



Ingeniería

ISSN: 1665-529X

emoreno@uady.mx

Universidad Autónoma de Yucatán

México

Pacheco Ávila, Julia; Cabrera Sansores, Armando; Pérez Ceballos, Rosela
Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el
Estado de Yucatán, México
Ingeniería, vol. 8, núm. 2, mayo-agosto, 2004, pp. 165-179
Universidad Autónoma de Yucatán
Mérida, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46780214>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán, México.

Julia Pacheco Ávila¹, Armando Cabrera Sansores², Rosela Pérez Ceballos³

RESUMEN

La naturaleza cárstica del Estado de Yucatán, hace que el agua subterránea sea el único medio de abastecimiento y que sea muy vulnerable a la contaminación. En la mayoría de los sistemas de abastecimiento municipales, el uso del suelo en los alrededores es principalmente habitacional, agrícola y pecuario, por lo que el uso no controlado de agroquímicos y la disposición inadecuada de los desechos, son las principales fuentes de la contaminación del agua subterránea. Con la finalidad de elaborar un diagnóstico de la calidad en los pozos de extracción de agua potable, se evaluó la calidad química y bacteriológica del agua subterránea. Durante los muestreos, se recolectaron muestras en los sistemas de agua potable de las 106 cabeceras municipales del Estado de Yucatán. Los resultados mostraron que el agua subterránea del Estado de Yucatán presenta una calidad bacteriológica clasificada como “peligrosa” y “muy contaminada” en la parte oriental del estado. Las clasificaciones de la calidad química del agua subterránea en función al número de parámetros químicos que excedieron los límites permisibles por la Norma Oficial Mexicana (nitratos, cloruros, sodio, dureza total y cadmio), fueron de: “buena calidad”, aquellos municipios que no rebasaron la norma; “calidad baja”, los municipios en los que únicamente un parámetro excedió la norma (13.21%); “calidad media”, los municipios en donde 2 o 3 parámetros excedieron la norma (52.83%) y; “mala calidad”, los municipios en los que 4 y 5 parámetros (7.55%) excedieron la norma.

De manera general, la calidad química del agua subterránea con fines de abastecimiento en los sistemas municipales es aceptable para la mayoría de los 106 sistemas estudiados, ya que de los 22 parámetros químicos estudiados, solo 5 excedieron los límites máximos permisibles por la Norma; sin embargo, la calidad bacteriológica no es aceptable.

Palabras clave: Aguas subterráneas, contaminación, nitratos, cloruros.

INTRODUCCIÓN

Además de ocasionar efectos adversos inmediatos en la salud, como lesiones y muertes, los desastres trastornan las garantías de seguridad en el campo de la salud ambiental que son fundamentales para la supervivencia de la población: agua potable, manejo apropiado de las excretas humanas y

alojamiento. El suministro de agua potable es la respuesta inmediata más importante en un desastre, pues asegura la supervivencia de las poblaciones afectadas. Para reducir las amenazas contra la salud humana asociadas con el consumo de agua contaminada en los sitios de desastre, los programas de emergencia deben satisfacer el suministro de agua de buena calidad en cantidades adecuadas, cuidar la higiene personal, la cocina y el saneamiento, por lo

¹ *Profesor Investigador del Cuerpo Académico de Ingeniería ambiental, FIUADY, pavila@tunku.uady.mx*

² *Profesor Investigador del Cuerpo Académico de Ingeniería ambiental, FIUADY*

³ *Tesista de la Maestría en Ingeniería Ambiental, FIUADY*

que las fuentes potenciales de agua para consumo humano deben ser evaluadas y las aguas tratadas para asegurar su potabilidad (OPS, 2000).

Dados los efectos negativos que diferentes fenómenos, como los huracanes, pueden producir sobre los sistemas de abastecimiento de agua potable, los procesos de mitigación y prevención son de gran importancia. En general, los efectos e intensidades sobre los sistemas de agua potable debido a los huracanes son los siguientes:

- a) Afectación alta: fallos estructurales en la infraestructura de los sistemas, contaminación biológica y química de las aguas para abastecimiento; interrupción del servicio eléctrico, comunicación y vías de acceso; y escasez de equipo, repuestos y materiales.
- b) Afectación moderada: ruptura de tuberías; obstrucciones en captaciones, desarenadores, plantas de tratamiento y tuberías de conducción; y escasez de personal.
- c) Afectación mínima: Daños parciales en las instalaciones tales como roturas de vidrios en puertas y ventanas.

El huracán Isidore se mantuvo durante varias horas a partir del 22 de septiembre de 2004 afectando de manera sensible al Estado de Yucatán; y de acuerdo con la escala Saffir-Simpson, tuvo la escala III, a la que corresponden las siguientes características (Diario de Yucatán, 2002):

- a) Daños estructurales en edificios pequeños, graves inundaciones en la costa, destrucción de estructuras cercanas a ésta por el embate de las olas y escombros flotantes.
- b) Derrumbe total de los techos de algunas viviendas pequeñas
- c) Vientos sostenidos: 177 – 208 km/h y
- d) Marejadas: 2.70 – 3.60 m

El principal riesgo de contaminación del agua subterránea en el estado de Yucatán por efecto del huracán Isidore, fue debido principalmente a la naturaleza cársica del subsuelo, lo que aunado a la falta de alcantarillado entubado y a la disposición de la mayor parte de sus aguas servidas en el subsuelo a través de tanques sépticos, sumideros y pozos negros, en los mejores casos, originó una filtración casi directa hacia el nivel freático. Asimismo, el agua para

consumo, proviene en su mayoría de pozos ubicados en las afueras de las ciudades o de las poblaciones rurales; sin embargo, en la mayoría de las poblaciones, los pozos se ubican en la zona habitada. Por otra parte, la naturaleza fisurada del subsuelo hace que el movimiento del agua hacia el nivel freático sea más rápido por lo que la zona insaturada o vadosa casi no tiene capacidad de atenuación, en especial, en lo que se refiere a la contaminación microbiológica, ya que la apertura de las fisuras es mayor que los microorganismos patógenos.

Los pozos de extracción de agua que suministran gastos de 30 a 70 l/s a los núcleos de población mayores y a las instalaciones industriales tienen profundidades de 40 a 100 metros (SARH, 1988). Estos sistemas son de vital importancia para la salud y el desarrollo de las poblaciones, por lo que es prioritario que los servicios se brinden en condiciones óptimas, ya que si éstos se deterioran pueden generarse problemas de salud que afecten a la mayoría de la población.

La contaminación es mayor en los pozos someros que en los profundos; sin embargo, éstos pueden verse seriamente afectados debido a la presencia de fracturas verticales que proveen patrones de flujo de migración rápida (Buckley et al., 1994); o bien, a la carencia de sellos de protección en los pozos de inyección lo que puede dar lugar al establecimiento de conexiones preferenciales entre el nivel freático y los flujos de los niveles más profundos, generando la migración de los contaminantes a mayor profundidad (Villasuso y Graniel, 1997). Aunque en algunas áreas del Estado de Yucatán, las concentraciones de nitratos se mantienen sin gran incremento debido a la densidad de población relativamente baja (Graniel y Gómez, 1997; Pacheco y Cabrera, 1997), deben de definirse y protegerse las zonas de captación para el abastecimiento con la finalidad de proteger la salud pública. Como puede notarse, esta situación es la que prevalece en nuestra región en situaciones normales, por lo que no es difícil imaginar el riesgo potencial de afectación a la calidad del agua y por ende, a la salud pública, por la presencia de fenómenos naturales, como los huracanes.

La evaluación de la calidad del agua después del impacto del huracán Isidore en los sistemas de agua potable de las 106 cabeceras municipales del estado de Yucatán, permitió elaborar un diagnóstico regional de la calidad del agua subterránea que abastece dichos sistemas. No se trató de evaluar el impacto del huracán isidore en la calidad del agua subterránea, debido al tiempo transcurrido entre dicho

evento meteorológico y la convocatoria que permitió el financiamiento del proyecto, por lo tanto, este estudio se planteó con la finalidad de conocer las características químicas y bacteriológicas del agua subterránea y las condiciones de la infraestructura de los sistemas, que pudieran servir como guía para una mejor respuesta en posteriores situaciones de emergencia y desastre.

METODOLOGÍA

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es

fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, químicas y radiactivas. Para determinar si el agua de abastecimiento municipal se encuentra entre estos límites, se compararon las calidades de agua con los límites permisibles establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 (NOM, 1994), “Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización”.

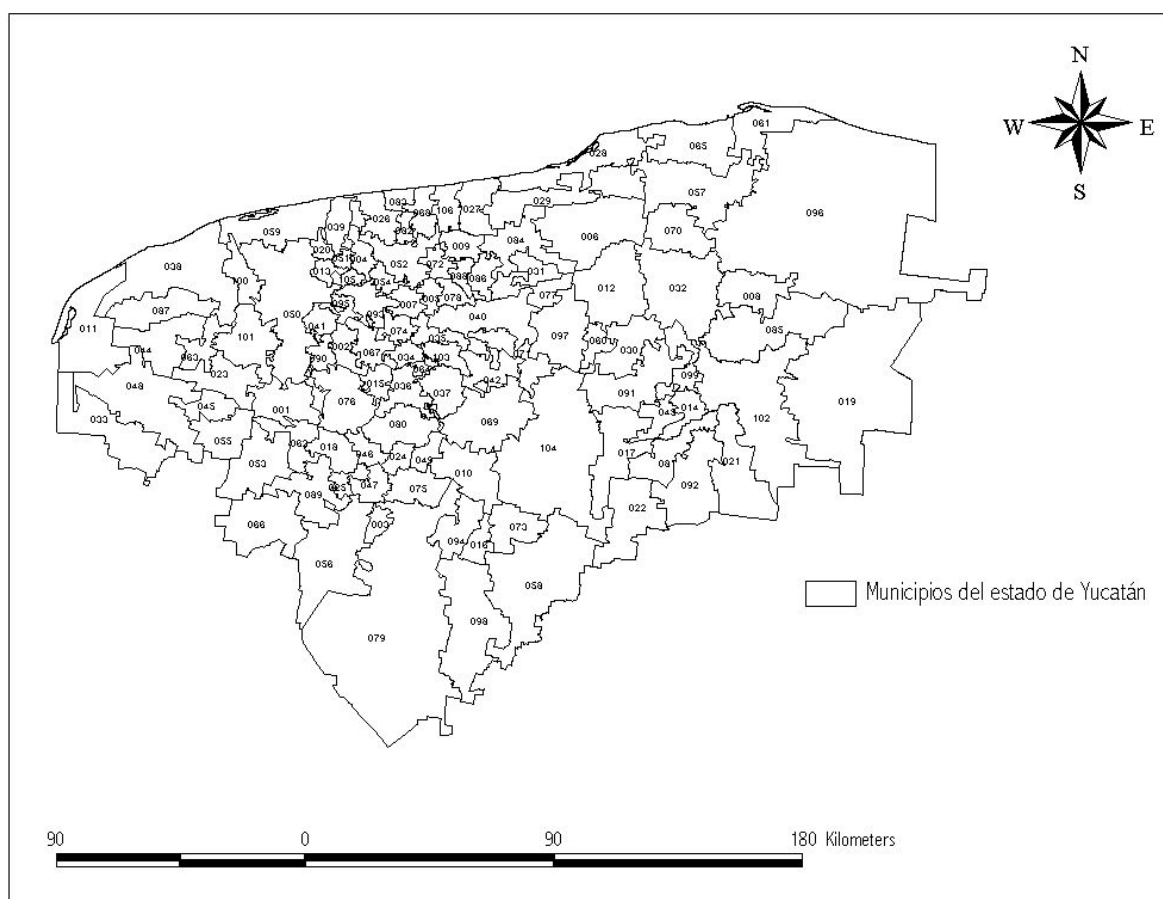


Figura 1. Región de estudio

Los muestreos para la colecta de agua de los pozos de extracción de los sistemas municipales de abastecimiento (Figura 1, Tabla 1) se realizaron durante los meses de julio, octubre y noviembre de 2003 y febrero de 2004. La colecta de las muestras se

realizó antes de pasar por el sistema clorador, estando la bomba en operación y dejando fluir el agua con la finalidad de tener una muestra representativa del agua del acuífero. En cada punto de muestreo se determinaron los parámetros de campo: temperatura,

pH, conductividad eléctrica con la finalidad de conocer las características del agua subterránea al momento del muestreo; también se determinó a la salida del sistema, la concentración de cloro residual para determinar si cumplía con lo establecido en la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994).

Asimismo en el laboratorio, se realizaron los análisis bacteriológicos para determinar la densidad de organismos coliformes fecales y los análisis químicos para determinar la dureza total, la dureza de calcio, la alcalinidad (carbonatos y bicarbonatos), el nitrógeno total Kjeldahl y el nitrógeno amoniacal; los iones sodio, potasio, cloruros, nitrógeno de nitratos, nitrógeno de nitritos y sulfatos; y los metales traza: arsénico, bario, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, plomo y zinc. Estas determinaciones analíticas se hicieron siguiendo las técnicas descritas en las Normas Oficiales Mexicanas (Tabla 2).

El control de calidad de las mediciones hechas en campo, se realizó de acuerdo con las técnicas descritas en el Standard Methods (APHA, AWWA, WPCF, 1989) y en los manuales de

operación para cada uno de los equipos. El control de calidad para las determinaciones analíticas de los iones mayoritarios, se realizó mediante el cálculo del balance iónico (porcentaje de error), aceptando como máximo un valor de 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad bacteriológica

Los coliformes fecales se encuentran tanto en el ambiente como en las heces fecales de animales y humanos, por lo tanto, son evaluados para determinar si los organismos patógenos podrían estar presentes en los pozos de los sistemas de abastecimiento público. En la Tabla 3, se muestra la guía de emergencia para estimar la calidad de fuentes potenciales de agua en sitios de desastre, sobre la base de su grado de contaminación con coliformes (Lillibridge, 2000), ya que en condiciones normales la NOM (1994) establece como límite un valor no detectable de organismos coliformes fecales.

Tabla 1. Claves y nombres de los municipios del estado de Yucatán

Clave	Municipio	Clave	Municipio	Clave	Municipio
001	Abala	040	Izamal	079	Tekax
002	Acanceh	041	Kanasin	080	Tekit
003	Akil	042	Kantunil	081	Tekom
004	Baca	043	Kaua	082	Telchac pueblo
005	Bokoba	044	Kinchil	083	Telchac puerto
006	Buctzotz	045	Kopoma	084	Temax
007	Cacalchen	046	Mama	085	Temozon
008	Calotmul	047	Mani	086	Tepakan
009	Cansahcab	048	Maxcanu	087	Tetiz
010	Cantamayec	049	Mayapan	088	Teya
011	Celestun	050	Merida	089	Ticul
012	Cenotillo	051	Mococha	090	Timucuy
013	Conkal	052	Motul	091	Tinum
014	Cuncunul	053	Muna	092	Tixcacalcupul
015	Cuzama	054	Muxupip	093	Tixkokob

Clave	Municipio	Clave	Municipio	Clave	Municipio
016	Chacsinkin	055	Opichen	094	Tixmehuac
017	Chankom	056	Oxkutzcab	095	Tixpehual
018	Chapab	057	Panaba	096	Tizimin
019	Chemax	058	Peto	097	Tunkas
020	Chicxulub pueblo	059	Progreso	098	Tzucacab
021	Chichimila	060	Quintana roo	099	Uayma
022	Chikindzonot	061	Rio lagartos	100	Ucu
023	Chochola	062	Sacalum	101	Uman
024	Chumayel	063	Samahil	102	Valladolid
025	Dzan	064	Sanahcat	103	Xocchel
026	Dzemul	065	San felipe	104	Yaxcaba
027	Dzidzantun	066	Santa elena	105	Yaxkukul
028	Dzilam de bravo	067	Seye	106	Yobain
029	Dzilam gonzalez	068	Sinanche		
030	Dzitas	069	Sotuta		
031	Dzoncauich	070	Sucila		
032	Espita	071	Sudzal		
033	Halacho	072	Suma		
034	Hocaba	073	Tahdziu		
035	Hoctun	074	Tahmek		
036	Homun	075	Teabo		
037	Huhi	076	Tecoh		
038	Hunucma	077	Tekal de venegas		
039	Ixil	078	Tekanto		

Tabla.2. Técnicas analíticas según las Normas Oficiales Mexicanas

Parámetro	Unidades	Norma oficial mexicana
pH	Unidades de pH	NMX-AA-008-SCFI-2000
Temperatura	°C	NMX-AA-007-SCFI-2000

Parámetro	Unidades	Norma oficial mexicana
Conductividad Eléctrica	WS/cm	NMX-AA-093-SCFI-2000
Nitrógeno Total	mg/l	NMX-AA-026-SCFI-2001
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	NMX-AA-008-SCFI-2001
Nitritos	mg/l	NMX-AA-099-1987
Cloro Residual	mg/l	NMX-AA-100-1987
Color	U. Pt. Co.	NMX-AA-045-SCFI-2001
Alcalinidad F	mg/l	NMX-AA-036-SCFI-2001
Alcalinidad Total	mg/l	NMX-AA-036-SCFI-2001
Dureza Total	mg/l	NMX-AA-072-SCFI-2001
Dureza de Calcio	mg/l	NMX-AA-072-SCFI-2001
Dureza de Magnesio	mg/l	NMX-AA-072-SCFI-2001
Sulfatos	mg/l	NMX-AA-074-1981
Cloruros	mg/l	NMX-AA-073-SCFI-2001
Nitratos	mg/l	NMX-AA-079-SCFI-2001
Sodio	mg/l	NMX-AA-051-1981
Potasio	mg/l	NMX-AA-051-1981
Calcio	mg/l	NMX-AA-051-1981
Magnesio	mg/l	NMX-AA-051-1981
Carbonatos	mg/l	NMX-AA-036-SCFI-2001
Bicarbonatos	mg/l	NMX-AA-036-SCFI-2001
Arsénico	mg/l	NMX-AA-051-SCFI-2001
Bario	mg/l	NMX-AA-051-SCFI-2001
Cadmio	mg/l	NMX-AA-051-SCFI-2001
Cobre	mg/l	NMX-AA-051-SCFI-2001
Cromo	mg/l	NMX-AA-051-SCFI-2001
Hierro	mg/l	NMX-AA-051-SCFI-2001
Manganeso	mg/l	NMX-AA-051-SCFI-2001
Plomo	mg/l	NMX-AA-051-SCFI-2001
Zinc	mg/l	NMX-AA-051-SCFI-2001
Coliformes fecales	NMP/100 ml	NMX-AA-042-SCFI-1987

Tabla 3. Guías microbiológicas para muestras de agua recogidas en sitios de desastre

Coliformes por 100 ml de agua	Calidad del agua
0 –10	Aceptable
10 –100	Contaminada
100 – 1000	Peligrosa
Más de 1000	Muy contaminada

Fuente: Lillibridge, 2000.

La calidad microbiológica de las muestras de agua subterránea pueden clasificarse como aceptables en un 45%; contaminadas en un 23%; peligrosas en un 18% y muy contaminadas en un 14% (Figura 2). Esta contaminación se puede deber a la disposición inadecuada de los desechos domésticos, las prácticas de saneamiento en el lugar, la disposición inadecuada de los desechos de granjas, entre otras. La calidad bacteriológica del agua para beber establecida por la Norma Oficial Mexicana (1994) se puede alcanzar mediante un sistema de cloración controlado ya que las aguas subterráneas con mayor densidad de organismos coliformes fecales requieren una mayor dosificación de cloro.

Asimismo, si el abastecimiento del cloro es insuficiente se recomienda sugerir a la población hervir el agua para fines de consumo. Sin embargo, se debe de considerar que aquellos sistemas de abastecimiento que muestran una gran contaminación bacteriológica requieren acciones de remedio, como por ejemplo verificar si en las cercanías al pozo existen granjas pecuarias o si están ubicadas letrinas que pudieran estar contaminando el agua y en caso positivo, cambiarlas de ubicación con la finalidad de mejorar la calidad del agua abastecida. También se debe de considerar que la calidad del agua que se abastece por los sistemas no necesariamente refleja la calidad del agua que consume la población, ya que en algunos sistemas las horas de bombeo no son suficientes y la población almacena el agua en depósitos temporales (cubos, cubetas, ollas, etc.), los que en la mayoría de los casos se dejan a la intemperie y al alcance de los animales domésticos; también se den de tener en cuenta otros factores como la cobertura, la accesibilidad y la posible contaminación en las redes de distribución.

Calidad química

En lo que respecta a la calidad química del agua subterránea para fines de abastecimiento en los sistemas municipales, de manera general se tiene una calidad aceptable para la mayoría de los 106 sistemas estudiados, ya que únicamente 5 de los 22 parámetros estudiados presentaron que excedieron la NOM (1994) respecto a las especies químicas de nitratos, cloruros, sodio, dureza total, y cadmio.

Nitratos

La presencia de nitratos en el agua subterránea puede tener diversos orígenes relacionados con actividades humanas como la agricultura y la disposición de los desechos de humanos y de animales. Las concentraciones de nitratos en el agua subterránea del área de estudio pueden clasificarse en un 89% por debajo del límite establecido en la norma (45 mg/l) y el 11% restante con valores que exceden dicho límite, alcanzando concentraciones de hasta 96 mg/l (Figura 3).

Cloruros

La distribución espacial de los cloruros en el agua subterránea en el estado de Yucatán, mostró que en los municipios ubicados en las porciones noreste, sur y noroeste del Estado, se tuvieron concentraciones que excedieron a 250 mg/l que es el límite máximo permisible por la Norma (NOM, 1994). Las cabeceras municipales que reportaron los mayores valores que excedieron el valor de la norma fueron Chocholá (Municipio Clave 023) con 404 mg/l, Maxcanú (Municipio Clave 048) con 537 mg/l, Muna (Municipio Clave 053) con 632 mg/l y San Felipe (Municipio Clave 065) con 570 mg/l; esta distribución, puede estar asociada con la presencia de rocas evaporitas en el subsuelo, por el uso de fertilizantes clorurados (como el cloruro de amonio) y con el efecto de la intrusión marina, respectivamente (Figura 4).

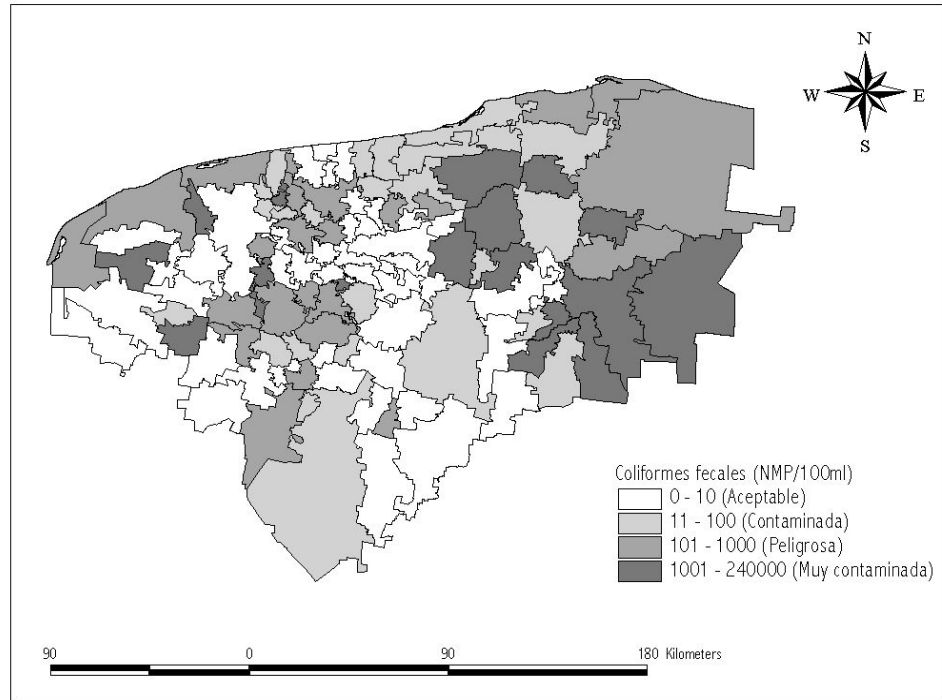


Figura 2. Coliformes fecales en el agua de los pozos de los sistemas de abastecimiento en las cabeceras municipales del Estado de Yucatán

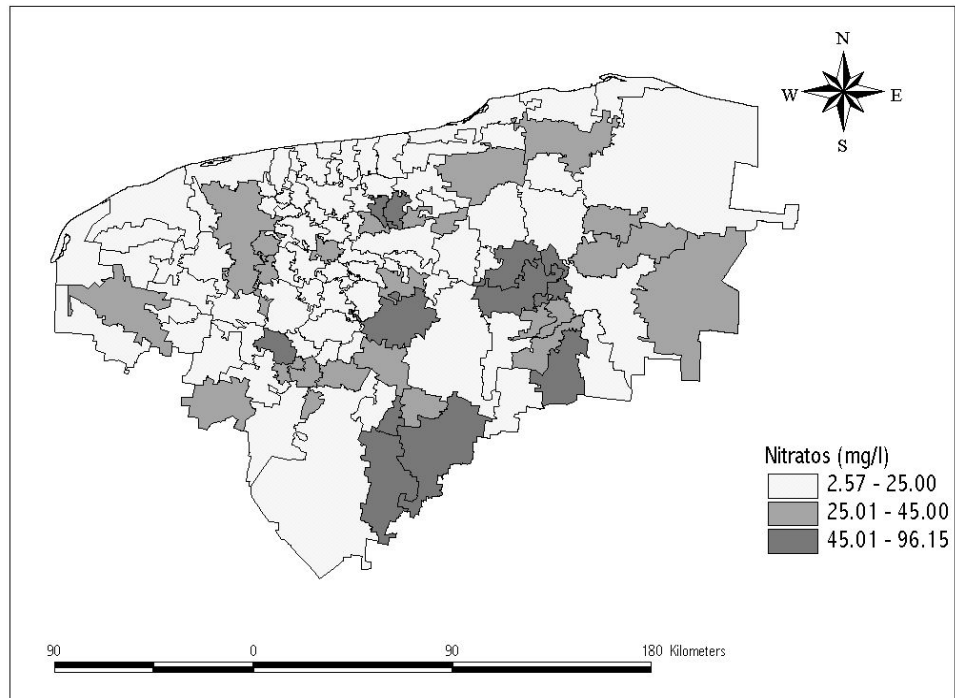


Figura 3. Concentraciones de nitratos en el agua de los pozos de los sistemas de abastecimiento en las cabeceras municipales del Estado de Yucatán

Sodio

Los valores de las concentraciones de sodio en el agua subterránea del estado de Yucatán, mostraron que en los municipios ubicados en las porciones noroeste, noreste y sur del Estado se tuvieron concentraciones que excedieron a 200 mg/l que es el límite establecido por la Norma (NOM, 1994) (Figura 5). Esta distribución puede estar asociada con la presencia de rocas evaporitas, con el efecto de la intrusión marina y por la inadecuada disposición de desechos de humanos y de animales, ya que las excretas y la orina contienen el cloruro de sodio que no fue asimilado y que no fue excretado a través del sudor. El 81% del agua colectada en los sistemas municipales de abastecimiento mostraron valores por debajo del límite establecido en la NOM (1994). El 19% de las muestras de los sistemas municipales, mostraron valores que alcanzaron valores de hasta dos veces el límite establecido por la NOM.

Dureza total

Los valores de las concentraciones para la dureza total encontradas en el agua subterránea del

estado de Yucatán, los podemos agrupar en bajos, medios y altos. Los dos primeros cumplen con lo establecido en la NOM (1994) que es de 500 mg/l y el tercero, presenta valores que exceden dicho límite (Figura 6). Los valores de dureza total clasificados como valores altos (>500 mg/l) se deben a la presencia en una proporción mayor de los minerales disueltos como carbonatos (CaCO_3), dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) y anhidrita (CaSO_4).

Cadmio

La presencia de cadmio en agua puede deberse a descargas industriales y desechos de minería. Químicamente es similar al zinc y frecuentemente ambos están asociados en procesos geoquímicos y con un estado de oxidación de +2. Los valores encontrados en el agua subterránea se pueden clasificar en dos grupos: el primero, con concentraciones menores que 0.02 mg/l que es el límite de detección y que pueden o no cumplir con la Norma establecida para el Cadmio en la NOM (1994) y que es de 0.005 mg/l y el segundo, con concentraciones entre 0.021 y 0.062 mg/l, valores que exceden el límite permisible en el 72% de las muestras analizadas (Figura 7).

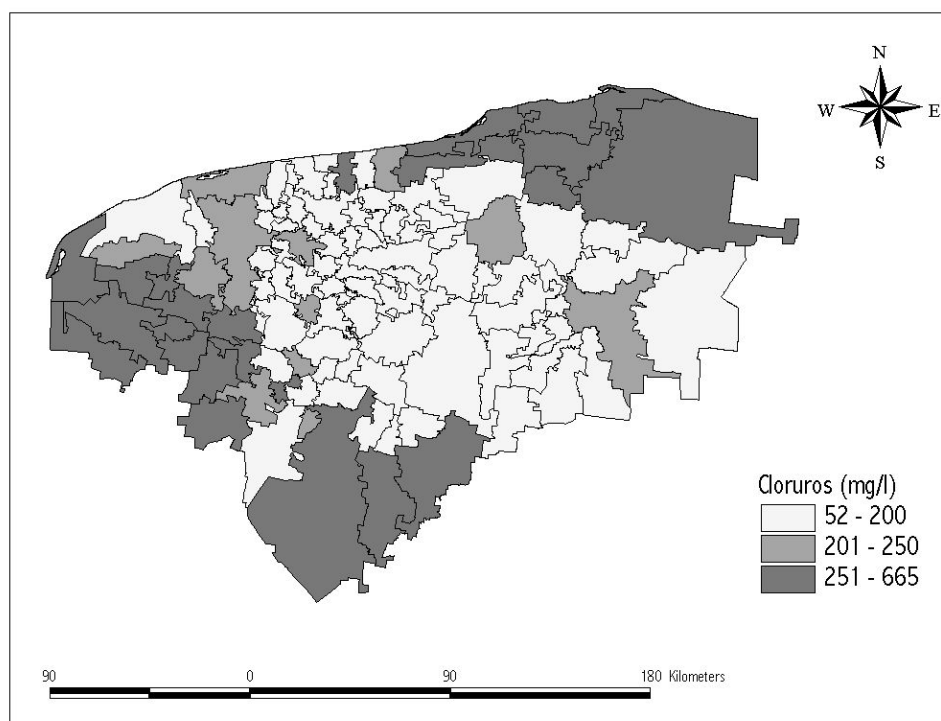


Figura 4. Concentración de cloruros en el agua de los pozos de los sistemas de abastecimiento en las cabeceras municipales del Estado de Yucatán

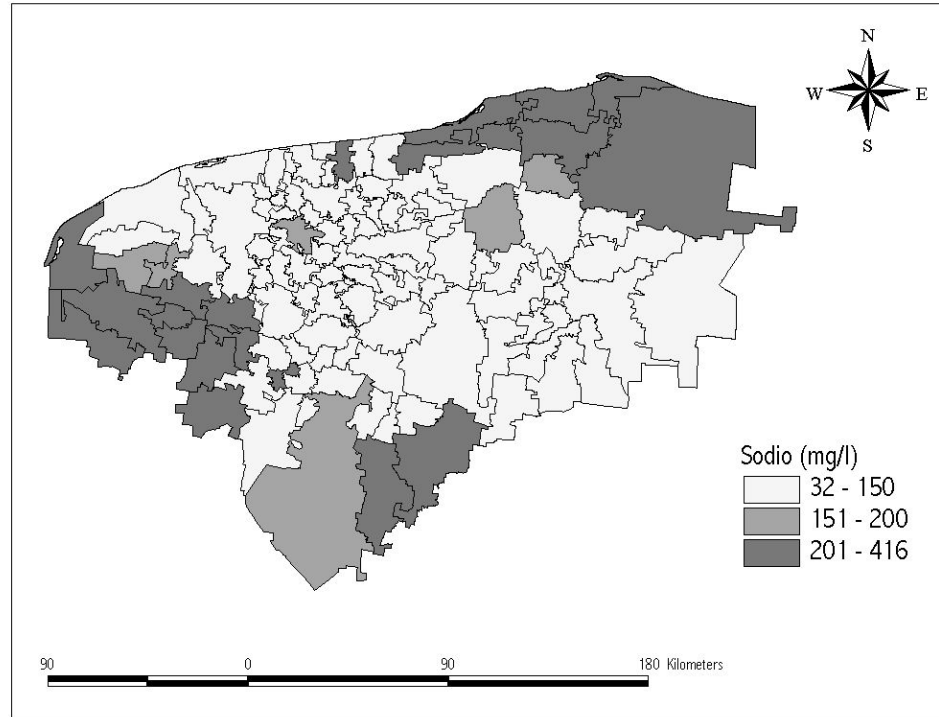


Figura 5. Concentraciones de sodio en el agua de los pozos de los sistemas de abastecimiento en las cabeceras municipales del Estado de Yucatán

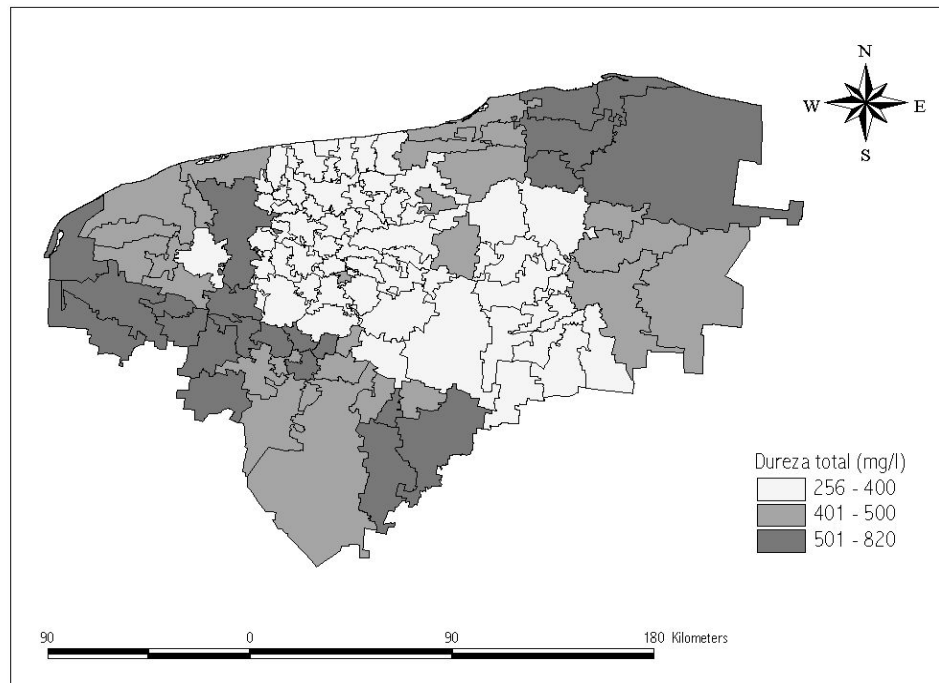


Figura 6. Concentraciones de dureza total en el agua de los pozos de los sistemas de abastecimiento en las cabeceras municipales del Estado de Yucatán

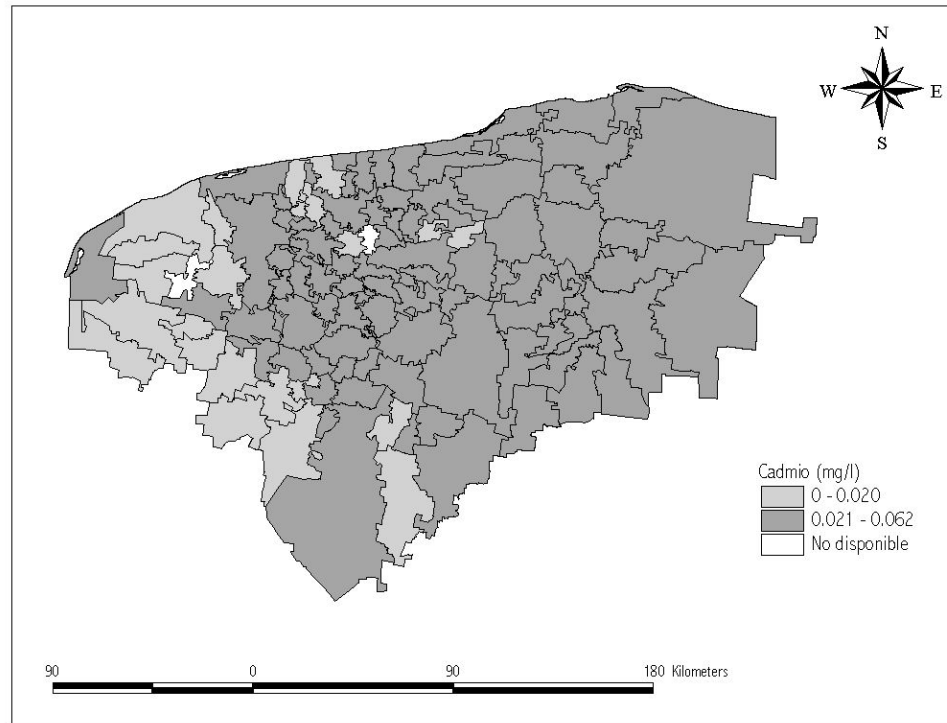


Figura 7. Concentraciones de cadmio en las muestras de agua de los pozos de los sistemas de abastecimiento en las cabeceras municipales del Estado de Yucatán

De manera general, la calidad química del agua subterránea se puede clasificar en niveles de contaminación en función al número de parámetros químicos que excedieron los límites permisibles por la NOM y que como se ha mencionado fueron: los nitratos, los cloruros, el sodio, la dureza total y el cadmio. Estos niveles son: sin contaminación, aquellos municipios que no rebasan a la norma; nivel bajo, los municipios en que únicamente un parámetro excede la norma (13.21%); nivel medio, los municipios en donde 2 o 3 parámetros exceden la norma (52.83%) y; el alto, los municipios en los que se excede la norma en 4 y 5 parámetros (7.55%) (Figura 8).

Tipos de familias de aguas

Mediante el diagrama triangular de Piper se determinaron las familias de aguas predominantes en el estado de Yucatán de acuerdo con el contenido iónico. Para elaborar este diagrama, se utilizaron los valores de los iones mayoritarios obtenidos para cada

uno de los pozos muestreados. Las familias de aguas predominantes en el estado de Yucatán, se agrupan en 5 tipos: cálcica bicarbonatada - sódica clorurada (40%), sódica clorurada - cálcica bicarbonatada (22%), sódica clorurada - cálcica clorurada (16%), cálcica bicarbonatada - magnésica clorurada (12%) y sódica clorurada - cálcica sulfatada (5%) (Figura 9). Esta clasificación concuerda parcialmente con la señalada en la Sinopsis Geohidrológica del Estado de Yucatán (SARH, 1988), en la que se menciona que la familia predominante es la cálcica- magnésica bicarbonatada; la magnésica - sódica como representativa del área de lomeríos y la familia sódica - clorurada como representativa del área costera. Sin embargo, hay que tomar en consideración que antes de la década de los 90's los análisis para determinar los iones sodio y potasio no eran rutinarios y en la mayoría de las veces, sus concentraciones eran calculadas a través del balance iónico ideal (cero por ciento de error) con las deficiencias que esto pudo ocasionar.

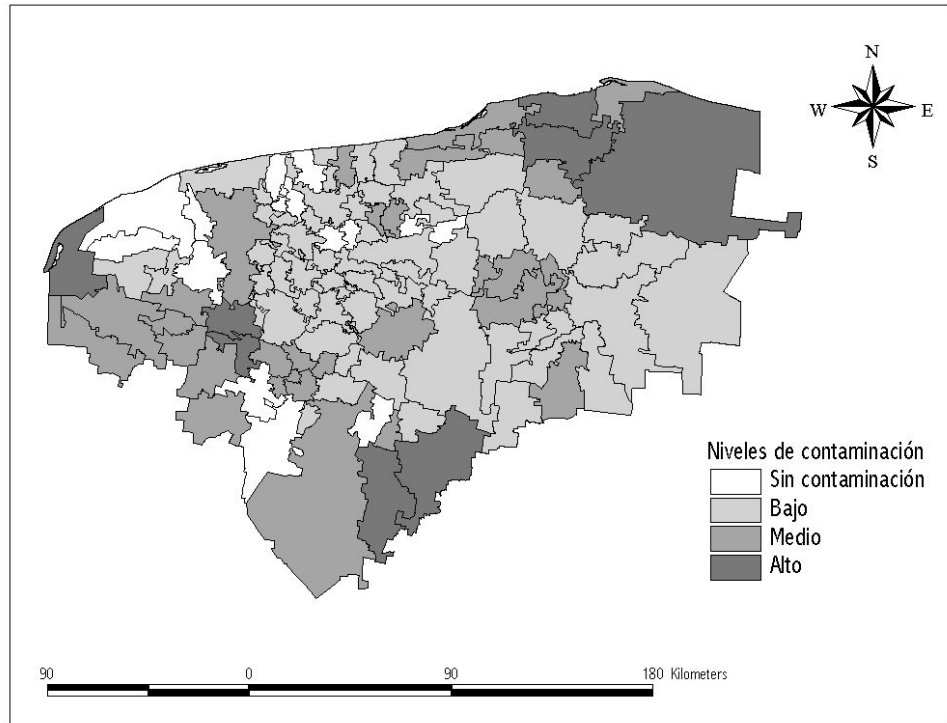


Figura 8. Niveles de contaminación en el Estado de Yucatán

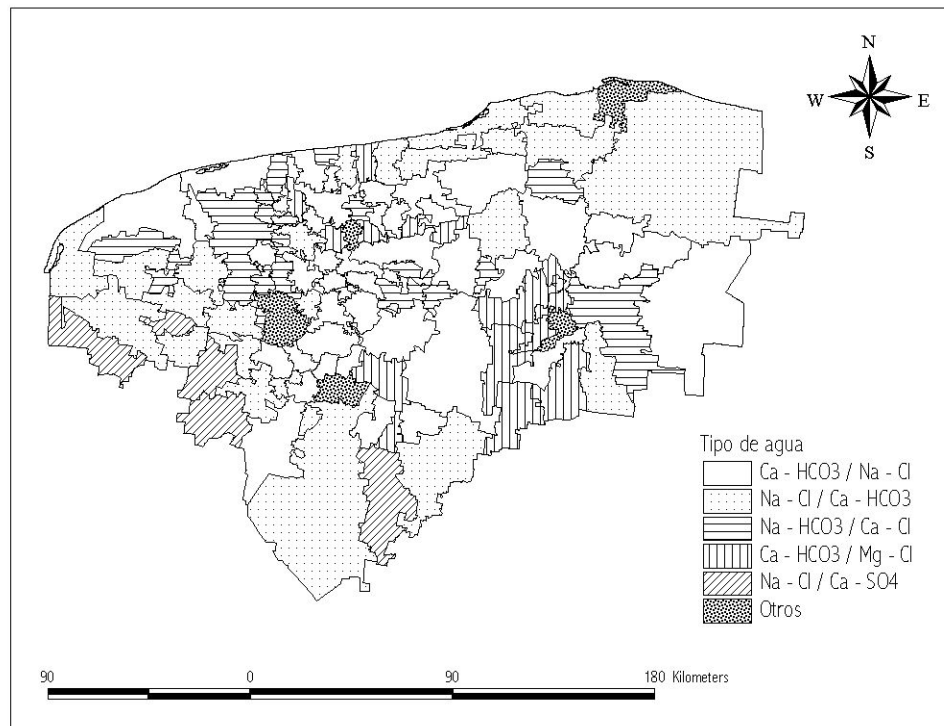


Figura 9. Distribución espacial de las familias de aguas predominantes en el Estado de Yucatán

Infraestructura física en los sistemas municipales de abastecimiento

Los daños causados por el huracán Isidore a la infraestructura física de los sistemas de abastecimiento fueron en casos excepcionales muy severos como el derrumbe del tanque elevado en el poblado de Yobaín (Municipio Clave 106) (Figura

10) y en otros, los daños fueron menores como son: el desprendimiento de puertas, rejas tiradas, algunas paredes caídas, etc. En cuanto a los daños considerados menores, en la mayoría de los sistemas ya se han sido reparados lo que permitió obtener las muestras de agua para los análisis en todos los sistemas municipales de abastecimiento.



Figura 10. Tanque de almacenamiento derrumbado por los efectos del huracán Isidore en Yobaín, Yucatán

CONCLUSIONES

La calidad microbiológica del agua subterránea en el estado de Yucatán, puede clasificarse como aceptables en un 45%, contaminadas en un 23%, peligrosas en un 18% y muy contaminadas en un 14%; por lo tanto, es de gran importancia no descuidar el abastecimiento de cloro para la purificación de las aguas antes de su distribución; ya que aproximadamente en el 46% de los sistemas de abastecimiento el agua se distribuía sin clorar y en el 7% las concentraciones de cloro

residual estuvieron por debajo de lo establecido en la Norma Oficial Mexicana.

Los constituyentes químicos que mostraron concentraciones que excedieron el límite permisible fueron: los cloruros, la dureza total, los nitratos y el sodio. Respecto al cadmio (metal traza), las concentraciones excedieron el límite permisible por la Norma, existiendo la posibilidad de que el 100% la excediera, ya que el límite de detección del análisis químico es mayor que el límite establecido por la Norma.

Las clasificaciones de la calidad química del agua subterránea en función al número de parámetros químicos que excedieron los límites permisibles por la NOM (nitratos, cloruros, sodio, dureza total y cadmio), fueron: “buena calidad”, aquellos municipios que no rebasaron la norma; “calidad baja”, los municipios en que únicamente un parámetro excedió la norma (13.21%); “calidad media”, los municipios en donde 2 o 3 parámetros excedieron la norma (52.83%) y; “mala calidad”, los municipios en los que se excede la norma en 4 y 5 parámetros (7.55%).

De manera general, la calidad química del agua subterránea con fines de abastecimiento en los sistemas municipales es aceptable para la mayoría de los 106 sistemas estudiados, ya que de los 22 parámetros químicos estudiados, solo 5 excedieron los límites máximos permisibles por la Norma; sin embargo, la calidad bacteriológica no es aceptable.

RECOMENDACIONES

No dejar de clorar el agua para su distribución, especialmente en los municipios en donde se tiene una situación crítica respecto a la contaminación bacteriológica por organismos coliformes fecales y para los casos en donde el abastecimiento de cloro no pueda ser oportuno, recomendar a los consumidores hervir el agua antes de ingerirla.

Revisar los sellos sanitarios de los pozos de abastecimiento, mediante la información disponible

de los detalles de la construcción de los pozos que deberá incluir la información acerca de los sellos sanitarios y ante la falta de esta información; principalmente para aquellos municipios clasificados con un nivel de contaminación alto, los responsables de los sistemas municipales deberán solicitar el cumplimiento de las normas NOM-003-CNA-1996 Y NOM-004-CNA-1996, que señalan los requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación y los requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua, respectivamente.

Realizar estudios específicos acerca de la presencia de cadmio en el agua subterránea para identificar su origen.

Apoyar a los grupos de protección civil para una adecuada respuesta en los casos de desastre por la presencia de huracanes, en especial, en lo que se refiere al suministro de agua apta para consumo.

RECONOCIMIENTO

Al fondo mixto CONACYT – Gobierno del estado de Yucatán por el apoyo otorgado mediante el proyecto “Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los pozos de extracción de agua potable y evaluación de la infraestructura física de los sistemas de abastecimiento de las cabeceras municipales del estado de Yucatán”, con clave: YUC-2002-CO1-8721.

REFERENCIAS

- APHA, AWWA, WPCF., 1989, Standard methods for the examination of water and wastewater. Edited by: Clesceri, L.S., Greenberg, A.E., Trussell R.R.
- Buckley, D.K., D.M.J. Macdonald, Villasuso, P.M., Graniel, C.E., Vazquez, M.J., Jimenez, V., 1994, Geophysical Logging of a karstic limestone for hydrogeological purposes at Merida, Yucatan, Mexico. Technical Report WD/94/4C, 26 p.
- Custodio, E., 1976, Hidrogeología Subterránea. Ediciones Omega, Barceloa, España.
- Diario de Yucatán, 2002, Información sobre la presencia del huracán Isidore en el estado de Yucatán, los días 21, 22, 23 y 25 de septiembre.
- Graniel E., Gómez A., 1997, Contenido de especies nitrogenadas en el agua subterránea de la ciudad de Mérida. “Ingeniería. Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán”, 1 (1), 15-25.
- Hounslow, A.W., 1995, Water Quality Data. Lewis Publishers., U.S.A.

- Lillibridge, S.R., 2000, Manejo de los aspectos de salud ambiental en los desastres: agua, excretas humanas y albergues. En: Impacto de los desastres en la salud pública (Ed. Noji E.K.).
- NOM-127-SSA1-1994, Norma Oficial Mexicana. Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- Núñez, R.T., 1991, Estudio hidrogeoquímico de las aguas subterráneas de la región N-NW del estado de Yucatán. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Yucatán. México.
- OPS, OMS., 2000, Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. Impacto de los desastres en la salud pública. Editor: Eric K. Noji.
- Pacheco J., Cabrera A., 1997, Groundwater contamination by nitrates in the Yucatan Peninsula, Mexico. "Hydrogeology Journal", 5 (2) 47-53.
- Pacheco, A.J., 2003, Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los pozos de extracción de agua potable y evaluación de la infraestructura física de los sistemas de abastecimiento de las cabeceras municipales del estado de Yucatán. Informe Final del proyecto YUC-2002-C01-8721, Fondos Mixtos CONACYT-GOBIERNO DEL ESTADO DE YUCATÁN.
- SARH, 1989, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Sinopsis Geohidrológica del Estado de Yucatán. Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica; Dirección General de Administración y Control de Sistemas Hidrológicos. 48 p.
- Villasuso M., Graniel E., 1997, Estudio de la contaminación del acuífero de la ciudad de Mérida y sus medidas de remedio. "Ingeniería. Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán", 1 (1), 57-67.