

Calidad microbiológica de pozos de abastecimiento de agua potable en Yucatán, México

Roger Iván Méndez Novelo¹, Julia Guadalupe Pacheco Ávila², Elba René Castillo Borges³, Armando Cabrera Sansores⁴, Elizabeth del Rosario Vázquez Borges⁵ y Dulce Diana Cabañas Vargas⁶

Fecha de recepción: mayo 2014 – Fecha de aprobación: diciembre 2014

RESUMEN

En el estado de Yucatán, el suministro para agua potable proviene de un acuífero no confinado, el cual presenta alto grado de vulnerabilidad a la contaminación debido a las características del sustrato geológico peninsular. Entre los principales indicadores de la calidad del agua potable se encuentran los microbiológicos, que son de gran importancia por su potencial impacto en la salud humana. En este trabajo se evaluó la calidad microbiológica del agua subterránea en 106 pozos de abastecimiento del sistema de agua potable del estado, determinando la concentración de bacterias coliformes y enterococos, y se identifica si el principal origen de la contaminación biológica es por heces humanas o animales. En el 83.1% de los pozos muestreados, los coliformes totales o fecales excedieron los límites permisibles señalados en la NOM-127-SSA1-1994; el 84.9% de las muestras tuvieron contaminación fecal; en el 34% de los pozos muestreados, la contaminación fecal puede asociarse con un origen animal y en el 50% con un origen humano.

Palabras clave: coliformes, enterococos, acuífero, contaminación, agua subterránea.

Microbial quality of supply water from wells in Yucatan, Mexico

ABSTRACT

In the State of Yucatan, the water supply comes from a non-confined aquifer and is used as drinking water. Due to geological conditions, this aquifer is highly vulnerable to pollution. Microbiological indicators are one of the most important parameters employed to evaluate the risk that drinking water represents for public health. In this work, the microbiological quality of groundwater from 106 wells that provide drinking water to the State of Yucatan supply system was determined. Coliform and enterococci bacteria concentrations were determined and related to their main source: human or animal feces. 93% of all the samples presented fecal pollution. In 83.1% of the wells sampled, total and fecal coliforms exceeded the water quality criteria established in the Mexican regulation NOM-127-SSA1-1994; 84.9% of all samples presented fecal pollution; in 34% of the contaminated sampled wells fecal pollution was found related to animal source, whereas 50% indicates human origin.

Key words: coliforms, enterococci, aquifer, pollution, groundwater.

¹ Profesor de Carrera de la FIUADY, Cuerpo Académico de Ingeniería Ambiental, mnovelo@uady.mx

² Profesora Investigadora de la FIUADY, Cuerpo Académico de Ingeniería Ambiental

³ Profesora de Carrera de la FIUADY, Cuerpo Académico de Ingeniería Ambiental

⁴ Profesor Investigador de la FIUADY, Cuerpo Académico de Ingeniería Ambiental

⁵ Profesora Investigadora de la FIUADY

⁶ Profesora Investigadora de la FIQ

Nota: El período de discusión está abierto hasta el 1° de mayo de 2015. Este artículo de investigación es parte de Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 19, No. 1, 2015, ISSN 1665-529-X.

INTRODUCCIÓN

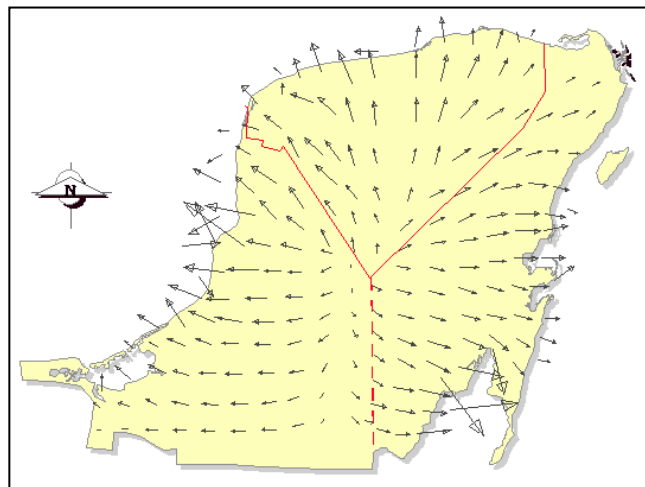
En la actualidad, como parte de los programas de desarrollo social del gobierno, el suministro de agua potable se ha extendido a la mayoría de las poblaciones del Estado de Yucatán, México, sin embargo, las fuentes de abastecimiento siguen siendo pozos que acceden al acuífero y generalmente se sitúan en el centro de poblaciones urbanas, por lo que están expuestos a contaminación biológica de origen humano y animal. Así, la población del Estado de Yucatán depende de un acuífero no confinado y aunque el recurso hídrico es abundante y de fácil acceso es altamente vulnerable a la contaminación derivada de las actividades antrópicas, por las características del sustrato geológico que lo contiene (Schmitter *et al.* 2002).

Las principales amenazas para el acuífero se derivan del manejo inadecuado de los desechos generados (líquidos y sólidos), y por consecuencia del crecimiento poblacional, reflejado en el tamaño de los asentamientos y en la densidad de población, así como del desarrollo de actividades basadas en la producción animal, en especial la porcícola, la cual se ha incrementado en la región en los últimos años (Méndez *et al.* 2009).

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano de buena calidad es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales (Pacheco *et al.* 2004). Existen datos históricos de enfermedades relacionadas con la contaminación de los sistemas de abastecimiento, como la primera epidemia de cólera en Yucatán en 1833, que ocasionó que poblados como Teabo fueran diezmados en un 90% y algunos barrios en Mérida, como el de Santa Catarina desaparecieran, porque la

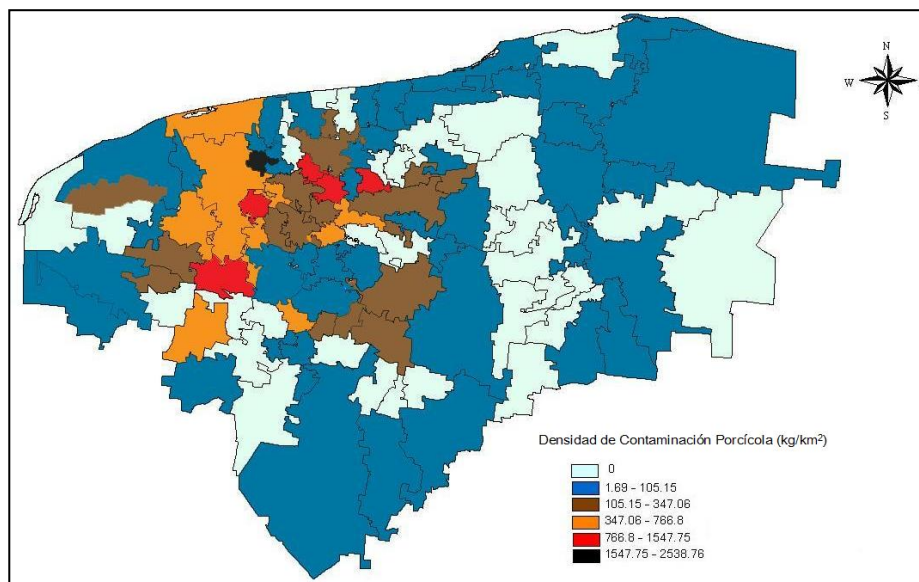
población fue arrasada casi en su totalidad a causa de la enfermedad (Rubio y Tzuc 1995), o la relación entre las enfermedades diarreicas y el agua de consumo durante las epidemias de cólera en Inglaterra en 1854 (Sedgwich 1902; citado por Alonzo y Acosta 2003). En el estado de Yucatán una de las primeras causas de mortalidad son las enfermedades gastrointestinales (INEGI 2008; Mantilla *et al.* 2002; Alonzo y Acosta 2003), por lo cual se requiere establecer límites en cuanto a las características bacteriológicas, físicas y químicas de las aguas para uso y consumo humano (Pacheco *et al.* 2004; NOM 1994).

El Estado de Yucatán es una región conformada por rocas calcáreas y carece de corrientes superficiales debido a la carstificación extensa, la cual da lugar a fracturas y fisuras por donde se filtra rápidamente el agua de lluvia disolviendo y arrastrando los contaminantes que encuentra a su paso. La baja profundidad de los niveles freáticos y la falta de suelo hacen que los solutos se infiltren al agua subterránea, haciéndola vulnerable a la contaminación (Doerfliger *et al.* 1999). El flujo subterráneo, en general es de forma radial del centro de la Península a las costas (Figura 1). Por otro lado, de acuerdo con el Anuario Estadístico de Yucatán (INEGI 2008) el 45.95% de la población carece del servicio de colectores de aguas residuales, por lo que quienes carecen de sistemas de drenaje continúan realizando el fecalismo a cielo abierto, contaminando así el acuífero por la alta permeabilidad del subsuelo. En muchas viviendas rurales, que carecen de ambos servicios, en un mismo lote practican el fecalismo a pocos metros del pozo somero con el que se abastecen de agua (Mantilla *et al.* 2002).



Fuente: (CONAGUA 2000)

Figura 1. Direcciones de flujo subterráneo de la Península de Yucatán, México



Fuente: Méndez *et al.* 2008

Figura 2. Densidad de Contaminación Porcina en los Municipios de Yucatán

Otra fuente importante de la contaminación del acuífero se produce por la generación de 3.45 t/d de excretas porcinas en aproximadamente 8362 m³/d de aguas residuales (Méndez *et al.* 2008). Los municipios cercanos a la ciudad de Mérida son los que tienen mayor potencial de contaminación por actividades porcinas por habitante. Méndez *et al.* (2008) definieron un índice de contaminación denominado Densidad de Contaminación Porcina (DCP), como los kg de desechos generados en granjas porcinas por km² de superficie y por municipio, resultando que los mayores valores de DCP los tienen los municipios Conkal, Tekantó, Abalá, Muxupib, Cacalchén y Kanasín, todos ellos cercanos a la ciudad de Mérida (con valores de DCP entre 1548 y 2539 kg/km²) (Figura 2).

De acuerdo al Anuario Estadístico de Yucatán, Edición 2008, Vivienda y Urbanización (INEGI), el 14.7% de las viviendas del Estado carecen de sistema sanitario (drenaje o fosa séptica) a excepción de unas pocas colonias en la ciudad capital (Mérida), por lo que la contaminación fecal de origen humano impacta directamente sobre al acuífero, en las zonas rurales el 26.7 de viviendas también carecen de sistema sanitario (Mantilla *et al.* 2002).

Las enfermedades transmitidas por el agua se producen cuando ésta ha sido contaminada con desechos humanos, animales o compuestos químicos.

La mayoría de las enfermedades causadas por el agua tienen su origen en agentes patógenos biológicos y las enfermedades que causan son transmisibles. Por lo

general, los agentes patógenos pertenecen al grupo de los microorganismos, que se propagan a través de las heces excretadas por individuos y/o animales infectados (Mantilla *et al.* 2002).

Entre las principales enfermedades gastrointestinales transmitidas por el agua se encuentran la disentería provocada por la bacteria *Shigella dysenteriae*, la tifoidea originada por el bacilo *Salmonella typhi*, la salmonelosis causada por una especie del Género *Salmonella*, el cólera provocada por *Vibrio cholerae* y diferentes cepas de *Escherichia coli* (*E. coli* enteropatógena, *E. coli* enterotoxigénica, *E. coli* enteroinvasiva, *E. coli* enterohemorrágica, *E. coli* enteroadherente y *E. coli* enteroagregativa) las cuales causan diversas enfermedades gastrointestinales (Mondaca y Campos 1996).

Debido a que no resulta práctico determinar todas las bacterias, se utilizan microorganismos indicadores cuya presencia es una evidencia de que el agua está contaminada con materia fecal. El grupo de microorganismos coliformes es adecuado como indicador de contaminación bacteriana debido a que se encuentran presentes en grandes concentraciones en el tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente y a que permanecen por más tiempo en el agua que la mayoría de las bacterias patógenas (Campos 1996; Ashbolt *et al.* 1997). La presencia de coliformes en el agua indica que la contaminación bacteriana es reciente y constituye un indicador de degradación de los cuerpos de agua (Fernández *et al.* 2001).

Otro grupo de microorganismos indicadores son los enterococos fecales (*Enterococcus*) que incluyen un número de especies que se encuentran en las heces de los humanos y también son abundantes en las heces de los animales de sangre caliente. Esto es muy importante, ya que la contaminación fecal causada por animales puede involucrar riesgos sanitarios, sobre todo, en los de producción: vaca, cerdo, oveja, caballo, gallina y pato. En todos ellos se encuentran coliformes y enterococos fecales, aunque son más abundantes los segundos (Tabla 1).

Los estreptococos fecales no se multiplican en el medio ambiente, o si esto ocurre es solamente en raras ocasiones, y son más persistentes en ambientes acuáticos y en suelos contaminados que *E. coli*. Son importantes en situaciones donde se sabe que hay contaminación fecal y no se detectan coliformes, como ocurre cuando las descargas son intermitentes o más antiguas (Godfree et al.1997).

Cada persona evacúa de 100 000 a 400 000 millones de organismos coliformes por día. De igual manera el tracto intestinal de otros mamíferos también posee elevadas concentraciones de organismos coliformes y estreptococos fecales, por lo que se han desarrollado algunos métodos para determinar las fuentes probables de contaminación dependiendo de la relación coliformes fecales/enterococos fecales (CF/E). Así, Geldreich y Kenner (1969), proponen que cuando la relación (CF/E) > 4, la fuente de contaminación es de origen humano, mientras que si (CF/E) < 0.7, la fuente de contaminación es de origen animal.

Sea de origen humano o animal, la contaminación bacteriológica del agua de consumo representa un riesgo a la salud pública, por lo que la determinación de la calidad del agua del acuífero, en especial de las zonas de captación para agua potable, es una necesidad para la adecuada toma de decisiones.

Por ello, con el objeto de evaluar la calidad bacteriológica del agua subterránea del sistema de agua potable del Estado de Yucatán, en el presente estudio se cuantifica la presencia de coliformes totales

(CT), coliformes fecales (CF) y estreptococos fecales (E), en pozos para el abastecimiento de agua potable a los 106 municipios del Estado y además se identifica si el principal origen de la contaminación es por heces de humanos o de animales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de los sitios de muestreo. Los sitios de muestreo corresponden a cada una de las zonas de abastecimiento de las cabeceras municipales del Estado. 106 muestras fueron colectadas directamente de los pozos de abastecimiento de las plantas potabilizadoras, luego de 2 minutos de bombeo y antes de ser sometidas a cloración. Para la toma de muestras, se sometió a esterilización la zona de muestreo (grifo y área circundante), con ayuda de un mechero y se recolectó un volumen de 2 litros en recipientes de cristal previamente esterilizados. Los pozos muestreados tenían niveles estáticos de entre menos de 15 m en las zonas costeras, a 50 m en el cono sur. La campaña de muestreo se realizó de julio de 2007 a febrero de 2008.

Recuentos de coliformes y enterococos fecales. En cada pozo, una vez tomada la muestra de agua se procedió a realizar los análisis bacteriológicos *in situ*, utilizando incubadoras bacteriológicas de campo (Incufridge Revolucionarie Science), con las que se hicieron los recuentos de UFC/100 ml de: coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF) y enterococos fecales (E), por el método de membrana filtrante (APHA-AWWA-WPFC, 2005). Se filtraron 100 ml del agua de pozo sin dilución y se incubaron a 37 °C durante 24 horas para coliformes totales, 44.5 °C durante 24 horas para coliformes fecales y 41 °C durante 48 horas para enterococos. Los medios de cultivo utilizados fueron: M Endo Less para coliformes totales y fecales y Agar M enterococcus para los enterococos.

Determinación del origen de los grupos bacterianos. Con los resultados de CF y E, se calcularon las relaciones CF/E para cada pozo y se agruparon conforme a las siguientes clasificaciones: CF/E < 0.7; 0.71 < CF/E < 4; CF/E < 4.1; CF = 0 y E = 0 y CF = 0 y E > 0.

Tabla 1. Densidad/gramo de coliformes fecales y enterococos fecales en las heces de animales y hombre

Grupo	Coliformes fecales	Estreptococos fecales	CF/E
Vaca	230,000	1,300,000	0.18
Cerdo	3,300,000	84,000,000	0.04
Perro	23,000,000	980,000,000	0.02
Hombre	13,000,000	3,000,000	4.33

Extractado de Arcos M. et al. (2005).

Los resultados analíticos, específicamente la relación CF/E, se compararon mediante regresión lineal con dos posibles fuentes de contaminación: excretas humanas y excretas porcinas. Para esto, se utilizaron los resultados obtenidos por Méndez *et al.* (2008), quienes determinaron la DCP en cada municipio. Además se estableció otro índice denominado Densidad de Contaminación Humana (DCH). Para el cálculo de este último, se estimaron los kilogramos de excretas humanas multiplicando la producción de estas por persona y por día (0.2 kg) por el número de habitantes que tiene cada municipio.

Para determinar la influencia de las excretas humanas, se determinó la correlación de Pearson entre los municipios con valores de CF/E > 4 con los valores de DCH, y para determinar la influencia de las excretas porcinas, se determinó la correlación de Pearson entre los municipios con valores de CF/E < 0.7 con los valores de DCP, ambas correlaciones con nivel de significancia de 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Figuras 3, 4 y 5, se muestran las densidades de coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales, respectivamente, en el agua de los 106 pozos muestreados.

Los resultados obtenidos, ponen en evidencia la contaminación del acuífero en las cabeceras municipales del Estado, al registrar la presencia de bacterias indicadoras de contaminación en 93 de los 106 pozos muestreados (Tabla 2). Solamente 18 de los 106 pozos de abastecimiento muestreados

cumplen con la norma (NOM-127-SSA1-1994, modificada el 22/11/2000), que establece como límites permisibles 2 UFC/100 ml de coliformes totales, 0 UFC/100 ml de coliformes fecales y no hace referencia a estreptococos fecales. En 11 muestras se obtuvieron valores de CT menores que de CF, probablemente debido a falta de homogeneización de las muestras. En la Tabla 3, se presentan los resultados de la caracterización microbiológica de las muestras y en la Tabla 4, los resultados de los análisis estadísticos para los parámetros bacteriológicos. Ambos cuadros indican de forma global la calidad bacteriológica del agua subterránea de las zonas de captación de agua potable de las cabeceras municipales, así como el grado en que cumplen con la regulación nacional. A resultados parecidos llegaron González *et al.* (2007), quienes analizaron la calidad microbiológica del acuífero del sector rural noreste del municipio de León, Nicaragua, obteniendo que el 95.7% de la muestras de agua no cumplen con los requisitos establecidos en las normas del Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (CAPRE), mientras que en el presente estudio, el 74.5% de las muestras de agua no cumplen con la calidad microbiológica señalada en la normativa mexicana (Tabla 3). En cuanto al nivel de contaminación de las muestras, el promedio de Unidades Formadoras de Colonias (UFC/100 ml) encontradas en las 18 comunidades resultó de 1,685 UFC para coliformes totales (según las normas CAPRE este valor tiene que ser menor o igual a 4 UFC) y de 671 UFC para coliformes fecales (0 UFC/100 ml según CAPRE).

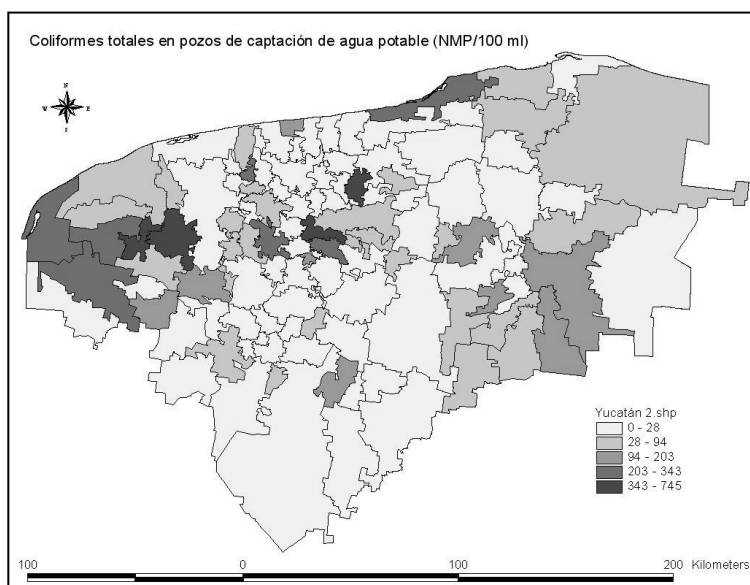


Figura 3. Recuentos de UFC/100 mL de coliformes totales en aguas de pozos para el abastecimiento de agua en municipios del estado de Yucatán.

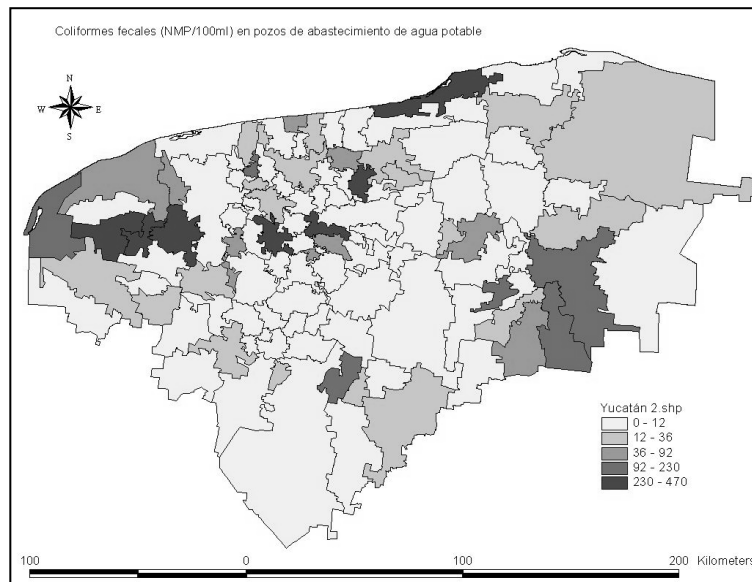


Figura 4. Recuentos de UFC/100 mL de coliformes fecales en aguas de pozos para el abastecimiento de agua en municipios del estado de Yucatán

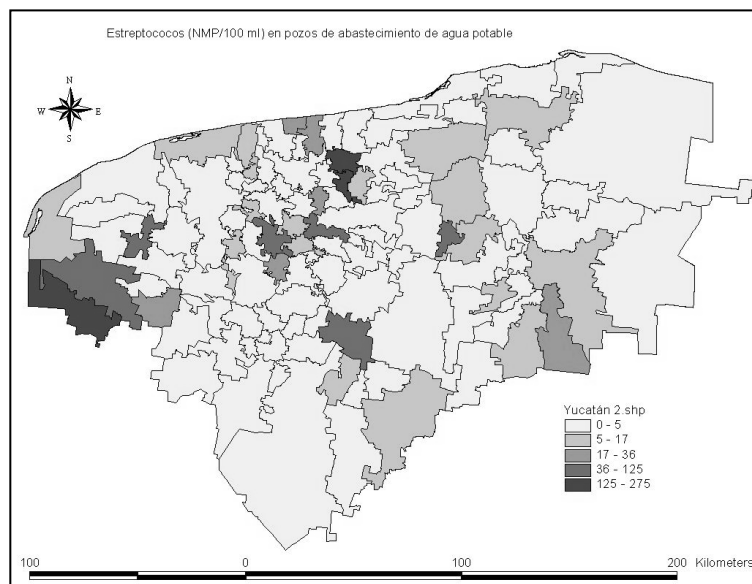


Figura 5. Recuentos de UFC/100 mL de estreptococos fecales en aguas de pozos para el abastecimiento de agua en municipios del estado de Yucatán

Tabla 2. Recuentos (UFC/100 ml) de coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF), estreptococos fecales (E) y relación CF/E de las 106 cabeceras municipales del Estado de Yucatán, México

Municipio	CT	CF	E	CF/E	Municipio	CT	CF	E	CF/E
Buctzotz	1	0	12	0.00	Mocochá	240	230	17	13.53
Hocabá	1	0	8	0.00	Temax	2	32	2	16.00
Mayapán	77	0	4	0.00	Celestún	263	119	7	17.00
Tekal de Venegas	0	0	2	0.00	Xocchel	257	74	4	18.50
Tekantó	3	0	2	0.00	Yaxkukul	35	24	1	24.00
Tinum	22	0	1	0.00	Tepakán	508	375	13	28.85

Municipio	CT	CF	E	CF/E	Municipio	CT	CF	E	CF/E
Tzucacab	0	0	5	0.00	Ucú	73	60	2	30.00
Teya	0	2	275	0.01	Sanahcat	113	92	1	92.00
Cantamayec	6	1	125	0.01	Kinchil	310	295	3	98.33
Halachó	28	6	243	0.02	Akil	55	36	0	>>4
Cuzamá	8	1	31	0.03	Conkal	9	8	0	>>4
Bokobá	11	1	26	0.04	Cuncunul	5	2	0	>>4
Tahmek	10	1	8	0.13	Chacsinkín	23	21	0	>>4
Maxcanú	343	20	66	0.30	Chankom	31	1	0	>>4
Progreso	9	5	15	0.33	Chochola	44	1	0	>>4
Quintana Roo	42	27	80	0.34	Dzan	4	3	0	>>4
Cansahcab	2	75	193	0.39	Dzidzantún	19	4	0	>>4
Yaxcabá	4	2	4	0.50	Dzilam de Bravo	307	282	0	>>4
Tixpéhual	0	12	17	0.71	Homún	5	4	0	>>4
Cenotillo	24	11	11	1.00	Huhí	11	1	0	>>4
Opichén	107	21	20	1.05	Hunucmá	57	53	0	>>4
Peto	27	17	12	1.42	Izamal	50	5	0	>>4
Telchac Puerto	118	51	36	1.42	Kantunil	8	10	0	>>4
Chikindzonot	71	6	4	1.50	Kopomá	27	2	0	>>4
Sinanché	4	36	21	1.71	Mérida	4	8	0	>>4
Espita	6	6	3	2.00	Muna	2	2	0	>>4
Oxkutzcab	15	8	4	2.00	Sacalúm	10	2	0	>>4
Sotuta	8	2	1	2.00	San Felipe	30	2	0	>>4
Panabá	91	34	15	2.27	Sucilá	24	8	0	>>4
Acanceh	30	5	2	2.50	Sudzal	71	11	0	>>4
Cacalchén	8	6	2	3.00	Teabo	2	1	0	>>4
Calotmul	11	3	1	3.00	Telchac Pueblo	0	5	0	>>4
Motul	20	16	5	3.20	Temozón	33	18	0	>>4
Seyé	340	353	109	3.24	Tetiz	32	5	0	>>4
Abalá	106	17	5	3.40	Tunkás	0	4	0	>>4
Timucuy	67	45	12	3.75	Uayma	1	3	0	>>4
Chichimila	185	106	27	3.93	Umán	530	380	0	>>4
Tecoh	19	9	2	4.50	Yobaín	3	0	0	NA
Ixil	36	32	7	4.57	Baca	0	0	0	NA
Tixcacalcupul	94	48	10	4.80	Chapab	0	0	0	NA
Dzitás	139	55	11	5.00	Chemax	0	0	0	NA
Kanasín	44	5	1	5.00	Chicxulub Pueblo	0	0	0	NA
Tekom	53	15	3	5.00	Chumayel	0	0	0	NA
Samahil	745	470	91	5.16	Dzemul	0	0	0	NA
Tizimín	40	17	3	5.67	Dzilam González	0	0	0	NA
Hoctún	440	407	64	6.36	Maní	1	0	0	NA
Kaua	203	114	16	7.13	Muxupip	0	0	0	NA
Valladolid	182	121	14	8.64	Río Lagartos	2	0	0	NA
Tixkokob	60	26	3	8.67	Santa Elena	0	0	0	NA
Dzoncauich	57	18	2	9.00	Suma	0	0	0	NA
Tixméhuac	135	120	12	10.00	Tahdziu	0	0	0	NA
Mama	12	11	1	11.00	Tekax	4	0	0	NA
Ticul	45	33	3	11.00	Tekit	0	0	0	NA

Tabla 3. Porcentaje de pozos en los que se detectó la presencia de los grupos bacterianos indicadores y número de pozos que cumplen la norma oficial

Grupo bacteriano	Presencia de microorganismos (%)	Cumplen NOM-127-SSA1-1994
Coliformes totales	74.5	27
Coliformes fecales	78.3	23
Coliformes totales o Coliformes fecales	70.8	31
Coliformes totales y Coliformes fecales	83.0	18
Enterococos fecales	58	No aplica

Tabla 4. Estadísticas descriptivas de los recuentos de bacterias (UFC/100 ml) en los pozos para el abastecimiento de agua en el Estado de Yucatán (n = 106)

Grupo bacteriano	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Desviación estándar
Coliformes totales	0	745.00	19.5	70.06	126.36
Coliformes fecales	0	470.00	6.0	43.93	94.20
Streptococos fecales	0	275.00	2.0	16.02	43.74

En la Figura 6, se muestran los resultados de la clasificación de los pozos de acuerdo con los valores de CF y E. En el 50% de los pozos muestreados (53 de 106), los valores de CF/E fueron mayores de 4, de estos, 28 pozos tenían valores de cero para enterococos, lo que indicó que la principal fuente de contaminación fecal fue de origen humano, mientras que en el 17% de los pozos (18 de 106) los valores de CF/E fueron menores de 0.7, lo que indicó que la principal fuente de contaminación fecal en ellos fue de origen animal. No obstante, existe evidencia de que los coliformes totales y fecales pueden reproducirse en medios acuáticos (Ashbolt *et al.* 1997; Bermudez y Hazen 1988; Hardina y Fujioka 1991; Niemi *et al.* 1997; Solo *et al.* 2000; Zhao *et al.* 1997), lo que modificaría los valores límites propuestos para la relación CF/E (4 y 0.7), a valores un poco mayores.

En la Tabla 2, puede observarse que en 19 de las muestras de agua de pozo (18%), los valores de CF/E estuvieron entre 0.7 y 4, lo que indicó que la contaminación fecal se debió a ambas fuentes, humana y animal; en 16 de las muestras (15%) no se detectaron ni CF ni E y en 7 de los pozos muestreados (6.6%), en las muestras de agua, no se detectaron CF, pero sí E, lo que indicó que hay una contaminación fecal no reciente, dado que los CF han sido eliminados, pero no así los E que son más resistentes en medios acuáticos.

Se ensayaron correlaciones lineales entre DCP y CF/E y entre DCH y CF/E, obteniéndose valores de -0.04 y -0.036 respectivamente, los cuales no resultaron significativos a niveles de confianza del 95%, por lo que se concluyó que no existe evidencia de que

estuvieran relacionadas las variables. No obstante, se obtuvo que el 85% de las muestras (90 pozos) tuvieron contaminación fecal, ya sea de origen humano o animal, pero los parámetros DCP y DCH no fueron lo suficientemente precisos para establecer el origen de ésta.

De manera general puede concluirse que en la mayoría de las zonas de abastecimiento de agua del Estado de Yucatán, existe contaminación bacteriológica tanto reciente como no reciente, lo que se explica por la falta de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales y, por la permeabilidad y transmisibilidad del acuífero. Dussart *et al.* (2003) estudiaron la relación entre la calidad bacteriológica del agua y la precipitación pluvial en una zona cárstica, encontrando una clara relación entre ellas. Mahler *et al.* (2000) mostraron evidencia de la vulnerabilidad de los acuíferos cársticos con base en determinaciones bacteriológicas y fisicoquímicas.

De acuerdo con el INEGI, solamente el 8% de las aguas residuales municipales generadas en el Estado son colectadas y tratadas con procesos biológicos, mientras que el 60% de las aguas porcinas no recibe ningún tratamiento (INEGI, 2008).

En todas las plantas potabilizadoras municipales se cuenta con instalaciones para la cloración de las aguas, por lo que las bacterias detectadas pueden ser eliminadas por este proceso de desinfección. No obstante, es necesario identificar y eliminar las fuentes de contaminación o bien reubicar los pozos de abastecimiento aguas arriba de las poblaciones, debido a que se conoce que el flujo subterráneo es radial hacia la costa.

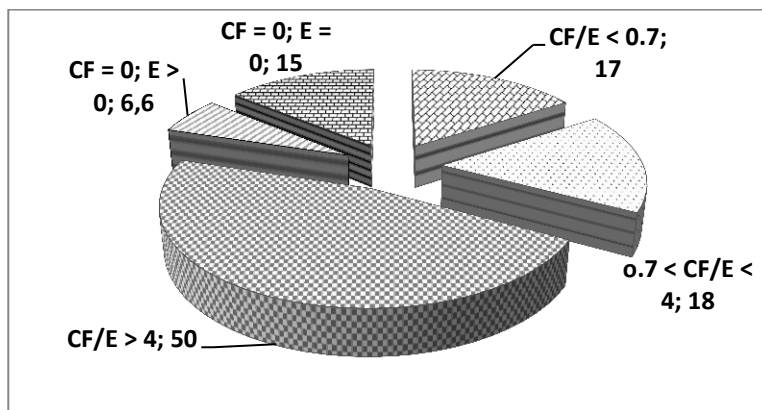


Figura 6. Calidad bacteriológica del agua de los pozos para el abastecimiento del Estado de Yucatán en función de la relación porcentual entre CF y E.

Aunque no se realizaron determinaciones bacteriológicas en pozos someros y dado que el 9.9% de las viviendas en el interior del Estado carecen del servicio de agua potable, y se abastecen de este tipo de pozos para consumo doméstico, se esperaría que las concentraciones bacterianas sean mayores que las obtenidas en este estudio en los pozos profundos de los sistemas de agua potable de las cabeceras municipales. Además, dichas viviendas carecen de sistemas de desinfección, por lo que se sugiere implementar algunas medidas para ayudar a prevenir las enfermedades transmitidas por agua, como por ejemplo:

- Hervir el agua hasta que comience a evaporarse.
- Desinfectar el agua colocando dos gotas de cloro (hipoclorito de sodio comercial) por litro de agua, durante media hora, antes de su consumo.
- Usar la energía solar para la desinfección del agua (comunidades pequeñas).
- Lavar las manos después de ir al baño y antes de manipular alimentos.

CONCLUSIONES

Se determinó la calidad bacteriológica del agua

REFERENCIAS

Alonzo J., Acosta A. (2003). Impacto de las condiciones de abastecimiento y utilización del agua sobre la incidencia de diarrea en niños de la comunidad de Celestún. "Revista Académica de la Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán", Mérida, Yucatán, México. 7(3), 29-34.

APHA-AWWA-WPCF. (2005). Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition, USA.

Arcos M., Ávila S., Estupiñán S. y Gómez A. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua, NOVA-PUBLICACIÓN CIENTÍFICA, 3(4), 69-79.

Ashbolt N., Dorsch M., Cox P. y Banens B. (1997). Blooming E. coli, what do they mean? In Coliforms and E. coli,

subterránea en los pozos para el abastecimiento de las cabeceras municipales del Estado de Yucatán y se asoció al posible origen de contaminación: en el 83.1% de los pozos muestreados (88 de 106), los CT y/o los CF exceden los límites permisibles en la NOM-127-SSA1-1994; el 84.9% de los pozos muestreados (90 de 106), tienen contaminación fecal; en el 34% de los pozos muestreados (36 de 106), la contaminación fecal puede asociarse con un origen animal; en el 50% de los pozos muestreados (53 de 106), la contaminación fecal puede asociarse con un origen humano.

RECOMENDACIONES

Para prevenir la contaminación en los pozos de abastecimiento, se sugiere reubicarlos a zonas aguas arriba de la población, en el sentido del flujo subterráneo y proteger la zona cercana.

En todas las plantas de tratamiento de agua potable municipales se cuenta con instalaciones para la cloración de las aguas, por lo que las bacterias detectadas pueden ser eliminadas por este proceso de desinfección.

Se deben implementar medidas para desinfectar el agua que consume la población que carece del servicio de agua potable.

Problem or Solution? (eds D. Kay and C. Fricker), pp. 78–85, The Royal Society of Chemistry, Cambridge.

Bermudez M. y Hazen T. (1988). Phenotypic and genotypic comparison of *Escherichia coli* from pristine tropical waters. “Applied and Environmental Microbiology”. 54, 979–983.

Campos C. (1996). Indicadores de contaminación fecal en aguas, capítulo 20 en “Agua Potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas”, Fernández Cirelli A. (Ed), Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires. 224-229.

CONAGUA. (2000). Dirección de flujo del agua subterránea, Subdirección General de Programación, Gerencia Regional de la Península de Yucatán, Subgerencia Regional de Programación, Plano 16, archivo: \distritosryt.

Doerfliger N., Jeannin P. y Zwahlen F. (1999). Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method). “Environmental Geology”, 39 (2), 165-176.

Dussart L., Masseia N., Duponta J. y Jouenne T. (2003). Transfer of bacteria-contaminated particles in a karst aquifer: evolution of contaminated materials from a sinkhole to a spring. “Journal of Hydrology”, 284: 285–295.

Fernández A., Molina M., Álvarez A., Alcántara M. y Espigares A. (2001). Transmisión fecohídrica y virus de la hepatitis A. “Higiene y Sanidad Ambiental”, 1: 8-24.

Geldreich E. E. y Kenner B. A. (1969). Concepts of fecal streptococci in stream pollution, “Journal of the Water Pollution Control Federation”, 41(8), R336–R352.

Godfree A., Kay D. y Wyer M. (1997). Faecal streptococci as indicator of fecal contamination in water. “Journal of Applied Microbiology”, Symposium Supplement, 83:110-119.

González O., Aguirre J., Saugar G., Orozco L., Álvarez G., Palacios K. y Guevara O. (2007). Diagnóstico de la calidad del agua de consumo en las comunidades del sector rural noreste del municipio de León, Nicaragua, “Universitas”, 1(1) 7-13.

Hardina C. y Fujioka R. (1991). Soil: The environmental source of *Escherichia coli* and enterococci in Hawaii's streams. “Environmental Toxicology and Water Quality”, 6(2), 185–195.

INEGI. (2008). Anuario Estadístico de Yucatán, <http://www.inegi.org.mx/lib/buscador/busqueda.aspx?s=inegi&textoBus=anuario%20estad%efstico%20Yucat%E1n&e=31&seccionBus=docit>.

Mahler B. J., Personne J.C., Lods G. F. y Drogue C. (2000). Transport of free and particulate-associated bacteria in karst. “Journal of Hydrology”, 238, 179–193.

Mantilla G., Collí J., Pozo F. y Rivas A. (2002). Saneamiento y salud: impacto de las enfermedades diarreicas agudas en la Península de Yucatán, en “XVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancún, México”.

Méndez R., Castillo E., Vázquez E. y Briceño O. (2008). Impacto de las descargas porcinas al acuífero del estado de Yucatán, México, en “XXXI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS, Santiago de Chile”.

Méndez R., Castillo E., Vázquez E. y Magaña A. (2009). “Manejo sanitario de granjas porcinas y avícolas en Yucatán”. Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán, p. 125, ISBN: 978-607-7573-27-2, Mérida, Yucatán, México.

Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127_SSA1-1994. (2000). Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Diario Oficial de la Federación.

Mondaca M. y Campos V. (1996). Riesgo de enfermedades transmitidas por el agua en zonas rurales. Capítulo 13. En “Agua Potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas”. Fernández Cirelli A. (Ed), Aprovechamiento y Gestión de Recursos Hídricos, Directora Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires. pp. 155-167.

Niemi R., Niemelä S., Lahti K. y Niemi J. (1997). Coliforms and *E. coli* in Finnish surface waters. En Coliforms and *E. coli*. Problems or Solution? Kay D y Fricker C. (Eds), 112–119, The Royal Society of Chemistry, Cambridge.

Pacheco J., Cabrera A. y Pérez R. (2004). Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el estado de Yucatán. “Revista Académica de la Facultad de Ingeniería”. Universidad Autónoma de Yucatán, 8(2), 165-179.

Rubio M. y Tzuc L. (1995). 24 horas para morir: epidemia del Cólera Morbo en Yucatán en 1833. “Revista Biomédica”. 6(2), 102-107.

Schmitter J, Comín F., Escobar E., Herrera J., Alcocer J., Suarez E., Elías M., Díaz V., Marín L y Steinich B. (2002). Hydrogeochemical and biological characteristics of cenotes in the Yucatan Peninsula (SE Mexico). “Hydrobiologia” 467, 215–228.

Solo H., Wolfert M., Desmarais T. y Palmer C. (2000). Sources of *Escherichia coli* in a coastal subtropical environment. “Applied Environmental Microbiology”, 66(1), 230–237.

Zhao T., Clavero M., Doyle M. y Beuchat L. (1997). Health relevance of the presence of fecal coliforms in iced tea and leaf tea. “Journal of Food Protection”, 60, 215–218.

Este documento debe citarse como: Méndez Novelo, R., Pacheco Ávila, J., Castillo Borges, E., Cabrera Sansores, A., Vázquez Borges, E. y Cabañas Vargas, D. (2015). **Calidad microbiológica de pozos de abastecimiento de agua potable en Yucatán, México**. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 19-1, pp. 51-61, ISSN 1665-529-X.