

Universidad de El Salvador
Facultad de Ciencias Agronómicas
Dirección de Investigación

Nombre de la investigación:

Caracterización del agua de pozos para consumo humano en tres caseríos del cantón San Francisco Amatepe, municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, El Salvador.

Datos de los responsables:

Título a obtener: Ingeniero(a) Agrónomo (AI-2206)

Autores:

Nombre	Dirección	Teléfono y Correo Electrónico	Firma
Br. María Eugenia Benavides Serrano	Barrio San José, Arcatao, Chalatenango.	<u>7723-8914</u> benavidesserranom@gmail.com	
Br. Enrique Alejandro Pineda Zaldaña	Barrio San Pablo, San Pedro Puxtla, Ahuachapán.	<u>7659-2233</u> enriquealejandropineda956@gmail.com	
Br. Marcelo David Choto Quintanilla	Urbanización Metrópolis 1, calle Zacamil, block G, casa #1, Mejicanos, San Salvador.	<u>7710-9483</u> jonbonchoto.01@gmail.com	
Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia	Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural.	7318-0554 efrain.rodriquez@ues.edu.sv	
Lic. Rudy Anthony Ramos Sosa	Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Química Agrícola	7716-0854 antonioteshcal@yahoo.com	
Lic. Claudia María Arriaza Alfaro	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA)	6133-8304 claudia.arriaza@anda.gob.sv	

Visto Bueno:

Coordinadora General de Procesos de Graduación del Departamento de Desarrollo Rural:	
Ing. Agr. Ana Juana Elizabeth Valdés de Sánchez	Firma _____
Director General de Procesos de Graduación de la Facultad de Ciencias Agronómicas:	
Ing. Agr. Enrique Alonso Alas García	Firma _____
Jefe del Departamento de Desarrollo Rural:	
Ing. Agr. Edgar Marroquín Mena	Firma _____
Sello:	
Lugar y fecha: Ciudad Universitaria, mayo de 2022	

Caracterización del agua de pozos para consumo humano en tres caseríos del cantón San Francisco Amatepe, municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, El Salvador

Benavides-Serrano, ME¹, Choto-Quintanilla, MD¹, Pineda-Zaldaña, EA¹, Rodríguez-Urrutia, EA², Ramos-Sosa, RA³, Arriaza-Alfaro, CM⁴.

Resumen

La investigación se realizó en el periodo de septiembre 2019 a enero 2020 en los caseríos Los Encuentros, El Anono y El Hervedor del cantón San Francisco Amatepe, municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz; con el objetivo de caracterizar el agua de pozo del área en estudio, conocer las prácticas de uso y manejo del agua y suelo en el sitio mediante un estudio socio-económico realizado a una muestra de 69 familias.

Para la caracterización del agua se seleccionaron al azar seis pozos, unidades experimentales por cada uno de los caseríos, se realizaron 3 muestras de agua para los parámetros microbiológicos, y dos para los parámetros físico-químicos.

Los análisis físico-químicos se realizaron en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas y en el Laboratorio Físico-químico de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia, ambos, de la Universidad de El Salvador. Los análisis microbiológicos se realizaron en el Centro de Investigación y Desarrollo, del Centro de Formación Integral de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados. Los resultados de los análisis fueron comparados con el Reglamento Técnico Salvadoreño "RTS 13.02.01:14 Agua. Agua de Consumo Humano. Requisitos de Calidad e Inocuidad".

Los resultados demostraron que los pozos de agua tienen contaminación máxima por arsénico (0.09 mg/L), manganeso (0.57 mg/L), hierro (0.45 mg/L), níquel (0.390 mg/L) y plomo de (0.01 mg/L).

En todos los pozos de agua hay contaminación por bacterias coliformes (1.00 a 2,419.6 NMP/100 mL (número más probable)), *Escherichia coli* (<1.00 a >2,419.6 NMP/100 mL) y *Pseudomonas aeruginosa* (1.00 a 1,119.90 NMP/100 mL), los cuales no cumplen con el Reglamento Técnico Salvadoreño; por tanto, el agua de todos los pozos muestreados de los caseríos en estudio no es apta para el consumo humano.

Palabras clave: Agua, pozo, caracterización, parámetros físico-químicos y microbiológicos, metales pesados, bacterias coliformes totales, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, NMP (Número más probable).

Characterization of water from wells for human consumption in three villages of the San Francisco Amatepe canton, municipality of San Luis Talpa, department of La Paz, El Salvador

Benavides-Serrano, ME¹, Choto-Quintanilla, MD¹, Pineda-Zaldaña, EA¹, Rodríguez-Urrutia, EA², Ramos-Sosa, RA³, Arriaza-Alfaro, CM⁴.

Abstract

The research was carried out in the period from September 2019 to January 2020 in the Los Encuentros, El Anono and El Hervedor hamlets of the San Francisco Amatepe canton, municipality of San Luis Talpa, department of La Paz; with the objective of characterizing the well water of the study area, knowing the practices of use and management of water and soil in the site through a socio-economic study carried out on a sample of 69 families.

¹ Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural, Estudiante Tesista.

² Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural, Asesor de Tesis.

³ Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Química Agrícola, Asesor de Tesis.

⁴ Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA). Asesor de Tesis.

For the characterization of the water, six wells were randomly selected, experimental units for each of the villages, 3 water samples were taken for the microbiological parameters, and two for the physical-chemical parameters.

The physical-chemical analyzes were carried out in the Agricultural Chemistry Laboratory of the Faculty of Agronomic Sciences and in the Physical-chemical Laboratory of Waters of the Faculty of Chemistry and Pharmacy, both of the University of El Salvador. The microbiological analyzes were carried out at the Research and Development Center of the Comprehensive Training Center of the National Administration of Aqueducts and Sewers. The results of the analyzes were compared with the Salvadoran Technical Regulation "RTS 13.02.01:14 Water. Water for Human Consumption. Quality and Safety Requirements".

The results showed that the water wells have maximum contamination by arsenic (0.09 mg/L), manganese (0.57 mg/L), iron (0.45 mg/L), nickel (0.390 mg/L) and lead (0.01 mg/L).

In all water wells there is contamination by Total Coliform Bacterias (1.00 to 2,419.6 MPN/100 mL (most probable number), *Escherichia coli* (<1.00 to >2,419.6 MPN/100 mL) and *Pseudomonas aeruginosa* (1.00 to 1,119.90 MPN/100 mL), which do not comply with the Salvadoran Technical Regulations; therefore, the water from all the wells sampled from the hamlets under study is not suitable for human consumption.

Key words: water, wells, characterization, physical-chemical and microbiological parameters, metales pesados, Total Coliforms Bacterias, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, MPN (Most Probable Number).

1. Introducción

El agua es el elemento más importante para la vida. Es de una importancia vital para el ser humano. La disponibilidad de agua promedio anual en el mundo es de aproximadamente 1,386 millones de km³, de estos, 35 millones de km³, es agua dulce y casi el 70% no está disponible para consumo humano debido a que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo; se estima que solamente el 0.77% se encuentra como agua dulce accesible al ser humano (FCEA 2017).

La contaminación del medio ambiente, particularmente la del agua y sus efectos en la salud de la población, es uno de los problemas más importantes que hay que atender tanto a nivel nacional como mundial (Barrenechea 2009).

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, aprobada en septiembre de 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas, cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, dos de ellos tienen relación con esta investigación: Objetivo 3, garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos a todas las edades, y el Objetivo 6, garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos (PNUD 2019b).

En 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano al abastecimiento de agua y al saneamiento. Todas las personas tienen derecho a disponer de forma continuada de agua suficiente, salubre, físicamente accesible, asequible y de una calidad aceptable, para uso personal y doméstico (OMS y UNICEF 2015). Por otro lado, En El Salvador, las comunidades rurales se encuentran en permanente riesgo de contraer enfermedades de origen hídrico, porque comúnmente viven sin acceso a agua segura y servicios de saneamiento. Las poblaciones que se abastecen directamente de aguas superficiales (ríos, lagos y otros) se encuentran en mayor riesgo, debido a que la fuente de agua está expuesta a diversos tipos de contaminación (ANDA 2010).

La Organización Panamericana de la Salud, en coordinación con la Organización Mundial de la Salud (OPS-OMS) realizó estudios en 2013, en municipios rurales de El Salvador, como San Luis Talpa (departamento de La Paz); en estos lugares se han reportado muchos casos de

enfermedades asociadas a la ingesta de agua contaminada, principalmente la IRC (Insuficiencia Renal Crónica).

El estudio tuvo por objetivo caracterizar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua de pozos para consumo humano, y las prácticas de uso y manejo del agua y del suelo en los caseríos Los Encuentros, El Anono y El Hervedor, del municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz.

2. Materiales y Métodos

2.1. Ubicación de la investigación

La investigación se realizó en el período de septiembre 2019 a enero de 2020, en los caseríos Los Encuentros, El Anono y El Hervedor, del cantón San Francisco Amatepe, municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, El Salvador.

El área geográfica en donde se desarrolló la investigación cuenta con una población de 720 personas (240 familias), quienes se distribuyen en tres caseríos, a saber, Los Encuentros tiene 150 familias, El Anono 36 familias y El Hervedor 54 familias. La mayoría de familias tienen un pozo en sus viviendas de donde obtienen el agua para consumo diario y realizar las actividades domésticas como bañarse, lavar ropa, lavar trastes, entre otros.

2.2. Metodología de campo

Se realizó una visita de campo con el propósito de conocer las condiciones sociales y ambientales de las comunidades, ubicar los pozos de agua en donde se realizaría el muestreo de agua para su análisis y socializar con los pobladores sobre los objetivos del estudio y la implementación de un cuestionario en el cual se utilizaron la encuesta y la entrevista, a fin de conocer las actividades de uso y manejo del agua y suelo.

Para la caracterización del agua se seleccionaron al azar seis pozos ubicados en igual número de viviendas, dos pozos o unidades experimentales por cada uno de los caseríos en estudio, se obtuvieron las muestras de agua cada dos meses durante cinco meses para los parámetros microbiológicos, y dos veces para los parámetros físico-químicos, en el primero y quinto mes.

Se hicieron análisis microbiológicos en dos pozos comunitarios, un pozo (Bomba 1) ubicado en el caserío El Hervedor que tiene una profundidad de 6 m y posee un sistema de agua filtrada; y otro en un pozo en el caserío El Anono (Bomba 2) el cual tiene una profundidad de 50 m y es de tipo martillo.

Antes de tomar las muestras de agua para los análisis de parámetros físico-químicos, los frascos de polietileno de 1 litro se enjuagaron con agua destilada. Los recipientes utilizados para el muestreo de agua para los análisis microbiológicos (de 100 mL cada uno) fueron esterilizados y sellados, los sellos se quitaron en el momento del llenado de la muestra. En la mayoría de pozos la muestra de agua se tomó del grifo, a excepción del pozo 3 en el cual la muestra se obtuvo por medio de una cubeta atada a un soporte que se sumergió en el fondo del pozo para extraer el agua y posteriormente, enjuagar y llenar cada recipiente.

Los frascos fueron identificados con una etiqueta que contenía los datos siguientes: número de muestra; propietario del pozo; nombre del responsable, fecha y hora en que se tomó la muestra. Después de tomar las muestras, estas fueron almacenadas y transportadas inmediatamente en hieleras con bloques de hielo refrigerantes, con el propósito de mantener la temperatura de 4° C y la cadena de frío, y por consiguiente conservar la viabilidad de cada muestra de agua por períodos mayores a seis horas.

En cada pozo seleccionado *in situ* se analizaron los siguientes parámetros físico-químicos: olor, se realizó organolépticamente por medio de una sonda multiparamétrica; pH, sólidos totales disueltos y temperatura. Estos parámetros fueron analizados en campo debido a que al ser extraídos de su fuente de abastecimiento son afectados por el ambiente, modificando su valor real.

2.3. Metodología de laboratorio

Las muestras de agua recolectadas para los análisis de parámetros microbiológicos fueron transportadas hacia el Centro de Investigación y Desarrollo (CIDE) del Centro de Formación Integral de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (CFI-ANDA) en San Salvador, en donde se realizaron los análisis de Bacterias Coliformes Totales, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*, por medio del método de tubos múltiples, determinando el Número Más Probable (NMP) en 100mL de muestra.

Las muestras de agua recolectadas para los análisis de parámetros físico-químicos se transportaron hacia el laboratorio del departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas y al laboratorio Físico-químico de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia, ambos de la Universidad de El Salvador.

En el laboratorio del departamento de Química Agrícola se realizaron los análisis de: dureza, turbidez, sulfatos, arsénico, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, níquel, plomo y zinc; y en el laboratorio Físico-químico de Aguas se analizó: cianuro, nitratos, nitritos, aluminio, boro, mercurio y color verdadero.

La determinación de boro, cianuro, aluminio, color aparente, nitratos y nitritos se realizó por medio del método fotométrico; la determinación de la dureza del agua se realizó por el método complejo métrico. Los metales pesados: arsénico, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, níquel, plomo y zinc se determinaron por el método de Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA); la turbidez se determinó por el método nefelométrico; los sulfatos fueron determinados a través del método volumétrico.

2.4. Metodología estadística

Para la toma de las muestras de agua de los pozos y sus respectivos análisis, se tomó en cuenta el número de caseríos, la cantidad de familias por caserío, la ubicación de los pozos, el costo económico de cada uno de los parámetros que se analizó y la frecuencia del muestreo.

El tamaño de la muestra para realizar las entrevistas y las encuestas a las familias de las comunidades objeto de este estudio, se definió mediante la técnica del Muestreo Aleatorio Simple, el cual permitió calcular el tamaño de muestra con varianza máxima, una confiabilidad del 95% y una precisión del 10% (Rodríguez 1996):

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{(N * d^2) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Dónde:

N = población = 240 familias

Z_{α} = factor probabilístico, con un factor de confianza del 95%

d = precisión = 10%

p * q = varianza de la proporción = 0.5 * 0.5

Entonces:

$$n = \frac{240 * 1.96^2 * 0.5 * 0.5}{(240 * 0.10^2) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 69$$

Según la fórmula estadística, el número total de encuestas fue de 69, que se distribuyeron de la siguiente manera: 43 encuestas en Los Encuentros (62.5% de la población); 10 encuestas en El Anono (15% de la población) y 16 encuestas en El Hovedor (22.5% de población).

2.5. Metodología socioeconómica

A través de la técnica: entrevista y encuesta, se hizo una caracterización de las condiciones socioeconómicas de los habitantes de las comunidades en estudio, así como de las prácticas de uso del agua y suelo que realizan.

Con el propósito de validar las encuestas, se entrevistaron a nueve empleados de la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ya que pertenecen al mismo municipio y viven bajo condiciones similares a las comunidades en estudio. Una vez que la encuesta fue validada, se seleccionaron al azar las viviendas que constituyeron la muestra para hacer el diagnóstico.

Se entrevistó a un miembro de cada familia de la muestra establecida para el estudio, a través de la encuesta, utilizando el cuestionario. Se recorrió los tres caseríos y de forma completamente al azar se seleccionaron las familias a las cuales se les iba a pasar la encuesta, teniendo en cuenta el número de la muestra.

3. Resultados y Discusión

3.1. Caracterización física

Al evaluar la calidad física del agua de los pozos muestreados a través de los parámetros: color aparente, olor, sólidos totales disueltos y turbidez, los resultados obtenidos fueron comparados con el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 y el 100% de las muestras analizadas están dentro del Límite Máximo Permissible establecido en el reglamento, tanto en el primer muestreo como en el segundo (MINSAL-OSARTEC, 2018)

Cuadro 1. Resultados de parámetros físicos en muestras de agua de pozo.

Parámetro	Unidad	LMP ¹	Número de Muestreo	Número de muestra					
				Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 4	Pozo 5	Pozo 6
Color aparente	Pt-Co	15	1	4.5	3.2	7.2	3.4	3.9	2.4
			2	3.7	5.1	5.8	3.5	2.7	N/D ⁴
Olor	-	N/R ²	1	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R
			2	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	1000	1	396.0	346.0	464.0	209.0	233.0	189.4
			2	222.0	440.0	436.0	557.0	156.3	149.2
Turbidez	UNT ³	5	1	1	1	< 1	< 1	< 1	< 1
			2	2	1	< 1	2	2	< 1

¹Límite Máximo Permissible según el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14.

²No rechazable.

³Unidad Nefelométrica de Turbidez.

⁴No Detectado.

Muestreo 1: 09/2019.

Muestreo 2: 01/2020.

Los resultados obtenidos demuestran que la calidad física del agua de las comunidades objeto de estudio no está siendo alterada.

3.2. Caracterización química

Al evaluar la calidad química del agua de los pozos muestreados a través de los parámetros: cianuro, dureza, nitratos, nitritos, pH y sulfatos, todas las muestras analizadas presentaron valores por debajo del límite establecido en el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 (MINSAL-OSARTEC, 2018)

Cuadro 2. Resultados de parámetros químicos en muestras de agua de pozo.

Parámetro	Unidad	LMP ¹	N° de muestreo	Número de muestra					
				Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 4	Pozo 5	Pozo 6
Cianuro	mg/L	0.07	1	0.006	0.006	0.013	0.014	0.027	0.001
			2	0.007	0.007	0.007	0.006	0.007	0.007
Dureza	mg/L	500	1	257.77	284.37	298.69	122.75	106.38	118.66
			2	153.44	394.85	284.37	331.43	75.70	106.38
Nitratos	mg/L	50	1	0.20	21.70	5.20	1.25	2.07	5.50
			2	0.13	33.54	5.82	0.21	1.15	2.58
Nitritos	mg/L	3	1	0.038	0.082	0.043	0.080	0.032	0.049
			2	0.044	0.031	0.035	0.036	0.028	0.037
pH	-	6.0-8.5	1	6.31	6.29	6.35	6.56	6.39	6.64
			2	6.44	6.27	6.41	6.30	6.39	6.34
Sulfatos	mg/L	250	1	90.508	98.736	127.534	41.140	86.394	74.052
			2	53.482	209.814	148.404	234.498	74.052	37.026

¹Límite Máximo Permissible según el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14.

Muestreo 1: 09/2019.

Muestreo 2: 01/2020.

Aunque los valores de estos parámetros cumplen con el Reglamento, la dureza es el parámetro que se encuentra más cercano a superar el límite de 500 mg/L, con un valor máximo de 394.85 mg/L, por lo que debe vigilarse por posibles valores altos en un futuro.

3.2.1. Metales pesados

El agua de los pozos muestreados presentó valores por debajo del Límite Máximo Permissible por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 en los metales: aluminio, boro, cadmio, cobre, cromo, mercurio y zinc; mientras que presentó valores superiores al límite en: arsénico, hierro, manganeso, níquel y plomo (MINSAL-OSARTEC, 2018).

Los análisis demuestran que los pozos 1, 2, 3 y 6 presentan los valores más altos para los metales pesados, siendo el pozo 1 el que presenta mayor contaminación en cuanto a arsénico, hierro, magnesio y plomo.

Cuadro 3. Resultados de metales pesados en muestras de agua de pozo.

Parámetro	Unidad	LMP ¹	N° de muestreo	Número de muestra					
				Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 4	Pozo 5	Pozo 6
Aluminio (Al)	mg/L	0.2	1	N/D ²	0.030	0.010	0.020	0.010	0.010
			2	N/D ²	0.060	0.020	0.050	0.010	0.070
Arsénico (As)	mg/L	0.01	1	0.040	0.040	0.040	0.050	0.030	0.040
			2	0.070	0.040	0.090	0.040	0.040	0.040
Boro (B)	mg/L	2.4	1	0.230	0.230	0.260	0.190	0.230	0.190
			2	0.170	0.150	0.130	0.120	0.160	0.140
Cadmio (Cd)	mg/L	0.003	1	N/D ²	N/D ²	N/D ²	N/D ²	N/D ²	N/D ²
			2	N/D ²	N/D ²	N/D ²	N/D ²	N/D ²	N/D ²
Cobre (Cu)	mg/L	2	1	N/D ²	N/D ²	N/D ²	0.004	0.020	N/D*
			2	N/D ²	N/D ²	N/D ²	N/D ²	N/D ²	N/D ²
Cromo (Cr)	mg/L	0.05	1	0.00010	N/D ²	0.00002	0.00025	N/D ²	N/D ²
			2	N/D ²	N/D ²	N/D ²	N/D ²	N/D ²	N/D ²
Hierro (Fe)	mg/L	0.3	1	0.117	N/D ²	N/D ²	0.053	0.018	N/D ²
			2	0.450	N/D ²	0.020	0.240	0.170	N/D ²
Manganeso (Mn)	mg/L	0.1	1	0.113	0.101	0.029	0.074	0.023	0.120
			2	0.570	0.240	0.240	0.410	0.040	0.120
Mercurio (Hg)	mg/L	0.006	1	N/D ²	N/D ²	N/D ²	N/D ²	N/D ²	N/D ²
			2	N/D ²	N/D ²	N/D ²	N/D ²	N/D ²	N/D ²
Níquel (Ni)	mg/L	0.07	1	0.002	0.004	0.003	0.001	0.003	0.003
			2	N/D ²	N/D*	0.390	N/D ²	N/D ²	N/D ²
Plomo (Pb)	mg/L	0.01	1	0.008	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
			2	0.010	N/D ²				
Zinc (Zn)	mg/L	4	1	0.051	0.007	0.020	0.005	0.011	0.028
			2	0.020	N/D ²	N/D ²	0.060	0.020	0.020

¹Límite Máximo Permissible.

²No detectado.

Muestreo 1: 09/2019.

Muestreo 2: 01/2020.

Valores que no cumplen con el RTS 13.02.01:14 y RTS 13.02.02.14.

3.2.1.1. Arsénico

El 100% de los pozos muestreados tienen contenidos de arsénico mayores de lo permitido (cuadro 3).

Según Álvarez *et al.* (2003), cuando la capacidad de adsorción del suelo es elevada, el arsénico y el fósforo son retenidos, por lo tanto, la utilización de herbicidas y fertilizantes fosfatados en las prácticas agrícolas parece tener una relación con la concentración de arsénico en la solución del suelo ya que puede aumentar su disponibilidad.

Las viviendas y los pozos de agua muestreados están ubicados en terrenos donde anteriormente se cultivaba algodón (*Gossypium spp*) y en la actualidad están entre 20 a 25 m de terrenos en donde se cultiva caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), en los cuales se aplican agroquímicos por medio de avionetas.

Aguilar *et al.* (2002) en diversos muestreos de suelo y agua realizados en Ciudad Romero, El Salvador, detectaron altos niveles de cadmio y arsénico, metales pesados que son tóxicos para los riñones.

Según la OMS (2020), el consumo de agua y alimentos contaminados con altas concentraciones de arsénico puede ocasionar problemas cardiovasculares, producir cáncer en la piel, vejiga y pulmón; cambios de pigmentación en la piel, lesiones cutáneas, callosidades en las palmas de las manos y en las plantas de los pies (hiperqueratosis). Estos efectos se producen tras una exposición mínima de aproximadamente cinco años.

3.2.1.2. Hierro

En el segundo muestreo realizado en enero de 2020 en el pozo 1, el análisis de agua reportó un contenido de 0.45 mg/L de hierro, el cual es mayor al Límite Máximo Permitido por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14, que es de 0.3 mg/L (cuadro 3).

La contaminación por metales pesados como el hierro puede conducir al daño de los órganos del cuerpo, produciendo fallas renales y respiratorias. Consumir grandes cantidades de hierro puede llevar a una condición conocida como sobrecarga de hierro, que generalmente es resultado de una mutación genética. Si no se trata, la sobrecarga de hierro puede conducir a la hemocromatosis, una enfermedad grave que puede dañar los órganos del cuerpo. Los primeros síntomas incluyen fatiga, pérdida de peso y dolor en las articulaciones, pero si la hemocromatosis no es tratada, puede conducir a enfermedades del corazón, problemas del hígado y la diabetes (Hidroquil 2019).

3.2.1.3. Manganeso

Todos los pozos muestreados tienen contenidos de manganeso mayores de lo permitido en el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14, a excepción del pozo 5 y del primer muestreo en los pozos 3 y 4 (cuadro 3).

A pesar de que son escasos los estudios relacionados con el riesgo asociado a la exposición de este metal a través del agua de consumo humano, se han encontrado evidencias de que el manganeso está relacionado con problemas neurológicos, cognitivos y de comportamiento en niños que han estado expuestos a manganeso; y que a elevadas concentraciones se relaciona con incrementos en los niveles de irritabilidad, agresiones, hiperactividad, comportamientos antisociales y efectos neuroconductuales, lo cual ha sido estudiado en niños de 6 a 13 años (Gómez *et al.* 2017).

3.2.1.4. Níquel

En el segundo muestreo realizado en enero de 2020 en el pozo 3, el análisis de agua reportó un contenido de 0.390 mg/L de níquel, valor que supera a 0.07 mg/L el cual es el Límite Máximo Permitido por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 (cuadro 3).

El níquel ocurre de forma natural en la corteza terrestre combinado con otros elementos. Se encuentra en todos los suelos y es liberado por volcanes. El níquel es liberado a la atmósfera cuando se mina y por industrias que fabrican o usan níquel, aleaciones de níquel o compuestos de níquel. Estas industrias también pueden desechar níquel en aguas residuales. El efecto adverso más común de la exposición en seres humanos es una reacción alérgica. Los efectos más graves a la salud por exposición al níquel, son: bronquitis crónica, disminución de la función pulmonar y cáncer de los pulmones (ATSDR 2008).

3.2.1.5. Plomo

En el segundo muestreo realizado en enero de 2020 en el pozo 1, el análisis de agua reportó un contenido de 0.01 mg/L de plomo, el cual es el Límite Máximo Permitido por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 (cuadro 3).

Herrera (2012) menciona que el plomo puede ser acumulativo en el organismo, es decir, puede consumirse en pequeñas cantidades y el organismo lo acumula, además, el cuerpo lo libera lentamente, por lo que, si se consume diariamente, aunque sea en pequeñas cantidades, con el tiempo puede generar problemas en el sistema nervioso y efectos renales.

3.3. Caracterización microbiológica

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que todos los pozos analizados tienen contaminación microbiológica por bacterias Coliformes Totales, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa* y no cumplen con el Reglamento Técnico Salvadoreño “RTS 13.02.01:14 Agua. Agua de Consumo Humano”, a pesar que la bomba 1 posee un sistema purificador de agua y la bomba 2 tiene 50 m de profundidad (cuadro 4) (MINSAL-OSARTEC, 2018).

Cuadro 4. Resultados de bacterias Coliformes Totales, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa* en muestras de agua de pozo.

Parámetro	Bacterias Coliformes Totales			<i>Escherichia coli</i>			<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		
Unidad	NMP*			NMP*			NMP*		
LMP	Menor a 1.1 NMP/ 100 m/L			Menor a 1.1 NMP/ 100 m/L			Menor a 1.1 NMP/ 100 m/L		
N° muestreo	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Pozo 1	980.4	> 2419.6	1986.3	27.5	> 2419.6	1.0	10.8	980.4	20.5
Pozo 2	> 2419.6	1732.9	54.8	32.6	1.0	9.7	686.7	52.9	1.0
Pozo 3	> 2419.6	1119.9	> 2419.6	47.4	12.2	25.3	1119.9	19.9	47.1
Pozo 4	980.4	> 2419.6	> 2419.6	90.8	101.7	1.0	7.3	38.9	18.3
Pozo 5	209.8	4.1	135.4	44.3	< 1.0	1.0	46.5	3.1	9.5
Pozo 6	1046.2	1203.0	34.5	7.5	6.3	2.0	119.8	13.4	22.6
Bomba 1	> 2419.6	1.0	1.0	41.0	< 1.0	< 1.0	265.6	3.0	< 1.0
Bomba 2	86.0	1.0	35.4	< 1.0	< 1.0	3.1	49.5	5.1	50.6

*Número Más Probable.

Muestreo 1: 09/2019.

Muestreo 2: 11/2019.

Muestreo 3: 01/2020.

Valores que no cumplen con el RTS 13.02.01:14 y RTS 13.02.02.14.

3.3.1. Bacterias Coliformes Totales

Todos los pozos muestreados tienen contenidos de bacterias coliformes totales mayores a 1.1 NMP/100 mL, a excepción del pozo de la bomba 1, que, en dos muestreos, y la bomba 2, en un muestreo, tuvieron valores que cumplen con el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 (cuadro 4).

La contaminación del agua de los pozos por heces humanas puede ser debido al uso de las letrinas tipo “aboneras” en cada una de las viviendas, las cuales se encuentran a una distancia de los pozos desde 3 m hasta 10 m.

Los síntomas más comunes que presenta el tomar agua contaminada con bacterias coliformes son malestar gastrointestinal y síntomas generales similares a los de la gripe como fiebre, calambres abdominales y diarrea. Los síntomas son más probables en niños o en ancianos (CYTED s. f.).

3.3.2. *Escherichia coli*

Todos los pozos muestreados tienen contenidos de *Escherichia coli* mayores a 1.1 NMP/100 mL, a excepción del pozo 5, y la bomba 1 y 2, que en dos muestreos cada uno tuvieron valores que cumplen con el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14; al igual que los pozos 1, 2 y 4, que en un muestreo cada uno presentaron valores que cumplen con el Reglamento (cuadro 4).

Consumir agua contaminada por *Escherichia coli* puede causar enfermedades como diarrea, calambres estomacales, inflamación, gas, cansancio, pérdida de peso, náusea, vómito o fiebre. Los síntomas pueden aparecer a las pocas horas o después de varios días de infectarse (DOH 2017).

La presencia de *Escherichia coli* en el agua es indicación de contaminación por aguas residuales o de residuos de animales. Las fuentes de contaminación fecales de humanos y animales representan un grave riesgo para la salud debido a la existencia de agentes patógenos en los residuos fecales (Rivera y Rock 2014).

3.3.3. *Pseudomonas aeruginosa*

Todos los pozos muestreados tienen contenidos de *Pseudomonas aeruginosa* mayores a 1.1 NMP/100 mL, a excepción del pozo 2 y la bomba 1, que en un muestreo cada uno realizado en enero 2020 tuvieron valores que cumplen con el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.02:14 (cuadro 4).

Existe contaminación microbiológica por excrementos de origen animal debido al pastoreo de ganado (vacas, caballos, cabras, otros) alrededor de los pozos; así como también por descargas de aguas residuales domésticas cerca de los pozos o manantiales. En zonas cercanas entre las comunidades, son muy frecuentes las inundaciones durante los meses de agosto y septiembre; esto conlleva arrastre de materia orgánica y de partículas en suspensión que llegan al manto acuífero, contaminando de esta manera el recurso hídrico.

Pseudomonas aeruginosa puede causar diversos tipos de infecciones, pero rara vez causa enfermedades graves en personas sanas sin algún factor predisponente. Coloniza predominantemente partes dañadas del organismo, como quemaduras y heridas quirúrgicas, el aparato respiratorio de personas con enfermedades subyacentes o lesiones físicas en los ojos. Muchas cepas son resistentes a diversos antibióticos, lo que puede aumentar su relevancia en el ámbito hospitalario (Delgado y Morales 2015).

La bacteria *Pseudomonas aeruginosa* es un contaminante normal de aguas de pozos que no han pasado por un proceso de potabilización. Se les asocia a residuos fecales humanos más que a heces de animales. Está reportada como la de mayor importancia clínica dentro de los bacilos Gram negativos no fermentadores (Alonso *et al.* 2005).

Según Castrejón *et al.* (2014), las principales fuentes de contaminación del agua de los pozos en comunidades pequeñas menores de 500 habitantes son porque no cuentan con el servicio de drenajes, actividades agrícolas, ganadería o actividades pesqueras.

Marchand (2001) determina que el problema del riesgo de contaminación microbiológica radica principalmente en la proliferación de pozos y surtidores clandestinos (los cuales no poseen ningún tipo de control sanitario, sin tratamiento y sin desinfección del agua), condiciones higiénicas sanitarias deplorables (presencia de basurales, letrinas y animales entre otros) y mala ubicación del sistema de evacuación de excretas (lo cual infiltra en el terreno y penetra por las paredes del pozo, contaminando el agua).

3.4. Caracterización socioeconómica

Según los datos obtenidos en esta investigación, el 50% de la población pertenece al género masculino y el otro 50% al género femenino.

El 39% de las personas entrevistadas no poseen empleo; 36% se dedica a trabajar en actividades de campo como la zafra de la caña de azúcar, producir cultivos o en la crianza de animales; el 25% son amas de casa o trabajadores de otros sectores.

En las zonas rurales las condiciones de trabajo tienden a ser difíciles, precarias y peligrosas puesto que los empleos rurales son generalmente informales, no existen contratos escritos y los empleados no gozan de protección social. Es habitual que las personas trabajen muchas horas, perciban ingresos bajos e inestables y con frecuencia se vean forzadas a combinar varias actividades para poder subsistir (FAO 2020).

El 100% de las familias encuestadas no cuentan con el servicio de agua potable.

Los pozos en el caserío Los Encuentros tienen 8 años en promedio de haberse construido, en el caserío El Anono 12 años y en el caserío El Hovedor 18 años.

Durán y Torres (2006) mencionan que el agua de pozos artesanales puede contaminarse por el deterioro de los materiales de construcción, permitiendo la filtración de lixiviados y materiales arrastrados por flujo del agua subterránea. El tiempo del deterioro dependerá del material de construcción y el criterio con que se elaboró cada pozo.

El 36% de los pozos no posee ningún tipo de cubierta o protección para evitar la entrada de agentes contaminantes desde la superficie; el 64% restante sí posee algún tipo de protección.

Los pozos sin cubierta fácilmente pueden contaminarse por microorganismos o compuestos de todo tipo de materia en degradación como heces de animales o basura que son transportados a través del aire (Brady 2009.).

El 58% de los pozos tienen una profundidad entre 6 a 10 metros, 35% tienen 5 m o menos de profundidad, 6% tiene entre 16 a 20 m y el 1% tienen una profundidad entre 11 a 15 m.

Una desventaja que tienen los pozos superficiales o poco profundos (menos de 10 m de profundidad) es el riesgo de contaminación microbiológica (Goya y Wilde 1997).

La fuente de contaminación del agua de los pozos más común en las comunidades es la cercanía con las letrinas, con una proximidad menor a 10 m en el 74% de las viviendas. Solo el 16% de los hogares tiene sus letrinas u otras fuentes de contaminación, como corrales y cultivos, ubicados a más de 10 m del pozo.

La localización de la letrina con respecto a cualquier fuente de suministro de agua (pozos) dentro del predio o en predios vecinos debe ser de 15 metros como mínimo; así mismo debe tomarse en cuenta la dirección en que corre el agua subterránea, a fin de no ubicar una letrina de hoyo

modificada con dirección de la corriente hacia el pozo o fuente natural de suministro de agua, caso contrario, se debe utilizar una de las alternativas de letrina tipo abonera o solar (MSPAS 2004).

El 68% de la población utiliza el agua de pozo para uso doméstico y aseo personal, 23% para consumo humano y el 9% la utiliza en cultivos y ganado.

Solamente un 32% de la población rural tiene acceso a servicios de agua, que no necesariamente es potable. La calidad del agua consumida es deficiente y alrededor de un 40% de los sistemas analizados tienen problemas de contaminación microbiológica (FONAES s. f.).

El 100% de las familias en los caseríos en estudio no realiza análisis de calidad del agua del pozo que poseen.

El 37% de la población utiliza filtros como tratamiento del agua previo al consumo, 24% desinfecta el agua de los pozos con cloro o lejía, 5% utilizan una tela (manta) como tamiz para colar el agua y posteriormente hervirla; 34% no realizan ninguna labor de desinfección del agua antes de utilizarla.

Para elegir el mejor método para tratar el agua de pozo se debe realizar un análisis para determinar los parámetros con grado contaminante y conocer qué parámetro se desea controlar (OMS 2006).

El 81% de las personas entrevistadas no utilizan el agua de los pozos para dar de beber a sus animales, solo el 19% utiliza el agua del pozo para dar de beber a los animales.

El 88% de la población tiene servicio de energía eléctrica en su hogar, 12% no lo posee.

El 39% de las personas entrevistadas afirmó que en sus caseríos no reciben apoyo de ninguna organización; 32% mencionó que la Asociación de Desarrollo Comunal (ADESCO) es la que se encarga de la gestión de proyectos y de otros beneficios para los habitantes de las comunidades; el 13% manifestó que Cáritas (instancia de la Iglesia Católica en El Salvador) ha intervenido en las comunidades en proyectos de agua potable; 12% dijeron que la Alcaldía municipal de San Luis Talpa les apoya en diferentes servicios para las comunidades del cantón; el 4% restante confirmó haber recibido apoyo de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en cuanto a capacitación técnica y adquisición de tecnologías para el cultivo de hortalizas en huertos caseros.

El 42% de las capacitaciones impartidas han sido sobre manejo de cultivos hortícolas, 25% sobre agricultura orgánica, 13% en mantenimiento de letrinas, 8% sobre ganado vacuno, 4% en cultivo de tilapia, otro 4% dijo que tratan sobre crianza de aves de corral, y otro 4% sobre manejo adecuado del agua.

El 65% de las familias padecen recurrentemente enfermedades respiratorias (congestión nasal, tos y fiebre); 19% ha tenido enfermedades gastrointestinales; 14% padecen de insuficiencia renal; y solo el 2% tienen enfermedades como diabetes y migraña.

La ingesta de agua contaminada por microorganismos es la causa común de enfermedades gastrointestinales como diarrea, calambres estomacales, inflamación, gas, pérdida de peso, náusea, vómito o fiebre (DOH 2017).

Los casos de insuficiencia renal de los caseríos en estudio se encuentran por encima del promedio a nivel nacional: para el año 2015, a nivel nacional, la Insuficiencia Renal Crónica (IRC) estaba presente en el 12.6% de la población de todo el país (MINSAL 2018).

El 74% de las personas entrevistadas no utiliza agroquímicos en sus cultivos, el 26% si aplica agroquímicos.

Muchos de estos productos pueden ser nocivos para los seres humanos, el ganado, flora, fauna y recursos naturales por diversas causas: siendo tóxicos y corrosivos; y su utilización indiscriminada puede contaminar el aire, agua y suelo, obteniendo como consecuencia, elevados niveles de residuos en el agua (OIT 1993).

4. Conclusiones

Los pozos de agua de los caseríos Los Encuentros, El Anono y El Hovedor del cantón San Francisco Amatepe, en San Luis Talpa, La Paz, cumplen con el Reglamento Técnico Salvadoreño “RTS 13.02.01:14 Agua. Agua de Consumo Humano. Requisitos de Calidad e Inocuidad” en los parámetros de: color aparente, olor, sólidos totales disueltos, turbidez, cianuro, dureza, nitratos, nitritos, pH, sulfatos, aluminio, boro, cadmio, cobre, cromo, mercurio y zinc.

Los pozos de agua muestreados tienen niveles de arsénico y manganeso que superan los establecidos por el Reglamento Técnico Salvadoreño “RTS 13.02.01:14; también superan los parámetros de hierro y plomo en un pozo, y níquel en otro.

Los pozos de agua tienen contaminación por Bacterias Coliformes Totales, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*; por tanto, no cumplen el Reglamento Técnico Salvadoreño “RTS 13.02.01:14 Agua. Agua de Consumo Humano. Requisitos de Calidad e Inocuidad” ni con la Norma Salvadoreña Obligatoria “NSO 13.07.02:08. Agua. Agua Envasada”.

Considerando los parámetros analizados y los parámetros establecidos por la reglamentación nacional, el agua de pozo de los caseríos en estudio no es apta para consumo humano.

El 84% de las viviendas tienen el pozo de agua cerca de una posible fuente de contaminación como letrinas, corrales de los animales o áreas de cultivos.

66% de personas utilizan algún tratamiento para purificar el agua que consumen y que utilizan en sus usos domésticos como filtros, desinfección con cloro o lejía, tela o manta como tamiz para colar el agua y luego hervirla; el 34% no realiza ninguna actividad para desinfección del agua antes de utilizarla.

Todos los pobladores han padecido síntomas respiratorios como gripe, congestión nasal, tos y fiebre; síntomas gastrointestinales (diarrea); y el 14% padecen de insuficiencia renal.

Los parámetros de olor, pH, sólidos totales disueltos y temperatura se analizaron en campo por medio de una sonda multiparamétrica, esto es debido a que cuando son extraídos de su fuente de abastecimiento son afectados por el ambiente, modificando su valor real.

5. Recomendaciones

Al Ministerio de Salud de El Salvador (MINSAL): realizar la gestión ante entidades gubernamentales y no gubernamentales para que se implementen medidas y estrategias de corto plazo (promoción, educación, organización, distribución de *Puriagua*, entre otras) y mediano plazo (introducción del servicio de agua potable domiciliarmente) en todas las viviendas de los caseríos del cantón San Francisco Amatepe, municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz.

A la Alcaldía Municipal y al MINSAL: conocer la situación actual en cuanto al recurso hídrico del cantón San Francisco Amatepe, e intervenir para mejorar los sistemas de abastecimiento de agua potable en el sector.

Al MINSAL: realizar muestreos y análisis de la calidad del agua de todos los pozos de las familias que habitan en los caseríos del cantón San Francisco Amatepe, municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, sobre todos los parámetros físicos, químicos, metales pesados y microbiológicos, según el criterio establecido en el Reglamento Técnico Salvadoreño; y capacitar a los habitantes sobre el uso de métodos caseros de desinfección de agua.

Al MINSAL: construir letrinas aboneras en cada una de las viviendas y asegurar un distanciamiento mínimo de 10 metros con respecto a la vivienda y 15 m de distancia mínima de cualquier fuente o suministro de agua para reducir la contaminación microbiológica.

Al Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG): capacitar y sensibilizar a los productores sobre la importancia del uso adecuado de agroquímicos y de equipo de protección personal.

A los residentes del cantón San Francisco Amatepe: mientras no se tenga acceso a agua potable deben continuar utilizando los diferentes métodos de tratamiento y desinfección del agua como filtros, *Puriagua*, tela o manta como tamiz para colar el agua y posteriormente hervirla, entre otros.

6. Bibliografía

Aguilar, R; García, R; Leiva, R; Ortiz, M; Reyes, C. 2002. Nefropatía terminal en pacientes de un hospital de referencia en El Salvador (en línea). Consultado 25 de mar. 2021. Disponible en: http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1020-49892002000900009&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Alonso, J; Losch, L; Merino, L. 2005. Resistencia antimicrobiana en cepas de *Pseudomonas aeruginosa* aisladas de fuentes de agua de la Provincia del Chaco (Argentina). Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Instituto de Medicina Regional UNNE, Corrientes, Argentina. 14 p.

Álvarez, B; Andrade, B; Calvo, R; Marinero, D; Rodríguez. 2003. Contaminación por arsénico en aguas subterráneas en la provincia de Valladolid: variaciones estacionales. Estudios de la zona no saturada del suelo (en línea). Consultado 5 oct. 2020. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/237568157>

ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, El Salvador). 2010. Sistemas de abastecimiento de agua potable en El Salvador: Boletín estadístico 2010 (en línea). San Salvador, El Salvador. p. 2. Consultado 4 abr. 2019. Disponible en: <http://www.anda.gob.sv/wp-content/uploads/2015/03/boletin-estadistico-2010.pdf>

ATSDR (Asociación para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, Estados Unidos de América). 2008. Resumen de la salud pública: Níquel (en línea). 8 p. Consultado 2 oct. 2020. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs15.pdf

Barrenechea, A. 2009. Aspectos físicos de la calidad del agua (en línea). Consultado 3 abr. 2019. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/uno.pdf>

Brady, M. 2009. Comité de enfermedades infecciosas, 2008-2009 (en línea). Estados Unidos. Consultado 8 ene. 2021. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-pediatrics-10-articulo-consumo-agua-pozos-particulares-riesgos-13139825>

Castrejón, M; Ortiz, M; Sánchez, E. 2014. Contaminación urbana: aspectos fisicoquímicos, microbiológicos y sociales (en línea). Universidad Autónoma del Estado Morelos, México. p.

20-21. Consultado 7 ene. 2021. Disponible en:

https://www.uaem.mx/dgds/files/libros/2014_LIBRO_CONTAMINACION%20URBANA%20DEL%20AIRE.%20ASPECTOS%20FISICOQUIMICOS%20MICROBIOL%C3%93GICOS%20Y%20SOCIALES.pdf

CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, España). s. f. Riesgo de enfermedades transmitidas por el agua en zonas rurales (en línea). Consultado 20 dic. 2020. Disponible en: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/contenido/capitulo13.html>

Delgado, S; Morales, F. 2015. Detección de *Pseudomona aeruginosa* y bacterias heterótrofas de aguas envasadas en botellas y bolsas destinadas al consumo humano, comercializadas en la ciudad de Managua en el período diciembre 2014 a enero 2015 (en línea). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. p. 20. Consultado 18 dic. 2020. Disponible en: <https://repositorio.unan.edu.ni/1029/1/58359.pdf>

DOH (Departamento de Salud de Washington, Estados Unidos de América). 2017. Advertencia de salud pública: *E. coli* (en línea). Consultado 18 dic. 2020. Disponible en: <https://www.doh.wa.gov/Portals/1/Documents/Pubs/331-179s.pdf>

Durán, J; Torres, A. 2006. Los problemas del abastecimiento de agua potable en una ciudad media (en línea). Universidad de Guadalajara, México. 34 p. Consultado 8 ene. 2021. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/espinal/v12n36/v12n36a5.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2020. Empleo rural decente: Condiciones de trabajo (en línea). Consultado 18 dic. 2020. Disponible en: <http://www.fao.org/rural-employment/work-areas/working-conditions/es/>

FCEA (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A.C., México). 2017a. Agua en el planeta (en línea). Consultado 7 may. 2019. Disponible en: <https://agua.org.mx/en-el-planeta/>

FONAES (Fondo Ambiental de El Salvador). s. f. Recurso hídrico (en línea). Consultado 5 ene. 2021. Disponible en: http://fonaes.gob.sv/?page_id=555#:~:text=El%20agua%20en%20El%20Salvador,el%20mal%20uso%20que%20se

Gómez, A; Hernández, G; Hernández, S; Juárez, P. 2017. Determinación de hierro y manganeso en el agua subterránea del municipio de Apan, Hidalgo, México (en línea). Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji, México. Consultado 27 oct. 2020. Disponible en: http://reaxon.utleon.edu.mx/Art_Determinacion_de_hierro_y_manganeso_en_el_agua_subterranea_del_municipio_de_Apan_Hidalgo_Mexico.html

Goya, A; Wilde, O. 1997. Calidad bacteriológica de las aguas en plantas faenadotas de la Provincia de Tucumán (en línea). Tucumán, Argentina. Consultado 29 sep. 2020. Disponible en: <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/vet/article/download/2779/2460>

Herrera, P. 2012. Determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de agua de pozo para el consumo humano en las comunidades la arenera, San José y el progreso del municipio de Concepción Batres en el departamento de Usulután (en línea). San Salvador, El Salvador. Consultado 5 feb. 2020. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/2836/1/Trabajo%20Final.pdf>

Hidroquil. 2019. Efectos de la salud del hierro en el agua (en línea). Buenos Aires, Argentina. Consultado 21 dic. 2020. Disponible en: <https://www.hidroquil.com.ar/efectos-en-la-salud-del->

[hierro-en-el-agua/#:~:text=Efecto%20en%20la%20salud%20del%20exceso%20de%20hierro&text=Los%20Primeros%20s%C3%ADntomas%20incluyen%20fatiga,del%20h%C3%ADgado%20y%20la%20diabetes.](#)

Marchand, E. 2001. Microorganismos indicadores de la calidad del agua de consumo humano en Lima Metropolitana (en línea). Consultado 23 ene. 2020. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/tesis/basic/marchand_p_e/anteced.htm

MINSAL (Ministerio de Salud, El Salvador). 2018. Enfermedad Renal Crónica: perfil epidemiológico en El Salvador y Centroamérica (en línea). Consultado 12 feb 2020. Disponible en: https://www.salud.gob.sv/archivos/pdf/cursos/Becas/Curso_UISP-8-2018/presentaciones/dia5_presentaciones28112018/002-Panel-DSS-Carlos-Orantes.pdf

MINSAL-OSARTEC (Ministerio de Salud, El Salvador y Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica). 2018. Reglamento Técnico Salvadoreño “RTS 13.02.01:14 Agua. Agua de Consumo Humano. Requisitos de Calidad e Inocuidad”. San Salvador, El Salvador. 22 p.

MSPAS (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, El Salvador). 2004. Norma técnica sanitaria para la instalación, uso y mantenimiento de letrinas secas sin arrastre de agua (en línea). p. 7. Consultado 7 ene. 2021. Disponible en: [https://www.paho.org/els/index.php?option=com_docman&view=download&alias=1072-norma-letrinas-secas&category_slug=licitaciones&Itemid=364#:~:text=i\)%20La%20localizaci%C3%B3n%20de%20la,modificada%20con%20direcci%C3%B3n%20de%20la](https://www.paho.org/els/index.php?option=com_docman&view=download&alias=1072-norma-letrinas-secas&category_slug=licitaciones&Itemid=364#:~:text=i)%20La%20localizaci%C3%B3n%20de%20la,modificada%20con%20direcci%C3%B3n%20de%20la)

OIT (Organización Internacional del Trabajo, Suiza). 1993. Guía sobre seguridad y salud en el uso de productos agroquímicos (en línea). Consultado 27 oct. 2020. p. 34-37. Disponible en: https://www.ilo.org/safework/info/instr/WCMS_235707/lang--es/index.pdf

OMS (Organización Mundial de la Salud, Suiza). 2006. Guías para la calidad del agua potable: Selección de parámetros para el monitoreo operativo (en línea). p. 65. Consultado 7 ene. 2021. Disponible en: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf

OMS (Organización Mundial de la Salud, Suiza). 2020. Arsénico: efectos en la salud (en línea). Consultado 17 dic. 2020. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic#:~:text=La%20exposici%C3%B3n%20prolongada%20al%20ars%C3%A9nico,enfermedades%20cardiovasculares%2C%20neurotoxicidad%20y%20diabetes.>

ONU (Organización de las Naciones Unidas, Estados Unidos de América). 2010. Decenio del Agua: el derecho humano al agua y al saneamiento (en línea). Consultado 7 ene. 2021. Disponible en: https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml#:~:text=El%2028%20de%20julio%20de,de%20todos%20los%20derechos%20humanos.

OPS-OMS (Organización Panamericana de la Salud, El Salvador y Organización Mundial de la Salud, Suiza). 2013. Apoyo de OPS/OMS ante incremento de insuficiencia renal en El Salvador (en línea). Consultado 28 jul. 2019. Disponible en: https://www.paho.org/els/index.php?option=com_content&view=article&id=121:apoyo-ops-oms-ante-incremento-insuficiencia-renal-salvador&Itemid=291

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Estados Unidos de América). 2019. Objetivos de Desarrollo Sostenible. ¿Qué son los Objetivos de Desarrollo Sostenible? (en línea). Consultado 28 feb. 2019. Disponible en: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>

Rivera, B; Rock, C. 2014. La calidad del agua, *E. coli* y su salud (en línea). Arizona, Estados Unidos de América. 55 p. Consultado 13 feb. 2020. Disponible en: <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1624s.pdf>

Rodríguez Urrutia, EA. 1996. Perspectivas de la capacidad de extensionistas y de pequeños productores de café para el aprendizaje y el cambio tecnológico. Colegio de Postgraduados. Tesis M. Sc. en Desarrollo Rural. Texcoco, México. p. 89.