

La contaminación fecal en cenotes de interés turístico y recreacional del estado de Yucatán

Almira L. Hoogesteijn Reul¹, José Luis Febles-Patrón, Violeta Amapola Nava-Galindo

Fecha de recepción: 5 de junio de 2015 - Fecha de aprobación: 7 de diciembre de 2015

RESUMEN

La exposición recreacional a aguas contaminadas con materia fecal o de otra índole es un problema de salud pública. La contaminación fecal se determina a través de la presencia de coliformes totales y fecales. El objetivo del estudio fue determinar cuan generalizada está la contaminación fecal en los cenotes de interés turístico y recreacional en el estado de Yucatán. Se tomaron muestras de agua de 48 cenotes con potencial turístico promocionados en la red. Las muestras fueron sometidas a un ensayo enzimático comercial, Colitag[®] con un límite de detección de una Unidad Formadora de Colonia por cada 100 mL de muestra. Todos los cenotes presentaron contaminación fecal. Si las políticas gubernamentales contemplan el uso de cenotes como centros turístico-recreacionales, estos programas deberían venir acompañados de una política de saneamiento, los cenotes no son piscinas y no deben ser usados como tal, sin sistemas de saneamiento adaptados a la ecología del carst.

Palabras claves: Cenotes, sistema cárstico, contaminación fecal, turismo, Colitag.

Fecal contamination in sinkholes of touristic and recreational interest in Yucatan

ABSTRACT

Exposure to contaminated recreational waters is a public health problem. Fecal contamination is established when bacteriological assays are positive to total coliforms and *Escherichia coli* bacteria. This study's objective was to establish how generalized fecal contamination was in touristic and recreationally used sinkholes in the Yucatan State, Mexico. We used an enzymatic bacteriological assay, Colitag[®] with a detection limit of 1 Colony Forming Unit / 100 mL of sample, this essay is recommended by the US EPA. All sinkholes presented fecal contamination. The use of sinkholes as swimming pools without any filtration and sanitation system is a public health hazard. If government programs contemplate to exploit sinkholes as tourism attractions, measures should be taken to develop a technology that would allow using these sinkholes without a threat to the environment and human health.

Keywords: Sinkholes, karst systems, fecal contamination, tourism, Colitag.

¹ Departamento de Ecología Humana, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida). Km 6 antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

Correo electrónico: almirahoo@cinvestav.mx

Nota: El período de discusión está abierto hasta el 1° de mayo de 2016. Este artículo de investigación es parte de Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 19, No.4, 2015, ISSN1665-529-X.

INTRODUCCIÓN

En un inventario de más de 2,000 cenotes en el estado de Yucatán, se determinó que sólo un porcentaje mínimo se encuentra aprovechado para fines de explotación turística debido a diversas razones. El Programa Estatal de Turismo de Yucatán, 2001-2007, consideró que los cenotes, sobre todo aquellos ubicados en las cercanías de las zonas arqueológicas y sitios turísticos, podían generar beneficios socioeconómicos a las comunidades locales o a aquellas en las que ya existían grupos organizados de ejidatarios, comuneros o particulares a través del turismo. (Diario Oficial 2003). Dicha tendencia político-económica continúa en el Programa Sectorial de Fomento Turístico 2007-2012 con la promoción de los cenotes como atractivo turístico (Diario Oficial 2011) y en el Plan Estatal de Desarrollo 2012-2018 donde menciona la necesidad de "promover infraestructura turística en instalaciones y servicios en los cenotes de Yucatán" (Diario Oficial 2013). Adicionalmente, el Gobierno del Estado de Yucatán, a través de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente, realizó el proyecto "Saneamiento y manejo integral de cenotes" en el que se analiza la posibilidad de utilizar mecanismos de pago por servicios ambientales para habilitar los cenotes como lugares de turismo (SEDUMA 2011).

La calidad del agua de uso recreacional es importante ya que la exposición humana a aguas contaminadas con materia fecal puede tornarse en un problema de salud pública. Esto es especialmente preocupante en el sistema cárstico de Yucatán, dado que la lente de agua dulce es prácticamente fija, debido al bajo gradiente hidráulico y a que el agua sólo se renueva a través de la lluvia estacional (Kauffer y Villanueva 2012; Bautista et al. 2011; Beddows et al. 2007). De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua, anualmente se descargan en el acuífero de Yucatán 102.3 Mm³ de aguas residuales sin tratamiento adecuado debido a la insuficiencia de las 88 plantas industriales y 28 municipales (CONAGUA 2012; CONAGUA 2014).

Esta situación persiste a pesar de que se cuenta con el marco legal necesario respecto a la prevención y control de la contaminación del agua en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente (Diario Oficial 1988), el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua en el Municipio de Mérida (Diario Oficial 1994) y el Reglamento de Protección al Ambiente y del Equilibrio Ecológico del Municipio de Mérida (Diario Oficial 2005).

Existe en la literatura suficiente evidencia epidemiológica que sugiere que el contacto con agua

para uso recreacional contaminada es un factor de riesgo para el desarrollo de infecciones oculares, de oído, nariz y garganta, irritaciones cutáneas, enfermedades respiratorias y enfermedades gastrointestinales (Soller et al. 2010). La relación entre la frecuencia de enfermedades relacionadas con el nado y las concentraciones de Coliformes totales y de *Escherichia coli* en cuerpos de agua dulce de uso recreacional es estadísticamente significativa (Dufour 1984; Edberg et al. 1997). El grupo de mayor riesgo en estas situaciones son los niños, debido a que suelen permanecer por mayor tiempo en las aguas y son propensos a tragar, intencional o accidentalmente agua. Otro grupo vulnerable son los turistas, quienes carecen de inmunidad ante los patógenos endémicos de la localidad. Así, en los cenotes se ha podido identificar la presencia de desechos fecales, nitratos, plaguicidas y productos de consumo humano como fármacos y estupefacientes (Kauffer y Villanueva 2012; Bautista et al. 2011; Marín et al. 1994). Adicionalmente, apoyando los hallazgos de los autores anteriormente mencionados, la Secretaría de Salud afirma que "el estado de Yucatán presenta la incidencia más alta de enfermedades gastrointestinales a escala nacional; las enfermedades parasitarias son el principal problema de salud pública de origen hídrico, a causa de altos niveles de contaminación bacteriana..." (Diario Oficial 2013).

México carece de normativas relacionadas con la calidad de agua recreacional. Debido a esta omisión, en este estudio se consideraron las recomendaciones de monitoreo utilizadas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA 2004). Estas regulaciones permiten el uso de ensayos enzimáticos para determinar la ausencia o presencia de los organismos asociados con la contaminación fecal en el agua dulce (Olstadt et al. 2007). De los ensayos disponibles a nivel comercial el más utilizado por su sensibilidad, especificidad y precisión es Colitag® (CPI International, Santa Rosa, CA.), que identifica de forma cualitativa la presencia de coliformes totales y coliformes termo-resistentes (fecales, *E. coli*), pero sin reaccionar a una bacteria acuática común, *Aeromonas spp.* que frecuentemente generan falsos positivos. La detección ocurre porque en el medio de cultivo de Colitag® se adicionan dos sustancias, (i) orto-nitrofenil-β-D-galactopiranosido (ONPG por sus siglas en inglés y (ii) 4-metil-umbelliferil-β-D-glucuronido (MUG por sus siglas en inglés). Los coliformes producen β-D galactosidasa que actúa sobre ONPG tornándola de incolora a amarilla. *E. coli* producen la β-D glucuronidasa que actúa sobre MUG liberando 4-metil-umbelliferona, que torna el medio de cultivo a un color azul fluorescente, observable bajo la luz ultravioleta (longitud de onda: 365-366nm). Colitag® también contiene un medio buffer de pH

ácido, el óxido de trimetilamina-N (TMAO por sus siglas en inglés) que se metaboliza en trimetilamina. La trimetilamina, es un compuesto básico que neutraliza el pH ácido lo cual ayuda a la recuperación de microorganismos estresados por la presencia de cloro (Olstadt *et al.* 2007).

El objetivo de este proyecto fue calibrar la extensión y el impacto de la contaminación fecal en los cenotes de interés turístico y recreacional en Yucatán usando un método cualitativo de presencia / ausencia rápido, para determinar cuan generalizado es este problema en el estado y las implicaciones de dicha contaminación sobre la salud humana y los planes de desarrollo turístico.

METODOLOGÍA

Condiciones de muestreo. Por un período de 5 meses (Julio a Noviembre de 2013) se colectaron muestras de 48 cenotes distribuidos principalmente en la zona del

anillo de cenotes y al oriente del estado de Yucatán (Figura 1). Los cenotes fueron escogidos de la lista producida por la Secretaria de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (N=103) (SEDUMA 2013a), que adicionalmente tuvieran promoción a través de páginas web.

El agua (100 mL) fue colectada a 30 cm de profundidad desde el espejo de agua, en el lugar de acceso que usan los bañistas para entrar al cenote, en botellas de plástico asépticas que forman parte del *kit* de muestreo, siguiendo los protocolos sugeridos (US EPA 2004). El tiempo y la temperatura de la muestra desde su toma hasta el análisis fueron de ≤ 6 h y $\leq 10^{\circ}\text{C}$ respectivamente. Se realizaron 17 réplicas como control interno del ensayo, adicionalmente se hicieron controles negativos y positivos. El límite de detección es de una unidad formadora de colonia (UFC) por 100 mL.

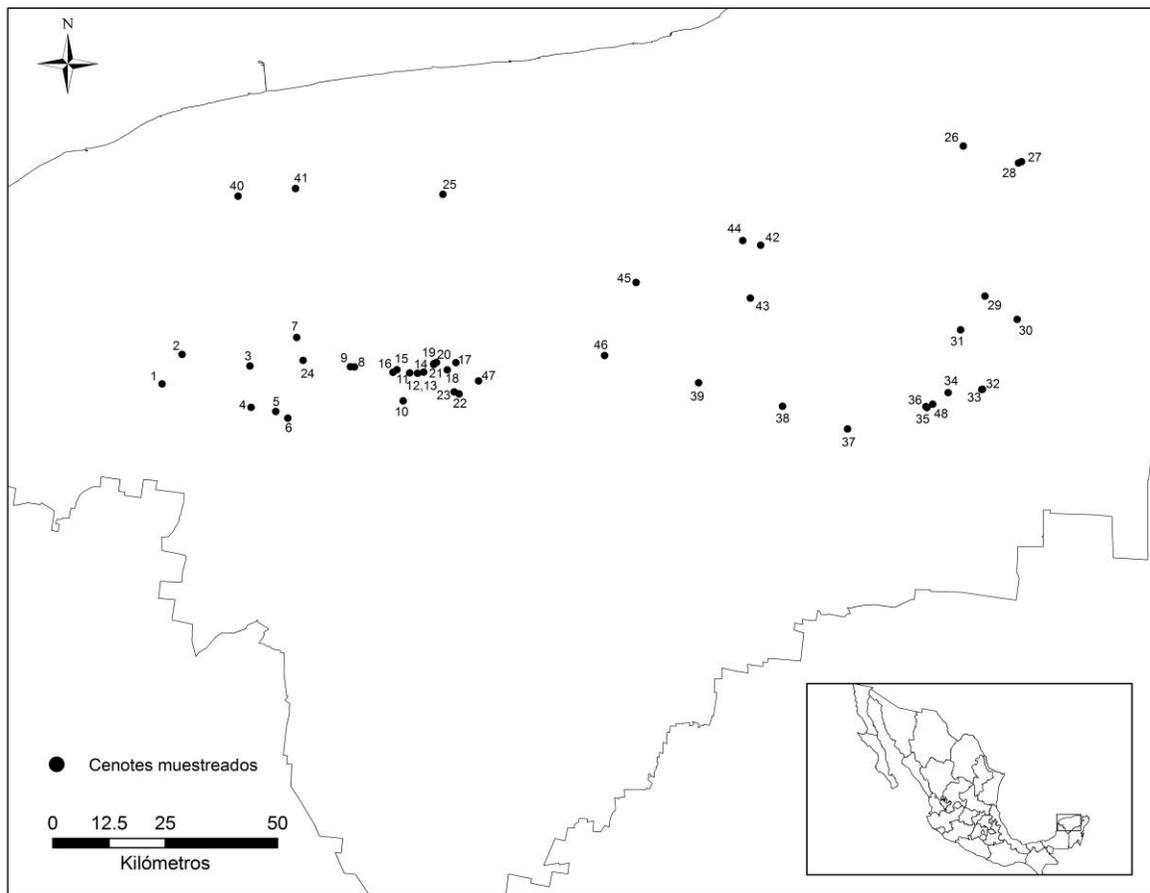


Figura 1. Mapa de los sitios que formaron parte del estudio de contaminación fecal en los cenotes de interés turístico y recreacional del estado de Yucatán (los números corresponden a los cenotes en la Tabla 1).

Métodos. Se tomó un total de 65 muestras (cada cuatro cenotes se desarrollo un duplicado para un total de 17 duplicados) las cuales fueron sembradas con el medio de cultivo y colocadas en una estufa a 36°C por un período de 24 horas. Si a las 24 horas el medio de cultivo se tornaba amarillo demostrando la presencia de coliformes totales, se dejaron por otras 24 horas. Después de 48 horas se llevaron los viales a un cuarto oscuro en los que se alumbraron con una luz ultravioleta con una longitud de onda de 365-366 nm para determinar si aparecía la luminiscencia azul indicativa de la presencia de *E. coli*.

Otros datos colectados en campo incluyeron: la ubicación geográfica con un GPS Garmin Etrex®, el tipo de cenote (SEDUMA 2013b), si el cenote es de interés turístico o recreacional, definiéndose turístico como aquellos que cobran una entrada al usuario y recreacional como aquellos que están abiertos al público sin cobrar entrada (Tabla 1).

Análisis estadístico. No hubo necesidad de hacer análisis estadístico, ya que todas las muestras presentaron contaminación fecal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los 48 cenotes muestreados presentaron contaminación fecal, ya que los medios de cultivo fueron positivos a coliformes totales y fecales (Tabla 1). La presencia de coliformes totales y fecales indica

que las aguas de todos los cenotes muestreados están contaminadas con materia fecal. Dado que México carece de normas que determinen los niveles permisibles de unidades formadoras de colonias (UFC) y del número más probable (NMP) para agua dulce de uso recreacional, no se puede determinar si se está violando alguna Norma. En todo caso se están violando las especificaciones sanitarias del Proyecto de Norma PROY-NOM-201-SSA1-2013 de agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel (Diario Oficial 2014) que establece que los límites máximos permisibles son de < 1.1 NMP/100 mL y de 0 UFC/100 mL.

En un comunicado emitido por un diario local, la Dirección de Protección contra Riesgos Sanitarios de la Secretaría de Salud de Yucatán declaró que ante la contaminación que presentan los cenotes de interés turístico se procederá a la cloración de los mismos (La Verdad 2015). Durante la época del renacimiento, cuando se popularizaron los perfumes, éstos eran usados para enmascarar el olor corporal producto de las prácticas de higiene personal de la época. La propuesta de la Dirección de Protección contra Riesgos Sanitarios de la Secretaría de Salud de Yucatán se acerca metafóricamente a esta práctica renacentista. El uso de cloro en los cenotes contaminados, sería una solución de cortísimo plazo que además generaría otra serie de problemas de contaminación y ecológicos.

Tabla 1. Lista de los cenotes incluidos en el monitoreo de contaminación fecal.

Cenote	Municipio	Uso	Latitud	Longitud	Coliformes totales	<i>E. Coli</i>
1	Kopomá	Recreacional	20.68955	-89.87610	+	+
2	Chocholá	Turístico	20.74994	-89.83427	+	+
3	Abalá	Turístico	20.72868	-89.68951	+	+
4	Abalá	Recreacional	20.64467	-89.68551	+	+
5	Abalá	Turístico	20.63736	-89.63279	+	+
6	Abalá	Turístico	20.62384	-89.60665	+	+
7	Mérida	Reserva	20.78826	-89.59047	+	+
8	Tecoh	Recreacional	20.73033	-89.46583	+	+
9	Tecoh	Turístico	20.73048	-89.47474	+	+
10	Tecoh	Turístico	20.66281	-89.36104	+	+
11	Cuzamá	Turístico	20.71972	-89.34750	+	+
12	Cuzamá	Turístico	20.71925	-89.33086	+	+
13	Cuzamá	Turístico	20.71935	-89.33141	+	+
14	Cuzamá	Turístico	20.72157	-89.31817	+	+
15	Cuzamá	Turístico	20.72583	-89.37500	+	+
16	Cuzamá	Turístico	20.72040	-89.38333	+	+
17	Homún	Turístico	20.72699	-89.26813	+	+
18	Homún	Turístico	20.74206	-89.24958	+	+
19	Homún	Turístico	20.73948	-89.29689	+	+

Continuación de la tabla 1. Lista de los cenotes incluidos en el monitoreo de contaminación fecal.

Cenote	Municipio	Uso	Latitud	Longitud	Coliformes totales	<i>E. Coli</i>
20	Homún	Turístico	20.74159	-89.29129	+	+
21	Homún	Turístico	20.73740	-89.29696	+	+
22	Homún	Turístico	20.67820	-89.24167	+	+
23	Homún	Turístico	20.68222	-89.25250	+	+
24	Tecoh	Turístico	20.74193	-89.57592	+	+
25	Motul	Turístico	21.08378	-89.28271	+	+
26	Tizimin	Recreacional	21.19335	-88.16944	+	+
27	Tizimin	Sin acceso	21.16216	-88.04427	+	+
28	Tizimin	Recreacional	21.15974	-88.05051	+	+
29	Temozón	Turístico	20.88820	-88.12050	+	+
30	Temozón	Turístico	20.84130	-88.05109	+	+
31	Temozón	Turístico	20.81947	-88.17199	+	+
32	Valladolid	Turístico	20.69870	-88.12432	+	+
33	Valladolid	Turístico	20.69819	-88.12602	+	+
34	Valladolid	Turístico	20.69154	-88.19776	+	+
35	Valladolid	Turístico	20.66087	-88.24277	+	+
36	Valladolid	Turístico	20.66272	-88.24479	+	+
37	Kaua	Recreacional	20.61583	-88.41194	+	+
38	Tinum	Turístico	20.66092	-88.55100	+	+
39	Yaxcabá	Turístico	20.70698	-88.73047	+	+
40	Mérida	Turístico	21.12500	-89.62500	+	+
41	Mérida	Turístico	21.09098	-89.59798	+	+
42	Cenotillo	Recreacional	20.98823	-88.60099	+	+
43	Quintana	Recreacional	20.88023	-88.62214	+	+
44	Cenotillo	Turístico	20.99710	-88.63953	+	+
45	Izamal	Recreacional	20.90955	-88.86696	+	+
46	Kantunil	Turístico	20.76038	-88.93228	+	+
47	Huhi	Recreacional	20.70556	-89.20082	+	+
48	Valladolid	Turístico	20.66770	-88.23018	+	+

¹ Las coordenadas geográficas en grados decimales

CONCLUSIÓN

A través de este muestreo rápido demostramos que el total de los cenotes de interés turístico y recreacional del estado que se encuentran publicitados en la red, presentan contaminación fecal (más de 1 UFC por 100 mL). La solución no está en desinfectar los cenotes con cloro. Es necesario desarrollar tecnologías de ingeniería sanitaria adaptadas a las condiciones ecológicas de los cenotes, si se desean utilizar como

piscinas. Adicionalmente es necesario desarrollar plantas de tratamiento de aguas servidas en el estado. Los organismos encargados de diseñar los planes de desarrollo del estado deberían utilizar la información disponible producida por los investigadores mexicanos, tomando en consideración el impacto que el uso del paisaje tiene sobre el funcionamiento del mismo y la salud ambiental y humana.

REFERENCIAS

Bautista F., Aguilar Y., Batllori E. (2011). Amenazas, vulnerabilidad y riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en la península de Yucatán. *Teoría y Praxis*, 9:9-31.

Beddows P., Blanchon P., Escobar E., Torres-Talamante O. (2007). Los cenotes de la península de Yucatán. *Arqueología mexicana* 83:32-35.

CONAGUA (2012). Situación del Subsector de Agua potable, Alcantarillado y Saneamiento. Comisión Nacional del Agua. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Planeación [Fecha de consulta: 5 de junio de 2015]. Disponible en:

<<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-40-12.pdf>>.

CONAGUA (2014). Estadísticas del Agua en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Planeación [Fecha de consulta: 5 de junio de 2015]. Disponible en:

<<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2014.pdf>>.

Diario Oficial de la Federación. (1988). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente. 28 de enero de 1988 [Fecha de consulta: 5 de junio de 2015]. Disponible en:

<<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/148.pdf>>.

Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán. (1994). Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua en el Municipio de Mérida. 29 de noviembre de 1994 [Fecha de consulta: 5 de junio de 2015]. Disponible en:

<<http://www.merida.gob.mx/municipio/portal/norma/contenido/pdfs/Archivos/contaminacion-agua.pdf>>.

Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán. (2003). Programa Estatal de Turismo de Yucatán 2001-2007. 29 de noviembre de 2003 [Fecha de consulta: 5 de junio de 2015]. Disponible en:

<http://www.yucatan.gob.mx/docs/transparencia/2001_2007/ped/PETY_2001_2007.pdf>.

Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán. (2005). Reglamento de Protección al Ambiente y del Equilibrio Ecológico del Municipio de Mérida. 15 de diciembre de 2005 [Fecha de consulta: 5 de junio de 2015]. Disponible en:

<http://www.merida.gob.mx/municipio/portal/norma/contenido/pdfs/Archivos2005/proteccion_ambiente.pdf>.

Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán. (2011). Programa Sectorial de Fomento Turístico 2007-2012. 22 de febrero de 2011 [Fecha de consulta: 5 de junio de 2015]. Disponible en: <http://sefotur.yucatan.gob.mx/files-content/general/marco_juridico/ba6442055fff28469f9305bb9ed744d8.pdf>.

Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán. (2013). Plan Estatal de Desarrollo, 2012-2018. Marzo de 2013 [Fecha de consulta: 5 de junio de 2015]. Disponible en:

<http://sefotur.yucatan.gob.mx/files-content/general/marco_juridico/d94b886b17805d90bc37879f46aa7dd2.pdf>.

Diario Oficial de la Federación (2013). Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales subterráneas del acuífero Península de Yucatán, clave 3105, estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo. 4 de septiembre de 2013 [Fecha de consulta: 5 de junio de 2015]. Disponible en:

<http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5312870&fecha=04/09/2013>.

Diario Oficial de la Federación. (2014). Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-201-SSA1-2013, Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias. 12 de febrero de 2014 [Fecha de consulta: 5 de junio de 2015]. Disponible en:

<http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5332396&fecha=12/02/2014>.

Grupo editorial La Verdad. (2015). Clorarán cenotes de Yucatán. 9 de mayo de 2015 [Fecha de consulta: 5 de junio de 2015]. Disponible en: <<http://www.laverdadnoticias.com/cloraran-cenotes-de-yucatan/516416/>>.

Dufour, A.P. (1984). Health Effects Criteria for Fresh Recreational Waters. EPA-600/1-84-004. US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.

Edberg, S.C., LeClerc, H., Robertson, J. (1997). Natural protection of spring and well drinking water against surface microbial contamination. II. Indicators and monitoring parameters for parasites. *Critical Reviews in Microbiology* 23, 179- 206.

US EPA. (2004). Environmental Protection Agency - Federal Register 40 CFR, Part 141, February 13, 2004, Vol. 69, No. 30. - Colitag™.

Kauffer E., Villanueva C. (2012). Retos de la gestión de una cuenca construida: la Península de Yucatán en México. Revista del Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe, t/v 3(2), Uruguay. 81-91.

Marín L., Perry E. (1994). The hydrogeology and contamination potential of northwestern Yucatán, México. Geofísica Internacional 33: 619-623.

Olstadt, J., Schauer, J., Standridge J., Kluender S. (2007). A comparison of ten USEPA approved total coliform/*E. coli* tests. Journal of Water and Health 5(2): 267-282.

SEDUMA. (2011). Proyecto de Saneamiento y Manejo Integral de Cenotes. Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente, Gobierno del Estado de Yucatán [Fecha de consulta: 5 de junio de 2015]. Disponible en: <<http://www.seduma.yucatan.gob.mx/cenotes-grutas/proyecto-saneamiento-cenotes.php>>.

SEDUMA. (2013a). Lista de los cenotes con potencial turístico [Fecha de consulta: 5 de junio de 2015]. Disponible en: <<http://www.seduma.yucatan.gob.mx/cenotes-grutas/cenotes-potencial-turistico.php>>.

SEDUMA (2013b). Tipos de cenotes. Propuesta para la reclasificación de los cenotes en base a su estructura morfológica [Fecha de consulta: 5 de junio de 2015]. Disponible en: <<http://www.seduma.yucatan.gob.mx/cenotes-grutas/introduccion.php>>.

Soller, J.A., Schoen, M.E., Bartrand, T., Ravenscroft, J.E., Ashbolt, N.J. (2010). Estimated human health risks from exposure to recreational waters impacted by human and non-human sources of faecal contamination. Water Research 44:4674-4691.

Este documento debe citarse como: Hoogesteijn Reul A. L., Febles-Patrón J. L., Nava-Galindo V.A. (2015). La contaminación fecal en cenotes de interés turístico y recreacional del estado de Yucatán. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 19-3, pp. 169-175, ISSN 1665-529-X.