







Calidad del agua de pozo de una comunidad tének en la Huasteca Potosina, México

Water quality from wells in a tének community in the Huasteca Potosina, Mexico

Jaqueline Esparza-González^{1,+} ,
Luis J. Castillo-Pérez^{2,+} ,
Diana Zavala-Cuevas¹ ,
María Luisa Carrillo-Inungaray¹ ,
Candy Carranza-Álvarez^{1,2} ,
Domingo Martínez-Soto^{3,4} 

¹Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca. Romualdo del Campo 501, Rafael Curiel, CP. 79060. Cd. Valles, San Luis Potosí, México.

²Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales. Av. Manuel Nava 201, 2o. piso Zona Universitaria, CP. 78000. San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

³Instituto Tecnológico Superior de Los Reyes, Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, Los Reyes de Salgado, Mich., México.

⁴University of California Riverside, Department of Microbiology and Plant Pathology, Riverside CA, USA.

* Autor de correspondencia:
dmtzsoto10@gmail.com

+ Ambos autores contribuyeron igualmente en este trabajo.

Nota científica

Recibida: 11 de octubre 2020

Aceptada: 07 de diciembre 2020

Como citar: Esparza-González J, Castillo-Pérez LJ, Zavala-Cuevas D, Carrillo-Inungaray ML, Carranza-Álvarez C, Martínez-Soto D (2020) Calidad del agua de pozo de una comunidad tének en la Huasteca Potosina, México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 7(3): e2736. DOI: 10.19136/era.a7n3.2736

RESUMEN. El Tamarindo es una comunidad ubicada en la zona tének de Ciudad Valles, San Luis Potosí, México, donde la mayoría de sus habitantes consumen y abastecen sus necesidades básicas del agua de dos pozos poco profundos. El objetivo de este trabajo fue analizar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua, además de identificar y cuantificar la presencia de metales totales. Se realizaron muestreos por triplicado durante las épocas de estiaje, lluvias y post-lluvias. Los resultados mostraron altas concentraciones de coliformes totales y fecales en ambos pozos. También se encontraron concentraciones traza de cadmio, mercurio, estaño, plomo, talio, arsénico, zinc, cobre y níquel, los cuales pueden causar daños a la salud humana. En conclusión, el agua de los pozos de esta comunidad no tiene la calidad requerida para consumo humano y debe ser sometida a procesos de purificación o potabilización previo a su consumo y uso en actividades domésticas.

Palabras clave: Agua de pozo, calidad de agua, población tének, Huasteca Potosina.

ABSTRACT. El Tamarindo is a community located in the Tenek area of Ciudad Valles, San Luis Potosí, Mexico, where most of inhabitants consume and supply their basic needs with water from two shallow wells. The goal of this research was to analyze the physicochemical and microbiological characteristics, as well as identifying and quantifying the presence of metals in the mentioned water. Samplings were carried out in triplicate under dry, rainy, and post-rain seasons. The results showed high concentrations of total and fecal coliforms in both wells. Also, trace concentrations of cadmium, mercury, tin, lead, thallium, arsenic, zinc, copper, and nickel were found in the water, which can cause harm to human health. In conclusion, the water from the wells of this community does not have the quality required for human consumption. The water must be processed under purification methodologies previous to its consumption and use in domestic activities.

Key words: Well water, water quality, tének population, Huasteca Potosina.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural esencial para la vida y el desarrollo económico y social, su consumo directo y uso en diversas necesidades básicas es indispensable para desarrollar actividades productivas. En la actualidad, debido a su distribución irregular, el agua es un factor que determina la condición social y económica de las poblaciones; siendo las comunidades rurales e indígenas las menos favorecidas con agua de calidad, ya que recurren al uso de piletas o pozos para la captación y almacenamiento del vital líquido (Tuesca-Molina *et al.* 2015). Al respecto, se sabe que la calidad del agua almacenada en pozos puede estar influenciada por las temporadas climatológicas que se presentan durante el año, las cuales inducen un cambio en el oxígeno disuelto, el pH y la solubilidad de las sustancias, cambios que pueden ser más drásticos debido al cambio climático (Whitehead *et al.* 2015). En zonas agrícolas la calidad del agua también puede ser afectada por la filtración de metales o compuestos tóxicos provenientes de agroquímicos como fertilizantes, herbicidas y plaguicidas (Dong *et al.* 2020), lo que representa un riesgo para la salud, cuando no se cuenta con fuentes de agua potable (Guzmán-Plazola *et al.* 2016).

En México existen 62 grupos indígenas que representan el 9.54% de la población total del país (Navarrete-Linares 2008). Estos grupos habitan en zonas rurales que generalmente carecen de agua potable, y donde es común el uso de pozos para almacenar y abastecer sus necesidades básicas y de consumo de agua (Sandre-Osorio y Murillo 2008). Pero se tienen reportes que indican que este tipo de agua es propicio para la proliferación de microorganismos, como bacterias, hongos, parásitos y virus, que afectan su calidad, y por lo tanto la salud de quienes la consumen (Chover-Lara *et al.* 1995, Juárez *et al.* 2015).

En la Huasteca Potosina predominan las comunidades indígenas como El Tamarindo, una comunidad tének ubicada en una zona con alta actividad agrícola donde el cultivo de caña de azúcar es una de sus actividades principales. Esta actividad agrícola aumenta el riesgo de que sus

habitantes y recursos naturales estén en contacto con diferentes compuestos agroquímicos como el ácido 2,4-diclorofenoxiacético, la atrazina, el glifosato, el ácido metilarsónico, el paraquat, entre otros (Guzmán-Plazola *et al.* 2016). Además, la mayoría de los habitantes de El Tamarindo consumen y abastecen todas sus necesidades del agua filtrada y almacenada en dos pozos poco profundos (Zavala-Cuevas y Carrillo-Inungaray 2011). Por lo anterior, objetivo de este trabajo fue analizar en diferentes temporadas climatológicas del año, las características fisicoquímicas y microbiológicas, así como identificar y cuantificar la presencia de metales en el agua almacenada en los pozos de la comunidad de El Tamarindo en la Huasteca Potosina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

La comunidad rural El Tamarindo, pertenece al municipio de Ciudad Valles, San Luis Potosí, México y se ubica a los 21° 51' 24" LN y 99° 04' 45" LO, con altitud de 115 msnm (Figura 1). La comunidad forma parte de la zona indígena tének de la Huasteca Potosina. El clima predominante es cálido subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 31 °C y precipitación pluvial anual entre 1 200 y 1 500 mm (CONAGUA 2019). Se distinguen seis tipos de suelos, de los cuales el leptosol es el que cubre la mayor superficie con un 58.7%, seguido del vertisol (23.4%), chernozem (11.5%), regosol (2.6%), phaeozem (1.8%) y luvisol (0.4%) (INEGI 2009).

Ubicación de los sitios de muestreo y recolección de muestras

Se realizaron muestreos en diferentes temporadas climatológicas, durante el 2017 y principios del 2018: 1) durante la temporada de estiaje (mayo 2017), caracterizada por abundante calor sin presencia total o parcial de precipitaciones pluviales; 2) durante la temporada de lluvias (septiembre 2017), caracterizada por abundante calor con presencia total o parcial de precipitaciones pluviales de moderadas a intensas; y 3) después de la temporada de lluvias (post-lluvias; enero 2018), caracterizado por calor

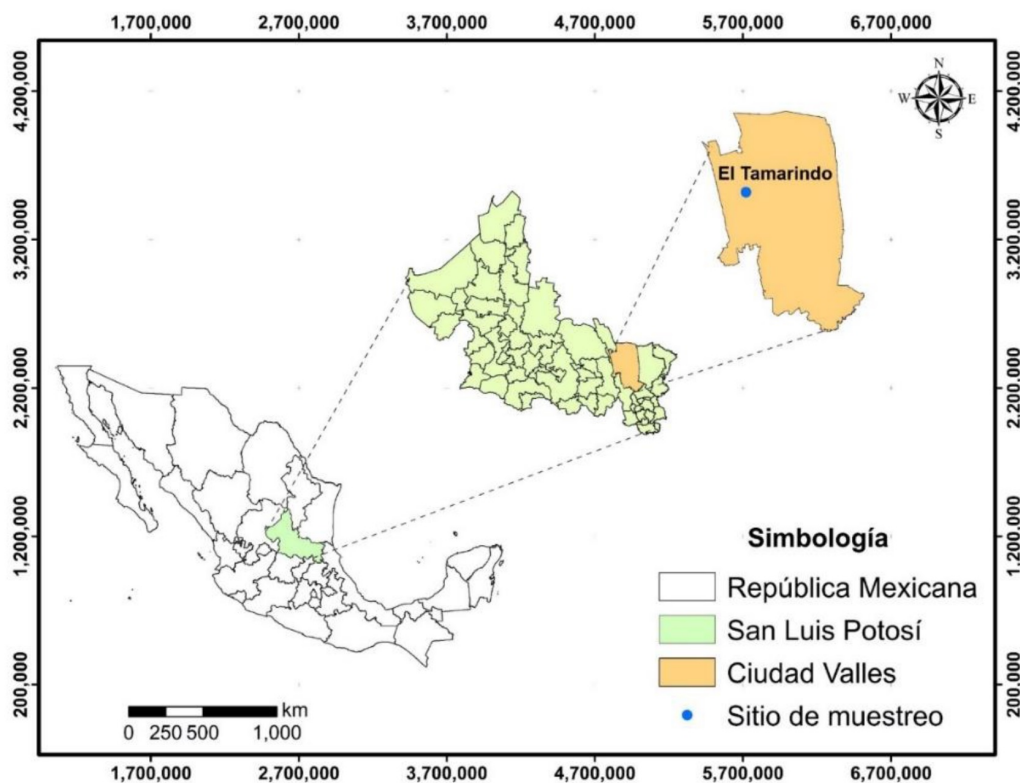


Figura 1. Ubicación de El Tamarindo, Cd. Valles, S.L.P., México.

moderado y precipitaciones esporádicas no intensas (CONAGUA 2019). Se colectaron muestras de agua por triplicado de los dos pozos en la comunidad, los cuales se encuentran en contacto directo con el suelo. El Pozo 1 se localiza en las coordenadas $21^{\circ} 51' 29.6''$ LN y $-99^{\circ} 4' 49.0''$ LE, a una altitud de 101 msnm, con profundidad de 5.50 m y diámetro de 2 m. El Pozo 2 se ubica en las coordenadas $21^{\circ} 51' 24.8''$ LN y $-99^{\circ} 4' 51.6''$ LE, a una altitud de 122 msnm, profundidad de 5.0 m y diámetro de 1.7 m. Ambos pozos poseen una recubierta de piedra con cemento, la profundidad se determinó tomando en cuenta el fondo de los pozos. Las muestras de agua se recolectaron del centro y a la mitad de la profundidad del agua contenida al momento del muestreo. Para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, las muestras de agua se recolectaron en recipientes de vidrio estériles de 500 mL. Para la determinación de parásitos (huevos de helmintos) se recolectaron en recipientes de 5 L con tapa hermética, los cuales

fueron previamente desinfectados con hipoclorito de sodio (NaClO) al 6%. Mientras que las muestras utilizadas para el análisis de metales se recolectaron en recipientes de plástico estériles de 1 L, los cuales se sellaron, rotularon y cubrieron para evitar su exposición a la luz. Todas las muestras se transportaron a temperatura de $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$, e inmediatamente después realizar los análisis en el laboratorio.

Análisis fisicoquímicos

La temperatura del agua se midió con un termómetro digital modelo Fluke 51 II (Washington, EUA). Los parámetros de pH y sólidos totales disueltos (STD) se determinaron en el equipo multiparamétrico HACH, modelo sensION156 (Colorado, US) en el sitio al momento del muestreo. La dureza total (como CaCO_3) se determinó mediante titulación complejométrica y con base en lo establecido por la norma oficial mexicana NMX-AA-072-SCFI-2001 (SE 2001).

Determinación de metales

Se realizó la determinación de metales totales en el agua de los pozos, durante la temporada de lluvias, debido a los altos índices de precipitación pluvial, y por lo tanto, posiblemente mayor arrastre de metales del suelo. Para la cuantificación de metales totales, las muestras sin filtrar se digirieron con ácido nítrico (HNO_3) concentrado a 60°C durante una hora. Las muestras en solución se aforaron a 50 ml con agua desmineralizada y se analizaron mediante un espectrofotómetro de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) Varian 725-ES (Victoria, AU), cuyos límites de detección (LD) y cuantificación (LC) están determinados por el método EPA 200.7 (EPA 1994), aplicado a las muestras en el Laboratorio Nacional de Biotecnología Agrícola, Médica y Ambiental del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica.

Análisis microbiológicos

La determinación de coliformes totales y coliformes fecales se realizó con base en la metodología establecida en la NOM-112-SSA1-1994 (SSA 1994). Se utilizó la técnica del Número Más Probable (NMP), donde, para la prueba presuntiva se realizaron diluciones decimales (10^{-1} , 10^{-2} , y 10^{-3}), se colocaron tres series de tubos de caldo lactosado con campana de Durham y se incubaron a $35 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 48 h. Después del tiempo de incubación, se consideraron como positivas aquellas en donde se observó producción de gas. Como prueba confirmatoria de la presencia de coliformes, a partir de las muestras que resultaron positivas, se transfirieron dos azadas de 0.001 ml del cultivo a un tubo con caldo lactosa bilis verde brillante, y se incubó a $35 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 48 ± 2 h. Finalmente, se determinó el número de coliformes totales de acuerdo con la tabla del NMP. Para la determinación de coliformes fecales, se repitió el procedimiento anterior, pero se modificó la temperatura de incubación a 44°C .

Determinación de parásitos (huevos de helmintos)

La determinación de huevos de helmintos se realizó de acuerdo con la norma oficial mexicana

NMX-AA-113-SCFI-2012 (SE 2012) con algunas modificaciones. La muestra se dejó reposar por tres días para posteriormente decantar cuidando la integridad del sedimento. El sedimento contenido en cada recipiente se centrifugó en tubos Falcon de 50 ml a 6 000 rpm por 5 min, se decantó el sobrenadante y el paquete sólido se resuspendió con disolución de sulfato de zinc para posteriormente ser observado al microscopio de campo claro AXIO-LAB-A1 ZEISS (Oberkochen, DE) en objetivo 40X.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos para dureza total y STD se analizaron mediante una prueba de varianza ANOVA de una vía tipo modelo lineal general (MLG), verificando previamente los supuestos de normalidad (prueba de Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianzas (prueba de Levene). Adicionalmente, se utilizó la prueba HSD de Tukey ($p \leq 0.05$) para comparar las medias entre los diferentes tratamientos. Los análisis estadísticos fueron realizados usando el programa Statistic para Windows, versión 8.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características físicas, químicas y biológicas del agua, están influenciadas por factores climatológicos y ambientales (Gray 2017), sobre todo en aguas no potables almacenadas en contacto directo con el suelo. En este trabajo, la temperatura del agua de los pozos fue de los 24.5 a 25.5°C , en tanto que el pH en ambos pozos no tuvo variación durante las diferentes temporadas climatológicas, presentando valores de 7.0. En este sentido, ningún sitio superó el pH 8.5 indicado por la NOM-127-SSA1-2000 como valor límite de pH para uso y consumo humano (SSA 2000) (Tabla 1). La dureza del agua de los pozos no superó los límites establecidos por la normatividad mexicana, pero se observó que este parámetro presentó variaciones durante las diferentes temporadas climatológicas (Tabla 1). Los valores de dureza mínimos ($35.1 \pm 0.26 \text{ mg L}^{-1}$) se registraron en el agua del Pozo 2 durante la temporada de estiaje y los máximos ($363.4 \pm 2.49 \text{ mg L}^{-1}$) en el agua del Pozo 1 durante la temporada

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos evaluados en los pozos de El Tamarindo, San Luis Potosí, México (n = 3).

Parámetro evaluado	Estiaje		Lluvias		Post-lluvias		Valor de referencia**
	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 1	Pozo 2	
pH	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	6.5-8.5
Dureza (mg L ⁻¹)	89.1 ± 0.12 ^d	35.1 ± 0.26 ^e	314.6 ± 4.80 ^b	170.1 ± 8.96 ^c	302.8 ± 3.89 ^b	363.4 ± 2.49 ^d	500
STD (mg L ⁻¹)	367.6 ± 3.71 ^e	434.3 ± 0.66 ^d	766.7 ± 0.49 ^b	669.6 ± 1.17 ^c	796.9 ± 4.79 ^d	760.9 ± 3.62 ^b	1000

Para dureza y STD se presentan los valores promedio + EE. * Límite permisible de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996 (SEMARNAT 1996), ** Límite permisible de acuerdo con la NOM-127-SSA1-2000, modificación del año 2000. Diferentes letras en cada fila denotan diferencias significativas. Prueba HSD de Tukey (p ≤ 0.05).

de post-lluvias. Estos valores fueron estadísticamente significativos ($p \leq 0.05$) al compararlos con los demás valores registrados para ambos pozos durante el tiempo de evaluación. La diferencia entre los valores mínimos y máximos registrados en ambos pozos sugiere que las temporadas climatológicas influyen sobre este parámetro. Aunque los efectos de la dureza del agua no están relacionados con la salud poblacional, las aguas duras tienen un sabor poco agradable y forman depósitos de carbonatos y sulfatos en utensilios de cocina, impidiendo una buena cocción de los alimentos, por lo que se requiere un mayor gasto energético (Millán *et al.* 2003).

Durante las temporadas climatológicas de lluvias y post-lluvias, se registraron los valores más altos de STD en ambos pozos (Tabla 1). De acuerdo con la NOM-127-SSA1-2000 (SSA 2000), los valores encontrados no sobrepasan el límite permisible establecido, aunque se encuentran cercanos al límite de referencia. Al respecto, se sabe que altas concentraciones de STD en el agua, producen efectos laxantes que pueden perjudicar a infantes y adultos mayores, además de ocasionar un mal sabor en el agua (Pérez-López 2016).

La determinación de metales totales en el agua de los pozos indicó la presencia de 28 metales. La mayoría se encontraron en cantidades traza, es decir, en concentraciones promedio inferior a las 100 ppm y no superan los límites de referencia. Pero siete metales (As, B, Ca, K, Na, Si y Sr) tuvieron mayor concentración en el Pozo 1 (Tabla 2), como el boro y el calcio que se encontraron en concentraciones superiores a los límites de referencia con respecto a los estándares de la Organización Mundial de la Salud (OMS 2004), lo cual podría implicar complicaciones para la salud de los habitantes que utilizan el agua de

este pozo, debido a una exposición y probable consumo crónico (Carbajal-Azcona 2013, Malin-Igra *et al.* 2016). El boro es un elemento que se encuentra presente en las aguas subterráneas debido a dos principales fuentes de origen: 1) la presencia de rocas que contienen este elemento (borosilicatos del tipo turmalina y axinita) y 2) la mezcla con aguas residuales, ya que el boro proviene de productos domésticos, agrícolas o industriales (Dyer y Caprara 2009). Para el caso de la comunidad de El Tamarindo, el boro podría provenir de la intensa actividad agrícola que se lleva a cabo en los alrededores de la comunidad relacionados con el cultivo de caña de azúcar.

Aunque no se determinó la forma química del boro en el agua de los pozos, algunas pruebas *in vitro* han demostrado que el ácido bórico, ácido fenilborónico y fructoborato de calcio inducen propiedades proliferativas en las líneas celulares del cáncer de mama y de próstata (Morales-Cabrera *et al.* 2018), por lo cual este estudio establece un antecedente relacionado con condiciones ambientales que podría servir para desarrollar investigaciones que analicen las condiciones de salud de los habitantes de El Tamarindo con respecto a diversos tipos de cáncer, como método para descartar o prevenir el desarrollo de dichas enfermedades. Mientras que el calcio es elemento muy común en el agua, el cual se encuentra ligado a la dureza. Dicha correlación se puede observar, dado que los valores más altos de calcio y las mayores durezas de agua, se registraron en el Pozo 1. Al respecto, Carbajal-Azcona (2013), menciona que un exceso de calcio en el agua es un factor de riesgo para padecer litiasis renal, así como la interferencia en la absorción de hierro, zinc y otros minerales. Entre los metales con mayor toxicidad se encuentran el cadmio, mercurio, estaño, plomo,

Tabla 2. Determinación de metales en los pozos de El Tamarindo, San Luis Potosí, México.

Analito (Símbolo)	Pozo 1	Pozo 2	Valor de referencia
	mg L ⁻¹		
Plata (Ag)	<L.C.	<L.C.	0.1***
Aluminio (Al)	<0.05	<0.05	0.20**
Arsénico (As)	<0.025	<0.025	0.05**
Boro (B)	2.65 ± 0.02	0.28 ± 0.04	2.4***
Bario (Ba)	<0.05	<0.05	0.70**
Berilio (Be)	<0.05	<0.05	-
Calcio (Ca)	1164.295 ± 3.22	117.895 ± 1.50	500.00**
Cadmio (Cd)	<0.05	<0.05	0.005**
Cobalto (Co)	<0.05	<0.05	-
Cromo (Cr)	<0.05	<0.05	0.05**
Cobre (Cu)	<0.05	<0.05	2.00**
Hierro (Fe)	<0.05	<0.05	0.30**
Potasio (K)	12.01 ± 0.05	1.14 ± 0.14	-
Litio (Li)	0.29	0.3	-
Manganeso (Mn)	<0.05	<0.05	0.15**
Molibdeno (Mo)	<0.05	<0.05	-
Sodio (Na)	112.045 ± 0.51	11.335 ± 0.05	200**
Níquel (Ni)	<0.05	<0.05	0.07***
Fósforo (P)	<0.25	<0.25	-
Plomo (Pb)	<0.05	<0.05	0.01**
Antimonio (Sb)	<0.05	<0.05	0.02***
Selenio (Se)	<0.05	<0.05	0.04***
Silicio (Si)	66.79 ± 0.05	6.41 ± 0.41	-
Estaño (Sn)	<0.05	<0.05	-
Estroncio (Sr)	7.05 ± 0.01	0.72 ± 0.04	-
Talio (Tl)	<0.05	<0.05	-
Vanadio (V)	<0.05	<0.05	-
Zinc (Zn)	<0.05	<0.05	5.00**

* Los LD y LC de cada elemento analizado se pueden consultar en el método EPA 200.7 (EPA 1994), ** Valor de referencia de acuerdo con la NOM-127-SSA1-2000, modificación del año 2000, *** Estándares de la Organización Mundial de la Salud (OMS 2004), < L.C.: Menor al Límite Cuantificable. Los valores de referencia que no se indicaron fue debido a que no se encuentran descritos en la literatura.

talio, arsénico, zinc, cobre y níquel; de los cuales sólo se identificaron cantidades traza. Pero estos elementos no pueden ser asimilados por el ser humano, por lo que tienden a bioacumularse generando efectos tóxicos por su interacción sobre grupos funcionales vitales, causando desplazamiento de elementos esenciales, modificaciones estructurales de lugares activos y la ruptura de biomembranas (Guengerich 2018).

En los análisis microbiológicos, se observó que todas las muestras sobrepasaron el límite máximo indicado por la NOM-127-SSA1-2000 (SSA 2000) para coliformes fecales. El Pozo 1 fue el que presentó la mayor cantidad de coliformes fecales durante la temporada de lluvias (0.9 NMP 100 ml⁻¹). Mientras que el Pozo 2 durante la temporada de post-lluvias registró la menor cantidad de coliformes fe-

cales (0.2 NMP/100 ml) (Tabla 3). Los mayores valores de coliformes totales y superiores al límite permisible establecido por la NOM-127-SSA1-2000 se registraron en el Pozo 2 durante las temporadas de estiaje y de lluvias. Aunque en el Pozo 1, los valores obtenidos no superan el límite permisible, se aprecia que, durante la temporada de lluvias, el agua presentó mayor concentración de coliformes totales. Aún con la presencia de coliformes, no se observó la presencia de parásitos en el agua durante las temporadas climatológicas analizadas (Tabla 3). La presencia de coliformes fecales en el agua de ambos pozos, evidencia la mala calidad del agua para consumo humano. La presencia de coliformes fecales indica la contaminación del agua por heces fecales humanas y de animales domésticos o silvestres (Poma et al. 2012). Además de que factores como la lluvia,

Tabla 3. Parámetros microbiológicos evaluados en los pozos de El Tamarindo, S.L.P., México.

Parámetro evaluado	Estiaje		Lluvias		Post-lluvias		Valor de referencia*
	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 1	Pozo 2	
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	0.4	0.5	0.9	0.3	0.3	0.2	0.0
Coliformes Totales (NMP/100ml)	0.6	6.1	0.9	2.0	0.3	0.4	2.0
Huevos de Helmintos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

* Límite permisible de acuerdo con la NOM-127-SSA1-2000, modificación del año 2000.

humedad del suelo y el periodo de labranza, también influyen en el transporte de este tipo de bacterias y de algunos metales del suelo al agua (Alba *et al.* 2013).

En conclusión, el agua de los pozos de la comunidad de El Tamarindo no cumplen con la calidad establecida para consumo humano, ya que los valores de coliformes fecales superaron los límites permisibles. Las variaciones observadas en la dureza y en los STD sugieren que la calidad del agua de los pozos puede estar influenciada por las temporadas climatológicas. En cuanto a los metales, las cantidades traza de cadmio, mercurio, estaño, plomo, talio, arsénico, zinc, cobre y níquel encontradas pueden generar efectos adversos a la salud debido a su consumo y exposición crónica. Por lo anterior, es necesaria la aplicación de procesos de purificación y

potabilización para evitar o disminuir los riesgos de enfermedades de hidrotansmisión.

AGRADECIMIENTOS

A las autoridades ejidales y religiosas de El Tamarindo, Cd. Valles, S.L.P., por permitirnos trabajar con el agua de los pozos. Al MC. Roberto Llamas Lamas y personal administrativo de la FEPZH-UASLP, por el apoyo brindado. Al MC. Juan Ramón Herrera Solís y al BQ. Carlos Román Vega, por el soporte técnico en algunos análisis. También a la estudiante Loida Julián Santiago, por su apoyo como traductor.

LITERATURA CITADA

- Alba JJ, Ortega JL, Álvarez G, Cervantes M, Ruiz E, Urtiz N, Martínez RA (2013) Riesgos microbiológicos en agua de bebida: una revisión clínica. *Revista Química Viva* 3: 215-233.
- Carbajal-Azcona A (2013) Manual de nutrición y dietética. 1era Edición. Universidad Complutense de Madrid. España. 367p.
- Chover-Lara JL, Pastor-Vicente S, Roig-Sena FJ, Roselló-Pérez M, Salvo-Samanes C, Castellanos-Martínez I (1995) Brote de gastroenteritis asociado al consumo de agua, posiblemente producido por virus tipo Norwalk o semejantes. *Revista Española de Salud Pública* 69: 243-254.
- CONAGUA (2019) Sistema de información hidrológica (SIH). <https://sih.conagua.gob.mx/>. Fecha de consulta: 17 de enero de 2019.
- Dong W, Zhang Y, Quan X (2020) Health risk assessment of heavy metals and pesticides: A case study in the main drinking water source in Dalian, China. *Chemosphere* 242: 125113.
- Dyer SD, Caprara RJ (2009) A method for evaluating consumer product ingredient contributions to surface and drinking water: Boron as a test case. *Environmental Toxicology and Chemistry* 16: 2070-2081.
- EPA (1994) Method 200.7: Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry. Revision 4.4. Cincinnati, OH. https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method_200-7_rev_4-4_1994.pdf. Fecha de consulta: 17 de enero de 2019.

- Gray N (2017) Water technology. 3rd Edition. CRC Press. London. 768p.
- Guengerich FP (2018) Introduction to metals in biology 2018: Copper homeostasis and utilization in redox enzymes. *Journal of Biological Chemistry* 293: 4603-4605.
- Guzmán-Plazola P, Guevara-Gutiérrez RD, Olgún-López JL, Mancilla-Villa OR (2016) Perspectiva campesina, intoxicaciones por plaguicidas y uso de agroquímicos. *Idesia* 34: 69-80.
- INEGI (2009) Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San Luis Potosí, México. Instituto Nacional de Geografía y Estadística. http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexico/cifras/datos_geograficos/24/24028.pdf. Fecha de consulta: 17 de enero de 2019.
- Juárez MM, Poma HR, Rajal VB (2015) ¿Cumplir la legislación nos garantiza consumir agua segura? *Revista Iberoamericana del Agua* 2: 71-79.
- Malin-Igra A, Harari F, Lu Y, Casimiro E, Vahter M (2016) Boron exposure through drinking water during pregnancy and birth size. *Environment International* 95: 54-60.
- Millán F, Mathison J, Alvares M, Jarbough W (2003) Estudio comparativo de la dureza del agua en el estado de Mérida y algunas localidades del centro y occidente de Venezuela. *Revista Ciencia e Ingeniería* 24: 39-46.
- Morales-Cabrera D, Avendaño-Cáceres E, Zevallos-Ramos D, Fernández-Prado J, Mendoza-Rodas Z (2018) Riesgo ambiental por arsénico y boro en las cuencas hidrográficas Sama y Locumba de Perú. *MediSan* 22: 406-414.
- Navarrete-Linares F (2008) Pueblos indígenas del México contemporáneo. 1era Edición. Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. México. 144p.
- OMS (2004) Guidelines for drinking water quality. 2nd Edition. WHO Library Cataloguing. Switzerland. 142p.
- Pérez-López E (2016) Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Tecnología en Marcha* 29: 3-14.
- Poma HR, Gutiérrez-Cacciabue D, Garcé B, Gonzo EE, Rajal VB (2012) Towards a rational strategy for monitoring of microbiological quality of ambient waters. *Science of the Total Environment* 1: 98-109.
- Sandre-Osorio I, Murillo D (2008) Agua y diversidad cultural en México. Programa Hidrológico Internacional. 1era Edición. UNESCO Digital Library. Uruguay. 146p.
- SE (2001) Norma Oficial Mexicana NMX-AA-072-SCFI-2001. Análisis de agua-determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba. Secretaría de Economía. Diario Oficial de la Federación. México. 19p.
- SE (2012) Norma Oficial Mexicana NMX-AA-113-SCFI-2012. Análisis de agua-medición del número de huevos de helminto en aguas residuales y residuales tratadas por observación microscópica-método de prueba. Secretaría de Economía. Diario Oficial de la Federación. México. 34p.
- SEMARNAT (1996) Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Secretaría de Medio ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. México. 29p.
- SSA (1994) Norma Oficial Mexicana NOM-112-SSA1-1994. Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del Número más Probable. Secretaría de Salud. Diario Oficial de la Federación. México. 17p.

- SSA (2000) Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2000, mod. del año 2000. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Secretaría de Salud. Diario Oficial de la Federación. México. 71p.
- Tuesca-Molina R, Ávila-Rangel H, Sisa-Camargo A, Pardo-Castañeda D (2015) Fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano: Análisis de tendencia de variables para consolidar mapas de riesgo. Universidad del Norte. Colombia. 190p.
- Whitehead PG, Barbour E, Futter MN, Sarkar S, Rodda H, Caesar J, Butterfield D, Jin L, Sinha R, Nicholls R, Salehin M (2015) Impacts of climate change and socio-economic scenarios on flow and water quality of the Ganges, Brahmaputra and Meghna (GBM) river systems: low flow and flood statistics. *Environmental Science: Processes Impacts* 17: 1057-1069.
- Zavala-Cuevas D, Carrillo-Inungaray ML (2011) Estudio etnográfico de una comunidad mexicana. 1era Edición. Editorial Académica Española. España. 88p.