consistió en identificar y evaluar los contenidos sobre la hidrogeología de Yucatán en los programas educativos y los conocimientos de estudiantes de primaria, y si ambos corresponden con los paradigmas científicos actuales. Se identificaron los siguientes temas a evaluar: el ciclo del agua, distribución, infiltración, almacenamiento, conformación del acuífero, movimiento del agua, salinidad y vulnerabilidad y contaminación de las aguas subterráneas. Se aplicó un cuestionario a estudiantes de primaria (n=422) y una entrevista semiestructurada al 55% (n=236) de estos estudiantes. Los principales resultados muestran que: i) los contenidos hidrogeológicos se abordan de forma incompleta y escasa en programas educativos y libros de texto ii) los estudiantes poseen conocimientos muy limitados; ésta situación es generalizada, pues las escuelas estaban en distintas zonas socioeconómicas de Mérida, y atribuible a fallas en el sistema educativo, que fue considerado por los estudiantes como la principal fuente de información sobre temas hidrogeológicos; iii) los temas con los porcentajes más altos de respuestas incorrectas fueron: el ciclo del agua (75%), la distribución del agua dulce en la hidrósfera (97%), circulación y flujo (69%) y el funcionamiento del acuífero kárstico en Yucatán (99%); iv) el 90% de los estudiantes reconoció la importancia del agua relacionada con su valor utilitario y de consumo, el 99% reconoció los riesgos para la salud del consumo de agua contaminada; v) el cenote, fue el elemento más utilizado para representar al acuífero subterráneo. A pesar de que los estudiantes reconocen la importancia del agua para la conservación de la vida, y las consecuencias de contaminarla, no disponen de las bases conceptuales para identificar las fuentes de contaminación y por lo tanto se pone en riesgo la relación entre estos futuros ciudadanos y sus recursos hídricos. Estos resultados indican que el sistema educativo mexicano requiere fortalecer los programas educativos para propiciar el desarrollo de conocimientos fundamentales en los estudiantes, que favorezcan la gestión y la conservación de dichos recursos.

## **ABSTRACT**

Yucatan's aquifer accounts for 30% of Mexico's freshwater reserves. It has quality and availability problems; it is a source of supply and at the same time the recipient of wastewater generated by anthropic activities. Citizen ignorance of the hydrogeological system has been identified in previous studies, and deficient management of this resource may be related to it. The objective of the study was to identify and evaluate: (1) the contents related to Yucatan's hydrogeology in educational programs; and (2) primary school students' knowledge in relation to the current scientific paradigms related to this hydrogeology. We identified nine topics: (i) the water cycle, (ii) distribution, (iii) infiltration, (iv) storage, (v) aquifer conformation, (vi) water movement, (vii) salinity, (viii) vulnerability, and (ix) contamination of groundwater. Elementary students were subjected to a questionnaire (n = 422) and a semi-structured interview (n = 231, 54%). Results indicate that: i) the hydrogeological contents are incompletely and scarcely addressed in educational programs and textbooks; ii) the students had limited knowledge; iii) that this limitation was generalized for all schools included in the study and attributable to the educational system, since students considered that the main source of information on hydrogeological issues was the school; iv) the topics with the highest percentages of incorrect responses were: the water cycle (75%), the distribution of fresh water in the hydrosphere (97%), circulation and flow (69%), and the function of the karst aquifer in Yucatan (99%); v) the students understood the importance of water related to its utilitarian value and consumption (90%); vi) students recognized the risks of consuming contaminated water for health (99%); vii) sinkholes were the most frequently used element to represent the underground aquifer. Although the students recognize the importance of water for life, and the consequences of pollution, they were unable to identify the sources of contamination. This limitation produces a risky relationship between the future citizen and water resources. These results indicate that the Mexican educational system is failing to transmit fundamental concepts related to the management and conservation of hydrological resources in the Yucatan Peninsula.

## 1. Introducción

El acuífero de Yucatán es el sistema kárstico más extenso del planeta (Bauer-Gottwein *et al.*, 2011), es la fuente de abastecimiento de agua de la región y destinatario final de los residuos domésticos e industriales. Actualmente presenta problemas de calidad y de abastecimiento para el ciudadano, debido al uso inadecuado que se le ha dado. Este uso ha disminuido la calidad del agua, ya que se extraen 314 hm<sup>3</sup>/año para uso doméstico e industrial y se tratan 8.2 hm<sup>3</sup>/año, lo que corresponde a un 2.6% del caudal extraído (CONAGUA, 2018).

Actualmente se han detectado en el acuífero nitratos, coliformes, coliformes fecales, metales, pesticidas, adenovirus y organoclorados, esto genera impactos a la salud a corto, mediano y largo plazo (Pacheco-Ávila *et al.*, 2004; Hoogesteijn *et al.*, 2015; Polanco-Rodríguez *et al.*, 2015). No existen plantas potabilizadoras públicas en el estado (CONAGUA, 2018), lo cual compromete la salud de los habitantes. La falta de potabilización favorece la aparición de enfermedades infecciosas asociadas al agua que pueden generar epidemias (Yang *et al.*, 2012). Por lo que se puede concluir que la gestión del acuífero es prácticamente inexistente.

Estudios previos han demostrado que sumado a la aplicación efectiva de la normatividad que regula el aprovechamiento del ambiente, es la educación general de los ciudadanos, tanto en espacios formales como informales, la que determina las interacciones con los recursos naturales (Lheman y Geller, 2004; Coban *et al.*, 2011). Se han encontrado mejores indicadores asociados con el cuidado y aprovechamiento del ambiente en aquellos países cuyos indicadores en educación y cultura ciudadana son altos (Keramitsoglou y Tsagarakis, 2011; Wals *et al.*, 2014).

El currículum escolar debe enseñar a construir nuevos modelos de convivencia asentados en una ciudadanía capaz de analizar críticamente los errores de gerencia de recursos naturales, rescatando el principal valor de la educación: la transmisión de conocimientos primordiales para las siguientes generaciones, con el fin de asegurar no sólo la supervivencia de la especie, sino también la calidad de vida dentro de un ecosistema saludable y sostenible (Sauvé, 2017).

Es necesaria la sinergia entre la información proporcionada por la ciencia y la educación formal para favorecer que los estudiantes sean capaces de explicar los fenómenos naturales de su entorno y tengan las herramientas necesarias para indagar la realidad natural de manera objetiva y rigurosa (López-Valentín y Guerra-Ramos, 2013). La educación formal tiene un gran potencial como herramienta de divulgación y como generadora de cambios culturales que favorezcan una gestión sostenible de los recursos naturales (Bradley *et al.*, 1999; Wals *et al.*, 2014).

Se ha reportado previamente que existe desconocimiento en los ciudadanos yucatecos sobre los procesos y gestión de los recursos hidrogeológicos regionales (Martínez-Peña, 2008; Nava-Galindo, 2015). Ante este panorama, surgen las siguientes preguntas de investigación: i) ¿Qué información relacionada con la hidrogeología regional aparece en los programas educativos y libros de texto que reciben los estudiantes en la escuela?; ii) La información está apoyada y coincide con los conocimientos científicos?, y iii) ¿Cuáles son los conocimientos que tienen los estudiantes sobre hidrología? Para el presente estudio, se realizó una revisión bibliográfica con el fin de identificar la información científica referente a la hidrogeología de Yucatán y elaborar los instrumentos de evaluación. Se revisó el programa de estudios vigente (2011) de educación primaria para evaluar contenidos

relacionados con el conocimiento, conservación y manejo de los recursos hidrogeológicos de Yucatán y se aplicaron distintas técnicas de investigación para describir y evaluar los conocimientos de los estudiantes sobre dicho tema.

### **1.1. Planteamiento del problema**

El agua es un sistema global que se ve afectado por los diversos usos locales. En el caso de Yucatán, el acuífero subterráneo, fuente de abastecimiento de agua de la región presenta problemas de calidad y de abastecimiento debido a la gestión deficiente. Se ha demostrado que enseñar sobre cómo funcionan los recursos hidrológicos en cada comunidad desde los espacios educativos, genera mejores actitudes hacía el uso del agua y conocimientos efectivos en la concepción de los estudiantes sobre la misma. Esto incluye la necesidad de traducir información científica para una audiencia general para ofrecer la oportunidad de que se generen preguntas y discusión sobre el funcionamiento del acuífero (Coban *et al.*, 2011, Keramitsoglou y Tsagarakis, 2011; Wals *et al.*, 2014).

La educación debe contribuir a disminuir la ignorancia que existe en los hogares, respecto al entorno natural regional y debe ayudar a los estudiantes a apropiarse de esa información. Educar con una visión de sostenibilidad produciría personas mejor preparadas para exigir y provocar cambios que disminuyan el impacto humano sobre el ambiente (Wals *et al.*, 2014; Lieflander *et al.*, 2015). Con base a lo anterior, es importante describir qué es lo que los estudiantes aprenden en la escuela respecto a las características hidrogeológicas de Yucatán, descubrir los conceptos que se usan y que temas se deben reforzar.

El propósito de esta investigación es evaluar los contenidos sobre la hidrogeología de Yucatán en los libros de primaria y en programas educativos, así como los conocimientos de

estudiantes de primaria, en relación con el conocimiento reportado en la literatura científica. Hasta donde es de nuestro conocimiento en México no se han realizado evaluaciones de este tipo en la educación formal.

## **1.2. Preguntas de investigación**

1. ¿Qué información relacionada con la hidrogeología regional aparece en los programas educativos y libros de texto que reciben los estudiantes en la escuela?
2. ¿La información está apoyada y coincide con los conocimientos científicos?
3. ¿Cuáles son los conocimientos que tienen los estudiantes sobre hidrogeología?

## **1.3 Objetivos de la investigación**

### **1.3.1 General**

1. Evaluar los programas educativos y los conocimientos sobre el recurso hídrico regional en estudiantes de Mérida, Yucatán.

### **1.3.2 Particulares**

1. Describir los conocimientos reportados en la literatura científica sobre la hidrogeología de Yucatán.

2. Evaluar los programas educativos y los libros de texto del nivel primaria en materia hidrogeológica.

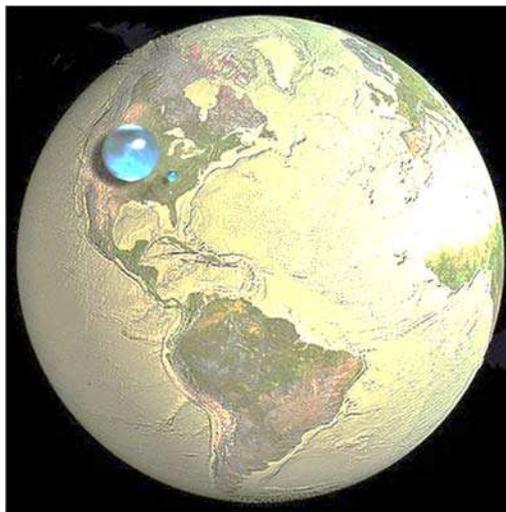
3. Evaluar los conocimientos relacionados con la hidrogeología regional en estudiantes de sexto de primaria de escuelas públicas de la ciudad de Mérida.

## 2. Antecedentes

### 2.1. Hidrosfera

Para entender el estado de nuestros recursos hídricos, es importante entender el contexto global. La mayor parte del agua que existe en la naturaleza es salada (97%), el 3% restante es agua dulce que se distribuye de la siguiente forma: casquetes polares y glaciares (68%), aguas subterráneas (30%), lagos, ríos, ciénagas y vapor de agua en la atmósfera (2%). De esta subdivisión sólo podemos contar con el 11.4% del total para el consumo y las actividades de los seres humanos y para la conservación de los seres vivos terrestres (Martínez-Alfaro *et al.*, 2006).

La Figura 1 permite conceptualizar mejor estas proporciones, se puede observar un globo terráqueo con tres esferas, la más grande representa toda el agua en el planeta, la mediana equivale al agua dulce del mundo y la más pequeña (el punto blanco aproximadamente a la altura del estado de Florida) constituye el agua disponible para los seres humanos y para la vida en la tierra.

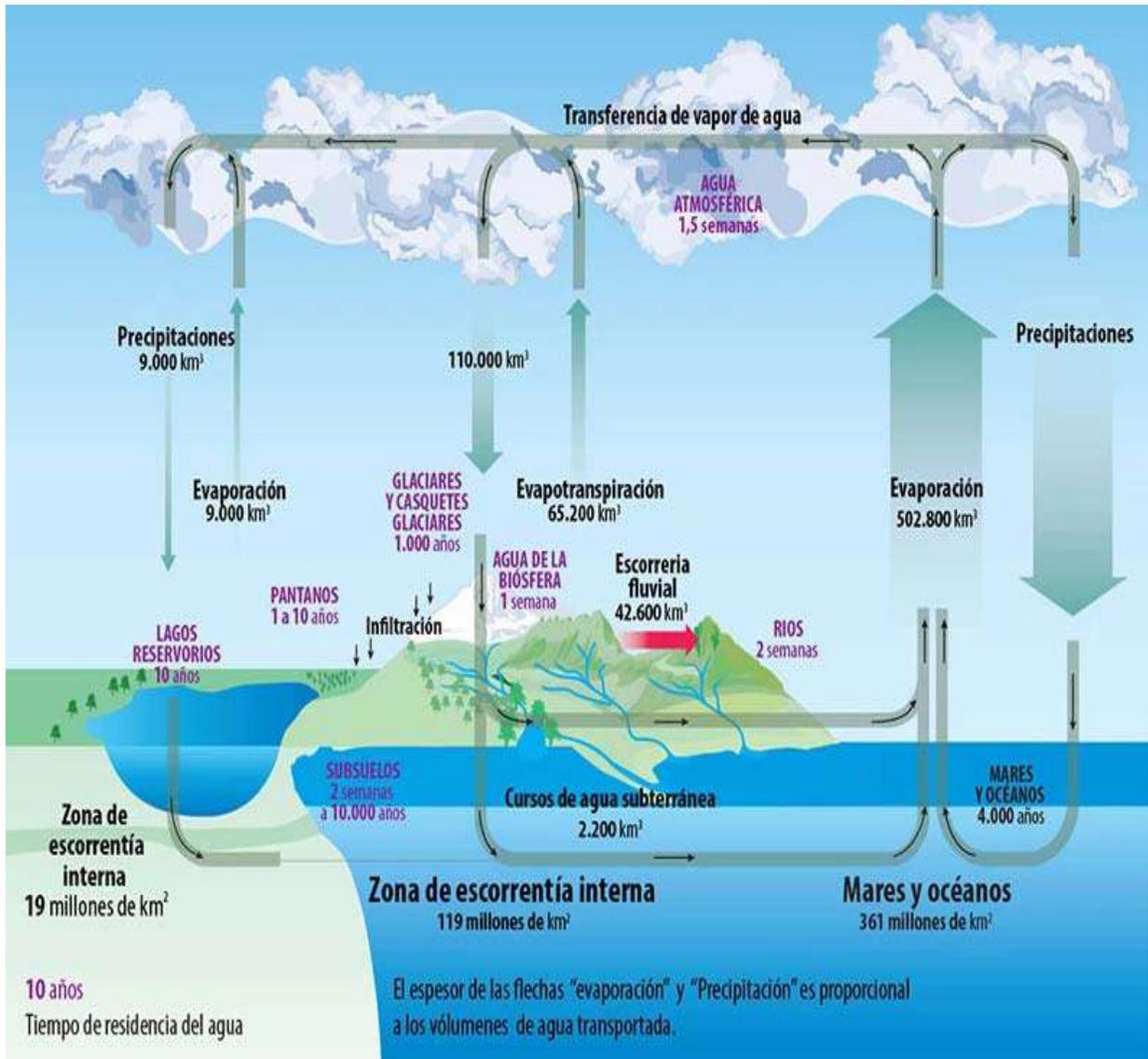


**Figura 1. Visualización del agua dulce en el planeta. Fuente: Howard Perlman, USGS; globe illustration by Jack Cook, Woods Hole Oceanographic Institution.**

El agua en la naturaleza está en movimiento continuo, describe un ciclo hidrológico (evaporación, condensación, precipitación, escorrentía, infiltración y flujo subterráneo) accionado por la energía de la radiación solar y la fuerza de gravedad, que comienza y termina en el mar, aunque no todas las moléculas de agua pasen por todas las fases del ciclo (Martínez-Alfaro *et al.* 2006).

El ciclo del agua (Fig. 2) regula las funciones ambientales de los ecosistemas, modula el clima, establece las dinámicas fluviales y modifica el paisaje mediante sus funciones físicas, químicas y biológicas. Físicamente, a través de la interacción entre evaporación, condensación, escorrentía y erosión; químicamente, por medio de la disolución de rocas y minerales, así como su fragmentación y biológicamente, mediante la fotosíntesis y la transpiración (Toledo, 2006).

El agua es un recurso vital, sin embargo, la falta de saneamiento y de acceso al agua potable afectan a la tercera parte de la humanidad del planeta (Yang *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2014). El tiempo que el agua permanece en los diferentes reservorios va desde una semana hasta 10,000 años (Fig. 2), las aguas más antiguas se encuentran de forma subterránea, sin embargo, el volumen y distribución del agua en la hidrósfera ha sido alterado por la actividad humana, afectando las tasas de evaporación, almacenamiento y calidad (Jones, 2011). Por ejemplo, se estima que el sector agrícola utiliza el 90% de las extracciones mundiales de agua para la producción de alimentos, sin embargo, en las últimas décadas también se ha incrementado el uso de fertilizantes y pesticidas, la actividad agrícola no solo afecta directamente el volumen de agua sino también la calidad (Oki y Kanae, 2006).



**Figura 2: Esquema del ciclo hidrológico y tiempo de residencia de los recursos hídricos. Fuente: Igor A. Shiklomanov. State hydrological Institute, (SHI, St. Petesburg) and United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO, Paris), 1999.**

<https://escsudac.wixsite.com/bibliotecaescolar/ciencia-y-tecnologia>.

## 2.2. Hidrogeología de Yucatán

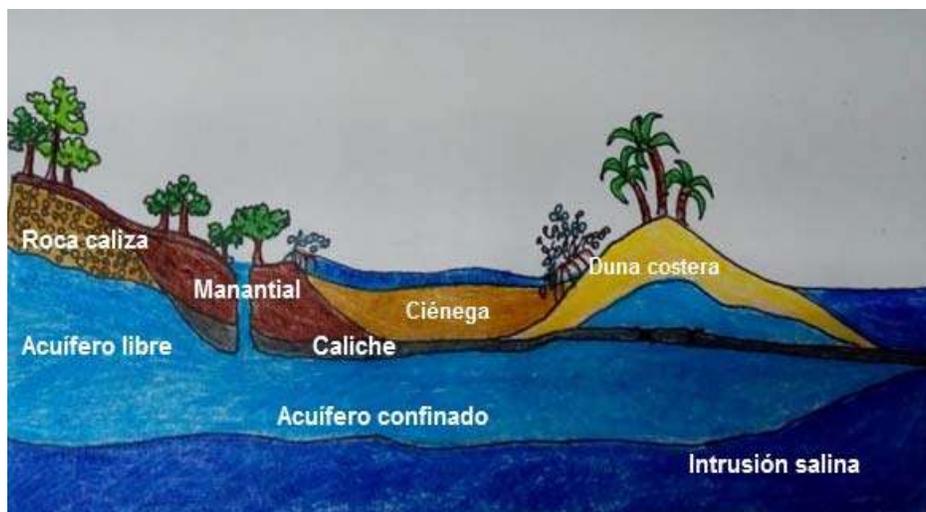
La Península de Yucatán (PY) es una plataforma calcárea constituida principalmente por carbonato de calcio, formada por un proceso de sedimentación. Al final del período Cretácico sufrió el impacto de un meteorito, que modificó su geomorfología y formó el cráter de Chicxulub; las capas superiores de carbonatos se formaron millones de años después en un tiempo más reciente, no mayor a ~130,000 años, sin embargo, el último anillo interior del cráter se correlaciona con el Anillo de cenotes, la reserva geohidrológica que agrupa la mayor cantidad de estas formaciones kársticas, lo cual apoya la interpretación de que su origen está ligado con el cráter producto del impacto (Rebolledo Vieyra et al., 2010; Urrutia-Fucugauchi *et al.*, 2011).

Desde el punto de vista hidrogeológico la PY se ha caracterizado en cinco regiones fisiográficas distintas: la Zona Costera, la Llanura Costera del Noroeste, la Llanura Costera del Noreste, Zona Sur de “Lomeríos” en la planicie cárstica y el Distrito de Fallas del Bloque Este. Las diferentes regiones se caracterizan por un grado variable de fracturación geohidrológica, las más notables a escala regional son el Anillo de Cenotes, la línea de falla Sierrita de Ticul, la zona de fractura Holbox, la zona de bloque de falla del Río Hondo y la zona de falla La Libertad en Guatemala (Gondwe *et al.*, 2010; Bauer-Gottwein *et al.*, 2011).

A nivel mundial, las aguas subterráneas se consideran un reservorio importante de agua dulce (Andreu *et al.*, 2016), el sistema acuífero kárstico de la Península de Yucatán es un acuífero transfronterizo que se extiende sobre un área de aproximadamente 165,000 km<sup>2</sup> entre México, Guatemala y Belice. Contiene grandes depósitos de agua subterránea que mantienen la biodiversidad de la península (Gondwe *et al.*, 2010; Bauer-Gottwein *et al.*, 2011).

Los acuíferos pueden clasificarse en libres o no confinados y confinados de acuerdo con dos parámetros hidrogeológicos: la conductividad hidráulica, que es la capacidad que tienen para permitir que el agua circule en su interior y su capacidad de almacenamiento. Estos parámetros dependen de la porosidad de las rocas debido a su naturaleza geológica (Fitts, 2002). Con base a estos parámetros, el acuífero de Yucatán se considera libre en la mayor parte del territorio porque está en contacto con la atmósfera y el agua llena parcialmente los poros de la roca que lo conforman. Sin embargo, en la costa el acuífero es confinado, esta franja paralela a la costa de Yucatán tiene un ancho de entre 8 y 10 km y un espesor variable entre 0.5 y 3 m (Perry *et al.*, 1995; Marín *et al.*, 2004; Marín y Perry, 2012) se encuentra debajo de roca sedimentaria, denominada caliche, lo que provoca que su hidrología sea diferente porque almacena el agua pero esta fluye con dificultad a través del caliche (Villasuso y Ramos, 2000).

El acuífero está conformado por un lente de agua dulce que flota sobre agua salada (Fig. 3). El espesor del lente de agua dulce varía de la costa hacia tierra adentro. Por ejemplo: en la costa se ha calculado que tiene aproximadamente 16 metros (Chuburná Puerto), mientras que, en la zona interior del estado éste llega a tener hasta 80 metros de espesor (Sotuta) (Perry *et al.*, 1995).



**Figura 3: Esquema de un corte transversal del sistema acuífero de la Península de Yucatán.**

El flujo del agua subterránea se ve afectado principalmente por las zonas de fractura, por los grandes conductos de disolución (carbonatos con un alto grado de karstificación, que tienen conductos de disolución muy alargados) y por las pequeñas fracturas y cavidades de disolución (Perry *et al.*, 1995; Villasuso y Ramos, 2000; González-Herrera *et al.*, 2002; López-Tamayo, 2015).

La dirección del flujo en la PY es en sentido radial, y en el estado de Yucatán es de sur a norte, se ve afectado por: i) el gradiente hidráulico que se considera muy bajo ya que, oscila en el orden de los 7 - 10 mm/km, ii) la alta permeabilidad del suelo y iii) la precipitación pluvial, este conjunto provoca que el flujo sea principalmente vertical (Steinich, *et al.*, 1996; Marín *et al.*, 2004). En la región norte de la PY, la zona del anillo de cenotes forma una cuenca que modifica el flujo y esto provoca que eventualmente el agua del acuífero se descargue en el Golfo de México. Hasta el momento se han encontrado dos desembocaduras principales, una que va hacia el noroeste del anillo de cenotes, desemboca

en Celestún y otra que va hacía el noreste y desemboca en Dzilam Bravo (Villasuso *et al*, 2011; Marín y Perry, 2012).

El acuífero está afectado por la intrusión del agua de mar, esta dinámica de la interfase salina es temporal. La recarga del acuífero con agua dulce ocurre en la época de lluvias, y disminuye en la temporada de secas. La extracción de agua dulce para el consumo humano influye en el aumento de la intrusión salina pues si el volumen de extracción es mayor que la recarga del acuífero, el proceso dinámico de la intrusión se vuelve continuo y los pozos de extracción comienzan a salinizarse con la entrada de agua del Golfo de México (Grael *et al.*, 2004; Cervantes-Martínez, 2007).

### **2.2.1. Características del Karst**

Se denomina karst a la formación geológica que resulta de la disolución de rocas solubles, se considera un sistema de drenaje jerarquizado, con flujo hídrico por los conductos de la roca. Las regiones kársticas cubren del 10 al 20% de la superficie de la tierra y proporcionan del 40 al 50% del agua dulce del mundo (Ford y Williams, 2013). En general carecen de fuentes de agua superficiales debido a su alta porosidad y permeabilidad (Andreu *et al.*, 2016).

Los acuíferos kársticos se caracterizan por su heterogeneidad organizada, ya que los huecos en la roca se van originando de forma irregular por la disolución de las piedras carbonatadas y la filtración del agua de lluvia. Suelen tener características muy complejas, la acción del agua crea cuevas y depresiones cerradas. Se desarrolla una porosidad secundaria que se manifiesta en las fracturas y el colapso del techo de algunos grandes conductos de

disolución, dando origen a extensos sistemas subterráneos (Schmitter-Soto *et al.*, 2002; Ford y Williams, 2013).

El karst Yucateco se caracteriza por alta permeabilidad y por una porosidad triple en la que el agua subterránea fluye por la matriz de roca, por las fracturas del suelo y a través de los grandes conductos de disolución (cuevas subterráneas). La disolución en fisuras y cavidades produce largas cavernas, los colapsos arriba de estas cavidades producen la formación de cenotes y dolinas. Las condiciones geo-ecológicas le dan al paisaje elementos característicos como la línea de manglares y de humedales a lo largo del litoral; los cenotes, que son la característica principal de la zona, poljes y uvalas que conforman el relieve (Marín *et al.*, 2003; Bautista *et al.*, 2011; Marín y Perry, 2012).

### **2.2.2. Vulnerabilidad del Karst por actividades antropogénicas**

Las regiones kársticas son muy susceptibles a la degradación ambiental, la permeabilidad de los suelos permite que durante la infiltración de agua todos los contaminantes orgánicos e inorgánicos entren directamente al acuífero; el poder de depuración es limitado debido a la reducida esorrentía caracterizada por el bajo gradiente hidráulico (Aguilar-Duarte *et al.*, 2016; Bonneau *et al.*, 2017).

El acuífero kárstico libre de la Península es la única fuente disponible de agua dulce de la región, se considera altamente vulnerable debido a que los contaminantes pueden ingresar a través de la infiltración por la capa superficial, las fracturas, los cenotes, las tuberías subterráneas y otro tipo de macro poros; estos contaminantes pueden transportarse por largas distancias sin ninguna atenuación (González-Herrera *et al.*, 2002; Torres-Díaz *et al.*, 2014; Bonneau *et al.*, 2017). En la temporada de lluvias y por el proceso de lavado de

suelo, los elementos contaminantes aumentan sus concentraciones en el acuífero. Cualquier afectación al acuífero influirá de manera directa en los servicios ecosistémicos (Long *et al.*, 2018).

Las principales fuentes de contaminación del agua subterránea son: (1) los bancos de materiales pétreos que afloran al manto freático y se usan como tiraderos de basura y depósitos de aguas residuales, (2) el fecalismo al aire libre, (3) la infiltración de aguas servidas en los pozos pluviales, (4) el tratamiento insuficiente o inexistente de las aguas residuales industriales, (5) la disposición inadecuada de los residuos sólidos, (6) la aplicación de productos agrícolas, (7) más de 130,000 fosas sépticas con baja eficiencia y (8) la disposición inadecuada de los residuos de la limpieza de las fosas sépticas y de los rastros (Febles-Patrón y Hoogesteijn, 2010). Aunado a ello, el monitoreo municipal para vigilar el funcionamiento adecuado del sistema de tratamiento de aguas residuales y el cumplimiento de las normas oficiales correspondientes, normas que de por sí son insuficientes; no se aplican (Febles-Patrón y Hoogesteijn, 2008).

Los patógenos y la bioacumulación de tóxicos químicos por vía del agua o de alimentos contaminados inciden directamente en la salud de la población (Giacoman *et al.*, 2017; Piguave-Reyes *et al.*, 2019). El bienestar de la población depende de la adecuada gestión del acuífero, pero la contaminación antropogénica se ha incrementado durante las últimas décadas debido al aumento poblacional y a la urbanización sin planeación (Grael *et al.*, 1999; Pacheco-Ávila *et al.*, 2004; Méndez-Novelo *et al.*, 2015). La falta de gestión produce efectos a la salud de proporciones epidemiológicas y se necesita un cambio rápido en las respuestas culturales para evitar el colapso de este ecosistema (Marín *et al.*, 2000).

### **2.3. Ciencia y Educación: un binomio necesario**

La educación formal es un aliado importante para promover respuestas culturales generalizadas. La escuela es uno de los lugares en que se formalizan, se generan y se despiertan inquietudes para originar nuevos conocimientos. Es en la educación escolar donde se brinda la información que la ciudadanía debe manejar.

Los seres humanos crean experiencias y aprenden continuamente, respondiendo inquietudes y forjando conocimientos. Ese conocimiento se consolida como parte de un acervo cultural y científico. La ciencia posee la función social de reflejar los esquemas consensuales y de reforzar los valores actuales, pero también tiene la fuerza para romper las barreras de las ideas adquiridas y abrir nuevas vías de comprensión del mundo y del comportamiento social (Sauvé, 2017).

Según Roqueplo (1983) los actuales esquemas educativos como la enseñanza descontextualizada del saber científico y de la realidad actual, la repetición de fórmulas y la memorización efímera se convierten en “tierra fértil” para abrir la brecha entre la ciencia y el público. Es importante promover una cultura apoyada en el conocimiento que le permita a la población participar en la gobernanza ambiental, y favorezca que trabaje eficazmente en la conservación de sus recursos.

Algunas políticas educativas, como la incorporación de la Educación Ambiental para la Sostenibilidad al currículo formal, han identificado la necesidad de implementar estrategias para que la población conozca mejor su entorno natural. En el caso de Yucatán, la ignorancia sobre los procesos hidrogeológicos ha permitido un manejo deficiente del recurso hídrico, que se manifiesta en un aumento de la contaminación: la población no

reconoce la gestión del recurso como parte del problema (Martínez-Peña *et al.* 2013). En consecuencia, la educación en las escuelas podría considerarse como el punto de partida para brindar información que ayude a la formación ciudadana y permita la implementación de programas de conservación (Ehrlich, 2009) de los recursos hídricos en este caso.

Para poder satisfacer este supuesto, surge como acción prioritaria identificar: (i) qué es lo que se enseña en las escuelas y (ii) si los conocimientos impartidos permiten al estudiante reconocer y apreciar las características naturales del sistema hídrico (Martínez-Peña *et al.*, 2013; Hoogesteijn *et al.*, 2015).

### **2.3.1. Educación primaria básica en México**

Para entender el sistema educativo, es importante conocer las bases legales que lo soportan; en primer lugar, el estado mexicano es el principal responsable de proporcionar educación a los ciudadanos, en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos se establece:

Artículo 3o. Todo individuo tiene derecho a recibir educación. El Estado — Federación, Estados, Distrito Federal y Municipios — impartirá educación preescolar, primaria, secundaria y media superior. La educación preescolar, primaria y secundaria conforman la educación básica; ésta y la media superior serán obligatorias.

En la fracción quinta de este artículo, además de impartir la educación preescolar, primaria, secundaria y media superior, se menciona que el Estado promoverá y atenderá todos los tipos y modalidades educativas, incluyendo la educación inicial y a la educación superior, necesarios para el desarrollo de la nación, apoyará la investigación científica y

tecnológica, y alentará el fortalecimiento y difusión de la cultura mexicana (Ordorika y Gómez, 2012).

Este artículo se modificó en 2013 para incluir la calidad educativa como un derecho ciudadano y como una obligación del estado (SEP, 2013). La calidad educativa se relacionó con dos aspectos: la pertinencia, es decir, la adecuación curricular respecto a las situaciones de vida de los estudiantes y el impacto, que se refirió a que los aprendizajes alcanzados en la escuela se traduzcan en valores individuales y sociales (INNE, 2016).

Actualmente, la primaria es el nivel educativo que cuenta con la mayor infraestructura material y docente, brinda atención al 90% de los menores entre seis y 12 años. Se imparte en diferentes modalidades, por ejemplo, multigrado, presencial, indígena, pública, privada y comunitaria, en la mayoría del territorio mexicano. La educación primaria en México es primordialmente pública (90.7% de los alumnos asisten a escuelas públicas) que funciona con fondos del estado (INEE, 2018; Robles *et al.*, 2008).

### **2.3.2. Situación actual de la Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) en México**

Tradicionalmente, los contenidos relacionados con el conocimiento de las leyes de la naturaleza y de las interrelaciones de los seres vivos, se encuentran dentro de la materia denominada como “ciencias naturales”, esto ha respondido a la necesidad del ser humano de comprender el mundo (incluso el que está dentro suyo), para adaptarse a él o adaptarlo a la medida de sus necesidades (Ruíz-Mallen *et al.*, 2006). Sin embargo, ante la evidente destrucción de los ecosistemas surgió la necesidad de, además de conocer el entorno natural, implementar contenidos de ecología en la educación formal y surgió la educación ambiental, definida por González-Gaudio (2001, 2008) como la acción educativa constante por la cual

la comunidad educativa toma conciencia de su realidad global, del tipo de relaciones que los seres humanos establecen entre sí y con la naturaleza, de los problemas derivados de dichas relaciones y sus causas profundas.

Durante la década de 2004 al 2014, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) implementó el Decenio de la Educación para el Desarrollo Sostenible (DEDS). La Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) se promovió como un paso más de la educación ambiental, se planteó que abarcaría las raíces de los factores que provocaban la degradación ambiental (Wals *et al.*, 2014). No hay una conceptualización unificada sobre la EDS, esto provocó ambigüedades en su implementación. Según Colom (2000) es la conjunción armónica e integrada, global y sistémica de los desarrollos: i) biológico y humano (mejora de las condiciones de vida), ii) económico (racionalidad en el crecimiento), iii) político (cooperación para resolver los problemas) y iv) cultural (respeto a la diversidad).

En México, el DEDS se aplicó del año 2004 al 2013, a pesar de que se asumió como un referente para los programas educativos (esquemas para organizar, detallar y orientar procesos pedagógicos), eso no significó que se cumplieran los acuerdos (Gutiérrez *et al.*, 2006). Se continuó utilizando el plan general de estudios 2011, programa que contiene la última reforma educativa de contenidos.

La educación ambiental para el desarrollo sostenible se encontraba inmersa en los programas educativos nacionales y debía de educar a los estudiantes en el conocimiento y fortalecimiento de los temas mencionados, pero existían diferentes entornos sociales y naturales hasta en una misma región o entidad federativa por lo que sus alcances fueron

limitados desde la perspectiva de las ciencias naturales (González-Gaudiano, 2008; Ruíz-Mallen *et al.*, 2009).

En el 2013 se promulgó una reforma educativa con cambios de forma, sin renovación sustancial de contenidos de programas educativos o libros de texto y se designaron como ejes principales el deporte, la cultura, la inclusión, perspectiva de género y el uso de tecnologías (SEP, 2013). La única mención a la conservación y protección ambiental fue en una de las líneas de acción transversales llamada: Estrategia Uno: -Democratizar la productividad-, entre las líneas de acción se consideró -Incorporar en los programas y materiales de estudio, contenidos que favorezcan una comprensión del mundo natural y promuevan el cuidado del medio ambiente- (SEP, 2013). En los términos de esta línea de acción se observa el concepto del ambiente como un recurso natural que sirve para detonar el desarrollo económico y social, concepto que se repite en las leyes ambientales.

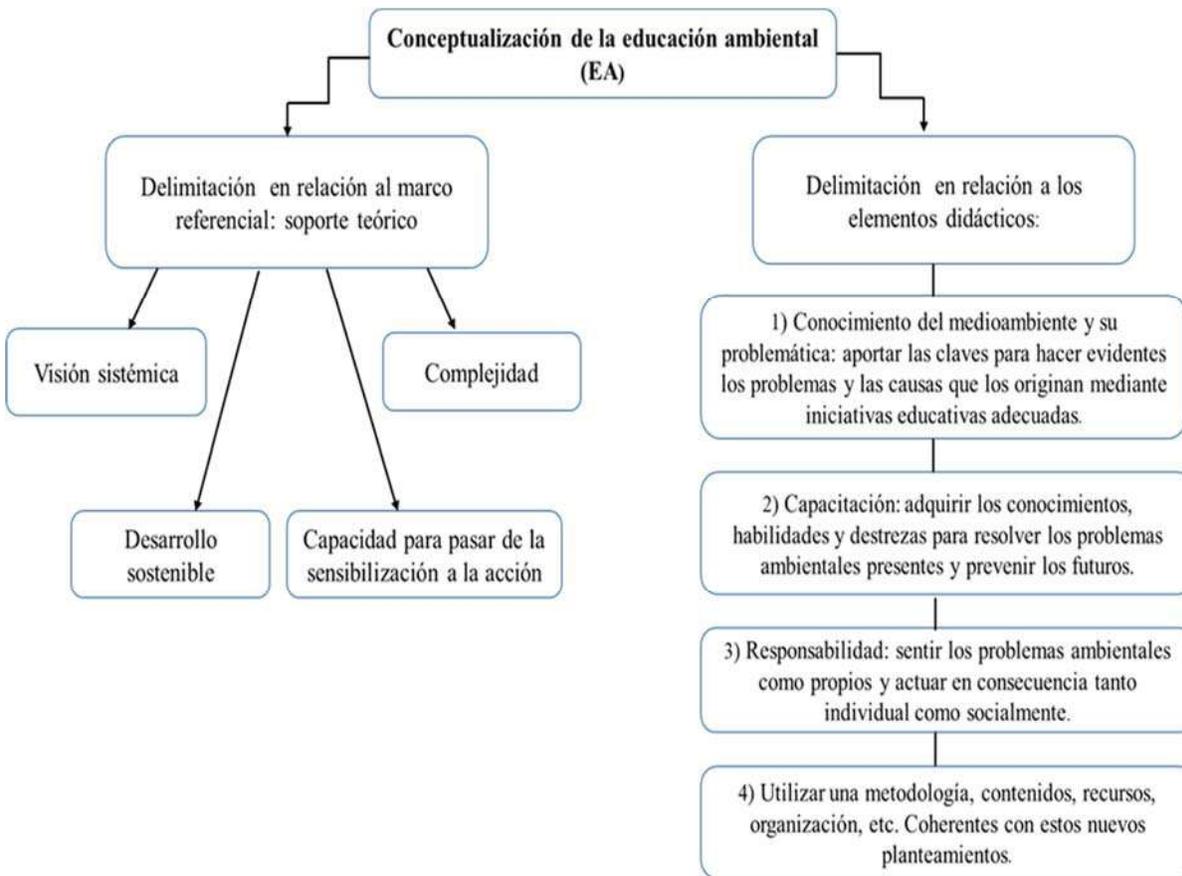
Aunque esta reforma fue derogada posteriormente en 2019, los efectos de esta visión produjeron menor asignación de recursos a las instancias oficiales dedicadas a la educación ambiental, no hay suficientes políticas públicas ni una agenda política que pueda fortalecer ese campo y se ha traducido en campañas de modas temáticas (cambio climático, reciclaje de basura, conservación de diversidad, reforestación) que no promueven la reflexión ni el cuestionamiento que lleve a un verdadero cambio de actitudes y que ha propiciado simulación y oportunismo tanto de los distintos niveles de gobierno como de ONGs. Estos cambios impactaron la educación ambiental de forma negativa, ya que la vaciaron de contenidos (Kopnina, 2012).

La EDS no ha alcanzado los impactos culturales porque no reconoce explícitamente que la causa de la crisis ambiental y humana es el modelo urbano agroindustrial y las políticas

de consumo que lo impulsan. Se necesitan ajustes profundos en los proyectos de desarrollo de la nación para evitar que continúen los daños ecológicos y sociales, la sustentabilidad se debe basar en la generación de procesos de justicia social y de respeto al patrimonio natural (Reyes y Castro, 2017) preferiblemente dándole a la naturaleza la misma protección de entidad jurídica que se le da a las corporaciones. Este cambio promueve la construcción de una relación de reciprocidad con el planeta al colocar a la Naturaleza a la vanguardia de nuestros sistemas legales basados en los derechos (La Follette y Maser, 2017).

En México, el balance final del Decenio es que no se cumplieron los propósitos de resolver las causas de la pobreza y proteger a los ecosistemas. La percepción de los educadores ambientales es que los logros alcanzados se debieron a organismos civiles, a la academia y a los ciudadanos más que a los esfuerzos provenientes de las instituciones gubernamentales (Reyes y Castro, 2017).

Para esta tesis se utilizará la definición de EDS propuesta por Vega-Marcote *et al.*, (2005). En el marco conceptual para la sostenibilidad (Fig. 4), se puede observar que en los elementos teóricos debe incluirse una visión de sistema que permita reconocer las conexiones entre los factores bióticos, abióticos y culturales, que estas relaciones son complejas y que es urgente cuidar los recursos para las siguientes generaciones y por lo tanto se requieren acciones que favorezcan esa gestión. Los elementos didácticos consisten en proporcionar al alumno conocimientos, estrategias, habilidades y valores para reconocer, prevenir y solventar problemas ambientales con una visión regional y global, mediante metodologías innovadoras que respondan a los retos actuales.



**Figura 4: Marco conceptual de la sostenibilidad en la educación (Modificado de Vega-Marcote *et al.*, 2005).**

### 2.3.3. Evaluación de la EDS en los programas educativos y libros de texto de nivel primaria

El DEDS provocó un aumento en las investigaciones sobre evaluación educativa, la cuál era una de sus directrices para establecer la calidad en los programas escolares (Wals *et al.*, 2014). Sin embargo, los documentos curriculares contemporáneos analizados no especificaron las estrategias metodológicas o pedagógicas que se requieren para desarrollar la EDS y, por lo tanto, evaluarlas tampoco ha sido fácil.

En general, el currículo contemporáneo (2011) propone implementar el tema ambiental no sólo en las asignaturas de ciencias naturales sino en español y matemáticas,

pero no se aclara como hacer esta incorporación y posiblemente, los maestros no han asumido ese enfoque de enseñanza al implementar la EDS, por lo que probablemente la hayan ejecutado en función de su propia percepción, comprensión y experiencias; para su impulso y desarrollo se requiere de una adecuada planificación de la estructura y diseño educativo que comprenda desde la educación básica hasta la educación superior (Barraza, 2001; Paredes-Chi y Viga-de Alva, 2018).

Uno de los principales problemas que presenta la educación en México relacionados con este trabajo, es que se observa una escasa preparación docente para temas de índole científica, esto influye en que los profesores dependan exclusivamente de los contenidos de los programas escolares, que no se cuestionen la veracidad de la información; y que no ayuden a que los estudiantes conceptualicen adecuadamente los temas de educación ambiental (Gayford, 2004; Mares-Cárdenas *et al.*, 2004; Schmelkes, 2005; Vasconcelos, 2012).

#### **2.3.4. Evaluación de conocimientos de estudiantes**

El sistema educativo pretende que los alumnos en las escuelas adquieran conocimientos y herramientas para utilizar a lo largo de su vida, así como las habilidades sociales para convivir en comunidad. La educación básica es de suma importancia ya que es en este momento de la trayectoria escolar donde los estudiantes empiezan a desarrollar el pensamiento científico (Abd-El-Khalick *et al.*, 2004).

En términos generales, los niveles educativos de estudiantes mexicanos comparado con los estudiantes a nivel internacional han sido muy pobres. Por ejemplo: en la prueba PISA 2018 (Programme for International Student Assessment) que se aplica a una muestra

que incluye a estudiantes de 15 años del sistema de educación público y privado de todos los países que pertenecen a la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), el 41.8% de los estudiantes mexicanos obtuvo los conocimientos mínimos en lectura, el 47.8% en ciencias y el 56.6% en matemáticas. México se ubicó en el lugar 56 de 70 países participantes. Estos resultados reflejan las deficiencias del sistema educativo mexicano (Acevedo, 2005; Fernández-González y Monarca, 2018).

En el enfoque teórico de educación por competencias (actuaciones integrales para identificar, interpretar, argumentar y resolver problemas con idoneidad y ética) que permea el sistema educativo mexicano, la evaluación es un paso más dentro del proceso enseñanza-aprendizaje y pretende establecer el nivel de logro (grado de adquisición del aprendizaje) del alumno mediante indicadores (señales observables y evaluables del desempeño) (Gutiérrez *et al.*, 2006; Amaya-Martínez, 2007). En la evaluación de conocimientos ambientales se actúa bajo la premisa de que un mayor conocimiento sobre el funcionamiento de los sistemas naturales provoca actitudes positivas hacia el ambiente (James y Bixler, 2008).

En Yucatán, la ignorancia respecto al funcionamiento del acuífero se puede abatir de forma extendida si se aborda desde la educación formal en la primaria, el grado con más participantes en el estado, esta estrategia permitiría que los individuos identifiquen los conocimientos básicos sobre los recursos hidrogeológicos, los problemas ambientales asociados a ellos y los cambios culturales necesarios para abordar el problema del agua. Existe una gran influencia de la norma social y de la importancia que la sociedad le otorgue a determinado problema para que se generen los cambios individuales, de otra forma los individuos sienten que su conducta particular no es suficiente o no influencia en la resolución

del problema ambiental, por lo tanto, los cambios culturales deberían ser abordados de forma generalizada (Campbell *et al.*, 1999; Wals *et al.*, 2014).

Hasta donde es de nuestro conocimiento no encontramos antecedentes bibliográficos en México, que soporten investigaciones similares a las que nos proponemos realizar en este proyecto, por lo que esta investigación proporcionará datos novedosos que pueden establecer las bases para futuros estudios sobre el tema.

### **3. Metodología**

Para el presente estudio, se revisó el plan y programa de estudios 2011 de educación primaria para evaluar contenidos relacionados con el conocimiento, conservación y manejo de los recursos hidrogeológicos de Yucatán. El material educativo entregado por la SEGEY, ante la solicitud de la investigadora, corresponde a los libros y programas de ese plan y las autoridades manifestaron que es el que continúa vigente.

Se realizó una revisión bibliográfica que será descrita posteriormente con el fin de identificar la información científica referente a la hidrogeología de Yucatán y elaborar los instrumentos de evaluación para identificar los conocimientos de los estudiantes sobre dicho tema.

#### **3.1. Tipo de investigación**

Esta investigación es descriptiva y de corte transversal. Se utilizaron métodos cualitativos y cuantitativos y ante la falta de antecedentes fue de carácter exploratorio (Amaya-Martínez, 2007; Pérez-Tejada, 2008).

#### **3.2. Población**

La población abordada en esta investigación está conformada de 370 escuelas primarias generales matutinas ubicadas en el municipio de Mérida (SEGEY, 2018) y por estudiantes escolarizados en el nivel de educación primaria. Como se mencionó anteriormente, la elección de la población se hizo con base al reporte donde el nivel de educación primaria tuvo el porcentaje más alto de estudiantes matriculados (95%) durante el ciclo escolar 2018-2019 para la población infantil entre seis y once años (SEP, 2019). El

nivel educativo promedio de la población de Yucatán es de 8 años de escolaridad (segundo de secundaria) (Ordorika & Gómez, 2012).

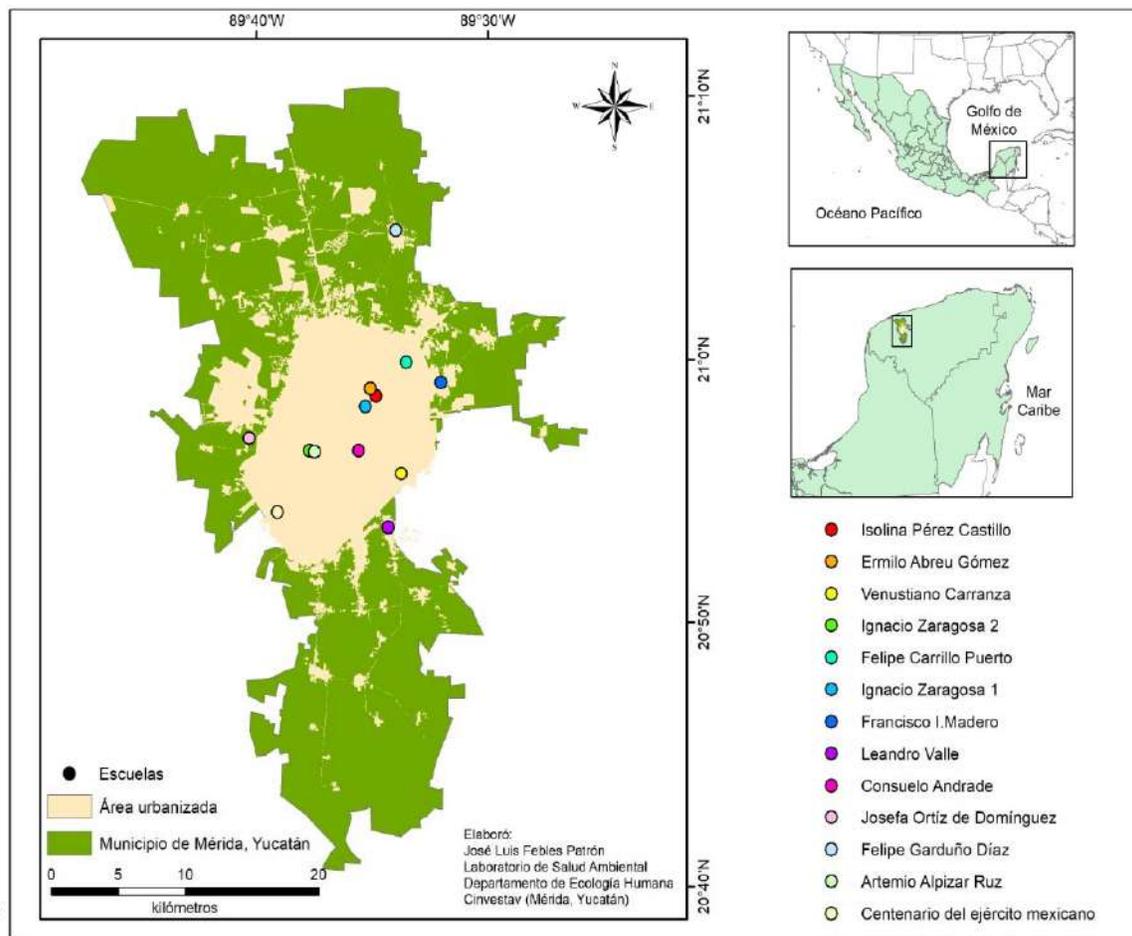
### **3.3. Muestreo**

El estudio se concentró en las escuelas públicas porque atienden al 87% de los estudiantes entre seis y once años (SEP, 2019) y utilizan exclusivamente los libros de texto gratuitos proporcionados por la Secretaría de Educación Pública y de acuerdo con los programas de ciencias naturales y geografía, en éste nivel los estudiantes reciben los primeros conocimientos sobre hidrogeología (PEF, 2013).

Fue no probabilístico por conveniencia (Amaya-Martínez, 2007; Pérez-Tejada, 2008). Se utilizaron las redes profesionales de trabajo y se extendió una invitación para participar a 13 instituciones educativas públicas matutinas de diversas zonas de la ciudad de Mérida y su zona de influencia. Se administró un cuestionario auto aplicado a 422 estudiantes de sexto grado y al 55% de los estudiantes examinados (236 estudiantes) se les realizó una entrevista semiestructurada.

### 3.4. Área de estudio

Las 13 escuelas públicas se ubicaron en la ciudad de Mérida y su zona de influencia (zonas centro, sur, norte, oriente y poniente, comisarías de Chablekal, Susulá, Chichí Suárez y el municipio de Kanasín) (Fig. 5).



**Figura 5. Mapa del área de influencia de la ciudad de Mérida en el estado de Yucatán y localización geográfica de las escuelas participantes en este estudio.**

### 3.5. Técnicas de investigación

#### 3.5.1. Identificación de las áreas del conocimiento hidrogeológico reportado en la literatura científica

En correspondencia con el primer objetivo de este estudio. Se revisaron las bases de datos Web of Science y Google Académico con las palabras clave “hydrogeology”, “karst”, “acuifer of Yucatán” entre los años 1990 y 2018, con el fin de obtener la información más reciente y se encontró que, a pesar de la importancia del acuífero de Yucatán, el más extenso del mundo y que contiene una de las reservas más importantes de agua dulce (Bauer-Gottwein *et al.*, 2011), el número de publicaciones sobre este tema es escaso (Cuadro 1).

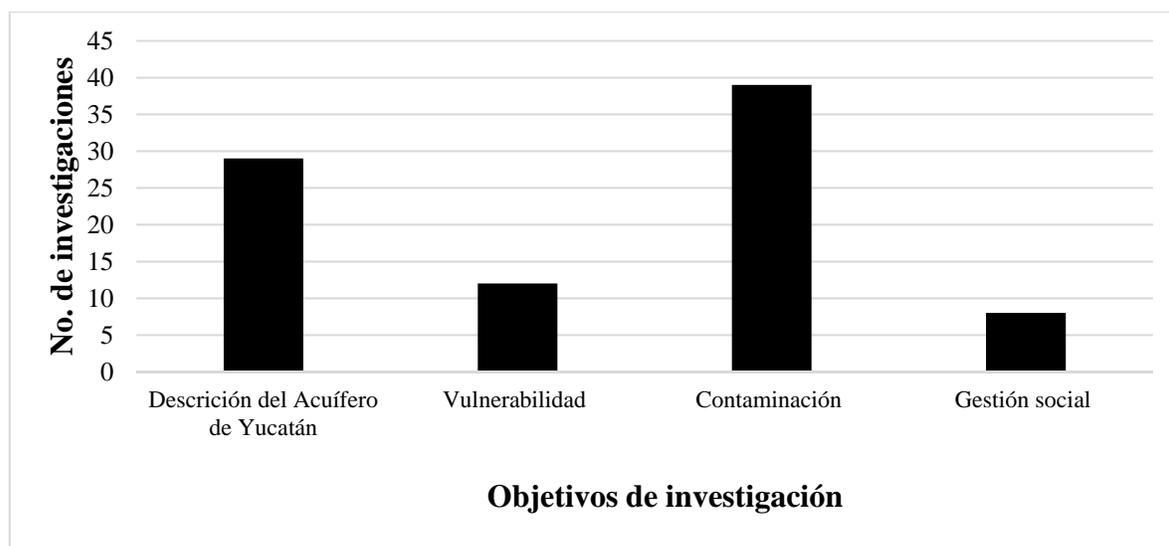
**Cuadro 1. Comparación de publicaciones sobre hidrogeología e hidrogeología de Yucatán entre los años 1990 y 2018 en las bases de datos Web of Science y Google académico.**

Base de datos	Hidrogeología	Hidrogeología de la península de Yucatán
Web of Science	683	28
Google Académico	29,300	3,110

En el caso de Web of Science, base en la que encuentran la mayor cantidad de revistas indexadas, con asignación de factor de impacto y con criterios de publicación más rigurosos, las publicaciones sobre hidrogeología de Yucatán equivalen al 4% de todas las publicaciones sobre hidrogeología, mientras que el Google académico equivalen al 10% del total de publicaciones sobre el tema.

De las publicaciones identificadas, se seleccionaron las que abordaban las características hidrogeológicas de Yucatán (82) con el fin de realizar una matriz base con los conocimientos reportados por la ciencia en relación con estos rubros. Se encontró que los

objetivos de las publicaciones sobre hidrogeología se han enfocado en la descripción y la condición (contaminación) del acuífero y se encontró menos información relacionada con la gestión social (Fig.6).



**Figura 6. Objetivos de investigación de las publicaciones sobre hidrogeología regional.**

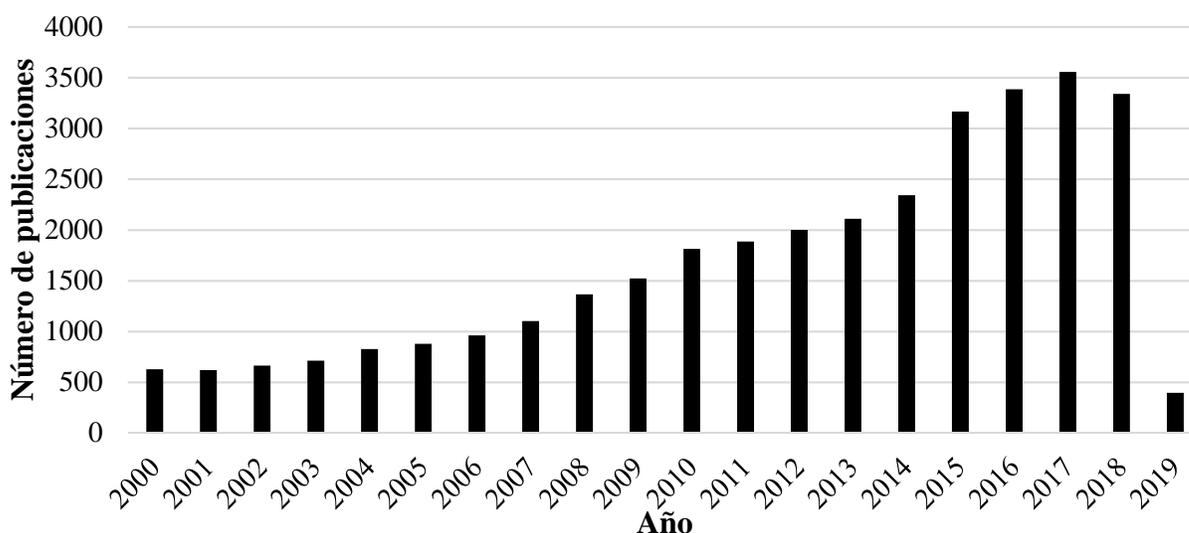
El estudio del acuífero se ha abordado desde la perspectiva geoquímica, edafológica, hidrológica, dinámica del sistema kárstico, evaluación de la vulnerabilidad y grado de contaminación. Se identificaron 18 publicaciones que revisaron la caracterización hidrogeológica del acuífero de la península de Yucatán, con una visión integradora de los factores mencionados (Cuadro 2). Estas han servido de base para investigaciones posteriores, pero los cambios en el territorio y en el uso de suelo, requieren de una actualización constante.

**Cuadro 2. Publicaciones base para la construcción del conocimiento hidrogeológico de la Península de Yucatán, por orden de antigüedad**

Autor	Publicación y año
Perry <i>et al.</i>	1) Ring of cenotes (sinkholes), northwest Yucatan, Mexico: its hydrogeologic characteristics and possible association with the Chicxulub impact crater (1995). 2) The hydrogeochemistry of the karst aquifer system of the northern Yucatan Peninsula (2002). 3) Groundwater geochemistry of the Yucatan Peninsula, Mexico: constraints on stratigraphy and hydrogeology (2009).
Steinich <i>et al.</i>	4) Determination of the ground water divide in the karst aquifer of Yucatan, Mexico, combining geochemical and hydrogeological data (1996).
Marín <i>et al.</i> Marín y Perry.	5) Hydrogeology of a contaminated sole-source karst aquifer (2000). 6) Numerical simulation of karstic aquifer of northwest Yucatan (2003). 7) Hidrogeología de la Península de Yucatán (2004). 8) The hydrogeology and contamination potential of northwestern Yucatán (2012).
Villasuso y Ramos Villasuso <i>et al.</i>	9) A conceptual model of the aquifer of the Yucatan Peninsula (2000). 10) Hydrogeology and conceptual model of the karstic coastal aquifer in northern Yucatan State (2011).
González-Herrera <i>et al.</i>	11) Groundwater-flow modeling in the Yucatan karstic aquifer (2002).
Schmitter-Soto <i>et al.</i>	12) Hydrogeochemical and biological characteristics of cenotes in the Yucatan Peninsula (SE Mexico) (2002).
Graniel <i>et al.</i>	13) Dinámica de la interfase salina y calidad del agua en la Costa Nororiental de Yucatán (2004).
Batllori-Sampedro <i>et al.</i>	14) Caracterización hidrológica de la región costera noroccidental del estado de Yucatán (2006).
Gondwe <i>et al.</i>	15) Hydrogeology of the south-eastern Yucatan Peninsula: new insights from water level measurements, geochemistry, geophysics and remote sensing (2010).
Bauer-Gottwein <i>et al.</i>	16) The Yucatan Peninsula karst aquifer (2011).
Bautista <i>et al.</i>	17) Spatial distribution and development of soils in tropical karst areas from the Peninsula of Yucatan (2011).
Rebolledo-Vieira <i>et al.</i>	18) The Chicxulub Impact Crater and its influence on the regional hydrogeology in Northwest Yucatan (2011).

### 3.5.2. Evaluación de los programas educativos y de los libros de texto de nivel primaria en materia hidrogeológica de Yucatán

Se realizó la búsqueda bibliográfica en la base de datos Web of Science las publicaciones con las siguientes palabras clave: evaluation environmental education, natural science programs, se encontró que ha habido un incremento gradual en el número de publicaciones relacionadas con el tema (Fig. 7).



**Figura 7: Frecuencia de publicaciones por año en evaluación educativa ambiental durante las dos últimas décadas.**

Esto nos indica que la evaluación en temas ambientales es central para establecer estrategias, desarrollar planes y programas educativos y evaluar niveles de logro y adquisición de aprendizajes.

Con la información recopilada en la revisión bibliográfica, se realizó una matriz de evaluación (Pardo y Rebollo, 2008) para organizar los resultados, posteriormente se revisaron los programas educativos para identificar las coincidencias y las discrepancias en los contenidos correspondientes a la última reforma educativa efectuada en el 2011 de las

materias de “Ciencias Naturales”, “Geografía” Y “Mi Entidad Yucatán” de los grados tercero, cuarto, quinto y sexto de primaria y en los libros de texto gratuitos proporcionados por la Secretaría de Educación Pública través de la Comisión nacional de libros de textos gratuitos (CONALITEG) correspondientes a las mismas materias y grados (Anexo 1).

### **3.5.3. Evaluación de los conocimientos de los estudiantes de sexto de primaria en escuelas públicas en Mérida, relacionados con la hidrogeología de Yucatán**

Con base en las áreas del conocimiento hidrogeológico identificadas se elaboraron los siguientes instrumentos de evaluación:

#### **3.5.3.1. Cuestionario**

El cuestionario autoadministrado, consiste en una encuesta sin la interacción individualizada entre el investigador y los sujetos de investigación, presenta ventajas como la alta tasa de respuesta, debido a que el investigado tiene mayor tiempo para responder y mayor libertad en su forma de responder. Las desventajas consisten en que las preguntas deben estar bien estructuradas y es necesaria la buena disposición del estudiante para participar y contestar verazmente (Amaya-Martínez, 2007). El cuestionario sobre hidrogeología (Anexo 3) fue adaptado a un lenguaje adecuado al nivel de primaria, de forma que pudiera ser claro para los estudiantes y el formato fue común a las pruebas que presentan a ese nivel, ya que se incluyeron elementos evaluativos tanto cuantitativos como cualitativos.

Estuvo formado por cuatro secciones y cada pregunta tuvo un valor de dos puntos con un valor total de 60 puntos (Anexo 1): i) Esquema del ciclo del agua (seis preguntas), ii) Preguntas de opción múltiple sobre hidrogeología de Yucatán (catorce preguntas), iii) Preguntas abiertas sobre distribución de agua dulce, sistema kárstico y riesgos asociados al

consumo de agua contaminada (nueve preguntas) y iv) Elaboración de un dibujo del acuífero subterráneo de Yucatán (una pregunta).

Las respuestas del esquema y las preguntas de opción múltiple se evaluaron como correctas o incorrectas, las respuestas abiertas se plasmaron en una matriz de evaluación dividida en correctas, incorrectas y respuestas incompletas, se definió como respuesta incompleta aquella que demostró que el alumno posee un conocimiento parcial; en el caso del dibujo, permitió que el encuestado expresara ideas en las que la verbalización o descripción se hacen difíciles (Barraza, 1999). Los dibujos se evaluaron identificando los elementos conceptuales y contextuales que utilizan los estudiantes para describir el acuífero subterráneo de Yucatán, esto permitió comparar las respuestas con los conocimientos reportados en la literatura científica e identificar en que temas de hidrogeología se presentaron más aciertos y más errores para tener un panorama más amplio del conocimiento de los estudiantes sobre los recursos hidrogeológicos regionales.

### **3.5.3.2. Entrevista semiestructurada**

La entrevista semiestructurada es el proceso comunicativo en el cual el investigador obtiene información de su interlocutor, alternando preguntas preestablecidas o frases estructuradas con otras que surgen en el marco de la conversación, las ventajas son que permite profundizar en el conocimiento del entrevistado, éste tiene mayor margen de respuesta y puede aclarar dudas, el formato permite que surja información espontánea. Las principales desventajas son el manejo del tiempo por parte del entrevistador y que la entrevista pueda abarcar distintos temas, que el entrevistado responda lo que él cree el entrevistador quiere oír, sin manifestar sus opiniones o conocimiento real (Alonso, 1995).

Esta técnica se empleó en la recolección de la información para complementar y profundizar sobre los conocimientos de los estudiantes en materia de hidrogeología de Yucatán. El instrumento constó de 18 preguntas abiertas (Anexo 2). Las respuestas se representaron en una matriz de evaluación, las posibilidades de esta matriz fueron: correcta o incorrecta, de esta forma se hizo la comparación entre los conocimientos reportados en la literatura científica y el conocimiento de los estudiantes.

### **3.6. Prueba piloto**

La prueba piloto se llevó a cabo el mes de junio de 2019 en dos escuelas, la “15 de mayo” y el “Instituto Moderno Americano”. El procedimiento fue el siguiente:

#### **3.6.1. Obtención de permisos**

Utilizando las redes profesionales, se contactó a los directores de cada una de las escuelas para invitarlos a participar en el estudio. Se concertó una cita con el director de cada centro para explicar el objetivo del estudio y acordar las fechas para la aplicación de las pruebas. Se hizo una visita previa a los posibles estudiantes que participarían en el estudio, para explicarles en qué consistía el estudio, solicitarles su participación y entregarles la carta de consentimiento informado para que sus tutores dieran la autorización para poder participar. Se concretaron diversos aspectos del procedimiento, proceso para desarrollar el cuestionario, el lugar, la duración y dónde realizar las entrevistas.

### **2.6.2. Fase de desarrollo: Cuestionarios y entrevistas**

El cuestionario se aplicó a 86 estudiantes de sexto año de las escuelas seleccionadas y la entrevista se realizó a una submuestra del 30% (44 estudiantes). El cuestionario se aplicó de la siguiente manera: en la primera parte del encuentro, se recabaron los consentimientos informados firmados por los tutores, una vez que se tuvo este permiso, se reiteró la razón del estudio y sus objetivos, se insistió que la participación era de carácter voluntario y que no formaba parte de la evaluación académica o afectaría su calificación. Se resaltó la necesidad de realizar el cuestionario con interés y la importancia de su participación, se enfatizó que la contribución permitiría tener un mejor conocimiento sobre los temas relacionados con el agua en Yucatán. Se repartió el cuestionario, con una hora para realizar el ejercicio. Finalizado el cuestionario se realizó un muestreo al azar en el que se seleccionaron 44 estudiantes, se les entrevistó individualmente en los espacios facilitados por la escuela, este proceso duró entre 10-15 minutos por estudiante.

### **2.6.3. Análisis de respuestas**

Se utilizó la matriz de evaluación elaborada para clasificar las respuestas. Esto brindó información detallada sobre el porcentaje de respuestas correctas, incorrectas e incompletas que dieron los estudiantes al responder el cuestionario autoadministrado.

Con base en los resultados de la prueba piloto se comprobó que las preguntas fueron claras, pues los alumnos no pidieron aclaraciones durante la prueba y respondían lo que se les preguntaba.

Se hicieron cambios en el esquema del ciclo del agua que presentó dificultades a los estudiantes por el emplazamiento de las líneas en donde debían colocar las respuestas. En la

entrevista, se añadieron tres preguntas: i) ¿Existen ríos superficiales en Yucatán? Explica tú respuesta, ii) ¿Has visitado un cenote?, ¿Qué relación tienen los cenotes con la contaminación del agua subterránea?, iii) ¿Dónde obtuviste la información que me acabas de dar? Se reformularon dos preguntas para hacerlas más entendibles a los estudiantes: i) ¿Cuáles son las características de la roca que se encuentran en la península que permiten la infiltración? Se reformulo cómo ¿Cuáles son las características de rocas del suelo que se encuentran en la mayor parte de la península? y ii) ¿Cómo es el acuífero de Yucatán? por ¿Cuáles son las características del acuífero de Yucatán?

#### **4. Trabajo de campo**

La aplicación de las pruebas se realizó en trece (13) escuelas de la zona metropolitana y la zona de influencia de la ciudad de Mérida, durante los meses de septiembre, octubre y noviembre del 2019. Las escuelas se eligieron a través de un muestreo no probabilístico, por conveniencia, utilizando las redes profesionales de la investigadora.

##### **4.1. Obtención de permisos**

Se contactó a los directores de los centros de estudio vía telefónica y se estableció una cita para explicar en qué consistía el estudio. Durante la cita inicial se explicó el problema de la contaminación del acuífero de Yucatán y la necesidad de evaluar los conocimientos presentes de los estudiantes en relación con el mismo, con la finalidad a largo plazo de incrementar y corregir los conocimientos sobre su existencia y funcionamiento. Los directores que accedieron a colaborar firmaron una autorización por escrito y se elaboró el cronograma de trabajo para establecer fechas, horas y lugares de la aplicación del cuestionario y las entrevistas.

En días previos a la aplicación de cuestionario y entrevistas, se entregó una carta para obtener la autorización por parte de los representantes para la participación de cada estudiante. Se les explicó a los estudiantes en qué consistía el estudio, la prueba y la necesidad de que participaran y contestaran de forma veraz, se enfatizó que la participación en la prueba no afectaría sus calificaciones, así como el carácter anónimo, confidencial y voluntario de esta.

## **4.2. Aplicación de instrumentos de evaluación**

En primer lugar, para que el estudiante pudiera participar se recogió el consentimiento informado y sólo aquellos que lo entregaron firmado y autorizado formaron parte de la muestra. A continuación, se les entregó el cuestionario y se leyeron las instrucciones y las preguntas en grupo; con el fin de aclarar dudas sobre lo que tenían que hacer o explicar palabras que les resultaran confusas, así mismo, se motivó a los alumnos a contestar con interés y se agradeció su contribución a la formación del conocimiento científico.

La prueba duró en promedio una hora y una vez recogidas todas las pruebas, se seleccionó al azar a los estudiantes a quienes se les hizo la entrevista, estos fueron seleccionados a través de un sorteo de números de lista. Si el alumno elegido no quería participar se elegía el siguiente número, es importante mencionar que algunos estudiantes no escogidos solicitaron ser entrevistados por lo que se les incluyó en la muestra.

En el caso de las entrevistas, estas se realizaron en lugares designados por la dirección, el sitio más utilizado fueron las bibliotecas de las escuelas. Antes de iniciar las preguntas se generó un ambiente de confianza empezando con preguntas como el nombre, la edad y como se habían sentido al contestar el cuestionario; una vez que el estudiante se sintió cómodo se siguieron las preguntas del guion de entrevistas. Cada entrevista duró entre diez y quince minutos.

## **5. Resultados**

### **5.1. Conocimientos reportados en la literatura científica sobre la hidrogeología de Yucatán**

La revisión bibliográfica realizada en Web of Science y Google académico demostró que la información hidrogeológica del territorio de Yucatán está enfocada principalmente en las características y vulnerabilidad del acuífero. Se observaron vacíos de conocimiento que deben resolverse, por ejemplo, conviene aumentar los estudios hidrogeológicos en la parte sur del estado, incrementar la investigación en temas de flujo, velocidad y caudal del acuífero subterráneo; integrar mejor la información científica con los planes de ordenamiento territorial y con el desarrollo económico dado que esta falta de integración converge en una gestión muy deficiente de los recursos hidrogeológicos. (Bauer-Gottwein *et al.*, 2011).

En este estudio, se establecieron nueve temas relacionados al acuífero de Yucatán que se usaron como eje para comparar los conocimientos encontrados en los libros de texto, programas educativos y los saberes adquiridos de los estudiantes con los conocimientos reportados en la literatura científica, los temas abarcan el conocimiento básico que cualquier ciudadano debe tener sin requerir ninguna especialización (Cuadros 3 y 4).

### **5.2. Contenidos de los programas educativos y los libros de texto del nivel primaria en materia hidrogeológica**

En el Cuadro 3, se puede observar que los conceptos relacionados a la hidrogeología de Yucatán se abordan escasamente y en su mayoría de forma incompleta. El concepto de agua subterránea está ausente, a pesar de ser una fuente importante de recursos hídricos, no sólo a nivel país sino a nivel global. Se puede apreciar que hay tres temas no se abordan en

ningún grado escolar: Conformación y flujo del acuífero e interfase salina. Los temas en general se tratan de forma incompleta o se sugieren como ejercicios de investigación individual por parte del alumno o que el maestro complete la información por su cuenta.

**Cuadro 3. Temas de hidrogeología abordados en los programas educativos de primaria en México.**

Temas hidrogeología regional	Materias							
	Mi entidad 3°	Ciencias Naturales 3°	Ciencias Naturales 4°	Geografía 4°	Ciencias Naturales 5°	Geografía a 5°	Ciencias Naturales 6°	Geografía 6°
Distribución del agua dulce en hidrósfera	No abordado	No abordado	Incompleto	No abordado	Incompleto	Incompleto	Incompleto	No abordado
Distribución, extracción agua dulce Yucatán	Incompleto	No abordado	No abordado	No abordado	Incompleto	No abordado	Incompleto	No abordado
Infiltración, características geológicas y topográficas	Incompleto	No abordado	No abordado	No abordado	No abordado	No abordado	No abordado	No abordado
Almacenamiento, características geológicas	Incompleto	No abordado	No abordado	No abordado	No abordado	No abordado	No abordado	No abordado
Circulación, gradiente hidráulico	No abordado	No abordado	No abordado	No abordado	No abordado	No abordado	No abordado	No abordado
Conformación acuífero	No abordado	No abordado	No abordado	No abordado	No abordado	No abordado	No abordado	No abordado
Interfase salina, contaminación salina	No abordado	No abordado	No abordado	No abordado	No abordado	No abordado	No abordado	No abordado
Vulnerabilidad contaminación antropogénica	Incompleto	No abordado	Incompleto	Incompleto	Incompleto	Incompleto	Incompleto	No abordado
Riesgos para la salud	Incompleto	Completo	Completo	Incompleto	Incompleto	Incompleto	No abordado	No abordado

En el Cuadro 4, se encuentran los principales puntos de discrepancia entre los temas abordados en los programas educativos y la información científica disponible.

**Cuadro 4. Comparación entre la información científica publicada y la información proporcionada en los programas educativos y libros de texto de los ejes temáticos de hidrogeología regional**

Temas de Hidrogeología de Yucatán	Información científica publicada	Información programas educativos
1. Distribución y disponibilidad del agua dulce en la hidrosfera (Oki y Kanae, 2006)	Pequeño volumen de agua dulce continental (1-3%) en relación con el agua salada (99-97%) Fases del ciclo del agua Evaporación, condensación, precipitación, escorrentía, infiltración y flujo de agua subterránea.	Pequeño volumen de agua dulce continental (1-3%) en relación con el agua salada (99-97%). Ausencia concepto agua subterránea. Fases de escorrentía y de flujo de agua subterránea no incluidas dentro de enseñanza ciclo del agua.
2. Distribución y extracción del agua dulce en la península de Yucatán (Bauer- Gottwein <i>et al.</i> , 2011)	Las aguas subterráneas son la única fuente de agua dulce.	Las aguas subterráneas son la única fuente de agua dulce.
3. Infiltración del agua y características geológicas (Bakalowicz, 2005; Bautista <i>et al.</i> , 2011)	El tipo de suelo permite la infiltración y escurrimiento de agua, a través de los poros, grietas y fracturas de la roca. Durante la infiltración pasan también los contaminantes presentes en el suelo, no se purifica el agua.	No mencionan características kársticas, la triple porosidad del suelo y describen la infiltración como un proceso de purificación.
4. Almacenamiento de agua y características geológicas (Steinich <i>et al.</i> , 1996; Cervantes-Martínez, 2007)	El agua se aloja en el acuífero subterráneo dentro de los poros intersticiales, las cavidades y fisuras de los materiales del subsuelo.	Describen los cenotes, pero no su proceso de formación ni como el agua llega a los depósitos subterráneos. Concepto de ríos subterráneos.
5. Conformación y clasificación del acuífero subterráneo (Villasuso y Ramos, 2000; Marín <i>et al.</i> , 2004; Bauer- Gottwein <i>et al.</i> , 2011)	Es un lente de agua dulce que flota sobre agua salada, que varía en espesor de acuerdo con la zona de la región donde se encuentre. Se clasifica como libre en el interior del estado y confinado en la costa	No se encontró esta información.
6. Circulación del agua subterránea y gradiente hidráulico (González-Herrera <i>et al.</i> , 2002)	El flujo de agua subterránea y su movimiento son principalmente verticales, debido al bajo gradiente hidráulico. Aumenta en temporada de lluvia y disminuye en temporada de secas y a nivel peninsular el flujo horizontal es radial de sur a norte.	No se encontró esta información.
7. Relación entre el agua subterránea y agua salada e intrusión salina (Graniel <i>et al.</i> , 2004; Pacheco-Ávila <i>et al.</i> , 2004)	Fenómeno de la interfase salina, el contacto del agua dulce con el agua salada y la formación de los humedales costeros. A mayor extracción de agua dulce, mayor entrada de agua salada al acuífero.	No se encontró esta información.
8. Vulnerabilidad y contaminación del agua subterránea (Marín <i>et al.</i> , 2000; Torres-Díaz <i>et al.</i> , 2014; Aguilar- Duarte <i>et al.</i> , 2016)	Se explica el riesgo de que los contaminantes del suelo se filtren al acuífero subterráneo y la necesidad de una mejor gestión de aguas servidas.	Mencionan la vulnerabilidad, pero no las causas de vulnerabilidad. No menciona las fuentes de contaminación como la falta de gestión de aguas servidas.
9. Riesgos para la salud (Novelo <i>et al.</i> , 2009; Zhang <i>et al.</i> , 2014; Méndez-Novelo <i>et al.</i> , 2015; Polanco-Rodríguez <i>et al.</i> , 2015)	Consecuencias de consumir agua contaminada para los seres vivos. Los daños al medio ambiente por la contaminación de fuentes de agua.	Mencionan los daños a la salud y mencionan el agua potable como un aliado para prevenir enfermedades, pero en la vida cotidiana no hay acceso a agua potable entubada, según la NOM 127.

Las principales consecuencias de esta omisión de contenidos en el sistema educativo son las siguientes:

i) No se les proporciona a los estudiantes la información necesaria para desarrollar una visión propia de la complejidad del sistema kárstico, así como identificar las causas de la contaminación que lo afectan, por consiguiente, una persona que no posee este conocimiento no puede exigir o proponer cambios en la gestión del recurso (Ordorika y Gómez, 2012; Fernández-González y Monarca, 2018).

ii) Esta omisión afecta el derecho de los estudiantes a recibir educación de calidad, definida por la pertinencia (INEE, 2005) y por el impacto que esta información deficiente pueda tener en la relación de los futuros ciudadanos y sus recursos hídricos. La gestión de estos recursos es determinante para el buen desarrollo de una sociedad e influyen directamente en la salud pública y economía de la región (Coban *et al.*, 2011; Delgado *et al.*, 2014; Moreira-Segura *et al.*, 2015).

iii) En el marco de este estudio, en México la evaluación de temas científicos en los programas escolares es escasa (Acevedo, 2005; Mares-Cárdenas *et al.*, 2006) aún más al nivel educativo de primaria (Amador-Bautista, 2003), en el caso de la Ley de Educación del Estado de Yucatán (DOF, 2016), esta omisión se opone a lo establecido en el Artículo 12, en donde se establecen los siguientes preceptos, *verbatim*:

XVII.- *Inculcará los conceptos y principios fundamentales de la ciencia ambiental, el desarrollo sostenible, la prevención del cambio climático, así como de la valoración de la protección y conservación del medio ambiente como elementos esenciales para el desenvolvimiento armónico e integral del individuo y la sociedad. También se*

*proporcionarán los elementos básicos de protección civil, mitigación y adaptación ante los efectos que representa el cambio climático y otros fenómenos naturales.*

*XVIII.- Contribuir al desarrollo sostenible por medio de procesos de información, actualización, capacitación y profesionalización para llevar a cabo las acciones relativas a la protección al medio ambiente y la conservación y restauración de los recursos naturales, en forma individual y colectiva.*

*XIX.- Generar una cultura ambiental a través del conocimiento, la ética y el desarrollo de competencias que posibiliten un aprendizaje sobre la realidad local y alcanzar una mejor comprensión de las causas, consecuencias y posibles soluciones de los problemas ambientales.*

En este caso particular, se está fallando en formar ciudadanos informados, que puedan reconocer las problemáticas de su entorno y elaborar propuestas para hacer mejoras fundamentales en su relación con los recursos naturales. El sistema educativo mexicano no ha logrado integrar la Educación Ambiental desde la Sostenibilidad al currículo escolar, ya que se sigue enseñando sobre la importancia de los recursos naturales desde una visión principalmente económica y no una sustentable para conservar los servicios ambientales que proveen (Fig. 4).

Otro problema identificado en la revisión de programas educativos es la centralización de la educación, expresada como la verticalidad en los procesos administrativos que aún permean gran parte de los procesos académicos (Malgouyres, 2014). Desde 1921, la educación ha sido centralizada por el Pacto Federal, con la reforma constitucional de 1934 se confirió al Congreso Federal la facultad de legislar para unificar y

coordinar la educación en todo el país (Malgouyres, 2014). Esta centralización si bien tenía como objetivo uniformizar la información a nivel educativo para que todos los mexicanos disfrutaran de un conocimiento básico mínimo, también generó que se multiplicaran los eslabones de poder y autoridad; que aumentaran las direcciones generales a nivel central y el Sindicato Nacional de Trabajadores de la Educación (SNTE) adquiriera todo el poder y la capacidad de decisión. Ante estas problemáticas se desarrollaron una serie de medidas con base en el Acuerdo Nacional para la Modernización de la Educación Básica y a la Ley General de Educación durante los años 1992 y 1993, con la finalidad de descentralizar estos procesos y transferir autoridad, recursos financieros y obligaciones administrativas a los gobiernos estatales. Estos acuerdos han sido insuficientes, pues el gobierno federal conserva las funciones normativas, capacidad de asignación a los estados de los recursos financieros y elaboración de materiales educativos, incidiendo directamente en la desigualdad, falta de acceso y falta de regionalización de los contenidos (Malgouyres, 2014). Cada año los Estados tienen que negociar con la Federación el presupuesto educativo y cada ciclo escolar los materiales educativos son editados, impresos y enviados a cada entidad, desde la ciudad de México.

En el caso de Yucatán, la Secretaría de Educación del Estado de Yucatán tiene entre sus funciones coordinar las políticas públicas relativas al fomento y servicios de educación, básica y media superior, y deporte. Fomentar, orientar vigilando el funcionamiento de los planteles respectivos y el desarrollo de los planes pedagógicos, fundados en los valores de la ciencia, de la historia nacional y del Estado y en los principios rectores de la educación cívica (DOF, 2007).

Así la función del gobierno de Yucatán es principalmente de vigilancia y administración de los planteles y no de desarrollo de los contenidos educativos. Éste fenómeno ha impedido que los contenidos educativos no ahonden en conocimientos regionales básicos, en el caso del acuífero de Yucatán esta visión centralista parece estar perpetuando la ignorancia sobre el sistema kárstico peninsular, y presentar ríos y lagos como las fuentes principales de agua, aunque esto sea una falacia en el estado.

En tercer grado, en la materia “Mi entidad Yucatán” es donde se abordan más temas sobre la hidrogeología regional, sin embargo, gran parte del contenido está enfocado en la historia de Yucatán, que abarca desde la cultura maya hasta la actualidad. De las páginas 15 a la 17 del libro se dedican a los recursos hidrológicos y el contenido que se maneja está incompleto, por ejemplo: mencionan a los cenotes como ejemplo de agua infiltrada, sin embargo, describen la infiltración como un proceso de potabilización, lo cual es falso, el tipo de roca caliza presenta fracturas que permiten que pasen también sustancias contaminantes. Para que el agua se considere purificada debe cumplir con una serie de requisitos (DOF, 2000) y en el acuífero se han encontrado sustancias que afectan la salud.

El acuífero de Yucatán debería ser un tema central, cuyo objetivos y temáticas estén sistematizados con base a la información científica conocida. Se ha dejado esta responsabilidad en manos de los maestros y alumnos, ya que sugieren investigaciones en internet para complementar los temas hidrogeológicos y esto no es suficiente. Se recomienda que los maestros incrementen su preparación en estos rubros y que se incluya dentro del currículo formal de las escuelas normales, con el objetivo de que puedan guiar a los alumnos en la adquisición de estos conocimientos.

Se propone que se integre el concepto de agua subterránea, ausente durante el abordaje del tema de la distribución de agua dulce en la hidrósfera, ya que es una reserva importante de agua dulce para el territorio nacional y que se puntualice la importancia de los sistemas kársticos, especialmente de uno con las características kársticas de la Península de Yucatán; estos contenidos se pueden abordar durante los grados de cuarto, quinto y sexto, incluyéndolos en el estudio del ciclo del agua y de la hidrología nacional.

Es necesaria la sinergia entre la información proporcionada por la ciencia y la educación para favorecer que los estudiantes sean capaces de explicar los fenómenos naturales de su entorno y tengan las herramientas necesarias para indagar la realidad natural de manera objetiva y rigurosa (López-Valentín y Guerra-Ramos, 2013). La educación formal tiene un gran potencial como herramienta de divulgación y como generadora de cambios culturales (Campbell *et al.*, 1999), en el sistema educativo mexicano hay una continua edición de los libros de textos, que generalmente se limita a reimprimir o actualizar metodologías educativas, por lo que es posible que la información se actualice con los avances científicos y no se repitan los contenidos carentes de ediciones anteriores.

### **5.3. Evaluación de los conocimientos relacionados con la hidrogeología regional en estudiantes de sexto de primaria de escuelas públicas de la ciudad de Mérida**

#### **5.3.1. Cuestionario autoaplicado**

**5.3.1.2. Esquema del ciclo del agua.** En el primer ejercicio del cuestionario se abordó el conocimiento sobre el ciclo del agua mediante la identificación de las fases que lo conforman en un esquema, los resultados fueron los siguientes:

**Cuadro 5. Proporción de respuestas correctas e incorrectas por escuela sobre el ciclo del agua**

<b>Escuela</b>	<b>Estudiantes evaluados</b>	<b>Correcto</b>	<b>Incorrecto</b>	<b>Alumnos que identifican el ciclo del agua (%)</b>
1	9	1	8	11
2	20	11	9	55
3	44	12	32	27
4	37	19	18	51
5	24	3	21	13
6	50	18	32	36
7	26	2	24	8
8	30	5	25	17
9	21	0	21	0
10	8	2	6	25
11	56	10	46	17
12	38	13	25	34
13	59	10	49	17
<b>Total</b>	<b>422</b>	<b>106</b>	<b>316</b>	<b>25</b>

En el Cuadro 5 se resumen los resultados por escuela y el porcentaje de respuestas correctas más alto fue el de la escuela 2 con un 55%, en contraste, en la escuela 9 ningún alumno pudo identificar correctamente todas las fases del ciclo del agua. La evaporación fue la fase más identificada, la escorrentía fue de las menos reconocidas. Del porcentaje total, sólo el 25% de la muestra identificó correctamente todas las fases del ciclo del agua, esto implica que el 75% de los estudiantes no conocen el ciclo del agua en su totalidad.

**5.3.1.3. Preguntas de opción múltiple.** En esta sección se abordaron temas de hidrogeología regional y los estudiantes debían que elegir la respuesta correcta entre cuatro opciones.

**Cuadro 6. Proporción de respuestas correctas e incorrectas sobre hidrogeología regional**

<b>Preguntas n=422</b>	<b>Correctas (%)</b>	<b>Incorrectas (%)</b>
1. Describir hidrogeología	28	72
2. Identificar fuente agua dulce Yucatán	60	40
3. Identificar fase precipitación	45	55
4. Identificar fase infiltración	58	42
5. Identificar origen agua subterránea	29	71
6. Describir acuífero	54	46
7. Describir acuífero Yucatán	39	61
8. Explicar flujo de agua subterráneo	20	80
9. Describir topografía Yucatán	27	73
10. Explicar gradiente hidráulico	20	80
11. Identificar permeabilidad roca	16	84
12. Explicar porosidad roca	33	67
13. Describir interfase salina	52	48
14. Identificar factores contaminantes agua subterránea	32	68

En el Cuadro 6, es notorio que los porcentajes de respuestas incorrectas son más altos, por ejemplo, en la pregunta 11 el 84% de los estudiantes no pudo identificar que la permeabilidad de una roca consiste en su capacidad de permitir que pase el agua a través de ella; el 80% de la muestra explicó de forma equivocada el flujo de agua subterránea y lo caracterizó como rápido; el 80% de los estudiantes no pudo describir que es un gradiente hidráulico y lo ejemplificaron como el agua que se estanca en las grietas del subsuelo; el 72% de los estudiantes tuvo dificultades en desglosar el contenido etimológico de la palabra hidrogeología. No supieron lo que estudia, la describieron como la ciencia que estudia el movimiento de las aguas subterráneas y superficiales.

Se observó que los estudiantes demostraron un mayor conocimiento en dos preguntas: la 2, el 60% de los estudiantes reconoció que al agua subterránea como la única fuente de agua dulce; y la 4, dado que el 58% de los estudiantes identificó la fase de la infiltración del ciclo del agua como un proceso que interviene en la formación de las aguas subterráneas.

**5.3.1.4. Preguntas abiertas.** En la sección tres se abordaron los temas de disponibilidad de agua en la hidrósfera y en Yucatán, gestión, vulnerabilidad y riesgos de consumir agua contaminada.

En el Cuadro 7, las preguntas con los porcentajes más altos de respuestas correctas según la proporción fueron las siguientes:

**Cuadro 7. Proporción de respuestas correctas, incorrectas y parcialmente correctas sobre disponibilidad, gestión y riesgos relacionados al agua.**

Preguntas n=422	Correcta (%)	Incorrecta (%)	Parcialmente correcta (%)
1. Porcentaje y disponibilidad agua dulce planeta	2	84	14
2. Proceso formación cenotes	4	67	29
3. Obtención agua dulce Yucatán	33	58	9
4. Extracción agua dulce vivienda	31	50	19
5. Fuentes contaminación acuífero Yucatán	52	28	20
6. Importancia del agua	81	18	1
7. Consecuencias contaminación del suelo Yucatán	34	50	16
8. Riesgos para la salud ingerir agua contaminada	93	7	0
9. Riesgos para la salud producción alimentos agua contaminada	85	13	2

Pregunta 8. Se les preguntó qué pasaba si tomaban agua contaminada. Las respuestas se agruparon bajo dos premisas:

1. Reconocer los riesgos de ingerir agua contaminada porque puede producir enfermedades. El 93% de la muestra fue capaz de reconocer los riesgos para la salud, algunas respuestas fueron:

*“Te enfermas por las bacterias del agua contaminada”* (Esc. Isolina Pérez, niño, 11 años).

*“Te enfermarías y en casos peores la muerte”* (Esc. Ermilo Abreu, niño, 11 años).

2. No reconocer los riesgos para la salud de consumir agua contaminada. El 7% no reconoció algún daño para la salud al consumir agua contaminada, por lo que se consideró incorrecta:

*“No pasa nada”* (Esc. Leandro Valle, niño, 11 años).

*“Da energía”* (Esc. Felipe Garduño, niño, 12 años).

En el caso de la pregunta 9, está abordó los riesgos de producir alimentos utilizando agua contaminada, las respuestas se categorizaron bajo tres conceptos:

1. Reconocer que consumir alimentos producidos con agua contaminada causa daños a la salud. El 85% de la muestra reconoció que puede enfermarse al ingerir esos alimentos, unos ejemplos de este tipo de respuestas fueron:

*“Nos enfermamos ya que los alimentos no son inocuos”* (Esc. Ignacio Zaragoza Ctro., niña, 11 años).

*“Nos hacen daño porque el agua contaminada tiene bacterias”* (Esc. Leandro Valle, niño, 10 años).

2. No reconocer los riesgos para la salud si consumen alimentos producidos con agua contaminada, se tomaron como respuestas incorrectas y correspondieron al 13% de los estudiantes, algunos mencionaron:

*“No pasa nada”* (Esc. Josefa Ortiz, niño, 10 años).

*“Se pudren”* (Esc. Leandro Valle, niño, 11 años).

3. Reconocer parcialmente los riesgos de consumir alimentos contaminados. Describieron acciones que tomarían en caso de darse cuenta de que el alimento no está producido con agua de calidad, se consideró como parcial ya que es muy difícil que el estudiante pueda identificar esta situación al momento de ingerir los alimentos y porque no mencionaba los riesgos:

*“Lo escupo y no lo trago”* (Esc. Felipe Garduño, niña, 11 años).

*“No los compro”* (Esc. Consuelo Andrade, niña, 11 años).

En el Cuadro 7, se observa que las preguntas con los porcentajes más altos de respuestas incorrectas fueron:

Pregunta 1. El 84% no sabe el porcentaje de agua dulce que hay en planeta y no conoce la disponibilidad de ésta para los seres humanos. Las respuestas se categorizaron de la siguiente forma:

1. Porcentajes correctos (2%):

*“3% de agua dulce del planeta y 1% disponible para el consumo humano”* (Esc. Ignacio Zaragoza Ctro., niña, 10 años).

2. Porcentajes incorrectos (84%): Esta pregunta no fue contestada por la mayoría de los estudiantes y los que la contestaron incorrectamente establecieron porcentajes mayores al 50%, lo que contrasta con el 3% de agua dulce y el 1% de disponibilidad.

“95% y 50%” (Esc. Francisco I. Madero, niña, 11 años).

3. Respuestas parcialmente correctas (14%): estas fueron las que pusieron solo uno de los porcentajes correctamente y el otro era cercano al correcto:

“5% y 1%” (Esc. Venustiano Carranza, niña, 10 años).

La Pregunta 2 obtuvo un 68% de preguntas incorrectas, los estudiantes debieron describir cómo se forman los cenotes esto incluye la disolución de la roca por el efecto del agua de la lluvia, la infiltración y acumulación de agua subterránea.

1. Se consideraron como correctas las que incluyeron todos los procesos, algunos ejemplos fueron:

“*El agua de lluvia cae y disuelve la roca, se filtra y se acumula ahí abajo*” (Esc. Artemio Alpízar, niño, 11 años).

“*El agua de lluvia hace un hueco en la roca y se va filtrando y acumulando debajo del suelo*”. (Esc. Venustiano Carranza, niño, 11 años).

2. Respuestas incorrectas. La más frecuente fue no contestar y dejar el espacio en blanco, otros explicaron de que está conformado el cenote como:

“*Agua subterránea y rocas*” (Esc. Felipe Garduño, niño, 10 años).

“*Rocas, agua y murciélagos y pum, tienes un cenote*” (Esc. Centenario, niño, 11 años).

3. Se consideraron como respuestas parcialmente correctas las que no mencionaron el proceso completo como: “*Por la infiltración del agua de lluvia*” (Esc. Centenario, niña, 12 años); “*Por la infiltración y acumulación del agua*” (Esc. Artemio Alpizar, niña, 11 años).

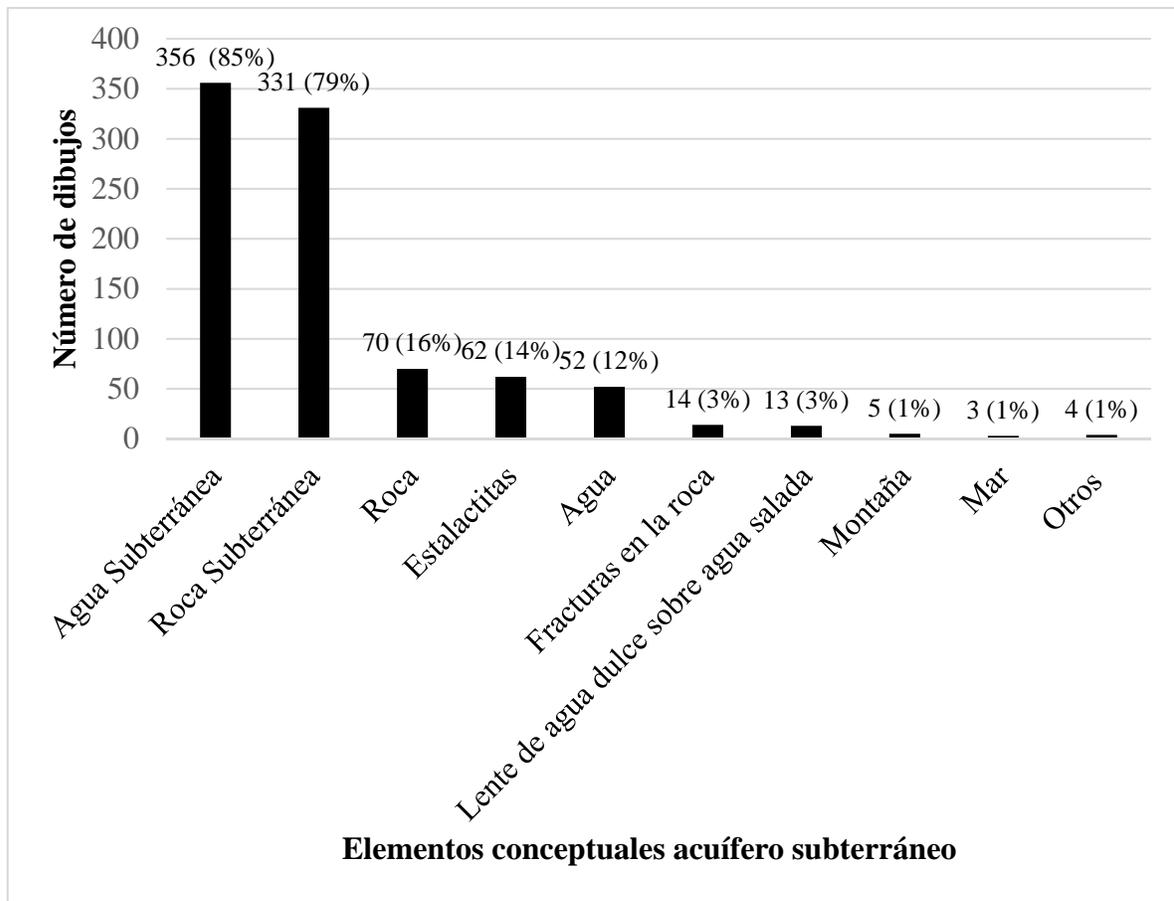
### **5.3.1.5. Elaboración de un dibujo**

Se les solicitó que hicieran un dibujo del acuífero subterráneo de Yucatán para identificar los elementos que utilizan para conceptualizar el acuífero, los dibujos podrían contener más de un elemento conceptual. El 98% de los estudiantes elaboraron el dibujo y lo representaron principalmente de las siguientes formas:

A) Cenote. El acuífero se representó principalmente como un cenote, los más dibujados fueron el cenote al aire libre, visto desde arriba y el de tipo caverna (41%). Ver Figura 9.

B) Corte transversal del acuífero. Otro de los dibujos más frecuentes fue el de tres líneas paralelas a lo largo de la hoja, la primera pintada de verde, representando pasto, la segunda de café, representando roca y la última de azul, representando agua (35%). Ver Figura 10.

En la Figura 8, se observa que los elementos conceptuales más frecuentes fueron el agua subterránea (83%) representada dentro o debajo de la roca (Fig. 9), generalmente contenida, el 14% de los estudiantes la incluyó en fracturas en la roca que representaban algún tipo de filtración; roca subterránea (79%) (Fig.10), en forma de caverna, de franja rocosa o de círculo en el caso de los que representaron un cenote abierto. Sólo el 3% de la muestra dibujó el lente de agua dulce sobre agua salada (Fig. 11), de éstos el 1% lo conceptualizó erróneamente pues plasmaron una capa de roca entre el lente de agua dulce y el de agua salada (Fig. 12).



**Figura 8. Histograma de frecuencias de elementos conceptuales en dibujos de estudiantes.**

En los siguientes ejemplos se pueden visualizar algunos elementos conceptuales:



Figura 9. Ejemplo de agua subterránea

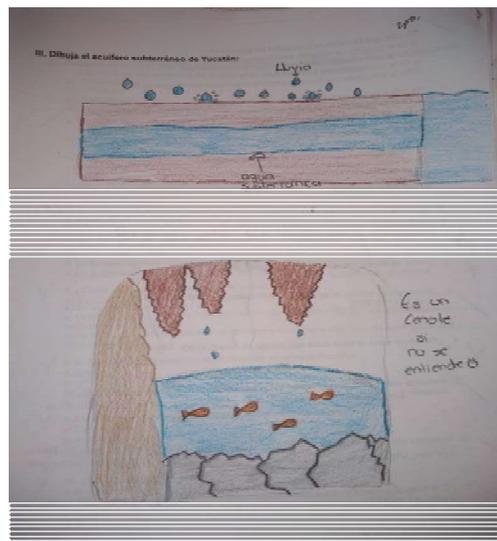


Figura 10. Ejemplo de roca subterránea



Figura 11. Ejemplo de lente de agua dulce sobre agua salada

Conceptualizaciones erróneas: algunas figuras o representaciones no corresponden a la información científica publicada. Algunos ejemplos de estas fueron: una tubería que une a las casas por debajo (Fig. 13); una roca sólida (Fig. 14); agua superficial con olas (Fig. 15); una montaña rodeada de agua superficial (Fig. 16).

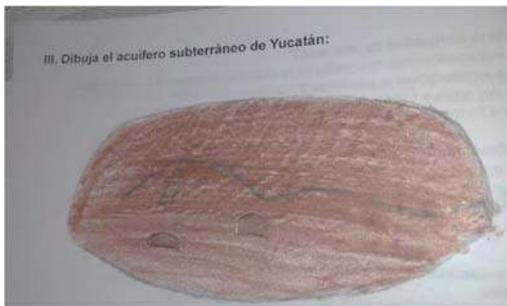
Ejemplos de conceptualizaciones que no corresponden a la información científica publicada:



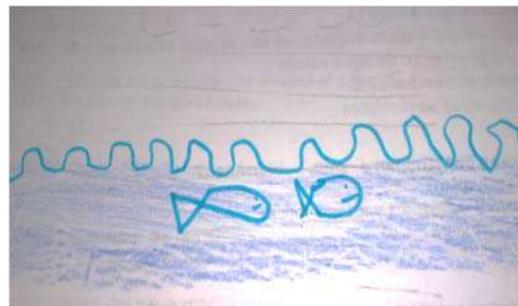
**Figura 12. Capa de roca entre el lente de agua salada y dulce**



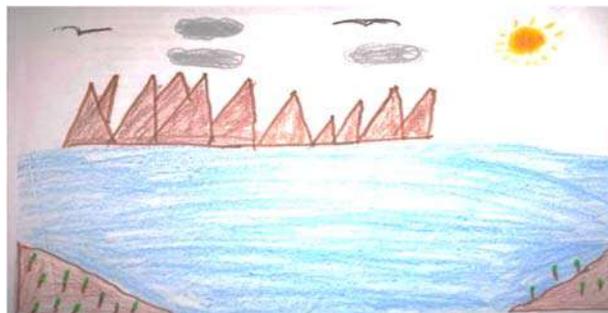
**Figura 13. Tuberías entre las casas**



**Figura 14. Roca**

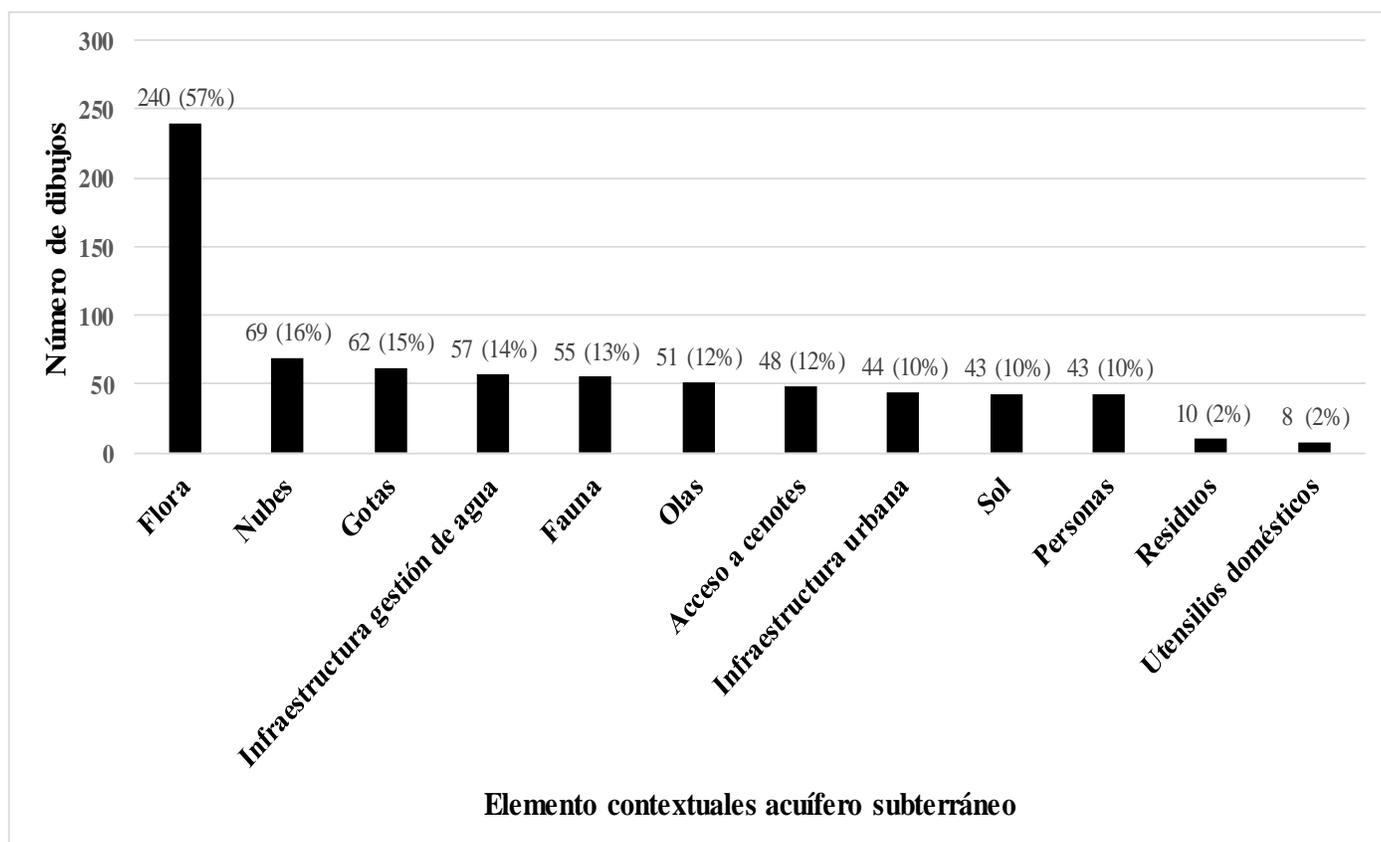


**Figura 15. Agua superficial con olas**



**Figura 16. Montañas rodeando agua superficial**

Es común que los dibujos infantiles reflejen aspectos cotidianos como carros, animales o plantas que no necesariamente formen parte conceptual de lo que se les pidió dibujaran. Estos elementos son denominados “contextuales” y los estudiantes pudieron dibujar más de un elemento contextual. En la Figura 17 se observa que los más representados fueron los relacionados a la flora (57%), simbolizada principalmente por árboles y por un sombreado verde que representa los elementos vegetales de corte bajo pegados al suelo.



**Figura 17. Histograma de frecuencias de elementos contextuales en dibujos de estudiantes.**

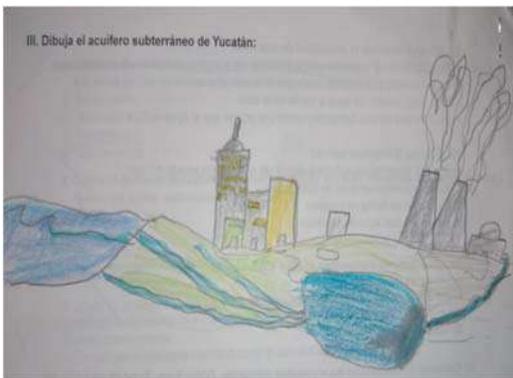
Ejemplos de elementos contextuales en dibujos de estudiantes:



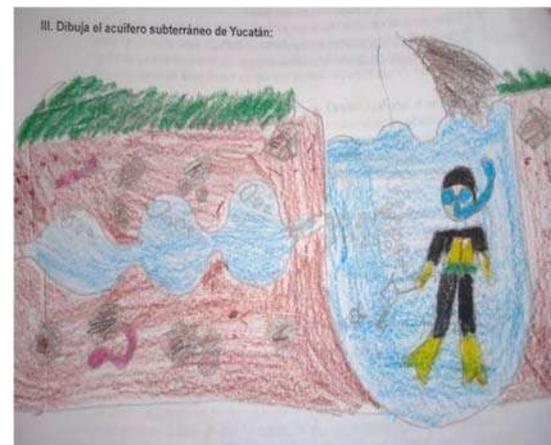
**Figura 18. Flora**



**Figura 19. Infraestructura urbana gestión de agua**



**Figura 20. Infraestructura urbana**



**Figura 21. Personas**

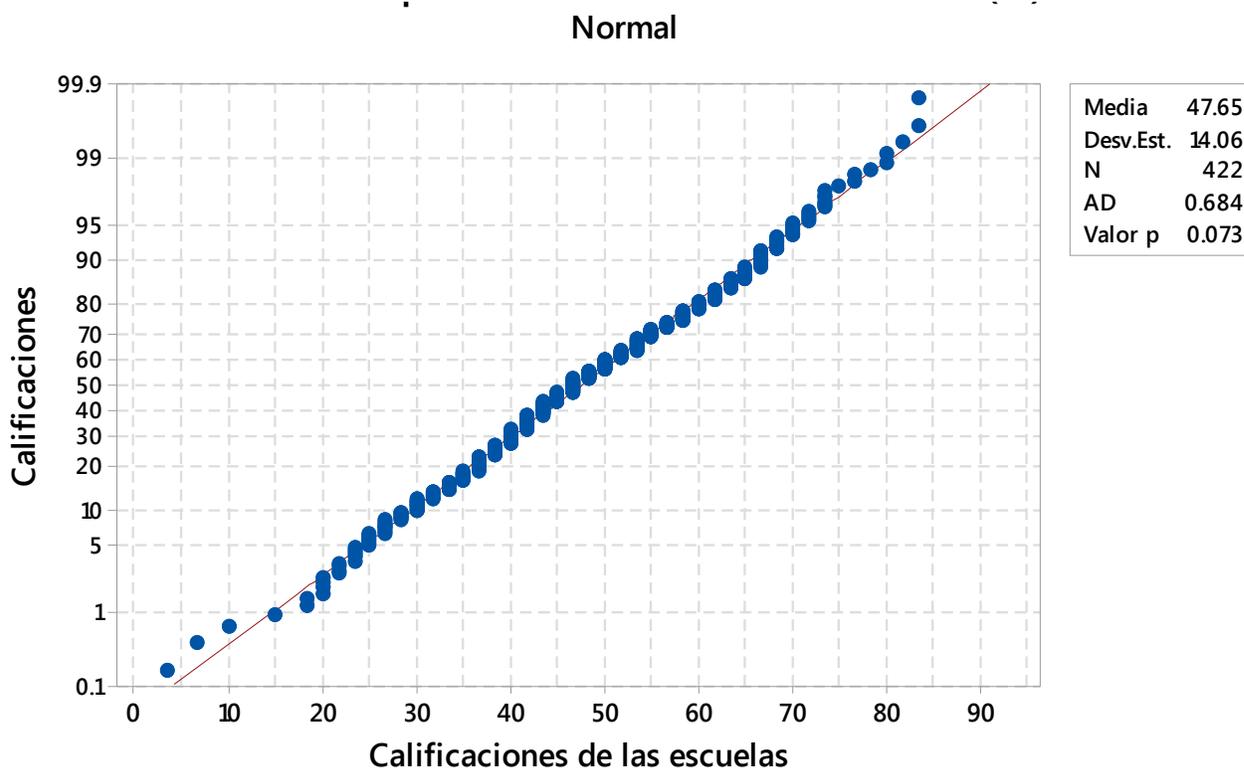
### 5.3.1.5. Calificaciones

El objetivo del estudio fue describir y analizar los conocimientos de los estudiantes sobre sus recursos hidrogeológicos, no asignar una calificación a tales conocimientos. A pesar de ello, se hizo un ejercicio de “evaluación” según los parámetros de la SEP, en los cuales los estudiantes son reprobados o aprobados según el porcentaje de respuesta correctas o incorrectas. El punto de corte que establece la SEP para aprobar a un estudiante es que tenga el 60% de respuestas correctas de la prueba. Para este caso el punto de corte se establece en 35 puntos sobre un total de 60 puntos. Aquellos estudiantes que obtuvieron una calificación mayor o igual a 35 se consideraron como aprobados, aquellos con una calificación menor o igual a 34 fueron estudiantes reprobados. Se procesaron los resultados mediante estadística descriptiva con el programa Minitab® y se puede observar que las medias de las calificaciones fueron reprobatorias y cercanas entre sí (Cuadro 8).

**Cuadro 8. Estadística descriptiva para las calificaciones del cuestionario aplicado a 422 niños de diferentes escuelas de la ciudad de Mérida**

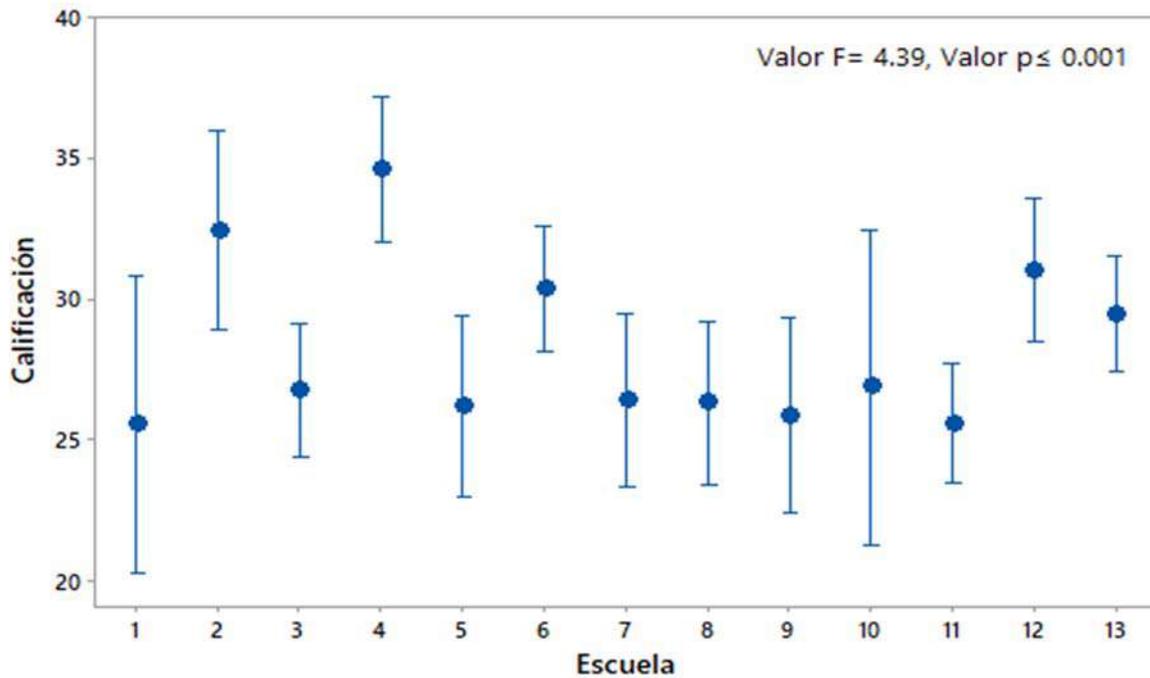
Variable	Escuela	n	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Calificación	1	9	25.56	6.78	14.00	40.00
	2	20	32.45	7.56	18.00	44.00
	3	44	26.75	7.78	11.00	45.00
	4	37	34.62	8.05	17.00	49.00
	5	24	26.17	7.20	4.00	37.00
	6	50	30.36	9.15	12.00	50.00
	7	26	26.38	6.20	16.00	43.00
	8	30	26.30	7.14	13.00	40.00
	9	21	25.86	8.68	11.00	42.00
	10	8	26.88	12.17	12.00	46.00
	11	56	25.57	8.25	2.00	42.00
	12	38	31.03	8.90	16.00	50.00
	13	59	29.475	7.405	9.000	44.000

En la Figura 22, se encuentra el índice de Anderson- Darling (AD), este sirve para comprobar si un conjunto de datos sigue una distribución específica y se obtuvo 0.684, lo que indica que los datos tuvieron una distribución normal.



**Figura 22. Gráfica de probabilidad normal de calificaciones.**

Aunque el objetivo no fue comparar las calificaciones entre escuelas, este ejercicio brindó información sobre el comportamiento de cada institución respecto a la variable. Se obtuvo una distribución normal de las calificaciones y como la muestra estaba constituida por más de dos grupos se realizó el Análisis de Varianza (ANOVA de un solo factor), con el objetivo de saber si existen diferencias en los promedios de las calificaciones entre las escuelas.



**Figura 23. Gráfica de intervalos de calificación por escuela.**

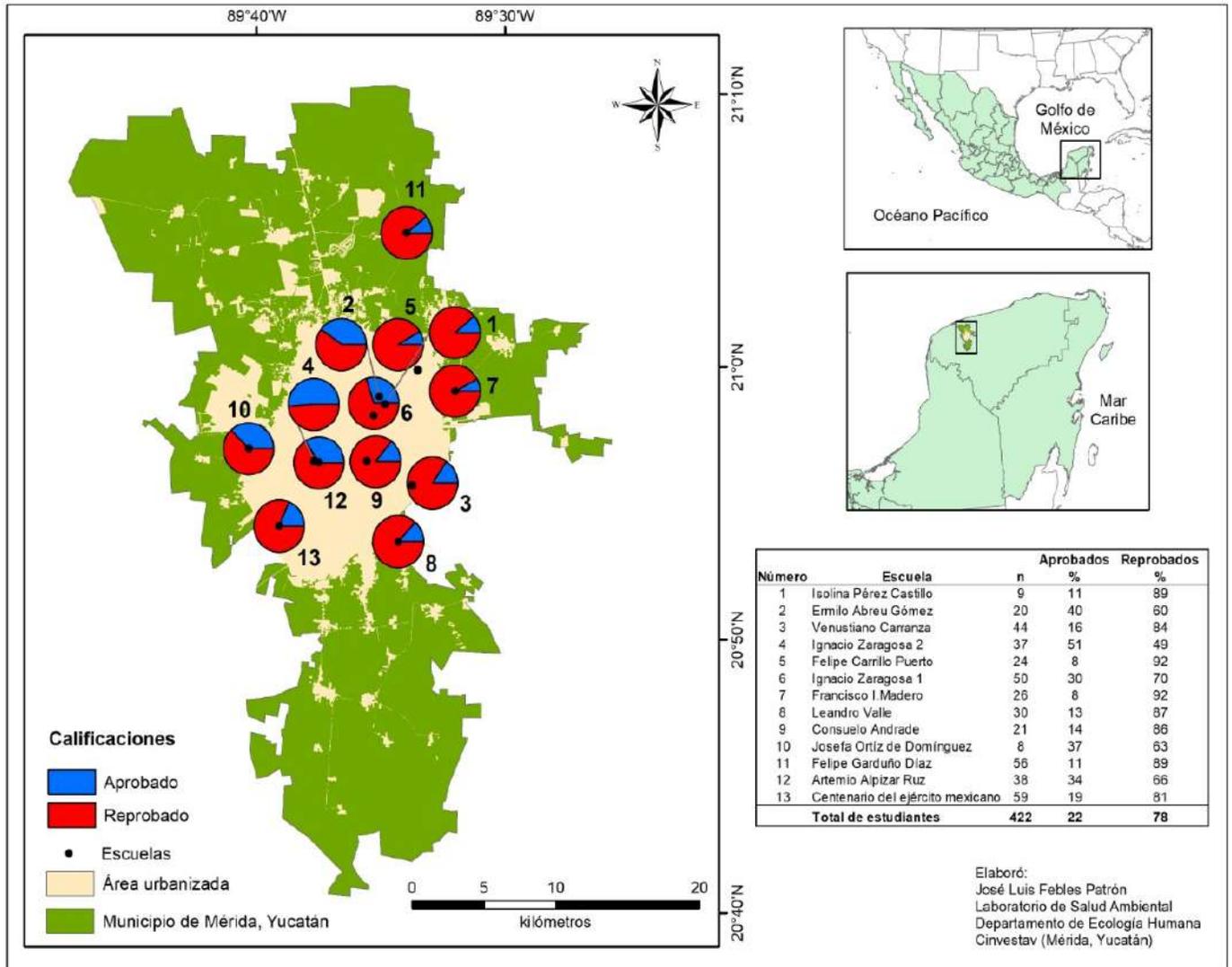
En la Figura 23, se observa que la escuela 2 y 4 presentan las medias más altas y las escuelas 1 y 10 presentan los mayores intervalos de calificación. Las escuelas 1 y 10 tuvieron la n más pequeña con nueve y ocho estudiantes respectivamente, por lo que cada dato adquiere mayor peso estadístico. Los valores  $F=4.39$  y de  $p=0.0001$  indican que cuando menos una de las escuelas era diferente, para identificar cuál o cuáles se utilizó la prueba de Tukey, esta prueba compara las medias de dos a dos para evaluar si son o no iguales (Cuadro 9).

**Cuadro 9. Diferencias entre las medias de las escuelas con las pruebas simultáneas de Tukey que resultaron estadísticamente significativas**

<b>Comparación de escuelas</b>	<b>Diferencia de las medias</b>	<b>EE de diferencia</b>	<b>IC de 95%</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p ajustado</b>
4,3	7.87	1.8	(1.91, 13.83)	4.38	0.001
4,5	-8.45	2.11	(-15.45, -1.46)	-4.01	0.004
4,7	-8.24	2.06	(-15.07, -1.40)	-4	0.004
4,8	-8.32	1.98	(-14.88, -1.76)	-4.21	0.002
4,9	-8.76	2.2	(-16.06, -1.47)	-3.98	0.005
4,11	-9.05	1.71	(-14.71, -3.39)	-5.3	0

Se puede concluir que la media de la escuela cuatro es estadísticamente diferente a las demás. La escuela cuatro obtuvo el menor porcentaje de reprobación (49%) (Cuadro 9) aunque prácticamente la mitad reprobó, los resultados fueron mejores que en otras escuelas donde más del 80% de los estudiantes reprobó.

Se elaboró un mapa con las calificaciones por escuela (Fig. 24), en este mapa se puede observar que en la mayoría de las escuelas los estudiantes presentan calificaciones reprobatorias según los esquemas que aplica la SEP.



**Figura 24. Mapa de calificaciones aprobatorias y reprobatorias de acuerdo con la localización geográfica de las escuelas participantes.**

### 5.3.2. Entrevista

Se realizó una entrevista al 55% de la muestra de 422 estudiantes, correspondiente a 236 alumnos, la muestra fue conformada por 116 niños y 119 niñas, con una edad promedio de once años. El objetivo de la entrevista fue profundizar en los conocimientos de los estudiantes y reforzar los resultados de la evaluación. Se abordaron temas de distribución de agua en la hidrósfera, distribución de agua dulce en Yucatán, infiltración, almacenamiento y flujo del acuífero. En el Cuadro 10 se exponen los porcentajes de las respuestas de los estudiantes.

**Cuadro 10. Proporción de respuestas correctas e incorrectas de la entrevista a estudiantes (n=236)**

<b>Entrevistas</b>	<b>Respuestas correctas (%)</b>	<b>Respuestas incorrectas (%)</b>
1. Porcentaje y accesibilidad de agua dulce en el planeta	7	93
2. Abundancia de agua dulce en Yucatán	33	66
3. Existencia de ríos superficiales en Yucatán y causas	10	90
4. Infiltración de agua de lluvia al acuífero	28	72
5. Características de las rocas del suelo en Yucatán	23	77
6. Infiltración del agua a través de la roca como proceso purificador	70	30
7. Características del acuífero de Yucatán	6	94
8. Proceso de formación de depósitos de agua subterránea	1	99
9.- Movimiento del flujo de agua subterránea	31	69
10. Causa de aumento o disminución el flujo de agua subterránea	33	67
11. Origen del agua de la llave de la casa	39	61
12. Destino del agua del inodoro de la casa	37	63
13. Consecuencias de la contaminación del agua subterránea	62	38
14. Fuentes de contaminación del agua subterránea	36	64
15. Consecuencias del consumo de agua contaminada	99	1
16. Razones para cuidar el agua	97	3

Las preguntas con los porcentajes de respuestas incorrectas más altos fueron las siguientes:

Pregunta 8. Esta pregunta fue la que tuvo el porcentaje más alto de respuestas incorrectas con el 99%. Se les preguntó cómo se formaban los depósitos de agua subterránea, si alguno no entendió el significado de depósito se les puso como ejemplo a los cenotes, la respuesta más frecuente fue “*No sé*”, otros mencionaron las siguientes razones:

A) Descripción parcial del proceso “*Infiltración de agua*” (Esc. Venustiano Carranza, niño, 11 años)

B) Por intervención humana “*Con máquinas y trabajadores que excavan*” (Esc. Felipe Carrillo, niño, 11 años)

C) Por acción de movimientos tectónicos “*Por la placa tectónica que tenemos en Yucatán y la misma placa deposita los restos de la lluvia en los cenotes*” (Esc. Ermilo Abreu, niña, 12 años).

D) Por infraestructura urbana del agua “*Por la lluvia que cae y se va a las alcantarillas*” (Esc. Francisco I. Madero, niño, 10 años)

Algunos ejemplos de las respuestas correctas (1%) fueron las que mencionaron todo el proceso de formación de depósitos de agua subterránea:

“*Cuando cae la lluvia disuelve la tierra y se va filtrando y acumulando el agua bajo del suelo*” (Esc. Ignacio Zaragoza Ctro., niño, 10 años), “*La lluvia cae y va formando un hoyo en la tierra, por ahí va pasando la tierra hasta que se va haciendo un charco grande hasta que queda como cenote*” (Esc. Ignacio Zaragoza Itz., niño, 11 años).

Pregunta 7, en esta se les pidió que describieran las características del acuífero de Yucatán. El 94% de la muestra no pudo hacerlo, la respuesta más frecuente fue “*No sé*”. Los que dieron alguna respuesta dieron estos ejemplos:

- A) Descripción del contenido “*Con piedras y agua*” (Esc. Felipe Carrillo, niña, 11 años).
- B) Descripción por grado de contaminación: “*Sucio y lleno de basura*” (Esc. Artemio Alpízar, niño, 11 años); “*Limpio con agua clara*” (Esc. Francisco I. Madero, niña, 10 años).
- C) Descripción del tamaño: “*Grande*” (Esc. Felipe Garduño, niña, 11 años).

Las respuestas que se tomaron como correctas (6%) fueron:

- A) Descripción del elemento característico del acuífero “*Es como un cenote grande con agua, rocas*” (Esc. Centenario del ejército, niña, 10 años).
- B) Conformación del lente de agua dulce sobre agua salada “*Grande, con agua salada y dulce*” (Esc. Francisco I. Madero, niño, 12 años); “*Profundo, con una capa de agua dulce sobre agua salada*” (Esc. Josefa Ortiz, niña, 10 años).

Pregunta 1 Se les cuestionó sobre el porcentaje de agua dulce que hay en la tierra y la disponibilidad para los seres humanos, las respuestas se categorizaron de la siguiente forma:

A) Incorrectas. El 93% de los estudiantes no la supieron responder y la respuesta más común fue “*no sé*”, de hecho, esta pregunta fue la que tuvo mayor cantidad de “*no sé*” de toda la entrevista; los que mencionaron alguna cifra dieron porcentajes mayores al 50%. “*75% y 25*” (Esc. Artemio Alpízar, niña, 11 años).

B) Correctas. El 7% de la muestra pudo dar los porcentajes correctos sobre el acceso y disponibilidad del agua dulce en la hidrósfera: “*3% y 1%*” (Esc. Ignacio Zaragoza Itz., niña, 10 años)

Pregunta 3. Se les preguntó si había ríos superficiales en Yucatán y que explicaran su respuesta, el 90% de los estudiantes no pudo proporcionar la respuesta, si bien la mayor parte dijo que no había ríos superficiales, las explicaciones para este fenómeno fueron equivocadas, por ejemplo, no existen ríos debido a:

A) Espacio geográfico “*No, Yucatán es pequeño y no tiene espacio para ríos y lagos, hay mares y cenotes*” (Esc. Consuelo Andrade, niña, 11 años).

B) Cercanía del mar “*No, porque tenemos mar*” (Esc. Francisco I. Madero, niña, 11 años).

C) Tipo de clima “*No tenemos porque hay mucho calor y el agua se seca*” (Esc. Felipe Carrillo, niño, 10 años).

D) Falta de experiencia sensorial personal “*No hay porque no los he visto*” (Esc. Josefa Ortiz, niña, 11 años).

E) Ignorancia “*No hay, pero no sé por qué*” (Esc. Ignacio Zaragoza Ctro., niño, 11 años).

Los que contestaron que si había ríos dieron las siguientes razones:

A) Información proporcionada por un familiar “*Si, mi mamá me dijo que hay, pero no los he visto*” (Esc. Leandro Valle, niña, 11 años).

B) Confusión con las lagunas costeras o manglares cerca de la costa “*Si, yendo a Progreso los he visto*” (Esc. Artemio Alpízar, niño, 11 años).

C) Información incorrecta “*Si hay, pero no los he visto*” (Esc. Leandro Valle, niña, 11 años).

Las respuestas correctas (10%) proporcionadas estaban relacionadas a:

A) Características del suelo: “*Es que el suelo filtra toda el agua que cae y no se queda arriba*” (Esc. Artemio Alpízar, niña, 10 años); “*No, porque aquí tenemos cenotes, lagunas, playas y el agua se filtra a través de la tierra*” (Esc. Josefa Ortiz, niño, 11 años); “*No, porque estamos en una roca y debajo están los cenotes y esta roca permite que haya agua subterránea*” (Esc. Ignacio Zaragoza Ctro., niño, 10 años).

Las preguntas con los porcentajes de respuestas correctas más altos fueron las siguientes:

Pregunta 15: Se les preguntó que podía pasar si tomaban agua contaminada y el 99% reconoció los riesgos de ingerir agua contaminada y los relacionaban a enfermedades e incluso la muerte, algunos dieron ejemplos muy concretos:

*“Una vez, después de jugar fútbol, se me olvidó mi bote de agua y tomé agua del tubo y después de eso, me estuvo doliendo la panza varios días, nunca he vuelto a tomar agua de llave”* (Esc. Consuelo Andrade, niño, 11 años).

*“Mi mamá me decía que ella tomaba agua de pozo, pero un día se enfermó y le dio calentura, su tía le dijo que era el agua de pozo y la dejó de tomar. De chiquito me gustaba tomar agua de la llave y ella me regañaba y no me dejaba tomarla. Ahora tomamos agua purificada, la de botellón”* (Esc. Felipe Garduño, niño, 11 años).

Las respuestas incorrectas (1%) fueron las que no reconocieron riesgos asociados al consumo de agua contaminada, por ejemplo:

*“Creo que no pasa nada”* (Esc. Felipe Garduño, niña, 11 años).

La Pregunta 16 fue que brindaran razones para cuidar el agua, el 97% de los estudiantes dieron varias respuestas correctas y se categorizaron de la siguiente forma:

A) Valor utilitario o doméstico del agua, *“Sirve para preparar comida”* (Esc. Ignacio Zaragoza, niña, 11 años); *“Sirve para lavar ropa, bañarnos”* (Esc. Ermilo Abreu, niña, 11 años).

B) Vital para la conservación de los ecosistemas *“Los seres vivos la necesitan”* (Esc. Felipe Carrillo, niño, 11 años); *“Necesitamos cuidarla para que a las siguientes generaciones no les falte agua”* (Esc. Ignacio Zaragoza Itz., niña, 11 años); *“Sin agua se acabarían los bosques y los animales se morirían”* (Esc. Isolina Pérez, niño, 11 años).

C) Vital para preservar la salud humana “*Sin agua nos morimos de sed*” (Esc. Venustiano Carranza, niña, 11 años), “*Sin ella nos deshidratamos*” (Esc. Francisco I. Madero, niña, 14 años)

Las respuestas incorrectas (3%) fueron “*no sé*”.

Aunque el objetivo de estudio no fue comparar a las escuelas entre sí, se hicieron dos cuadros (11 y 12) en la que se pueden apreciar las diferencias entre los niveles de adquisición de aprendizajes. En el Cuadro 11 se encuentran las preguntas de la uno a la diez, éstas abarcaron temas de distribución del agua en la hidrósfera, distribución, almacenamiento, infiltración y flujo del agua subterránea.

En los resultados se observó que, en diez escuelas, los estudiantes obtuvieron más del 80% de respuestas incorrectas en las siguientes preguntas:

- i) Pregunta 1 (distribución del agua en hidrósfera),
- ii) Pregunta 3 (existencia de ríos superficiales y la razón),
- iii) Pregunta 7 (describir características del acuífero de Yucatán),
- iv) Pregunta 8 (descripción de los procesos de formación de los depósitos de agua subterránea).

En el caso de la pregunta 5 (Características del suelo), en siete escuelas los estudiantes obtuvieron porcentajes de más del 80% de respuestas incorrectas, esto es equivalente al 60% de la muestra total.

**Cuadro 11. Proporción de respuestas correctas e incorrectas por escuela sobre temas de distribución, almacenamiento, infiltración y flujo del acuífero de Yucatán obtenidas durante las entrevistas (n=236)**

Escuela	Respuestas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		(8)	(20)	(16)	(13)	(15)	(20)	(22)	(20)	(20)	(8)	(32)	(29)	(13)
1. Porcentaje y accesibilidad de agua dulce en el planeta	Corr (%)	12	0	0	23	0	20	0	0	10	0	0	20	8
	Inc (%)	88	100	100	77	100	80	100	100	90	100	100	80	92
2. Abundancia de agua dulce en Yucatán	Corr (%)	75	55	50	15	34	20	5	5	10	37	47	52	46
	Inc (%)	25	45	50	85	66	20	95	95	90	63	53	48	54
3. Existencia de ríos superficiales en Yucatán y explicación	Corr (%)	0	30	7	0	0	45	10	15	0	12	3	7	0
	Inc (%)	100	70	93	100	100	55	90	85	100	88	97	93	100
4. Infiltración de agua de lluvia al acuífero	Corr (%)	25	60	25	46	60	50	14	20	20	25	12	21	0
	Inc (%)	75	40	75	54	40	50	86	80	80	75	88	79	100
5. Características de las rocas del suelo en Yucatán	Corr (%)	12	15	12	30	20	60	37	5	20	25	12	31	31
	Inc (%)	88	85	88	70	80	40	63	95	80	75	88	69	69
6. Infiltración de agua como proceso purificador	Corr (%)	37	60	63	62	33	90	77	60	80	63	78	75	92
	Inc (%)	63	40	37	38	67	10	23	40	20	37	22	25	8
7. Características del acuífero de Yucatán	Corr (%)	0	5	0	23	7	25	10	0	0	12	10	4	0
	Inc (%)	100	95	100	77	93	85	90	100	100	88	90	96	100
8. Proceso de formación de depósitos de agua subterránea	Corr (%)	0	0	0	8	0	5	0	0	0	0	0	0	0
	Inc (%)	100	100	100	92	100	95	100	100	100	100	100	100	100
9. Movimiento del flujo de agua subterránea	Corr (%)	12	0	25	38	27	25	27	45	15	62	47	52	22
	Inc (%)	88	100	75	62	73	75	73	55	85	38	53	48	78
10. Causa de cambios en el flujo de agua subterránea	Corr (%)	37	50	25	38	20	20	14	40	50	25	37	38	39
	Inc (%)	63	50	75	62	80	80	86	60	50	75	63	62	61

**Nota: Respuestas correctas (Corr), incorrectas (Inc).**

En el Cuadro 12, se plantearon seis preguntas que abordaron los temas de gestión, contaminación y riesgos para la salud, como se puede observar las trece escuelas presentaron porcentajes de más del 90% de respuestas correctas, en estos rubros:

- i) Pregunta 15 (Riesgos para la salud relacionados al agua)
- ii) Pregunta 16 (importancia del agua).

En la Pregunta 11, se les preguntó de dónde venía el agua de la llave de su casa. En nueve escuelas, el 60% los estudiantes proporcionaron respuestas incorrectas, las más frecuentes fueron que el agua viene de fuentes de agua dulce que no existen en el estado como lagos y ríos e incluso del mar después de un proceso de desalinización.

En el caso de la Pregunta 12, se les cuestionó a dónde se va el agua cuando le jalan al excusado para saber si conocían el destino de las aguas servidas domésticas. En diez escuelas el 60% de los estudiantes brindaron respuestas incorrectas y no identificaron al acuífero subterráneo como el receptor final de las aguas residuales. Las respuestas más frecuentes fueron “no sé” o mencionaron algún elemento de la infraestructura urbana de la gestión del agua como las tuberías o los pozos

**Cuadro 12. Proporción de respuestas correctas e incorrectas por escuela sobre temas de gestión, contaminación y riesgos para la salud relacionados al acuífero de Yucatán obtenidas en las entrevistas (n=236)**

Escuela	Respuestas	1 (8)	2 (20)	3 (16)	4 (13)	5 (15)	6 (20)	7 (22)	8 (20)	9 (20)	10 (8)	11 (32)	12 (29)	13 (13)
11. Origen del agua de la llave de la casa	Corr (%)	37	45	25	31	40	40	18	30	20	75	65	55	8
	Inc (%)	63	55	75	69	60	60	82	70	80	2	35	45	92
12. Destino del agua del inodoro de la casa	Corr (%)	12	40	25	46	33	30	50	30	40	25	47	52	8
	Inc (%)	88	60	75	54	66	70	50	70	60	75	53	48	92
13. Consecuencias contaminación del agua subterránea	Corr (%)	25	70	44	62	80	50	45	80	50	12	69	69	78
	Inc (%)	75	30	56	38	20	50	55	20	50	88	31	31	22
14. Fuentes de contaminación del agua subterránea	Corr (%)	12	60	44	46	47	40	27	25	45	50	25	24	46
	Inc (%)	88	40	56	54	53	60	73	75	55	50	75	76	8
15. Consecuencias del consumo de agua contaminada	Corr (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	100	100
	Inc (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0
16. Razones para cuidar el agua	Corr (%)	100	93	92	100	100	95	90	100	100	96	100	92	
	Inc (%)	0	7	8	0	0	5	10	0	0	4	0	8	

**Nota: Respuestas correctas (Corr), incorrectas (Inc).**

Se realizaron dos preguntas (17 y 18) cuyas respuestas no fueron catalogadas como correctas e incorrectas, sino que sirvieron para proporcionar información extra sobre el conocimiento de los temas hidrogeológicos.

En la Pregunta 17 se les preguntó si alguna vez habían visitado un cenote y si los cenotes tienen alguna relación con la contaminación del agua subterránea. El 25% de la muestra de estudiantes nunca ha visitado un cenote y de estos, ninguno pudo establecer una

relación entre los cenotes y la contaminación del acuífero. El 84% de los estudiantes que sí han ido a un cenote identificaron que las actividades que se realizan ahí son un riesgo de contaminación para el agua subterránea (Cuadro 13). Algunos ejemplos que brindaron fueron:

“*Si te pones bloqueador o avientas líquidos tóxicos ensucias el agua*” (Esc. Ignacio Zaragoza Ctro., Femenino, 11 años); “*Si, los cenotes son parte del agua que se consume y si los contaminas, contaminas el agua subterránea*” (Esc. Ermilo Abreu, femenino, 11 años); “*Si, si las personas tiran basura al cenote, contaminan el agua subterránea*” (Esc. Venustiano Carranza, masculino, 11 años).

**Cuadro 13. Identificación de riesgos de contaminación del acuífero de Yucatán relacionados a la visita a cenotes obtenidos en las entrevistas**

<b>¿Has visitado un cenote? ¿Tienen alguna relación los cenotes con la contaminación del agua subterránea? (n=236)</b>	
<b>1. No (25%)</b>	<b>Estudiantes (n= 60/236)</b>
Reconocen que las actividades que se realizan en los cenotes pueden contaminar el agua subterránea	0
No reconocen que las actividades que se realizan en los cenotes pueden contaminar el agua subterránea	60 (100%)
<b>2. Si (75%)</b>	<b>Estudiantes (n=176/236)</b>
Reconocen que las actividades que se realizan en los cenotes pueden contaminar el agua subterránea	148 (84%)
No reconocen que las actividades que se realizan en los cenotes pueden contaminar el agua subterránea	28 (16%)

Adicionalmente, se elaboró una tabla de contingencia y se realizó una prueba de Chi cuadrada ( $p \leq 0.05$ ) para ver si existía una correlación entre la visita al cenote y las calificaciones aprobadas (Cuadro 14). Las hipótesis se plantearon de la siguiente forma:

$H^0$  No hay asociación entre las calificaciones aprobadas y la visita a un cenote.

$H^1$  Existe asociación entre las calificaciones aprobadas y la visita a un cenote.

**Cuadro 14. Correlación entre visita a cenotes y calificaciones aprobatorias (n=236).**

	<b>Aprobado</b>	<b>Reprobado</b>	<b>Total</b>
Ha ido a un cenote	40	136	176
No ha ido a un cenote	13	47	60
<b>Total</b>	<b>53</b>	<b>183</b>	<b>236</b>

Se obtuvieron los siguientes valores  $\chi^2 = 0.028$ ,  $GL = 1$ , Valor  $p = 0.865$ . Se contrastó el resultado con el valor Chi Tabla= 3.841 y se pudo concluir que no hay asociación entre las calificaciones aprobatorias de los estudiantes que han visitado cenotes y los que no.

A pesar de que no es el objetivo de la tesis identificar de dónde obtienen los estudiantes los conocimientos hidrogeológicos, en la pregunta 18 se les preguntó sobre las fuentes de información de dichos temas y se indagó de dónde obtuvieron la información para responder el cuestionario y la entrevista. Los estudiantes tuvieron la opción de dar más de una fuente de información. El 97% de los estudiantes respondió que obtuvieron la información de la escuela (maestros, libros de texto, biblioteca escolar), el 61% de los estudiantes mencionó el internet, se hizo la indagación adicional de cual había sido la motivación para explorar el internet, los estudiantes respondieron que las búsquedas fueron

realizadas por indicaciones del maestro, generalmente tareas escolares (97%). El 36% mencionó a algún familiar como proveedor de información, el 8% respondió que obtuvo la información en documentales en la televisión o en información proporcionada por asociaciones civiles. Adicionalmente, algunos mencionaron que los temas que más han visto están relacionados a la contaminación del agua.

El 71% de los estudiantes mencionó que tenían internet en su domicilio, el acceso fue principalmente a través de un celular, ya sea propio (38%) o de un familiar (12%) y a través de la computadora familiar en su domicilio (22%). El 29% de la muestra no tiene internet en sus domicilios y para poder utilizarlo debe de ir a casa de un familiar (40%), a la papelería (36%) y al parque (24%).

## **6. Discusión**

### **6.1. Descripción hidrogeología regional y su abordaje en los programas educativos**

En la revisión bibliográfica realizada en las bases de datos Web of Science y Google Académico, se encontró que las publicaciones sobre hidrogeología de la Península corresponden a un 4% y a un 10% respectivamente de los estudios sobre hidrogeología general, (Cuadro 1) esto significa que es un tema que necesita ser más estudiado, especialmente si se reconoce al acuífero de la Península de Yucatán como una reserva de agua de importancia mundial (Perry *et al.*, 1995, 2002, 2009; Gondwe *et al.*, 2010; Bauer Gottwein *et al.*, 2011).

Se identificaron las publicaciones base para el conocimiento de la hidrogeología regional (Cuadro 2), elegidas por el número de citas y por la cantidad de veces que fueron utilizadas como referencia en publicaciones posteriores, sin embargo, la última caracterización hidrogeológica fue en el 2012. Ante esta situación, se recomienda que se incremente el acervo científico con esa perspectiva integradora en las distintas zonas del territorio y que se actualicen mínimo cada dos años; se sugiere este lapso porque Yucatán está experimentando un crecimiento económico centrado en los sectores agropecuarios e industriales (Medina-Mijangos, 2016), que implica cambios en el uso, distribución y manejo de los recursos hídricos a corto y mediano plazo.

Los temas que abordan la descripción (geoquímica, edafología, hidrología, sistema kárstico), contaminación y vulnerabilidad del acuífero han sido más estudiados en comparación con los relacionados a temas sociales (gestión, saberes, educación), la falta de abordaje social incide negativamente en el acuífero, el cual está sujeto a presiones

demográficas, gestión comunitaria y gubernamental deficiente, que afectan la recarga, disponibilidad y calidad del agua (Fig. 6) (González-Herrera *et al.*, 2018).

Dentro de la investigación de la gestión social se ha omitido la relación entre los recursos hidrogeológicos y la educación formal (Heise, 2013). Es necesario que se incluyan contenidos científicos en el programa de estudio para poder generar un conocimiento que permita al estudiante entender, identificar, cuestionar y participar en el manejo de sus recursos naturales, especialmente de uno tan vital como el agua (Martínez-Peña, 2008; Heise, 2013; Nava-Galindo, 2015; Andreu *et al.*, 2016). Existe muy poca investigación en México sobre la hidrogeología y su abordaje en los programas educativos y libros de texto; el tema educativo del acuífero de Yucatán ha sido retomado por asociaciones civiles enfocadas a la educación ambiental informal.

Con base a la literatura científica disponible, se identificaron nueve temas que permitieron simplificar la descripción del acuífero (Cuadro 4) y sirvieron de eje para elaborar instrumentos y hacer una comparación entre lo que sabemos y lo que se enseña en los programas educativos, como se señaló en la sección de Resultados. Se mencionarán las principales conclusiones y los vacíos de información que se identificaron.

En el tema 1 (acceso y disponibilidad de agua dulce), existe un consenso general que en la hidrosfera menos del 3% es agua dulce y de este porcentaje, solamente el 1% es accesible a los seres humanos (Oki y Kanae, 2006; Ford y Williams, 2013). Como se observa en la Figura 1, el porcentaje para el mantenimiento de los ecosistemas terrestres es muy pequeño en proporción con la cantidad de agua en el planeta, si bien el agua dulce es un recurso que se recarga constantemente mediante el ciclo hidrológico, factores como el

cambio climático y una creciente población mundial provocan mayor demanda del líquido, afectando directamente la capacidad de recarga (Oki y Kanae, 2006; Manohar *et al.*, 2018).

En los programas educativos, este concepto se enseña someramente y de forma incompleta. En la Figura 2 se encuentra el ciclo hidrológico y al compararlo con el que se enseña en el material escolar (programas y libros) no están presentes las fases de escorrentía y de flujo de agua subterránea. Los estudiantes no tienen información del comportamiento del ciclo del agua en su entorno natural. Adicionalmente, el concepto de agua subterránea no está desarrollado a la par que el de otros cuerpos de agua como ríos, lagos y océanos, a pesar de su valor como reserva importante de agua dulce no solo en Yucatán sino a nivel mundial. Esta falta de información puede asociarse a que no se identifiquen los problemas de acceso y sobreexplotación de los acuíferos (Ford y Williams, 2013).

En el tema 2 (distribución y acceso del agua dulce en Yucatán), se encontró que el sistema kárstico define la capacidad hidrológica de la Península, este sistema provee una alta capacidad de infiltración y aumenta la capacidad de recarga (Bauer-Gottwein *et al.*, 2011). Existen una gran cantidad de interacciones, interdependencias e interrelaciones, por ejemplo: entre el suelo y la vegetación, la tierra y el mar, el agua dulce y salina, que influyen en la complejidad y heterogeneidad del sistema acuífero kárstico costero (Heise, 2013; Manohar *et al.*, 2018). Ante esta cantidad de variables sería conveniente incrementar la información sobre el acuífero subterráneo, que es única fuente de agua dulce de la península en los siguientes temas:

i) Los impactos del cambio climático en el funcionamiento y la dinámica del ecosistema costero del estado, ya que se prevé que por sus efectos disminuya el 20% de la recarga hídrica (Rodríguez-Huerta *et al.*, 2020). El acuífero subterráneo es muy sensible a

cualquier cambio natural o antropogénico y se pueden alterar los ciclos geoquímicos del acuífero causando problemas ecosistémicos (Gondwe *et al.*, 2010; Heise, 2013).

ii) Gran parte de las publicaciones tienen como objetivo el anillo de cenotes en la zona norte del estado, el área que se considera más vulnerable con la mayor densidad demográfica. El acuífero en la zona sur, a pesar de ser una zona con menor permeabilidad (Perry *et al.*, 2009) puede verse afectada por la actividad agrícola, expuesta a agroquímicos (Polanco-Rodríguez *et al.*, 2015). También puede verse afectada por las prácticas de fecalismo al aire libre y los basureros municipales y clandestinos expuestos (González-Herrera *et al.*, 2018). La escasa información sobre el acuífero en esta área geográfica no permite entender si existen problemas, la magnitud de este y/o como prevenir o mitigar los efectos de la actividad humana sobre el mismo.

En el tema 3 (infiltración del agua), se encontró que el sistema kárstico de Yucatán presenta una triple porosidad (Gondwe *et al.*, 2010; Bauer-Gottwein *et al.*, 2011). Esta característica particular afecta profundamente la vulnerabilidad del acuífero, ya que se filtran todos los contaminantes de la superficie al agua subterránea. Los programas y libros de texto enuncian que el paso del agua por un sistema karst equivale a un proceso de filtración, el agua no se purifica en el proceso, ni se hace más potable, todo lo contrario, en las actuales circunstancias, el agua está altamente contaminada como lo han demostrado muchas publicaciones en el tema (Aguilar-Duarte *et al.*, 2016; González-Herrera *et al.* 2108).

La alta conductividad hidráulica del material geológico y las condiciones climáticas, provocan que la recarga natural no sea uniforme y previsible (Perry *et al.*, 1995; Bakalowicz, 2005; Heise, 2013). Esta heterogeneidad provoca que incluso en una misma zona se encuentren diferencias en la infiltración, sin embargo, existen zonas de recarga del acuífero

bien delimitadas, como el anillo de cenotes. Por esta característica particular este anillo requeriría una protección especial, que no recibe, ya que los mismos son usados con fines turísticos y recreacionales entre otros.

En el tema 4 (Almacenamiento de agua subterránea) se encontró que, debido a la infiltración y las características geológicas, no hay ríos superficiales y el agua subterránea se aloja en las grietas, fracturas, cavidades y poros intersticiales (Steinich *et al.*, 1996; Cervantes-Martínez, 2007). En este apartado, se identificó la necesidad de que se realicen más estudios sobre cómo el incremento de la población afecta el almacenamiento y volumen del agua subterránea, por ejemplo, el aumento de la especulación inmobiliaria en la ciudad de Mérida (Domínguez-Aguilar, 2009) ha provocado la deforestación de grandes extensiones de selva baja y ha afectado la cubierta vegetal, muy importante para retener agua y para disminuir la evapotranspiración (Cervantes-Martínez, 2007). Adicionalmente en los complejos residenciales de lujo se ha optado por dinamitar áreas de cenotes para crear lagos artificiales, que aumentan la evaporación y uso inadecuado de un recurso hídrico, sólo con intenciones estéticas y de mercadeo.

En los programas educativos se promueve el concepto de que el agua subterránea en Yucatán es una extensa red de ríos subterráneos, esto es falso, ya que el concepto de río implica un flujo o corriente de agua en movimiento, generalmente rápido que desemboca en un lago o en el océano (Martínez-Alfaro, 2006), adicionalmente, no todos los depósitos de agua subterránea están conectados.

En el tema 5 (conformación y tipo de acuífero), se encontró que el acuífero de Yucatán es una lente de agua dulce sobre una lente agua salada, cuyo espesor varía de acuerdo con la cercanía a la costa. Se identificaron en Yucatán dos tipos de acuífero (Fig. 3), de

acuerdo con sus características hidrológicas se clasifica como libre en el interior del estado y confinado en la costa (Bauer-Gottwein *et al.*, 2011; Marín *et al.*, 2004). Nuevamente, se encontraron más publicaciones sobre la dinámica del acuífero en la zona norte de la península que en la zona centro y sur del estado.

En los programas educativos no se brinda esta información, en consecuencia, los estudiantes no tendrían la información para identificar la conformación del acuífero regional, distinguir las diferencias entre los tipos de acuífero y reconocer el funcionamiento, los procesos, las problemáticas y las estrategias de conservación inherentes a cada uno.

El tema 6 (flujo del agua subterránea), es en el que hay menor número de publicaciones, el consenso general indica que en la península el flujo de agua es radial de sur a norte (Gondwe *et al.*, 2010; Bauer-Gottwein *et al.*, 2011). Debido al bajo gradiente hidráulico el movimiento de agua a nivel horizontal es lento (7 - 10 mm/km). La lente de agua cambia principalmente a través de la precipitación y los cambios y movimientos son en un plano principalmente vertical (Cervantes-Martínez, 2007). La recarga natural de agua subterránea es afectada principalmente por la precipitación, (aumenta en temporada de lluvias, disminuye en temporada de secas) y por la evapotranspiración en menor medida (González-Herrera, 2002). Algunas regiones como las lagunas y llanuras de inundación, se vuelven área de afloramiento porque la capa impermeable de caliche inhibe la infiltración y los cambios en el nivel del agua subterránea costera se rigen directamente por las mareas (Heise, 2013).

En este rubro, se sugiere incrementar los estudios sobre la velocidad y volumen del caudal, esto es importante porque debido a la exposición permanente a los contaminantes de la superficie (Steinich *et al.*, 1996; Marín *et al.*, 2003; Marín y Perry, 2012), ambos son

claves en los procesos de contaminación haciendo al manto sumamente vulnerable a la misma, ya que el movimiento de los contaminantes es mínimo así como la dilución, la concentración de los contaminantes no disminuye a través del tiempo.

En los programas educativos, esta información no está disponible, esto puede crear una confusión respecto a la conformación y velocidad del flujo, ya que en los libros de texto se maneja el concepto de ríos subterráneos para describir el acuífero y los estudiantes están asociando el flujo al de los ríos, rápido y abundante. Esto crea un concepto falso de lo que es el acuífero y cómo funciona.

La relación entre el agua subterránea y agua salada (intrusión salina) se abordó en el tema 7 y a pesar de la gran cantidad de publicaciones sobre la contaminación por agua salina (Graniel *et al.*, 2004; Pacheco-Ávila *et al.*, 2004) no existe una sinergia entre esa información y la gestión gubernamental del agua. Los pozos de inyección de aguas residuales operan a 80 m de profundidad (JAPAY, 2019), se considera que, mediante la inyección de aguas residuales en los niveles profundos de los acuíferos salinos, estas eventualmente llegan al mar, apostándole a la dilución de los contaminantes cuando entran a los sistemas marinos, en vez de apostarle a un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Esto es una política muy grave, (i) la descarga hacia el mar es demasiado lenta para considerarse un factor de dilución; (ii) la situación es más peligrosa porque generalmente las aguas residuales no reciben un tratamiento adecuado antes de descargarlas al acuífero (Heise, 2013); (iii) reconoce como permisible la contaminación de los sistemas marinos.

La intrusión salina ha aumentado debido al incremento de extracción de agua dulce (Graniel *et al.*, 1999; Graniel *et al.*, 2004; Heise, 2013), esto permite que la cuña marina

penetre más, es necesario realizar más estudios longitudinales y estacionales en las zonas más vulnerables del acuífero, un ejemplo concreto sería hacer un estudio completo sobre las consecuencias de la extracción de agua por la industria cervecera ubicada en el municipio de Hunucmá. Esta actividad ha provocado que al menos 20 poblaciones adyacentes hayan reportado escasez de agua y salinización de sus pozos (Ucán, 2018). La producción anual de dicha cervecera es de 7 millones de hectolitros de cerveza (Rodríguez, 2017), para su producción se necesitan 22 millones de hectolitros de agua, este incremento en la extracción de agua dulce cerca de la costa va a provocar el aumento de la intrusión salina. La cervecera utiliza un recurso de la nación mediante concesiones, pero esa explotación va en detrimento del acuífero (Delgado *et al.*, 2014; Martínez-Zazueta, 2018).

En los programas educativos y en los libros de texto, el concepto de intrusión marina no se aborda, la falta de este conocimiento podría provocar que los alumnos desconozcan el equilibrio entre el agua dulce y salada, la relación entre el aumento de extracción de agua dulce y el riesgo de contaminación salina e ignorar una de las fuentes de contaminación más importantes del acuífero (Grael *et al.*, 2004).

En el tema 8 (vulnerabilidad a la contaminación) se pudo comprobar que en los últimos años las investigaciones sobre el acuífero se han enfocado en identificar zonas vulnerables y tipos de contaminantes, esto se debe probablemente a que las consecuencias de los contaminantes en el ecosistema son cada vez más notorias. A pesar del incremento de publicaciones en las que se identifican contaminantes en el acuífero (Hoogesteijn *et al.*, 2015; Méndez-Novelo *et al.*, 2015; Polanco *et al.*, 2015; Giácoman *et al.*, 2017), elaboración de mapas de las zonas más vulnerables (Frausto *et al.*, 2006; Torres-Díaz *et al.*, 2014; Aguilar-Duarte *et al.*, 2016; González-Herrera *et al.*, 2018) e identificación de actividades

agroindustriales de alto riesgo (Marín *et al.*, 2012; Torres-Díaz *et al.*, 2014), esta información no es conocida por la población general y los entes gubernamentales hacen caso omiso de la misma. El desarrollo económico está descontextualizado del entorno natural, lo que incrementa la vulnerabilidad. La población no identifica los riesgos de este crecimiento industrial, ni exige una mejor gestión de los recursos hidrogeológicos.

En los programas educativos, esta información se aborda de forma somera, ya que no se incluye información sobre el sistema kárstico y no se explica la relación entre la infiltración del suelo y la contaminación del agua subterránea, esto puede provocar que los estudiantes no identifiquen las fuentes de contaminación específicas que afectan el acuífero, esto se demostró en la sección de Resultados pues el 50 % de los estudiantes no identificarán correctamente dichas fuentes de contaminación. Adicionalmente, la educación formal no cumple con las sugerencias de EDS ya que la información ofrecida está descontextualizada de la realidad geográfica en la que se imparte la enseñanza.

El tema 9 (Riesgos para la salud) es uno de los que poseen mayor número de publicaciones. El estado de Yucatán se encuentra en el último lugar a nivel nacional en cuanto a saneamiento del agua, pues se calcula que se trata aproximadamente el 4.2% de las aguas residuales para una población de 2 millones de habitantes (CONAGUA, 2018). Esto implica que hay una emisión constante de contaminantes hacia el acuífero debido a la agricultura, ganadería, manufactura, turismo, uso urbano, industrial, etc., en los que se utilizan y desechan productos manufacturados que dependiendo de su concentración y de su forma química pueden ser altamente contaminantes (Polanco-Rodríguez *et al.*, 2015; Giacomán *et al.*, 2017).

Se ha encontrado asociación entre el agua contaminada con agroquímicos y la alta prevalencia de cáncer cervicouterino, cáncer de mama, malformaciones congénitas y de

mortalidad fetal e infantil (Polanco *et al.*, 2015). El incremento de enfermedades gastrointestinales debido a la ingesta de agua bacteriológicamente contaminada se ha asociado a la alta mortalidad y afectaciones al crecimiento infantil en niños menores de cinco años (Bern *et al.*, 1992, Herrera-Benavente *et al.*, 2018; Piguave-Reyes *et al.*, 2109).

En los programas educativos se encontró que se brindan las características del agua potable y su importancia para preservar la salud humana y ambiental, así como estrategias para conservar el agua, orientadas a prevenir su escasez. Sin embargo, las herramientas que señalan en los programas para evitar la contaminación se enfocan en la correcta disposición de los residuos sólidos urbanos y el reciclaje, ambos conceptos son útiles, pero no son la fuente de contaminación del acuífero de Yucatán. Se sugieren incluir temas sobre prácticas que pueden originar enfermedades como el fecalismo abierto, instruir a las comunidades en el uso de baños secos, explicar cómo funcionan las fosas sépticas y la importancia de que cumplan con los reglamentos de construcción, así como alternativas para el manejo de aguas residuales domésticas.

## **6.2. Conocimientos de estudiantes sobre hidrogeología regional**

Los resultados obtenidos tanto en el cuestionario aplicado como en la entrevista demuestran que en general el conocimiento de los estudiantes sobre los recursos hidrogeológicos es escaso, incluso en los temas más abordados como el ciclo y la contaminación del agua.

Para un ciudadano es fundamental entender el ciclo del agua (Pardo y Rebollo, 2008). Este conocimiento debería brindar las herramientas para que el estudiante infiera cómo es el

ciclo del agua en su región y su dependencia del clima, la vegetación y los suelos. Sólo el 25% de los estudiantes identificó en su totalidad el ciclo del agua (Cuadro 5).

En el programa educativo, el ciclo del agua se enseña sin las fases de escorrentía y de flujo de agua subterránea, lo que concuerda con las respuestas de los estudiantes en el que la escorrentía fue la fase menos reconocida, sin embargo, en los instrumentos de evaluación más del 80% de los estudiantes pudieron identificar el flujo de agua subterránea. Eso puede deberse a que pudieron deducir la posición dentro del esquema, pues el recuadro se encontraba en la parte subterránea y pudieron ubicarlo como agua debajo de la tierra.

Los estudiantes desconocen las variables que afectan el ciclo del agua e ignoran que las actividades humanas pueden interferir y modificar este ciclo, trayendo como consecuencia la escasez y mala calidad del líquido.

Existe un vacío notorio del conocimiento relacionado con la disponibilidad de agua dulce en el planeta, fundamental para entender la importancia de cuidarla (Cuadro 6) (Oki y Kanae, 2006), ya que, aunque el ciclo del agua es constante, este se ve afectado por las condiciones locales como el tipo de suelo, la capacidad de recarga, la gestión y la infraestructura para captarla y extraerla. Este concepto fue integrado correctamente por el 7% de los estudiantes, lo que concuerda con el abordaje superficial de este contenido en el Programa Educativo. Las consecuencias de esta falta de conocimiento se manifiestan en la falta de reconocimiento de la escasez de agua y la importancia de una buena gestión de ese líquido para aprovecharlo y evitar su desperdicio.

Los estudiantes tienen un conocimiento escaso sobre los procesos relacionados con el sistema kárstico, pues no reconocen los procesos de infiltración relacionados al tipo de suelo

ni como estos influyen en la formación de depósitos de agua subterránea, así mismo, desconocen la caracterización topográfica regional. Esto coincide con la escasez de información proporcionada en los programas educativos y libros de texto sobre este tema.

La contaminación de agua y sus consecuencias para la salud son temas recurrentes, que se abordan a lo largo de los cuatro grados examinados. Esta repetición a lo largo del ciclo educativo de primaria coincide con las preguntas que obtuvieron los porcentajes más altos de respuestas correctas. Este resultado es muy alentador ya que indica que, si un contenido es abordado constantemente y a profundidad, los estudiantes se apropiaron del mismo, adicionalmente, en las respuestas se observó que los estudiantes relacionan este conocimiento con sus experiencias personales relacionadas con la ingesta de agua contaminada y adicionalmente relatan que han tenido problemas con la ingesta de agua entubada, esto brinda una idea de la magnitud del problema de la contaminación (Cuadro 7).

En contraste, el 50% de la muestra identificó las fuentes de contaminación del acuífero y el 70% no reconoció que los contaminantes del suelo pueden filtrarse al agua subterránea. El 50% de los estudiantes no están identificando el origen de la contaminación y por consiguiente no reconocen las problemáticas ambientales relacionadas al acuífero, tienden a identificar la palabra genérica basura y el concepto de cambio climático como los responsables de la afectación y aunque estos pueden afectar de manera global, no son las principales fuentes de contaminación.

En relación con la obtención de agua dulce, a pesar de que el 60% de los estudiantes reconocen que el agua subterránea es la única fuente de agua dulce (Cuadro 6), el 70% de la muestra no reconoce que es la misma agua que utilizan en sus domicilios; algunos creen que viene de ríos, lagos, mares y desconocen los procesos de extracción de agua relacionados a

la infraestructura urbana (Cuadro 7). Aquí se identifica un estado mental conocido como disonancia cognitiva (Harmon-Jones *et al.*, 2015; Kaaronen, 2018), pues poseen dos conocimientos que se contraponen entre sí. Los estudiantes no fueron capaces de hacer la conexión entre el agua en sus casas y el origen de esta. Esto no sorprende, ya que los libros y los programas específicamente hacen énfasis en lagos y ríos como fuentes de agua, pero no acuíferos subterráneos. Esto se agrava porque los estudiantes no tienen los fundamentos suficientes para discernir y comparar la información obtenida debido a que los contenidos educativos no tienen los elementos que les permitan integrarla al acervo cognitivo, esto puede provocar que, ante la incertidumbre, opten por ignorar lo aprendido y supongan la respuesta. La disonancia cognitiva en aspectos ambientales a menudo tiene un alto costo ecológico y social debido a las repercusiones que ocasiona la ignorancia sobre el entorno (Kaaronen, 2018).

Se solicitó a los estudiantes que realizaran un dibujo del acuífero subterráneo de Yucatán; se analizaron los elementos conceptuales y contextuales de las representaciones. Los productos obtenidos demuestran que el cenote es el elemento más reconocido del acuífero, llama la atención que los estudiantes que nunca los han visitado los representaron, esto puede deberse a que tienen una gran demanda turística y reciben una mucha publicidad y a que en el libro de “Mi Entidad Yucatán” también hay imágenes de cenotes.

Se realizó un resumen de los elementos conceptuales más representados (Fig. 8). Se presentan ejemplos de las representaciones de agua subterránea (Fig. 9) y de la roca subterránea (Fig. 10), en términos generales los estudiantes reconocen la existencia de agua subterránea. El 3% esquematizó el lente de agua dulce sobre agua salada (Fig. 11) de éstos, el 1% lo representó erróneamente al poner una capa de roca entre los dos lentes (Fig. 12) esto

indica que desconocen la conformación del acuífero y que aun los que la identifican, pueden tener dificultades para entender y conceptualizar las diferencias de densidad entre el agua dulce y salada. Otros ejemplos frecuentes de conceptualizaciones equivocadas fueron: i) representar al acuífero como tuberías entre casas (Fig. 13), esto puede deberse a que tienen la noción de una infraestructura para distribuir el agua pero no reconocen la fuente de la misma; ii) dibujar una roca sólida, esto sugiere que no se integró el concepto de acuífero como un cuerpo de roca que contiene agua (Fig. 14); iii) agua superficial con olas (Fig. 15) lo que indica que no se ubica como un elemento subterráneo y que el movimiento de agua se identifica como caudaloso y en constante movimiento; y iv) un mar rodeado de montañas (Fig. 16) esto sugiere que se desconoce la topografía regional. Esto llama la atención porque en la instrucción se incluyeron las palabras “acuífero” y “subterráneo”, esto puede implicar, tanto cierta dificultad para entender y seguir instrucciones como ignorancia sobre el significado de ambas palabras.

En el caso de los elementos contextuales los cenotes son representados como elementos no urbanos (Figs. 17, 18), no reconocen que la ciudad está sobre un acuífero. Menos de 15% de los estudiantes representaron el acuífero bajo la ciudad con elementos de infraestructura urbana para la extracción de agua, como pozos y tuberías (Fig. 19,20), lo que reafirma que no conocen los procesos relacionados a la gestión del agua.

Es interesante que dibujaron pocas personas y las que dibujaron, estaban realizando actividades (Fig. 21) como nadar, bucear, jugar, comer al aire libre afuera de los cenotes; lo que indica la actividad turística con la que se les asocia.

Este ejercicio de investigación no se propuso asignar calificaciones a los estudiantes, sin embargo, usando los lineamientos desarrollados por la SEP (DOF, 2018), se realizó una evaluación numérica (Fig. 22).

Se realizó la estadística descriptiva (Cuadro 8) y se encontró que con excepción de la escuela cuatro, que presentó una media ligeramente más alta, las otras doce escuelas tuvieron medias reprobatorias (35 puntos o menos). Adicionalmente, se realizó una gráfica de intervalos de calificaciones y se identificaron dos escuelas (2 y 4) con las medias ligeramente más altas, en ambas tanto el personal como algunos estudiantes, mencionaron que la Asociación civil “Niños y Crías, AC.”, impartieron en años anteriores talleres y conferencias sobre los cenotes. En el caso de la Escuela 2, el nivel de aprobación fue de 45% y el de la Escuela 4 el 50% de aprobación. Estos estudiantes tuvieron acceso a información sobre hidrogeología regional de manera informal, como consecuencia, cerca de la mitad pudo asimilarla y reproducirla. Esta intervención nos permite demostrar que, si la información se sistematiza y se incluye en el currículo formal a lo largo de la educación primaria, es posible aumentar el nivel de adquisición del conocimiento.

Con el fin de establecer una correlación entre el nivel socioeconómico y el índice de aprobación, partiendo de la premisa de que los alumnos procedentes de contextos desfavorecidos tienden a obtener resultados escolares inferiores que los que logran quienes proceden de niveles socioeconómicos altos (Gil-Flores, 2011), se elaboró un mapa de calificaciones aprobatorias y reprobatorias de acuerdo con la localización geográfica de las escuelas participantes (Fig. 24). Los estudiantes que procedían de sectores socioeconómicos, comisarías y municipios catalogados como diferentes desde la perspectiva socioeconómica presentaron el mismo nivel de reprobación independientemente de su ubicación geográfica.

Se podría expresar que la falta de conocimiento es generalizada, afecta a los diferentes sectores de la población y atribuible a las fallas del sistema educativo mexicano y que probablemente no está relacionada con el nivel socioeconómico de los estudiantes que asisten al sistema público. Sería interesante realizar un estudio similar en el sistema privado para entender si existen diferencias, cuáles son y a qué se deben.

Estos resultados de la evaluación escrita se vieron validados con los resultados de las entrevistas. Se pueden observar las mismas fallas de respuesta que en el cuestionario en los temas de distribución de agua dulce en la hidrósfera y en Yucatán, procesos kársticos y gestión del agua (Cuadros 10,11,12).

Se investigó si la visita a los cenotes podría ayudar a que los estudiantes relacionen las actividades turísticas con posibles riesgos de contaminación (Cuadro 13). El 84% de los estudiantes que han visitado cenotes, identifican que las actividades que realizan durante la excursión pueden contaminar el acuífero, por el contrario, los estudiantes que no han visitado estas formaciones son incapaces de reconocer que las actividades que se realizan en ellos pueden ser un riesgo para la calidad del agua. Es importante que, si se siguen promoviendo los cenotes como destinos turísticos, se regulen y monitoreen las acciones que ahí se realizan. Esa actitud debe promoverse desde la infancia.

Se estudió la posibilidad de una correlación entre la calificaciones aprobatorias y la visita al cenote (Cuadro 14), la intención fue identificar si una visita a un cenote permitía entender mejor el funcionamiento del acuífero. No se encontró correlación, probablemente debido a que los estudiantes no tienen un conocimiento de base que les permitan inferir relaciones o reconocer procesos kársticos. Es un proceso que sería interesante seguir investigando ya que por lo general se determina que una experiencia vivencial es más

eficiente en los procesos de aprendizaje que solo una demostración teórica (Lieflander *et al.*, 2015).

Los resultados deficientes que presentaron los estudiantes que cooperaron en este estudio, se relacionan directamente con el sistema educativo, ya que el 97% manifestaron que la escuela fue la principal fuente de información sobre los recursos hidrogeológicos. Dicha fuente está constituida por los maestros, los programas, los libros de texto y las bibliotecas. La segunda fuente de información identificada fue el internet (61%), sin embargo, la motivación para hacer búsquedas en internet se debe a que los maestros así lo solicitan y no a una motivación espontánea para satisfacer una curiosidad propia o entender mejor el entorno. Estos resultados coinciden con los de Villegas-Pérez *et al.* (2017), que identificaron que los alumnos utilizan las tecnologías de información y comunicación, principalmente para actividades de esparcimiento más que para labores escolares y que sus competencias al respecto son limitadas. La escuela es el eje de información, especialmente en cuanto a contenidos científicos, pues los estudiantes difícilmente buscan este tipo de información para satisfacer su curiosidad.

Para seguir explorando internet como una fuente de información es importante describir cómo es el acceso al mismo, ya que en países en vías de desarrollo su acceso no es universal y queda limitado a la capacidad adquisitiva de tecnología que tenga la población en general y los padres en particular (Villegas-Pérez *et al.*, 2017). Se les preguntó a los estudiantes cómo era su acceso a la internet, el 71% manifestó tener conexiones en sus domicilios, accediendo principalmente por el teléfono celular, ya sea propio (38%) o de un familiar (12%). Sabemos entonces, cuál es el medio y la tecnología que más se utiliza. Así, cualquier estrategia educativa relacionada con las tecnologías de comunicación, deberán incluir herramientas

digitales como una aplicación didáctica sobre hidrogeología regional que puedan descargar en línea.

El 29% de la muestra mencionó que para utilizar internet tuvo que ir a casa de un familiar (40%), a la papelería (36%) y al parque (24%). Esta limitación de acceso a la información dificulta la realización de las actividades académicas. Los estudiantes que cuentan con computadora e internet en sus hogares dominan tres de las seis competencias propuestas por los estándares de competencias digitales: comunicación y colaboración, investigación y manejo de la información, y funcionamiento y conceptos de tecnologías de información y comunicación (Villegas-Pérez *et al.*, 2014). Los estudiantes que no poseen estas facilidades están en clara desventaja.

El crecimiento económico y el progreso de Yucatán se está desarrollando a costa de un recurso tanpreciado como el agua. Estas políticas eventualmente tendrán graves consecuencias económicas para el mismo sistema que se quiere priorizar. Tenemos que aprender a vivir de otra manera y el currículum escolar debe enseñar a construir nuevos modelos de convivencia asentados en una ciudadanía capaz de analizar críticamente los errores de gerencia de recursos naturales, rescatando el principal valor de la educación: la transmisión de conocimientos esenciales para las siguientes generaciones, con el fin de asegurar no sólo la supervivencia de la especie, sino también la calidad de vida dentro de un ecosistema saludable y sostenible.

Es urgente resolver estas fallas educativas, ya que la educación básica es la de mayor cobertura, la base de la formación de las ciencias naturales y en el caso de Yucatán, la única instrucción formal que recibirá gran parte de la población. Es necesario realizar una evaluación continua de los temas científicos relacionados al entorno regional. La

actualización de los contenidos educativos ayudará a que, eventualmente, los estudiantes tengan la información necesaria para conocer, comparar, proponer y exigir mejoras en la gestión de sus recursos hídricos, así como evitar realizar en la medida de sus posibilidades actividades que contaminen el acuífero. Es indispensable profesionalizar a los maestros en estos temas y que desde las normales de educación se incluya la información científica sobre el acuífero de Yucatán, para que puedan guiar a los alumnos en la adquisición de aprendizajes de forma más eficaz.

El resultado de la mala gestión de los recursos hidrogeológicos en los últimos 500 años ha sido el alto grado de contaminación que presenta; mientras en el pasado la baja densidad demográfica mimetizaba el problema, el desarrollo en escalada de la región tiene consecuencias para salud humana y ambiental ya discutidas. Utilizar todos los recursos biológicos y sociales al alcance para rescatarlos y conservarlos debe ser el primer punto en la agenda gubernamental y educativa.

## Referencias bibliográficas

- Abd-El-Khalick, F., Boujaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., y Tuan, H. L. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education*, 88(3), 397-419.  
doi: <https://doi.org/10.1002/sce.10118>
- Acevedo, J.A. (2005). TIMSS y PISA. Dos proyectos internacionales de evaluación del aprendizaje escolar en ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(3), 280-301.  
doi: [http://dx.doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2005.v2.i3.01](http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2005.v2.i3.01)
- Aguilar-Duarte, Y., Bautista, F., Mendoza, M. E., Frausto, O., Ihl, T., y Delgado, C. (2016). IVAKY: índice de la vulnerabilidad del acuífero kárstico yucateco a la contaminación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15(3), 913-933.
- Alonso, L.E. (1995). Sujeto y discurso. El lugar de la entrevista abierta en las prácticas de la sociología cualitativa. En: Delgado, J.M. y Gutiérrez, J. (Eds.). *Métodos y Técnicas cualitativas de Investigación en Ciencias Sociales* (pp. 225-240). España: Ed. Síntesis.
- Amador-Bautista, R. (2003) Investigación México y América Latina durante la década de 1992-2002. En: López y Mota, A. (Ed.). *Saberes científicos, humanísticos y tecnológicos: procesos de enseñanza y aprendizaje* (pp.30-46). Colección La investigación educativa en México 1992-2002, núm. 7. Consejo Mexicano de Investigación Educativa. México: Grupo Ideograma Editores.
- Amaya-Martínez, R. (2007). *La investigación en la práctica educativa: Guía metodológica de investigación para el diagnóstico y evaluación en los centros docentes*, (pp.39-106). España: Ministerio de Educación y Ciencia. Dirección General de Educación, Formación Profesional e Innovación Educativa.
- Andreu, J. M., Calaforra, J. M., Cañaveras, J. C., Cuevaz, S., Durán, J. J., Garay, P., y Ordóñez, S. (2016). Karst: un concepto muy diverso. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 24(1), 6-20.
- Bakalowicz, M. (2005). Karst groundwater: a challenge for new resources. *Hydrogeology Journal*, 13(1),148-160. doi: <https://doi.org/10.1007/s10040-004-0402-9>
- Barraza, L. (1999). Children's drawings about the environment. *Environmental Education Research*,5(1), 49-66. doi: <https://doi.org/10.1080/1350462990050103>

- Barraza, L. (2001). Environmental Education in Mexican Schools: The Primary Level. *The Journal of Environmental Education*, 32 (3), 31-36.  
doi: 10.1080/00958960109599143
- Batllori-Sampedro, E., González-Piedra, J. I., Díaz-Sosa, J., y Febles-Patrón, J. L. (2006). Caracterización hidrológica de la región costera noroccidental del estado de Yucatán, México. *Investigaciones Geográficas*, (59),74-92.  
doi: <http://dx.doi.org/10.14350/rig.30022>
- Bauer-Gottwein, P., Gondwe, B. R., Charvet, G., Marín, L. E., Rebolledo-Vieyra, M., y Merediz-Alonso, G. (2011). Review: The Yucatan Peninsula karst aquifer, Mexico. *Hydrogeology Journal*, 19(3), 507-524.  
doi: <https://doi.org/10.1007/s10040-010-0699-5>
- Bautista, F., Palacio-Aponte, G., Quintana, P., y Zinck, J. A. (2011). Spatial distribution and development of soils in tropical karst areas from the Peninsula of Yucatan, Mexico. *Geomorphology*, 135(3-4), 308-321.  
doi: 10.1016/j.geomorph.2011.02.014
- Bern, C., Martines, J., de Zoysa, I., y Glass, R. I. (1992). The magnitude of the global problem of diarrhoeal disease: a ten-year update. *Bulletin of the World Health Organization*, 70(6), 705–714.
- Bonneau, J., Fletcher, T. D., Costelloe, J. F., y Burns, M. J. (2017). Stormwater infiltration and the ‘urban karst’ A review. *Journal of Hydrology*, (552), 41-150.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.06.043>
- Campbell, J., Waliczek, T. M., y Zajicek, J. M. (1999). Relationship between environmental knowledge and environmental attitude of high school students. *The Journal of Environmental Education*, 30(3), 17-21.  
doi: 10.1080/00958969909601873
- Cervantes-Martínez, A. (2007). El balance hídrico en cuerpos de agua cársticos de la Península de Yucatán. *Teoría y Praxis* (3), 143-152.  
doi: 10.22403/UQROOMX/TYP03/12
- Coban, G. Ü., Akpınar, E., Küçükankurtaran, E., Yıldız, E., y Ergin, Ö. (2011). Elementary school students water awareness. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 20(1), 65-83.  
doi: <https://doi.org/10.1080/10382046.2011.540103>

- Colom, A. (2007). La complejidad del desarrollo sostenible. *Miscelánea Comillas. Revista de Ciencias Humanas y Sociales*, 65 (126), 511-534.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), (2018). Estadísticas del agua en México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua. 240. [fecha de consulta 9 de abril de 2019]. Disponible en: [http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM\\_2018.pdf](http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf)
- Delgado, G.C., Meza, A., Chávez, A., Navarro, I., y Ávila, S. (2014). Estudio de País: Una revisión de casos. En: Delgado, G. C. (Ed.). *Apropiación de agua, medio ambiente y obesidad: los impactos del negocio de bebidas embotelladas en México* (pp.75-165). Colección Alternativas. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2007). Decreto 757/2007. Ley de Educación del Estado de Yucatán. [fecha de consulta 6 de febrero de 2019]. Disponible en: [http://cgtaip.yucatan.gob.mx/datos/2008/sep/Ley\\_Educacion\\_Estado\\_Yucatan.pdf](http://cgtaip.yucatan.gob.mx/datos/2008/sep/Ley_Educacion_Estado_Yucatan.pdf)
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2016). Decreto 376/2016. Modificación a la Ley de Educación del Estado de Yucatán, en materia de educación ambiental. [fecha de consulta 7 de febrero de 2019]. Disponible en: [http://legismex.mty.itesm.mx/estados/ley-yuc/YUC-L-Edu-MatEduAmb2016\\_04.pdf](http://legismex.mty.itesm.mx/estados/ley-yuc/YUC-L-Edu-MatEduAmb2016_04.pdf)
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2018). Acuerdo número 12/05/18 por el que se establecen las normas generales para la evaluación de los aprendizajes esperados, acreditación, regularización, promoción y certificación de los educandos de la educación básica. [fecha de consulta 8 de mayo de 2019]. Disponible en: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5555921&fecha=29/03/2019](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5555921&fecha=29/03/2019)
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2000). Modificación a la norma oficial mexicana nom-127-SSA1-1994, salud ambiental. agua para uso y consumo humano. límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. México. [fecha de consulta 8 de mayo de 2019]. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/m127ssa14.html>
- Domínguez-Aguilar, M. C. (2009). Procesos recientes del acceso al agua potable en el México urbano: el caso de la Zona Conurbada de Mérida, Yucatán. *Investigaciones Geográficas*, (69), 68-84.

- Ehrlich, P. R. (2009). Cultural evolution and the human predicament. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(8), 409-412.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.03.015>
- Febles-Patrón, J. L., y Hoogesteijn, A. (2008). Análisis del marco legal para la protección del agua subterránea en Mérida, Yucatán. *Ingeniería*, 12(3), 71-79.
- Febles-Patrón, J. L., y Hoogesteijn, A. (2010). Evaluación preliminar de la eficiencia en las lagunas de oxidación de la ciudad de Mérida, Yucatán. *Ingeniería*, 14(2), 127-137.
- Fernández-González, N., y Monarca, H. (2018). Los sentidos de la rendición de cuentas en el discurso educativo. *Perfiles Latinoamericanos*, 26(51), 379-401.  
doi: 10.18504/pl2651-015-2018
- Fitts, C.R. (2002). *Groundwater Science*, United States of America: Academic Press.
- Fitzmaurice, A. (18 de octubre 2018) Cervecera afecta abasto de agua en 20 comunidades aledañas. Punto medio. [fecha de consulta 24 de septiembre de 2019]. Recuperado de: <https://www.puntomedio.mx/cervecera-afecta-abasto-de-agua-en-20-comunidades-aledanas/>
- Ford, D., & Williams, P. D. (2013). *Karst hydrogeology and geomorphology*, England: John Wiley & Sons.
- Frausto, O., Thomas, I., Rojas, J., Goldacker, S., Chale, G., Giese, S. y Bacab, J. (2006). Áreas susceptibles de riesgo en localidades de pobreza extrema en el sur de Yucatán. *Teoría y Praxis*, (2), 87-103.
- Gayford, C. (2004). A model for planning and evaluation of aspects of education for sustainability for students training to teach science in primary schools. *Environmental Education Research*, 10(2), 255-271.  
doi: <https://doi.org/10.1080/13504620242000194211>
- Giácoman, G., Lizárraga, I., Hernández, E., y Ponce, M. (2017). Presencia de plaguicidas en el acuífero cárstico entre los municipios de Mérida a Progreso, Yucatán, México. *Centro Azúcar*, 44(3), 1-13.
- Gil-Flores, J. (2011). Estatus socioeconómico de las familias y resultados educativos logrados por el alumnado. *Cultura y Educación*, 23(1), 141-154.  
doi: 10.1174/113564011794728597

- Gondwe, B. R., Lerer, S., Stisen, S., Marín, L., Rebolledo-Vieyra, M., Merediz-Alonso, G., y Bauer-Gottwein, P. (2010). Hydrogeology of the south-eastern Yucatan Peninsula: New insights from water level measurements, geochemistry, geophysics and remote sensing. *Journal of Hydrology*, 389(1-2), 1-17.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.04.044>
- González-Gaudiano, E. (2001). Otra lectura a la historia de la educación ambiental en América Latina y el Caribe. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 3, 141-158.  
doi: <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v3i0.3034>
- González-Gaudiano, E. (2008). Configuración y significado: educación para el desarrollo sustentable. En: González-Gaudiano, E. (Ed.) *Educación, Medio Ambiente y Sustentabilidad* (pp. 213-220). Universidad Autónoma de Nuevo León. México: Ed. Siglo XXI.
- González-Herrera, R., Albornoz Euán, B. S. I., Sánchez y Pinto, I. A., y Osorio Rodríguez, J. H. (2018). El acuífero yucateco. Análisis del riesgo de contaminación con apoyo de un sistema de información geográfica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(4), 667-683.  
doi: 10.20937/RICA.2018.34.04.09
- González-Herrera, R., Sánchez-y-Pinto, I., y Gamboa-Vargas, J. (2002). Groundwater-flow modeling in the Yucatan karstic aquifer, Mexico. *Hydrogeology Journal*, 10(5), 539-552. doi: 10.1007/s10040-002-0216-6
- Grael, C. E., Morris, L. B., y Carrillo-Rivera, J. J. (1999). Effects of urbanization on groundwater resources of Merida, Yucatan, Mexico. *Environmental Geology*, 37(4), 303-312. doi: <https://doi.org/10.1007/s002540050388>
- Grael, E., Vera, I., e Hita, L. G. (2004). Dinámica de la interfase salina y calidad del agua en la Costa Nororiental de Yucatán. *Ingeniería*, 8(3), 15-25.
- Gutiérrez, J., Benayas, J., y Calvo, S. (2006). Educación para el desarrollo sostenible: evaluación de retos y oportunidades del decenio 2005-2014. *Revista Iberoamericana de educación*, 40(1), 25-60.  
doi: <https://doi.org/10.35362/rie400781>
- Harmon-Jones, E., Harmon-Jones, C., y Levy, N. (2015). An action-based model of cognitive-dissonance processes. *Current Directions in Psychological Science*, 24(3), 184-189. doi: <https://doi.org/10.1177%2F0963721414566449>

- Heise, L. (2013). Dynamics of the coastal karst aquifer in Northern Yucatán peninsula. Repositorio Nacional Conacyt (Tesis de maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí). [fecha de consulta 10 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://ninive.uaslp.mx/xmlui/handle/i/3692>
- Herrera-Benavente, I. F., Comas-García, A., y Mascareñas-de los Santos, A. H. (2018). Impacto de las enfermedades diarreicas agudas en América Latina. Justificación del establecimiento de un Comité de Enfermedades Diarreicas en SLIPE. *Revista Latinoamericana de Infectología Pediátrica*, 31(1), 8-16.
- Hoogesteijn Reul, A. L., Febles-Patrón, J. L., y Nava-Galindo, V.A. (2015). La contaminación fecal en cenotes de interés turístico y recreacional del estado de Yucatán. *Ingeniería*, 19(3), 169-175.
- Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INEE). (2005). La calidad de la Educación Básica en México 2005, (177 pp.). INEE. México. Disponible en: <https://www.inee.edu.mx/publicaciones/la-calidad-de-la-educacion-basica-en-mexico-2005/>
- Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INEE) (2016). Los fines de la Educación en el siglo XXI. Comentarios del Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación. INEE. México. [fecha de consulta 27 de noviembre de 2019]. Disponible en: [https://www.inee.edu.mx/wp-content/uploads/2019/06/Comentarios\\_INEE1402173.pdf](https://www.inee.edu.mx/wp-content/uploads/2019/06/Comentarios_INEE1402173.pdf)
- Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INEE). (2018). Indicadores del sistema educativo nacional. Educación Básica y Media Superior. INEE. México. [fecha de consulta 9 de diciembre de 2019] Disponible en: <https://www.inee.edu.mx/publicaciones/panorama-educativo-de-mexico-2018-educacion-basica-y-media-superior/>
- James, J. J., y Bixler, R. D. (2008). Children's Role in Meaning Making Through Their Participation in an Environmental Education Program. *Journal of Environmental Education*, 39(4), 44-59.  
doi: <https://doi.org/10.3200/JOEE.39.4.44-59>

- Jones, J. A. A. (2011). Groundwater in peril. En: Jones, J. A. A. (Ed.). *Sustaining groundwater resources: a critical element in the global water crisis. International Year of Planet Earth* (pp.1-20). United States of America: Ed. Springer Science & Business Media.  
doi: 10.1007/978-90-481-3426-7\_1
- Kaaronen, R.O. (2018). A Theory of Predictive Dissonance: Predictive Processing Presents New Take on Cognitive Dissonance. *Frontiers in Psychology*, 9, 2218. doi: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02218>
- Keramitsoglou, K. M., y Tsagarakis, K. P. (2011). Raising effective awareness for domestic water saving, evidence from an environmental educational program in Greece. *Water Policy*, 13(6), 828-844. doi:10.2166/wp.2011.103
- Kopnina, H. (2012). Education for sustainable development (ESD): ¿the turn away from ‘environment’ in environmental education? *Environmental Education Research*, 18:5, 699-717, DOI: 10.1080/13504622.2012.658028
- La Follette, C., y Maser, C. (2017). Sustainability and the Rights of Nature: An Introduction, (418 pp.). Ed. CRC Press.  
doi: <https://doi.org/10.1201/9781315155999>
- Lehman, P.K., y Geller, E.S. (2004). Behavior Analysis and Environmental Protection: Accomplishments and Potential for More. *Behavior and Social Issues*. 13, 13–33. <https://doi.org/10.5210/bsi.v13i1.33>
- Lieflander, A. K., Bogner, F. X., Kibbe, A., y Kaiser, F. G. (2015). Evaluating environmental knowledge dimension convergence to assess educational programme effectiveness. *International Journal of Science Education*, 37(4), 684-702. doi: <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1010628>
- Long, D. T., Pearson, A. L., Voice, T. C., Polanco-Rodríguez, A. G., Sánchez-Rodríguez, E. C., Xagorarakis, I., y Rzotkiewicz, A. T. (2018). Influence of rainy season and land use on drinking water quality in a karst landscape, State of Yucatán, Mexico. *Applied Geochemistry*, 98, 265-277.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.09.020>
- López-Tamayo, A. (2015). Exploración geofísica para la prospección hidrogeológica del sistema Pool Tunich, Solidaridad, Quintana Roo, México. (Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica de Yucatán). [fecha de consulta 5 de abril de 2019]. Disponible en: <http://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1003/364>

- López-Valentín, D. M. y Guerra-Ramos, M.T. (2013). Análisis de las actividades de aprendizaje incluidas en libros de texto de ciencias naturales para educación primaria utilizados en México. *Enseñanza de las Ciencias*. 31(2), 173-191.
- Malgouyres, F. (2014). Descentralización y recentralización educativa en una perspectiva comparada de tres países federales latinoamericanos. *Trace. Travaux et recherches dans les Amériques du Centre*, 65, 69-80.  
doi: <http://dx.doi.org/10.22134/trace.65.2014.50>
- Manohar, L., Bhajan, S., Jitendra, P., Abhishek, P. (2018). Climate Change and Groundwater: Impact, Adaptation and Sustainable. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 9,408-415.  
doi: 10.23910/IJBSM/2018.9.3.3C0671b
- Mares-Cárdenas, G., Guevara- Benítez, Y., Rueda- Pineda, E., Rivas- García, O., y Rocha-Leyva, H. (2004). Análisis de las interacciones maestra-alumnos durante la enseñanza de las ciencias naturales en primaria. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 9(22), 721-745.
- Mares-Cárdenas, G., Rivas, O., Pacheco, V., Rocha, H., Dávila, P., Peñalosa, I., y Rueda, E. (2006). Análisis de lecciones de enseñanza de biología en primaria. Propuesta para analizar los libros de texto de ciencias naturales. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11(30), 883-911.
- Marín, L. E., Steinich, B., Pacheco, J., y Escolero, O. A. (2000). Hydrogeology of a contaminated sole-source karst aquifer, Mérida, Yucatán, México. *Geofísica Internacional*, 39(4), 359-365.
- Marín, L., Perry, E., Essaid, H., y Steinich, B. (2004). Hydrogeological Investigations and Numerical Simulation of Groundwater Flow in the Karstic Aquifer of Northwestern Yucatan, Mexico. In Cheng, A. H., y Ouazar, D. (Eds.) *Coastal Aquifer Management: Monitoring, Modeling and Case Studies* (pp. 257-278). United States of America: CRC Press.
- Marín, L., y Perry, E. (2012). The hydrogeology and contamination potential of northwestern Yucatan, Mexico. *Geofísica Internacional*, 33(4).
- Marín, S., Pacheco, A., y Méndez, R. (2004). Hidrogeología de la Península de Yucatán. En: Jiménez, B, Marín, L. (Eds). *El agua en México vista desde la Academia* (pp.159-176). México: Academia Mexicana de Ciencias.

- Martínez-Alfaro, P. E., Martínez-Santos, P. y Castaño-Castaño, S. (2006). *Fundamentos de hidrogeología*. España: Ed. Mundi-Prensa Libros.
- Martínez-Peña, R. M., Hoogesteijn, A. L., Rothenberg, S. J., Cervera-Montejano, M. D., y Pacheco-Ávila, J. G. (2013). Cleaning products, environmental awareness and risk perception in Mérida, México. *Plos One* 8(8), e74352.  
doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0074352>
- Martínez-Peña, R.M. (2008). Percepción de riesgo del uso de productos de limpieza domésticos en Mérida, Yucatán. (Tesis de Maestría, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN). [fecha de consulta 13 de octubre de 2018].  
Disponible en:  
<https://www.mda.cinvestav.mx/FTP/EcologiaHumana/maestria/tesis/06TesisMartinezM08.pdf>
- Martínez-Zazueta, I. (6 de marzo 2018). Constellation Brands, el saqueo del agua y la superexplotación laboral en Mexicali. *Geografía Septentrional*. [fecha de consulta 5 de diciembre de 2018]. Disponible en:  
<https://geografiaseptentrional.wordpress.com/2018/03/06/constellation-brands-saqueo-agua-superxplotacion-mexicali/>
- Medina-Mijangos, R. A. (2016). Análisis comparativo entre la región de Yucatán, México y una comunidad autónoma de España en el sector logístico con referencia a la metodología de estrategias de investigación e innovación. (Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña). [fecha de consulta 7 de febrero de 2019].  
Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/96887>
- Méndez-Novelo, R. I., Pacheco Ávila, J. G., Castillo Borges, E. R., Cabrera Sansores, A., Vázquez Borges, E. d. R., y Cabañas Vargas, D. D. (2015). Calidad microbiológica de pozos de abastecimiento de agua potable en Yucatán, México. *Ingeniería*, 19(1), 51-61.
- Moreira-Segura, C., Araya-Rodríguez, F., y Charpentier-Esquivel, C. (2015). Educación ambiental para la conservación del recurso hídrico a partir del análisis estadístico de sus variables. *Revista Tecnología en Marcha*, 28(3),74-85.  
doi: 10.18845/tm.v28i3.2413

- Nava-Galindo, V. (2015). Percepción, conocimiento local y descripción de la calidad del agua de cenotes de interés turístico y recreacional. (Tesis de Maestría, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN). [fecha de consulta 24 de septiembre de 2018]. Disponible en:  
<https://www.mda.cinvestav.mx/FTP/EcologiaHumana/maestria/tesis/13TesisNavaV15.pdf>
- Oki, T., y Kanae, S. (2006). Global hydrological cycles and world water resources. *Science*, 313(5790), 1068-1072. doi: 10.1126/science.1128845
- Ordorika, I., y Gómez, R. R. (2012). Cobertura y estructura del Sistema Educativo Mexicano: problemática y propuestas. En: Narro, J., Martuscelli, J., y Bárzana, E. *Plan de diez años para desarrollar el sistema educativo nacional* (pp.197-222). México: Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial, Universidad Nacional Autónoma de México. doi: 10.13140/2.1.3010.3046
- Pacheco-Ávila, J., Calderón- Rocher, L., y Cabrera- Sansores, A. (2004). Delineación de la zona de protección hidrogeológica para el campo de pozos de la planta Mérida I, en la ciudad de Mérida, Yucatán, México. *Ingeniería*, 8(1), 7-16.
- Pardo, P., y Rebollo, L. F. (2008). Análisis de libros de texto de Geología. Aplicación al ciclo del agua en ESO. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16(1), 79-91.
- Paredes-Chi, A. A., y Viga-de Alva, M. D. (2018). Environmental education (EE) policy and content of the contemporary (2009–2017) Mexican national curriculum for primary schools. *Environmental Education Research*, 24(4), 564-580. doi: <https://doi.org/10.1080/13504622.2017.1333576>
- Pérez-Tejada, H. (2008). *Estadística para las ciencias sociales, del comportamiento y de la salud*, 3a. ed. México: Cengage Learning Editores.
- Perry, E., Marín, L., McClain, J., y Velázquez- Oliman, G. (1995). Ring of cenotes (sinkholes), northwest Yucatan, Mexico: its hydrogeologic characteristics and possible association with the Chicxulub impact crater. *Geology*, 23(1), 17-20.
- Perry, E., Paytan, A., Pedersen, B., Velázquez-Oliman, G. (2009). Groundwater geochemistry of the Yucatan Peninsula, Mexico: constraints on stratigraphy and hydrogeology. *Journal of Hydrology*. 367 (1–2), 27–40. doi: 10.1016/j.jhydrol.2008.12.026

- Perry, E., Velázquez-Oliman, G., y Marín, L. (2002). The hydrogeochemistry of the karst aquifer system of the northern Yucatan Peninsula, Mexico. *International Geology Review*, 44, 191–221. doi: 10.2747/0020-6814.44.3.191
- Piguave-Reyes, J., Castellano-González, M., Macias-Avia, A., Vite-Solórzano, F., Ponce-Pibaque, M., y Ávila-Ávila, J. (2019). Calidad microbiológica del agua subterránea como riesgo epidemiológico en la producción de enfermedad diarreica infantil. Revisión Sistemática. *Kasmera*, 47(2), 153-173.  
doi: 10.5281/zenodo.3556409
- Polanco-Rodríguez, A. G., Navarro, J. A., Solorio, J., Mena, G., Marrufo, J., y Del Valls, T. A. (2015). Contamination by organochlorine pesticides in the aquifer of the Ring of Cenotes in Yucatán, México. *Water and Environment Journal*, 29(1), 140-150.  
doi: <https://doi.org/10.1111/wej.12080>
- Rebolledo-Vieyra, M., Marín, L. E., Trejo-García, A., y Sharpton, V. L. (2011). The Chicxulub Impact Crater and its Influence on the Regional Hydrogeology in Northwest Yucatan, Mexico. In Buster, N. and Norris, R. (Eds.) *Gulf of Mexico Origin, Waters, and Biota: Volume 3, Geology* (pp.279-290). United States of America: Texas A&M University Press. Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/279194125\\_The\\_Chicxulub\\_impact\\_crater\\_and\\_its\\_influence\\_on\\_the\\_regional\\_hydrology\\_in\\_Northwestern\\_Yucatan\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/279194125_The_Chicxulub_impact_crater_and_its_influence_on_the_regional_hydrology_in_Northwestern_Yucatan_Mexico)
- Reyes, F. y Castro, A. (2017). *México y el Decenio de la Educación para el Desarrollo Sustentable de la Unesco*. En: Silva, M. (Coord.). XIV Congreso Nacional de Investigación Educativa, Aportes y Desafíos de la Investigación Educativa para la Transformación y la Justicia Social. San Luis Potosí, México.
- Rodríguez, A. (8 de mayo 2017). Grupo Modelo elevará 10% su producción nacional. *El Economista*. [fecha de consulta 5 de diciembre de 2018]. Disponible en:  
<https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Grupo-Modelo-elevara-10-su-produccion-nacional-20170509-0090.html>
- Rodríguez-Huerta, E., Rosas-Casals M. y Hernández-Terrones, L.M. (2020). A water balance model to estimate climate change impact on groundwater recharge in Yucatan Peninsula, Mexico, *Hydrological Sciences Journal*, 65(3), 470-486.  
doi: <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1702989>
- Roqueplo, P. (1983). El reparto del saber. Ciencia, cultura y divulgación. Buenos Aires: Gedisa.

- Ruíz-Mallen, I., Barraza, L., Bodenhorn, B., y Reyes-García, V. (2009). Evaluating the impact of an environmental education program: an empirical study in Mexico. *Environmental Education Research*, 15(3), 371-387.  
doi: <https://doi.org/10.1080/13504620902906766>
- Sauvé, L. (2017) *Education as Life*. In: Jickling, B., Sterling, S. (eds) *Post-Sustainability and Environmental Education*. Palgrave Studies in Education and the Environment. Palgrave Macmillan, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-51322-5\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-51322-5_8)
- Schmelkes, S. (2005). La desigualdad en la calidad de la educación primaria. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos* (México), 35(3-4).
- Schmitter-Soto, J. J., Comín, F. A., Escobar-Briones, E., Herrera-Silveira, J., Alcocer, J., Suárez-Morales, E., y Steinich, B. (2002). Hydrogeochemical and biological characteristics of cenotes in the Yucatan Peninsula (SE Mexico). *Hydrobiologia*, 467(1-3), 215-228.  
doi: <https://doi.org/10.1023/A:1014923217206>
- Secretaría de Educación Pública. (SEP). (2013). Programa sectorial de educación 2013-2018. Poder Ejecutivo Federal. México. [fecha de consulta 3 de septiembre de 2019]. Disponible en:  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/36765/PROGRAMA\\_SECTORIAL\\_DE\\_EDUCACION\\_2013\\_2018.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/36765/PROGRAMA_SECTORIAL_DE_EDUCACION_2013_2018.pdf)
- Secretaría de Educación Pública. (SEP). (2014) Los fines de la Educación en el Siglo XXI. Poder Ejecutivo Federal. México. [fecha de consulta 18 de octubre de 2019]. Disponible en:  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/114503/Los\\_Fines\\_de\\_la\\_Educacion\\_en\\_el\\_Siglo\\_XXI.PDF](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/114503/Los_Fines_de_la_Educacion_en_el_Siglo_XXI.PDF)
- Secretaría de Educación pública (SEP). (2019). Estadística educativa Yucatán Ciclo escolar 2018-2019. México: Secretaría de Educación Pública. [fecha de consulta 12 de noviembre de 2019]. Disponible en:  
[http://planeacion.sep.gob.mx/Doc/estadistica\\_e\\_indicadores/estadistica\\_e\\_indicadores\\_entidad\\_federativa/estadistica\\_e\\_indicadores\\_educativos\\_31YUC.pdf](http://planeacion.sep.gob.mx/Doc/estadistica_e_indicadores/estadistica_e_indicadores_entidad_federativa/estadistica_e_indicadores_educativos_31YUC.pdf)
- Secretaría de Educación del Gobierno del Estado de Yucatán (SEGEY, 2018). Estadística educativa Yucatán Ciclo escolar 2018-2019. México: Secretaría de Educación Pública. [fecha de consulta 16 de noviembre de 2019]. Disponible en:  
<http://estadisticaeducativa.sigeyucatan.gob.mx/estadistica>

- Sharpe, E., y Breunig, M. (2009). Sustaining environmental pedagogy in times of educational conservatism: a case study of integrated curriculum programs. *Environmental Education Research*, 15(3), 299-313.  
doi: <https://doi.org/10.1080/13504620902807543>
- Steinich, B., Olimán, G. V., Marin, L. E., y Perry, E. (1996). Determination of the ground water divide in the karst aquifer of Yucatan, Mexico, combining geochemical and hydrogeological data. *Geofísica Internacional*, 35(2), 153-159.
- Toledo, A. (2006). *Agua, hombre y paisaje*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Centro de Investigaciones y Estudios Sociales en Antropología Social.
- Torres-Díaz, M. C., Basulto-Solís, Y. Y., Cortés-Esquivel, J., García-Uitz, K., Koh-Sosa, Á., Puerto-Romero, F., y Pacheco-Ávila, J. (2014). Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo de contaminación del agua subterránea en Yucatán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1(3), 189-203.
- Urrutia-Fucugauchi, J., Camargo-Zanoguera, Antonio, Pérez-Cruz, Ligia, y Pérez-Cruz, Guillermo. (2011). The Chicxulub multi-ring impact crater, Yucatan carbonate platform, Gulf of Mexico. *Geofísica internacional*, 50(1), 99-127.
- Vasconcelos, C. (2012). Teaching Environmental Education through PBL: Evaluation of a Teaching Intervention Program. *Research in Science Education*, 42(2), 219-232.  
doi: <https://doi.org/10.1007/s11165-010-9192-3>
- Vega-Marcote, P., Freitas, M., Álvarez-Suárez, P., y Fleuri, R. (2007). Marco teórico y metodológico de educación ambiental e intercultural para un desarrollo sostenible. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(3), 539-554.
- Villasuso, M. J., y Ramos, R. M. (2000). A conceptual model of the aquifer of the Yucatan Peninsula. In Lutz, W., Prieto, L., and Sanderson, W. (Eds). *Population, Development, and Environment on the Yucatan Peninsula: From Ancient Maya to 2030* (pp.120-139). Austria: International Institute for Applied Systems Analysis.
- Villasuso, M. J., Pinto, I. S., Escobedo, G. B., Macario, C. C., Salazar, R. C., Cetina, J. S., y Pech, C. (2011). Hydrogeology and conceptual model of the karstic coastal aquifer in northern Yucatan State, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(2), 243-260.

- Villegas-Pérez, M., Mortis-Losoya, S. V., García-López, R. I., y del Hierro-Parra, E. (2017). Uso de las TIC en estudiantes de quinto y sexto grado de educación primaria. *Apertura*, 9(1), 50-63. doi: <http://dx.doi.org/10.32870/Ap.v9n1.913>
- Wals, A. E., Brody, M., Dillon, J., y Stevenson, R. B. (2014). Convergence between science and environmental education. *Science*, 344(6184), 583-584.  
doi: 10.1126/science.1250515
- Yang, K., Le Jeune, J., Alsdorf, D., Lu, B., Shum, C. K., y Liang, S. (2012). Global distribution of outbreaks of water-associated infectious diseases. *Plos Neglected Tropical Diseases*, 6(2), 483.  
doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0001483>
- Zhang, Y., Ma, R., y Li, Z. (2014). Human health risk assessment of groundwater in Hetao Plain (Inner Mongolia Autonomous Region, China). *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(8), 4669-4684. doi: 10.1007/s10661-014-3729-2

## ANEXOS

### Anexo 1

#### Anexo 1. Matriz de localización de coincidencias y discrepancias de contenidos hidrogeológicos en programas educativos y libros de texto.

Grado	Materia	Conocimiento técnico sobre la hidrogeología	Localización del conocimiento	Coincidencia con los conocimientos actuales	Discrepancias de contenido
		<p><b>Distribución del agua en la hidrosfera:</b> Pequeño volumen de agua dulce continental en relación con el agua salada.</p> <p><b>Distribución del agua dulce en la península de Yucatán:</b> Las aguas subterráneas son la única fuente de agua dulce</p> <p><b>Infiltración del agua en el terreno:</b> El tipo de suelo permite la infiltración y escurrimiento de agua, a través de los poros, grietas y fracturas de la roca. Durante la infiltración pasan también los contaminantes presentes en el suelo, los contaminantes no se filtran.</p> <p><b>Almacenamiento:</b> El agua se aloja en el acuífero subterráneo dentro de los poros intersticiales, las cavidades y fisuras de los materiales del subsuelo.</p> <p><b>Conformación del acuífero subterráneo:</b> Es un lente de agua dulce que flota sobre agua salada, que varía en espesor de acuerdo a su posición con respecto al mar.</p> <p><b>Relación entre el agua subterránea y el agua de mar:</b> Fenómeno de la interfase salina, el contacto del agua dulce con el agua salada y la formación de los humedales costeros. A mayor extracción de agua dulce, mayor entrada de agua salada al acuífero.</p> <p><b>Circulación del agua subterránea:</b> El flujo de agua subterránea y su movimiento son principalmente verticales, aumentan en temporada de lluvia y disminuyen en temporada de secas y a nivel el flujo horizontal peninsular es radial de sur a norte. Cabe recalcar que el flujo vertical es lento debido a la limitada pendiente del a península.</p> <p><b>Vulnerabilidad del agua subterránea:</b> Se explica el riesgo de que los contaminantes del suelo se filtren al acuífero subterráneo y la necesidad de una mejor gestión de aguas servidas y de escorrentía, así como manejo de los desechos urbanos.</p> <p><b>Riesgos para la salud:</b> Se mencionan las consecuencias de consumir agua contaminada para los seres vivos. Los daños al medio ambiente por la contaminación de fuentes de agua.</p>			

## Anexo 2



**Centro de investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional**

**Unidad Mérida**

**Departamento de Ecología Humana**

**Maestría en Ciencias en la Especialidad de Ecología Humana**

**Guía de entrevista estudiantes de primaria 2019**

**Evaluación de conocimientos adquiridos sobre hidrogeología de Yucatán**

El objetivo de la entrevista es investigar los conocimientos de los estudiantes sobre los procesos hidrogeológicos de Yucatán.

**Instrucciones para el encuestador:** Leer las preguntas en voz alta al encuestado y anotar las respuestas.

Anotar observaciones en el apartado final del instrumento.

Fecha (DD/MM/AA): \_\_\_\_\_ Escuela: \_\_\_\_\_

Número de entrevista: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_ Sexo: \_\_\_\_\_ Grado y grupo: \_\_\_\_\_

### **Entrevista**

A) Saludo y conversación informal: Buenos días, soy (Nombre del estudiante ecología humana), explicar objetivo del estudio y solicitar ayuda para realizar la tarea, tus respuestas son muy importantes para lograr un buen trabajo.

Introducir el tema de entrevista:

1. ¿Sabes el porcentaje de agua dulce en el planeta y cuanta de ésta es accesible para los seres humanos?
2. ¿Crees que el agua dulce es un recurso abundante en Yucatán?
3. ¿Existen ríos superficiales en Yucatán? Explica tu respuesta
4. ¿A dónde se va el agua de la lluvia en Yucatán?
5. ¿Cuáles son las características/tipo de las rocas del suelo que se encuentran en la mayor parte de la península?
6. ¿Crees que el agua que se filtra a través de las rocas está limpia, por qué?
7. ¿Cuáles son las características del acuífero de Yucatán?
8. ¿Cómo se forman los depósitos de agua subterránea?
9. ¿Crees que el agua subterránea se mueve, si la respuesta es sí describe cómo?
10. ¿Qué hace que aumente o disminuya el flujo de agua subterránea?

11. ¿De dónde viene el agua de la llave de tu casa?
12. ¿A dónde se va el agua del inodoro de tu casa?
13. ¿Cuáles son los riesgos de que se contamine el agua subterránea?
14. ¿Cómo se puede contaminar el agua subterránea?
15. ¿Qué le pasa a tu cuerpo si consumes agua contaminada?
16. ¿Por qué se debe cuidar el agua?
17. ¿Has visitado un cenote? ¿Qué relación tienen los cenotes con la contaminación del agua subterránea?
18. ¿Dónde obtuviste la información que me acabas de dar/ donde has visto estos temas?

b) Agradecimiento y despedida.

Anexo 3



Centro de investigación y de Estudios Avanzados del  
Instituto Politécnico Nacional  
Unidad Mérida

Departamento de Ecología Humana  
Maestría en Ciencias en la Especialidad de Ecología Humana

Evaluación de conocimientos sobre la hidrogeología de Yucatán

**INSTRUCCIONES:** Lee con atención y contesta correctamente las siguientes preguntas:

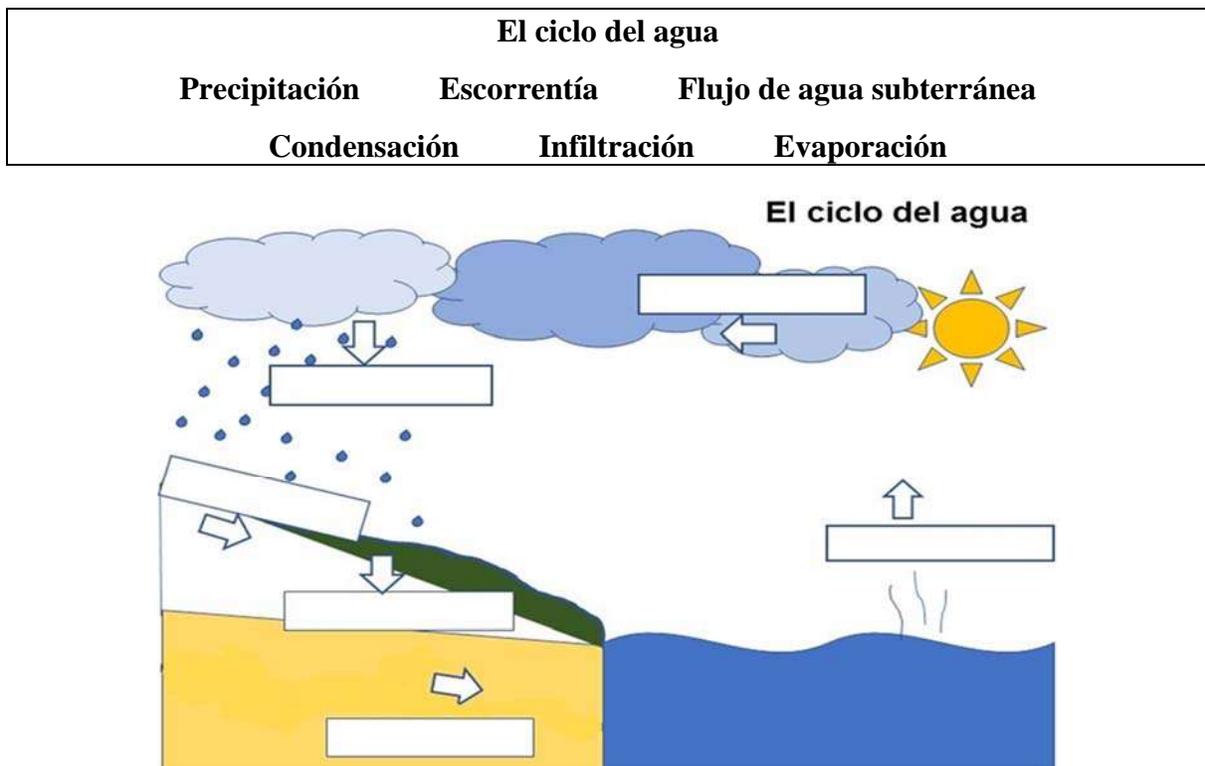
Edad: \_\_\_\_\_ Sexo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Número de cuestionario: \_\_\_\_\_

Grado y grupo: \_\_\_\_\_ Escuela: \_\_\_\_\_

El siguiente cuestionario es parte de un estudio para identificar los conocimientos de estudiantes de primaria sobre los procesos del agua en Yucatán. Agradecemos tu participación y te solicitamos que contestes todas las preguntas:

I.- Escribe en los recuadros blancos del esquema las fases del ciclo del agua:

(Valor c/u 2 pts. Total: 12 pts.).



**II.- Subraya la respuesta correcta: (Valor c/u 2 pts. Total 28 pts.)**

**1. ¿Qué es la Hidrogeología?**

- a) Es la ciencia que estudia el movimiento de las aguas subterráneas y superficiales.
- b) Ciencia que estudia las aguas subterráneas y su circulación, características geológicas y captación.
- c) Es la ciencia que se encarga de estudiar la extracción del agua subterránea para el uso humano.
- d) Ciencia que estudia la circulación, características geológicas y uso de las aguas superficiales.

**2. En Yucatán es la única fuente de agua dulce, consiste en agua infiltrada que se almacena y forma grandes depósitos:**

- a) Ríos
- b) Océanos
- c) Agua subterránea
- d) Lagos

**3. Cómo se llama la fase del ciclo en la que el agua condensada en las nubes desciende a la tierra ya sea en forma de gotas o de nieve (en las zonas frías):**

- a) Evaporación
- b) Infiltración
- c) Precipitación
- d) Condensación

**4. Cómo se llama en proceso por el cual el agua de lluvia se filtra a través de suelo para formar las aguas subterráneas:**

- a) Escorrentía
- b) Infiltración
- c) Precipitación
- d) Condensación

**5. ¿Cuál es el origen de las aguas subterráneas en Yucatán?**

- a) Infiltración de las aguas superficiales y la escorrentía.
- b) Precipitación pluvial
- c) Condensación del agua marina durante el ciclo del agua.
- d) a y b

**6. ¿Qué es un acuífero?**

- a) Es una formación geológica superficial.
- b) Es un cuerpo subterráneo de roca que contiene agua.
- c) Es una herramienta para conocer el estado de permeabilidad de una roca.
- d) Es la disponibilidad de agua subterránea en circulación

**7. ¿Cómo es el acuífero subterráneo en Yucatán?**

- a) Es un río subterráneo que fluye rápidamente
- b) Es un mar debajo de la roca
- c) Es un cuerpo subterráneo de roca calcárea que contiene una capa de agua dulce sobre una capa de agua salada
- d) Es un cuerpo subterráneo de roca calcárea que contiene una capa de agua dulce debajo de agua salada

**8. El flujo de agua subterránea en Yucatán es principalmente:**

- a) Rápido
- b) Lento
- c) Caudaloso
- d) Estancado

**9. El territorio del estado de Yucatán está conformado por:**

- a) Cerros y valles en el sur y planicie en el norte
- b) Montañas elevadas en todo el territorio
- c) Lagos y ríos en el sur de Yucatán
- d) Planicie en todo el territorio

**10. ¿Qué es un gradiente hidráulico?:**

- a) El agua que se mueve por un motor a lo largo de una superficie
- b) El agua que se mueve por la inclinación del terreno debido a su topografía
- c) El agua que se estanca en las grietas del suelo que se encuentran en el subsuelo
- d) El agua que se mueve superficialmente a lo largo del territorio

**11. Selecciona la propiedad de la roca que permite el flujo del agua a través de ella:**

- a) Condensación
- b) Transpiración
- c) Infiltración
- d) Permeabilidad

**12. ¿En qué consiste la porosidad de una roca?**

- a) Es el conjunto de espacios vacíos que están en la roca que permiten el paso del agua
- b) Es la capacidad de almacenar el agua dentro de la roca
- c) Es la evaporación del agua a través de la roca
- d) Es la textura de una formación rocosa que impide que el agua se filtre

**13. ¿Qué es la interfase salina?**

- a) Es el contacto del agua dulce subterránea con el agua salada del mar
- b) Es cuando surge un pozo de agua salada
- c) Es cuando se forma un pantano
- d) Es un lago con agua semisalobre

**14. ¿Qué factores contaminan el agua subterránea?**

- a) Las aguas residuales
- b) Las aguas de los sumideros y fosas sépticas
- c) Las aguas industriales
- d) Todas las anteriores

**III. Contesta correctamente las siguientes preguntas: (Valor 2 pts. Total 18 pts.)**

1. ¿Cuál es el porcentaje de agua dulce en el planeta y cuanta está disponible para consumo humano?
2. ¿Cómo se forman los cenotes?
3. ¿De dónde se obtiene el agua dulce en Yucatán?
4. ¿De dónde viene el agua dulce que utilizas en casa?
5. Menciona cuatro principales fuentes de contaminación para el acuífero subterráneo de Yucatán:
6. Menciona tres razones por las que se debe cuidar el agua
7. ¿Qué crees que pasa con las sustancias que contaminan el suelo en Yucatán?
8. ¿Qué le pasa a tu cuerpo si consumes agua contaminada?
9. ¿Qué pasa si los alimentos que consumes fueron producidos con agua contaminada?

**IV. Dibuja el acuífero subterráneo de Yucatán: (Valor 2 pts.)**

## Anexo 4



### Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav)

#### Departamento de Ecología Humana

#### Laboratorio de Salud ambiental

#### Unidad Mérida

#### Consentimiento informado

Estimado padre/madre de familia:

Este documento tiene como objetivo solicitar su aprobación para que se le aplique a su hija/o, un cuestionario sobre recursos hidrogeológicos de Yucatán, como parte de un estudio que se está realizando en el Depto. de Ecología Humana del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados de la Unidad Mérida (Cinvestav).

El estudio se llama “Evaluación de programas educativos y conocimientos en recursos hidrogeológicos de estudiantes de primaria en la Ciudad de Mérida, Yucatán” y tiene como objetivo investigar qué es lo que los estudiantes de sexto grado de primaria conocen sobre el agua en Yucatán. Se les aplicará un cuestionario que consiste en 30 preguntas de selección múltiple y abiertas y a una muestra de los estudiantes se les hará una entrevista sobre el agua en Yucatán. Los datos serán confidenciales, los estudiantes no requieren dar su nombre y los resultados servirán para propósitos del estudio sin que puedan ser identificados, los resultados obtenidos servirán para futuras publicaciones científicas y recomendaciones educativas, garantizando el anonimato de los participantes.

El acuífero de Yucatán es de gran importancia internacional y una de las reservas de agua dulce más importante del país, promover el conocimiento sobre su funcionamiento y conservación es primordial para la salud de los habitantes del estado. De antemano, gracias por sus atenciones y apoyo.

ATENTAMENTE

Psic. Ana Sofía Lázaro Salazar

Responsables del proyecto:

Almira Hoogesteijn D.V.M. PhD.

Investigadora Titular

Departamento de Ecología Humana  
Cinvestav Unidad Mérida

Psic. Ana Sofía Lázaro Salazar

Estudiante de Maestría

Departamento de Ecología Humana  
Cinvestav Unidad Mérida

Correo: [anasofia.lazaro@cinvestav.mx](mailto:anasofia.lazaro@cinvestav.mx)

### Acuse de recibo

Confirmando que he leído la hoja de información y entiendo lo que implica el estudio. He tenido la oportunidad de analizar la información

1. Entiendo que la participación de mi hijo/ es voluntaria.
2. Entiendo que los datos obtenidos durante el estudio serán utilizados únicamente por personal responsable y autorizado del estudio. Doy permiso a las personas responsables a tener acceso a los datos
3. Entiendo que la información será utilizada de forma estrictamente confidencial de acuerdo con las disposiciones de la Ley de Protección de Datos de 1998 y de acuerdo con los lineamientos del Cinvestav.
4. Entiendo que en el manejo de la información obtenida se mantendrán la confidencialidad y el anonimato y no será posible identificar la información de mi hijo/a en cualquier publicación.
5. Acepto que los datos pueden ser utilizados en futuras investigaciones. Entiendo que la confidencialidad de los datos personales se mantendrá a través de la eliminación de cualquier información que pueda identificar a mi hijo/a.

Nombre del padre/madre/tutor: \_\_\_\_\_

Firma del padre/madre/tutor: \_\_\_\_\_

Nombre del estudiante participante: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Gracias por contribuir al desarrollo de un mejor conocimiento sobre el acuífero de Yucatán, cualquier duda puede contactar a una de las responsables del proyecto a través del correo electrónico proporcionado.

## Anexo 5



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

Mérida, Yucatán a --- de ----- de 20---

Mtro.-----

Director

Escuela primaria Venustiano Carranza

PRESENTE.

Esperando que se encuentre muy bien, hago de su conocimiento que se está realizando una tesis de Maestría en Ciencias con Especialidad en Ecología Humana en el Cinvestav, cuyo tema es la “Evaluación de programas educativos y conocimientos en recursos hidrogeológicos de estudiantes de primaria en la Ciudad de Mérida, Yucatán”, con el fin de describir e identificar los temas relacionados al conocimiento del acuífero del estado. El acuífero de Yucatán es de gran importancia internacional y una de las reservas de agua dulce más importante del país, promover el conocimiento sobre su funcionamiento y conservación es primordial para la salud de los habitantes del estado. Por tal motivo se solicita respetuosamente el apoyo de la institución que dignamente preside para que se puedan realizar entrevistas y cuestionarios a los estudiantes de sexto de primaria, con el fin de recabar datos.

Los resultados obtenidos se manejan de forma confidencial y sirven para los propósitos del estudio. Posteriormente se hará una devolución de resultados en forma de conferencia sobre el acuífero para los estudiantes participantes.

La solicitud es si los cuestionarios y las entrevistas se pueden realizar a partir del 20 de septiembre. De antemano, gracias por sus atenciones y apoyo.

ATENTAMENTE

Psic. Ana Sofía Lázaro Salazar

Datos de contacto:

Cel: -----

Correo electrónico: [anasofia.lazaro@cinvestav.mx](mailto:anasofia.lazaro@cinvestav.mx)

Maestría en Ciencias con Especialidad en Ecología Humana

Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN

Acepto que la escuela participe en el estudio:

---

Nombre y firma del director/directora