

Higiene y Sanidad Ambiental, **17** (3): 1541-1545 (2017)

Caracterización físicoquímica y bacteriológica del agua subterránea del municipio de Villa de Acapetahua, Chiapas, México

PHYSICO-CHEMICAL AND BACTERIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF UNDERGROUND WATER IN THE MUNICIPALITY OF VILLA DE ACAPETAHUA, CHIAPAS, MEXICO

E. RIVAS ROBLES¹, F. ESPINOSA-NIÑO¹, F. HERNÁNDEZ CRUZ¹, H. GUZMÁN-MONTERROSA², H. PÉREZ-HERNÁNDEZ³

¹ Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Calle Central Norte S/N entre 4^a y 5^a Norte. 30580 Acapetahua, Chiapas, México.

² Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Facultad de Ingeniería Ambiental, Libramiento Sur S/N C.P. 30560 Mapastepec, Chiapas, México.

³ Servicio de Consultoría Científica y Técnica. C.P.30600 Escuintla, Chiapas. México.

Correspondencia: E. Rivas Robles. Correo-e: emanuel.rivas@unicach.mx

RESUMEN

La investigación consistió en la caracterización físicoquímica y microbiológicas del agua subterránea del municipio de Villa de Acapetahua (Chiapas) y de cinco comunidades: El Arenal, Mariano Matamoros, Jiquilpan Bonanza, Colonia Soconusco y Consuelo Ulapa. Para ello se colectaron 19 muestras en las que se evaluaron los parámetros físicoquímicos (temperatura, pH, oxígeno disuelto, dureza total, sólidos totales disueltos, conductividad eléctrica, salinidad, CO₂, nitrógeno de amonio, nitrito de nitrógeno, alcalinidad y cloruro), así como los bacteriológicos (coliformes totales, *E. coli* e identificación de Enterobacteriaceae). El 16.6% de los parámetros comparados con NOM-127-SSA1-1994 superan el límite permisible. El conteo de las UFC de coliformes totales y la identificación de *Enterobacter sakazakii* y *Enterobacter cloacae*, impiden su aprovechamiento para consumo humano.

Palabras clave: Agua subterránea, contaminación del agua, físicoquímica del agua, Enterobacteriaceae.

ABSTRACT

The present research is a study of the physico-chemical and bacteriological characterization of underground water in the municipality of Villa de Acapetahua, Chiapas, and five other surrounding communities: El Arenal, Mariano Matamoros, Jiquilpan Bonanza, Colonia Soconusco and Consuelo Ulapa. In order to carry out the investigation, 19 samples were collected and then tested in physico-chemical parameters (temperature, pH, dissolved oxygen, total hardness, total dissolved solids (TDS), electric conductivity, salinity, CO₂, ammonium nitrogen, nitrogen nitrite, alkalinity and chloride), as well as in bacteriological parameters (total coliforms, *E. coli*, and identifying Enterobacteriaceae). 16.6 per cent of parameters compared to NOM-127-SSA1-1994 were found to have exceeded the limit. Hence, the counting of the CFUs of total coliforms and the identification of *Enterobacter sakazakii* and *Enterobacter cloacae* in the tested underground water makes its use not suitable for human consumption.

Keywords: Underground water, water pollution, physicochemistry of water, Enterobacteriaceae.

INTRODUCCIÓN

El municipio de Villa de Acapetahua se ubica entre los paralelos 15°01' y 15°24' de LN; los meridianos 92°37' y 92°56' de LO con una altitud de entre 0 y 100 m, colinda al norte con los municipios de Mapastepec, Acacoyagua y Escuintla; al este con los municipios Escuintla y Villa Comaltitlán; al sur con el municipio de Villa Comaltitlán, Huixtla y el Océano Pacífico; al oeste con el Océano Pacífico y el municipio de Mapastepec. La época de lluvia normalmente comprende de abril a noviembre, con mayor intensidad. Forma parte de la cuenca río Huixtla y otros (100%) con corrientes de agua perennes Doña María, Cacaluta, Cintalapa, San Nicolas y Vado Ancho intermitentes Ulapa y Cilapa. En la clasificación climatológica propuesta por García (1973) se describe como cálido subhúmedo con lluvias en verano (61.15%) y cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (38.85%), con temperaturas que varían entre 26-30°C y un rango de precipitación de 1500 - 3500 mm. Se presentan sus escurrimientos en las faldas de la Sierra del Soconusco, donde sus pendientes topográficas no permiten que existan sitios para vasos de almacenamiento. El municipio de Villa de Acapetahua tiene una población de 27,580 habitantes, viviendas particulares habitadas que disponen de agua de la red pública en el ámbito de la vivienda 2,602 y un volumen anual de suministro de agua potable y tomas domiciliarias de agua entubada de cero (INEGI, 2010).

Las aguas subterráneas constituyen una de las principales fuentes de agua para consumo humano. Al momento en que la lluvia llega al suelo, diferentes

factores comienzan a afectar su uso futuro como fuentes de consumo humano. Sin intervención humana, el agua de lluvia se infiltra en el suelo, influye en la superficie o se evapora de acuerdo a los patrones naturales. El área de recarga de un acuífero subyacente a un área densamente poblada a menudo lo hace vulnerable a contaminación por causas antropocéntricas (Anton, 1996).

La relación que existe entre el régimen de precipitación que es la principal fuente de recarga de agua infiltrada, se puede considerar la generación de lixiviados de la contaminación superficial sobre el intersticio del suelo y subsuelo como parte importante de la contaminación (Orozco-Magdaleno et al, 2008). Existen estudios que han encontrado y evidenciado la contaminación en el agua subterránea (Marín et al, 1998). Gallegos et al, (1999) encontraron contaminación orgánica (nitritos y coliformes fecales y totales) en muestras de agua subterránea. El uso del agua subterránea está orientado en actividades de casa-habitación. El objetivo de la presente investigación fue evaluar los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua subterránea del municipio de Villa de Acapetahua, Chiapas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

Para alcanzar los objetivos del estudio se eligieron seis diferentes sitios de muestreo para la toma de agua subterránea que comprende la cabecera municipal y sus cinco comunidades más pobladas (Tabla 1).

Técnicas de análisis y muestro

En las muestras de agua se evaluaron 12 parámetros fisicoquímicos (T, pH, OD, DT, SDT, CE, S, CO₂, nitrógeno de amonio, nitrito de nitrógeno, alcalinidad y cloro) y tres bacteriológicos (conteo de UFC de CT, *E. coli* e identificación de Enterobacteriaceae).

Se tomó 1 L de agua de cada uno de los pozos, haciendo un total de 19 L de muestras. La evaluación se realizó en un único muestreo realizado el mes de febrero del 2016. La colecta de las muestras de agua se realizó en recipientes de polipropileno lavados cuidadosamente primero con agua y enjuagados posteriormente con abundante agua bidestilada, además en el momento de tomar las muestras cada recipiente fue enjuagado con abundante agua del sitio. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas subselección Acapetahua donde se realizaron los análisis fisicoquímicos.

El análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua, la determinación de

Tabla 1. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo.

Sitio de muestreo	Habitantes	Latitud Norte	Longitud Oeste
Villa de Acapetahua	27 580	15°17.258"	92°41.594"
		15°17.083"	92°41.286"
		15°17.017"	92°41.219"
		15°16.911"	92°41.640"
Colonia Soconusco	2 502	15°18.787"	92°43.398"
		15°18.993"	92°43.697"
		15°19.024"	92°43.506"
Consuelo Ulapa	1 937	15°23.356"	92°47.474"
		15°23.133"	92°47.618"
		15°23.089"	92°47.501"
El Arenal	1 157	15°10.417"	92°42.072"
		15°10.335"	92°41.877"
		15°10.464"	92°41.860"
Jiquilpan Bonanza	1 119	15°20.626"	92°44.820"
		15°20.594"	92°44.837"
		15°20.696"	92°44.866"
Mariano Matamoros	776	15°40.321"	92°44.385"
		15°15.321"	92°44.473"
		15°15.337"	92°44.485"

dureza total, CO₂, amonio, nitrito, cloruro y alcalinidad se usó el laboratorio portátil CMS shallow monitoring (Severiche-Sierra et al, 2013; Tovar-Juárez et al, 2013). Algunas pruebas fueron realizadas *in situ*; como la temperatura, pH, conductividad y TDS se determinaron con un potenciómetro HI-98130 marca HANNA, el O.D. y la salinidad se usó el YSI-550A.

Para el conteo de las UFC de coliformes totales y *E. coli* se tomaron alcuotas de 1 mL con una micropipeta de un canal marca Science con capacidad de 100-1000 µl y sembradas en placas petrifilm 3M^{MR} e incubadas en una estufa HEDDING DHP 9052 a 24 ± 2 horas a 35 ± 1 °C para realizar la lectura de coliformes totales, y a las 48 ± 2 horas a 35 ± 1 °C para realizar el conteo de *E. coli* (AOAC método oficial 991.14). El conteo de las UFC se realizó con un equipo cuenta colonias marca NOVATECH modelo CC-100, el conteo de coliformes totales y *E. coli* en 100 mL de agua. Los parámetros físicoquímicos, así como el conteo de CT y *E. coli* fueron reportados como valores promedio y comparados con la Norma Oficial Mexicana (NOM-SSA1-127-1994).

Las Enterobacteriaceae se diferenciaron por su morfología (Esaú-Jácome et al, 2014; Vargas-Flores y Vargas-Alvin 2014). Para la identificación de Enterobacteriaceae, las muestras fueron sembradas en el medio Agar Eosina Azul de Metileno MCD LAB No. 0574R98 SSA e incubadas durante 24 horas a 36 ± 2°C en una estufa HEDDING DHP 9052. Después de las 24 horas las bacterias se clasificaron ocupando la técnica de tinción Gram. Las colonias confirmadas como Gram negativas fueron suspendidas en 5 mL de solución de NaCl 0.85% igualando la turbidez del tubo 3 de MacFarland y sembradas en la batería de

identificación API 20E V4.1 BIOMÉRIEUX, generando una atmosfera anaerobia con aceite de parafina en las pruebas (ADH, LDC, ODC, H₂S y URE) añadiendo 5 mL de agua destilada estéril en la bandeja de incubación para proveer una atmósfera húmeda e incubadas a 36 ± 2°C por 24 horas, transcurrido este tiempo de incubación se aplicaron los reactivos TDA, JAMES, VP1 y VP2 en las pruebas TDA, IND y VP; después de 10 minutos se realizó la lectura y los perfiles bioquímicos fueron leídos con el software de identificación APIWEB.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros físicoquímicos

De los 12 parámetros evaluados, solo 6 pudieron ser comparados (pH, dureza total, TSD, amonio, nitrito y cloruro) con los límites permisibles establecidos en la NOM-127-SSA1-1994. No hubo regulación para los parámetros temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, salinidad, CO₂ y alcalinidad (Tabla 2).

Los parámetros que pudieron ser comparados con la NOM indican que el agua subterránea del municipio de Villa de Acapetahua y sus principales comunidades están dentro del rango permisible establecidos en la NOM-127-SSA1-1994, excepto la dureza total en el sitio de muestreo El Arenal que supera 19% de CaCO₃ permisible para consumo humano. La temperatura fue 21% inferior a la que encontraron Moreno et al. (2003). Los valores de pH, CE, OD, DT, TDS, nitrito, cloruro y alcalinidad coinciden con lo reportado en anteriores estudios (Ata et al, 2013; Odukoya et al, 2010; Umadevi et al, 2010 y Orozco-Magdaleno et al, 2008).

Tabla 2. Valores promedios de parámetros físicoquímicos en pozos artesanales.

Parámetros físicoquímicos	VA	EA	MM	JB	CS	CU	NOM-127-SSA1-1994
Temperatura (°C)	27.6	29.9	28.1	30.6	28.8	28.4	-
pH	7.70	7.90	8.30	8.10	7.60	8.10	6.5 – 8.5
Conductividad (µS/cm)	345.8	498.8	574.6	153.8	295.1	173.1	-
O.D. (mg/L)	0.24	0.44	0.42	0.38	0.47	0.14	-
Dureza total (mg/L)	144.5	619	311	220	141.5	185	500
TSD (mg/L)	171.3	508.5	283.1	76.48	130.8	89.99	1000
Salinidad	0.7	1.95	1.10	0.30	0.55	0.40	-
CO ₂	0.7	0.48	0.63	0.10	0.49	0.35	-
Amonio (mg/L)	1.6	1.60	1.30	0.20	0.20	0.20	10
Nitrito (mg/L)	0.05	0.05	0.075	0.05	0.05	0.05	0,05
Cloruro (mg/L)	55	95	60	40	50	50	250
Alcalinidad (mg/L)	100	265	215	80	105	100	-

Tabla 3. UFC de CT y *E. coli* del agua subterránea del Municipio de Villa de Acapetahua.

<i>Sitio de muestreo</i>	<i>Coliformes totales</i>	<i>E. coli</i>	<i>NOM-127-SSA1-1994</i>
Villa de Acapetahua	20 000	0	
El Arenal	26 666	0	
Mariano Matamoros	75 000	0	Coliformes totales y <i>E. coli</i> , ausencia o no detectables
Jiquilpan Bonanza	58 333	0	
Colonia Soconusco	76 666	0	
Consuelo Ulapa	16 666	0	

Tabla 4. Enterobacteriaceae identificadas en el agua subterránea del municipio de Villa de Acapetahua.

<i>Enterobacteriaceae</i>	<i>PB</i>	<i>% ID</i>	<i>Sitios de muestreo</i>					
			<i>VA</i>	<i>EA</i>	<i>MM</i>	<i>JB</i>	<i>CS</i>	<i>CU</i>
<i>Enterobacter sakazakii</i>	3304573	99.5	X		X			
<i>Serratia odorifera 1</i>	7347773	99.6			X			X
<i>Enterobacter cloacae</i>	3307773	98.4			X		X	
<i>Erwinia spp</i>	2245533	95.8				X	X	
<i>Vibrio fluvialis</i>	6047121	85.3	X	X		X		

Parámetros microbiológicos de las aguas subterráneas

La carga bacteriana más alta de CT se encontraron en las comunidades de Soconusco, Mariano Matamoros y Jiquilpan Bonanza con 76 666, 75 000 y 58 333 UFC respectivamente, todos los sitios evaluados superan el límite establecido por la NOM-127-SSA1-1994. Por otro lado, no hubo presencia de *E. coli* (Tabla 3).

La NOM-127-SSA1-1994 indica que el límite permisible de coliformes totales debe de ser ausente o no detectable. En el caso de los microorganismos patógenos no existe un límite inferior tolerable; por lo que el agua destinada al consumo, la preparación de alimentos y bebidas o la higiene personal no debe contener ningún agente patógeno para el ser humano. Esto se puede conseguir seleccionando fuente de agua de buena calidad y tratando y descontaminando eficazmente el agua contaminada con heces de seres humanos o de animales u otras sustancias protegiéndola para que no haya contaminación durante la distribución al usuario (OMS, 1995).

Se identificó *Enterobacter sakazakii* en Villa de Acapetahua y Mariano Matamoros y *E. cloacae* en Mariano Matamoros y Colonia Soconusco, Tabla 4. Las bacterias del género *Enterobacter* son importantes en el ambiente porque son indicadoras de contaminación fecal (Glynn y Heinke, 1999).

El grupo coliforme abarca los géneros *Klebsiella*, *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* y *Serratia*. Cuatro de estos géneros (*Klebsiella*, *Enterobacter*, *Citrobacter* y *Serratia*) se encuentran en el ambiente (fuentes de agua, vegetación y suelos) no están asociados necesariamente con la contaminación fecal y no plantean ni representan necesariamente un riesgo evidente para la salud. Las bacterias coliformes, no deben de estar presentes en sistemas de abastecimiento, almacenamiento y distribución del agua, y si así ocurriese, ello es indicio de que el tratamiento fue inadecuado o que se produjo contaminación posterior. Marchand-Pajares (2002) asocia la contaminación del agua subterránea a deficiencias higiénico sanitarias como: presencia de vectores, algas, cercanía a letrinas, cercanía a basurales, presencia de animales domésticos en el ambiente circundante, pozos sin protección física y sin revestimiento interno.

CONCLUSIONES

Los parámetros físicoquímicos del agua subterránea del municipio de Villa de Acapetahua y de las comunidades evaluadas están dentro de los valores permisibles por la NOM-SSA1-127-1994, sin embargo, el conteo de las UFC de coliformes totales así como la presencia de Enterobacteriaceae sobrepasan las normas de salud vigentes, lo que sugiere un tratamiento previo a su consumo.

BIBLIOGRAFÍA

- Anton, J., 1996. Thirsty Cities Urban Environments and Water Supply in Latin America. p.180.
- AOAC, (2002) Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemistry Washington, DC, USA, 173-4.
- Ata, S. et al., 2013. Monitoring of anthropogenic influences on underground and surface water quality of Indus River at district Mianwali-Pakistan. *Turk J Biochem*, 38 (January 2012), pp.25–31.
- Esaú-Jácome, L. et al., 2014. Las tinciones básicas en el laboratorio de microbiología. *Investigación en Discapacidad*, 3(1), pp.10–18. Available at: www.medigraphic.org.mx.
- Gallegos, E. et al., 1999. The effects of wastewater irrigation on groundwater quality in Mexico. *Water Science and Technology*, 40(2), pp.45–52.
- García, E. 1998. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Retrieved from http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidade/s/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_lib/modific_al_sis.pdf.
- Glynn, H. y Heinke, G., 1999. *Ingeniería ambiental*, México: Prentice Hall.
- INEGI. (2010). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. México: IGENI. Retrieved from <http://mapserver.inegi.org.mx/mgn2k/>
- Marchand-Pajares, E., 2002. *Microorganismos indicadores de la calidad del agua de consumo humano en lima metropolitana*. Universidad Nacional Maypr de San Marcos.
- Marín, L. et al., 1998. Inorganic water quality monitoring using specific conductance in Mexico: Ground water monitoring and remediation. , 18(1), pp.156–162.
- Moreno, F.P. et al., 2003. Caracterización química de aguas subterráneas en pozos y un distribuidor de agua de Zimapán, Estado de Hidalgo, México Chemical characterization of groundwaters in wells and a water distributor of Zimapan State of Hidalgo, Mexico. *Hidrobiológica*, 13(2), pp.95–102.
- Norma Oficial Mexicana NOM-SSA1-127-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Retrieved from <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html>.
- Odukoya, O., Onianwa, P. y Sanusi, O., 2010. Effect of highways and local activities on the quality of underground water in Ogun State, Nigeria A case study of three districts in Ogun State, Nigeria. *Environ Monit Assess*, 168(1), pp.1–10.
- Orozco-Magdaleno, C., Ramírez-Aguilar, F. y Cruz-López, J., 2008. Caracterización físicoquímica y bacteriológica de aguas subterráneas de pozos artesanales y efluentes hídricos en la Costa de Chiapas (México). *Hig. Sanid. Ambient.*, 8, pp.348–354.
- Severiche-Sierra, C., Castillo-Bertel, M. y Acevedo-Barrios, L., 2013. *Determinación de parámetros físicoquímicos básicos en aguas*, Colombia: EUMED.NET. Available at: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/index.htm>.
- Tovar-Juárez, E. et al., 2013. *Técnicas de monitoreo y evaluación de servicios ecosistémicos y biodiversidad* M. Torres, ed., Chiapas: ECOSECHAS.
- Umadevi, A., George, M. y Dharmalingam, P., 2010. An Investigation of the Quality of Underground Water at Eloor in Ernakulum District of Kerala , India. *E-Journal of Chemistry*, 7(3), pp.908–914.
- Vargas-Flores, T. y Vargas-Alvin, K., 2014. Morfología bacteriana. *Revista de Actualización Clínica*, 49(2), pp.2594–2598.