

## Artículo Original

### Microbiología del Agua

Kasmera 48(1):e48131414, Enero-Junio, 2020

ISSN 0075-5222 E-ISSN 2477-9628

 <https://doi.org/10.5281/zenodo.3861081>



# Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas subterráneas de un sector rural a baja altitud en Los Andes venezolanos

*Physicochemical and microbiological characterization of groundwater wells of a rural sector located at low altitude in the Venezuelan Andes*

Prato-Moreno José G  <sup>1</sup>, Millán-Marrero Fernando C <sup>2</sup>, Prada-Andrade Carly M <sup>2</sup>, Tañáselia Claudiu <sup>3</sup>, Prado Lenis C <sup>4</sup>, Lucena María Eugenia <sup>5</sup>, Ríos-García Iván <sup>6</sup>, González-Ramírez Luisa C <sup>7</sup>,

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Chimborazo. Facultad de Ingeniería. Grupo de Investigación "Clean Energy and Environment". Riobamba-Chimborazo. Ecuador. <sup>2</sup>Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Área de Ingeniería Ambiental. Mérida-Mérida. Venezuela. <sup>3</sup>Instituto Universitario Politécnico "Santiago Mariño". Escuela de Ingeniería Química. Mérida-Mérida. Venezuela. <sup>4</sup>INCDO-INOE 2000 Research Institute for Analytical Instrumentation, Cluj-Napoca. Rumania. <sup>5</sup>Universidad de Los Andes. Centro Interamericano de Investigaciones Ambientales y Territoriales CIDIAT-ULA. Laboratorio de Aguas y Suelos. Laboratorio de Isotopos Estables. Mérida-Mérida. Venezuela. <sup>6</sup>Universidad Nacional de Chimborazo. Facultad de Ciencias de la Salud. Carrera Laboratorio Clínico. Grupo de Investigación "Análisis de Muestras Biológicas y Forenses". Riobamba-Chimborazo. Ecuador. <sup>7</sup>Universidad Nacional de Chimborazo. Facultad de Ingeniería. Grupo de Investigación Clean Energy and Environment. Riobamba-Chimborazo. Ecuador. <sup>8</sup>Universidad Nacional de Chimborazo. Facultad de Ciencias de la Salud. Carrera de Laboratorio Clínico e Histopatológico. Grupo de Investigación "Análisis de Muestras Biológicas y Forenses". Riobamba-Chimborazo. Ecuador. Universidad de Los Andes. Facultad de Farmacia y Bioanálisis. Departamento de Microbiología y Parasitología. Cátedra de Parasitología. Laboratorio de Investigaciones Parasitológicas "Jesús Moreno Rangel". Mérida-Mérida. Venezuela.

## Resumen

El crecimiento de la población humana y las actividades antropogénicas ha aumentado la tasa de contaminación del agua subterránea en el mundo, por lo que, la finalidad de este estudio es determinar la potabilidad del agua de cuatro pozos subterráneos de un área rural del estado Mérida, mediante la caracterización fisicoquímica y microbiológica, para comprobar la factibilidad de su uso como agua de consumo. Los resultados indican que los parámetros fisicoquímicos cumplen la normativa venezolana. Las aguas presentan una gran variedad de minerales destacándose Ca, Na y Mg como cationes mayoritarios y una dureza básicamente debida a iones bicarbonato. Los valores de la distribución isotópica, sugieren la existencia de dos acuíferos sin conexiones hidráulicas entre los pozos. El análisis bacteriológico y parasitológico detecta: bacterias heterótrofas, coliformes totales y *Pseudomonas*, así como, *Ascaris* spp., *Blastocystis* sp., *Giardia* sp., y *Eimeria* sp., probablemente procedentes del filtrado subterráneo de los pozos sépticos y percolado desde la superficie a través del suelo de textura franco arcilloso arenoso, microorganismos que se han adaptado a las características fisicoquímicas de las aguas. Los resultados demuestran que el agua de tres pozos, no puede ser utilizada para el consumo, sin previo tratamiento convencional como coagulación, filtración y cloración.

**Palabras claves:** agua subterránea, caracterización química, análisis bacteriológico, análisis parasitológico

## Abstract

Growth in human population and anthropogenic activities has increased the rate of groundwater pollution in the world, therefore, the purpose of this study is to determine the potability of water from four underground wells in a rural area of Mérida State, through the physicochemical and microbiological characterization, to check the feasibility of its use as drinking water. The results indicate that the physicochemical parameters comply with Venezuelan regulations. The waters have a wide variety of minerals, highlighting Ca, Na and Mg as majority cations and a hardness basically due to bicarbonate ions. The values of the isotopic distribution suggest the existence of two aquifers without hydraulic connections between wells. Bacteriological and parasitological analysis detects: heterotrophic bacteria, total coliforms and *Pseudomonas*, as well as *Ascaris* spp., *Blastocystis* sp., *Giardia* sp., and *Eimeria* sp., probably derived from the underground filtration of septic tanks and percolated from the surface through the sandy clay loam soil, microorganisms that have adapted to the physicochemical characteristics of waters. The results show that the water from three wells cannot be used for consumption without some conventional treatment as filtration and coagulation, and disinfection process.

**Keywords:** groundwater, chemical characterization, bacteriological analysis, parasitological analysis

**Recibido:** 22-03-2020

**Aceptado:** 04-05-2020

**Publicado:** 08-06-2020

**Como Citar:** Prato-Moreno JG, Millán-Marrero FC, Prada-Andrade CM, Tañáselia C, Prado LC, Lucena ME, Ríos-García I, González-Ramírez LC. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas subterráneas de un sector rural a baja altitud en Los Andes venezolanos. *Kasmera*. 2020;48(1):e48131414. doi: 10.5281/zenodo.3861081

**Autor de Correspondencia:** Prato-Moreno José G. E-mail: [pratoj@gmail.com](mailto:pratoj@gmail.com)

Una lista completa con la información detallada de los autores está disponible al final del artículo.

©2020. Los Autores. **Kasmera**. Publicación del Departamento de Enfermedades Infecciosas y Tropicales de la Facultad de Medicina. Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons atribución no comercial (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>) que permite el uso no comercial, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre y cuando la obra original sea debidamente citada.



## Introducción

La problemática de la calidad del agua para consumo humano es cada día mayor, debido principalmente al crecimiento poblacional y las actividades antropogénicas que aportan contaminantes a los cuerpos de aguas naturales. Latinoamérica no escapa a esta realidad, el crecimiento no planificado de las ciudades, produce escasez en el suministro de agua potable que alcanza niveles de 80% en las zonas rurales (1,2).

Regularmente se utilizan los depósitos subterráneos como fuente de agua potable, por considerar el bajo costo, fácil acceso, la no salinidad y una buena calidad del agua, por no estar expuesta a los contaminantes de la superficie. Por estas razones, tanto en el medio rural como urbano, las personas utilizan las aguas subterráneas para sus actividades domésticas y agropecuarias, desconociendo que estos acuíferos, son susceptibles de contaminación química y microbiológica, debido a las actividades agrícolas, industriales y humanas (1,3).

La región del Sur del Lago de Maracaibo, en el estado Mérida-Venezuela, es rica en aguas subterráneas (4) y las comunidades rurales se surten del líquido por medio de pozos perforados a diferentes profundidades. Estos acuíferos no son supervisados por autoridades competentes, simplemente, se hace una caracterización inicial, pero luego no se le da el debido seguimiento. Este es el caso del Sector Los Anegados, Mucujepe, de la ciudad de El Vigía, las comunidades se surten de pozos subterráneos, que nunca han sido caracterizados, por ningún organismo. Tampoco, existen informes técnicos o trabajos de investigación que describan el análisis fisicoquímico y microbiológico de estos cuerpos de agua.

El objetivo de esta investigación es realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica de las aguas provenientes de cuatro pozos subterráneos, seleccionados en un área rural del estado Mérida, para determinar la factibilidad de su uso como agua de consumo.

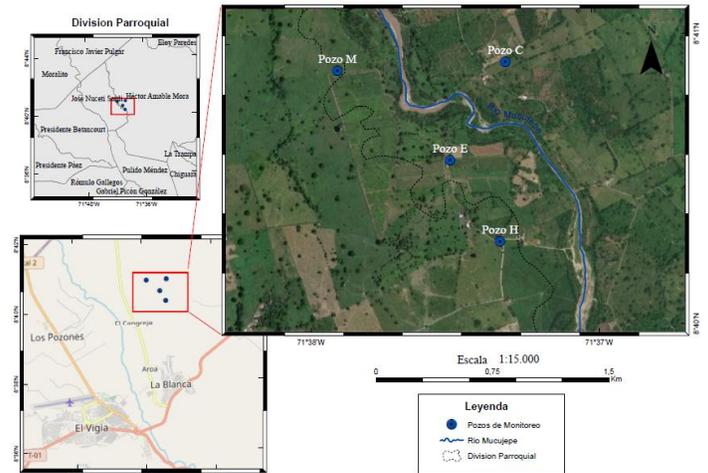
## Métodos

**Diseño de la investigación:** el estudio fue de enfoque cuantitativo, cohorte transversal, con un nivel de alcance correlacional y explicativo, diseño de campo y un muestreo no probabilístico intencional.

**Población y muestra:** La muestra estuvo conformada por cuatro pozos de agua subterránea de la comunidad Los Anegados de la parroquia Héctor Amable Mora (Figura 1). Para su selección se tomó en cuenta que fueran de construcción artesanal, que mantuvieran tuberías en buen estado que garantizaran la extracción hídrica segura, sin que constituyera un sesgo para el análisis.

**Ubicación geográfica de los pozos:** el sector Los Anegados, Mucujepe del municipio Alberto Adriani, estado Mérida, Venezuela, está localizado a 9,4 km de la ciudad de El Vigía, a 123 msnm, su urbanismo y servicios

sociales son deficientes (4). Los 4 pozos seleccionados fueron codificados como C, M, E, H (Figura 1) y los detalles de profundidad y localización se muestran en la Tabla 1.



**Figura 1.** Mapa donde se indica la ubicación de los pozos analizados

**Tabla 1.** Profundidades y coordenadas geográficas de los pozos seleccionados

Pozo	Profundidad (m)	Latitud	Longitud
C	10	8° 40' 55" N	71° 37' 19" O
M	12	8° 34' 54" N	71° 37' 54" O
E	08	8° 40' 35" N	71° 37' 31" O
H	10	8° 40' 18" N	71° 37' 21" O

El agua de los 4 pozos es utilizada para uso humano, veterinario y agrícola. Cercano a los pozos, se encuentran instalaciones que generan contaminación, entre ellos se considera importante las siguientes construcciones:

1. Pozo C: una vaquera a 10 m de distancia.
2. Pozo M: una vaquera a 15 m y dos pozos sépticos, a 18 m y 30 m.
3. Pozo E: una vaquera a 10 m y un pozo séptico a 18 m.
4. Pozo H: una vaquera a 150 m y un pozo séptico a 60 m.

Las aguas provenientes de los pozos analizados no han sido potabilizadas por tratamientos convencionales, los resultados de los análisis son comparados con la normativa de calidad para aguas potables vigentes en la Gaceta Oficial 36395 (5), que establece los estándares para aguas potables, debido a que estas aguas son consumidas directamente por las comunidades, sin tratamiento previo.

**Muestreo:** se planificaron 4 muestreos simples, uno cada 15 días, durante un período de dos meses. Previo a la toma de las muestras, se limpió la salida de la tubería, con solución jabonosa e hipoclorito de sodio al 5%, se dejó fluir el líquido durante 5 minutos, para los análisis químicos las muestras fueron recolectadas en envases de

polietileno con capacidad de 5 L, los cuales fueron previamente enjuagados con agua destilada estéril y finalmente con agua de cada pozo. Para el análisis del perfil metálico se tomó una muestra compuesta por pozo.

Mientras que, para el análisis bacteriológico las muestras se recolectaron de forma aséptica en recipientes de cristal de 250 mL de capacidad, estériles, fueron transportadas bajo refrigeración a 5°C hasta los Laboratorios del Departamento de Microbiología y Parasitología de la Facultad de Farmacia y Bioanálisis de la Universidad de Los Andes (ULA), procesándose antes de las 24 horas de la recolección. Para cada muestra se realizaron diluciones seriadas  $10^{-1}$  y  $10^{-2}$  en agua peptonada estéril al 0,1%.

Para el análisis parasitológico se recolectaron 10 L de agua de cada pozo en recipientes nuevos de polietileno, previamente lavados con agua destilada y enjuagados con agua de cada pozo, que se mantuvieron cerrados herméticamente hasta el momento de su análisis.

**Análisis fisicoquímico:** los análisis fisicoquímicos se realizaron en diferentes laboratorios:

- ✓ Instituto de Investigación para la Instrumentación Analítica ICIA, Cluj Napoca (Rumania) donde se realizó el perfil metálico, mediante un espectrómetro de emisión atómica en plasma, acoplado con un espectrómetro de masas (ICP-MS), equipado con una celda de reacción dinámica ELAN DRC II, Perkin Elmer, Canadá.
- ✓ Laboratorio de Contaminación Ambiental (Ingeniería Química, Universidad de Los Andes (ULA) e Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño, Mérida, donde se realizaron los análisis de rutina: pH, conductividad eléctrica, turbidez y sólidos, aplicando métodos normalizados (6). La dureza del agua se estimó a partir del contenido de metales alcalinotérreos obtenido del perfil metálico y los bicarbonatos se midieron por volumetría ácido-base utilizando 50 mL de muestra y titulando con HCl valorado a 0,001 M y naranja de metilo como indicador.
- ✓ Laboratorio de Aguas y Suelos del Centro Interamericano de Investigaciones Ambientales y Territoriales (CIDAT-ULA), donde se determinó la relación isotópica de oxígeno e hidrógeno por medio de un espectrómetro Láser para agua líquida Standard Working de Los Gatos Research modelo DLT-100.
- ✓ Laboratorio de Suelos del Instituto Nacional Innovación Agraria, donde se analizó la textura de las muestras de suelo por medio del método Boyoucos (2), aplicando lecturas en un hidrómetro a los 30 s y 8 h. Las muestras que presentaron sólidos suspendidos fueron filtradas con papel Whatman N° 12.

**Análisis bacteriológico:**

**Cuantificación del número de bacterias heterótrofas:** la cantidad de bacterias heterótrofas presentes en las muestras de agua, se determinó por el método de siembra en placas de Petrifilm (8). Se inocularon placas por

duplicado con 1 mL de la muestra sin diluir y de cada una de las diluciones preparadas. Las placas se incubaron a 30°C, durante 48 a 72 horas (8). Finalizado el tiempo de incubación se realizaron los cálculos correspondientes para expresar los resultados de los contajes como unidades formadoras de colonia por mL (UFC/mL).

**Enumeración de la cantidad de coliformes totales:** la cuantificación de bacterias coliformes totales fue determinada por la técnica del número más probable (NMP), utilizando series de 3 tubos (6). En primer lugar, se realizó la prueba presuntiva, utilizando 1 mL de muestra, sin diluir y de cada una de las diluciones realizadas, en tubos conteniendo 9 mL de caldo lauril sulfato de sodio y un tubo Durham. Seguidamente los tubos fueron incubados a 37°C durante 24 horas, se seleccionaron como tubos positivos, aquellos que presentaron gas en el interior del tubo Durham. Se confirmó la positividad, añadiendo a un tubo con 9 mL de caldo bilis verde brillante, un volumen de 1 mL. En este caso los tubos se incubaron por 24 a 48 horas a 37°C. Finalizada la incubación, se consideraron como positivos confirmados, aquellos tubos Durham que presentaban burbujas de gas en el interior.

Los resultados de las bacterias coliformes totales se expresaron en valores de NMP/mL, obtenidos para una serie de 3 tubos, utilizando las tablas probabilísticas para el Número Más Probable (6).

**Detección de cepas de género Pseudomonas:** para la investigación de *Pseudomonas* se empleó la técnica de filtración de membrana (6). Se filtró un volumen de 100 mL de cada una la muestra de agua sin diluir, a través de filtros de acetato de celulosa con diámetro de 0,45 mm y poros de 0,45  $\mu$ m (Millipore), los cuales se colocaron en Placas de Petri con agar Cetrimide. Se incubaron a 37°C durante 72 horas, luego se verificó la presencia de colonias de color verde, expresándose los resultados con ausencia o presencia del género *Pseudomonas*.

**Análisis parasitológico:** el análisis se realizó en el Laboratorio de Investigaciones Parasitológicas "Dr. Jesús Moreno Rangel" del Departamento de Microbiología y Parasitología, adscrito a la Facultad de Farmacia y Bioanálisis ULA.

Se aplicó la técnica de Bailenger modificado por Bouhoum & Schwartzbrod (2).

**Técnica de sedimentación:** los 10 mL de agua de cada pozo, se mantuvieron en reposo durante 24 horas. Se eliminó el 90% del sobrenadante. El sedimento fue enjuagado con detergente (Tween 80) y transferido a 10 tubos (50 mL), para ser centrifugado a 1000g durante 15 minutos. Luego los sedimentos se unieron en 2 tubos para ser nuevamente centrifugados.

Los 9 mL de sedimento obtenidos, fueron resuspendidos con 9 mL del tampón acetoacético y 9 mL de acetato de etilo, la mezcla, se centrifugó nuevamente hasta lograr la separación en tres fases. Todos los residuos no grasos y los parásitos quedaron en el sedimento, sobre

este, el tampón acetoacético y la grasa disuelta en el acetato de etilo en la superficie.

**Técnica de flotación:** los 9 mL de sedimento obtenidos fueron resuspendidos en 9 mL de sulfato de zinc, con el sobrenadante, se llenaron las dos retículas de la cámara de McMaster, para cuantificar los huevos de nemátodos.

Además, se realizó el análisis microscópico del contenido de la cámara y de 10 gotas de cada muestra (entre lámina y laminilla) para la detección de protozoarios o chromistas utilizando aumentos de 400x.

Finalmente se calculó el número de huevos por litro de agua mediante la ecuación:

$$N = \frac{A \cdot X}{P \cdot V} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

N = número de huevos por litro de la muestra

A = número de huevos contados en el portaobjetos de McMaster (promedio del recuento)

X = volumen del producto final (mL)

P = volumen del portaobjetos de McMaster (0,3 mL)

V = volumen de la muestra original (10 L)

**Recolección de la información:** los resultados fueron almacenados en fichas impresas donde se incluyeron manualmente los datos obtenidos en el Laboratorio.

**Procesamiento estadístico:** las mediciones de los parámetros físico químicos de cada muestra de agua se hicieron por triplicado, para verificar la reproducibilidad de los mismos y se reportan los valores promedio. Los datos se presentaron organizados en tablas de Microsoft Excel, usando frecuencias absolutas.

## Resultados

**Textura del suelo:** la textura del suelo es un factor importante en el momento de evaluar la permeabilidad y la posible contaminación de aguas subterráneas debido a la percolación de aguas superficiales. En la [Tabla 2](#) se muestran los valores de la granulometría de las muestras de suelos en las cercanías de los pozos estudiados. En general, las clases texturales de los suelos en los 40 cm muestreados son franco arcilloso arenoso (FAa), solo el pozo E que presenta un mayor contenido de arena se clasifica como franco arenoso (Fa)

**Tabla 2.** Granulometría de los suelos en las cercanías de los pozos

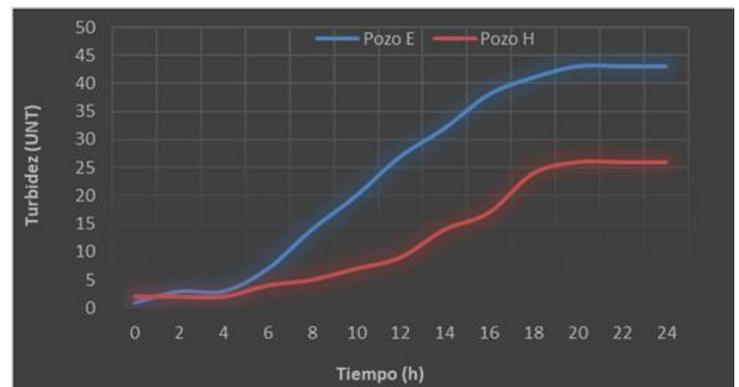
Clase Textural	C	M	E	H
% arena	58,4	58,4	70,4	52,4
% limo	18,2	15,2	11,2	15,2
% arcilla	22,4	26,4	18,4	22,4
Clase textural	FAa	FAa	Fa	FAa

**Análisis fisicoquímico:** la [Tabla 3](#) muestra los resultados del estudio fisicoquímico de las aguas. Se puede observar que todas las muestras tienen una turbidez promedio

baja, menor de 3 UNT durante el período de muestreo. Sin embargo, las muestras tomadas de los pozos E y H presentaron una turbidez creciente durante las 24 horas siguientes a su extracción, debido a la formación de un precipitado fino de color marrón, que queda suspendido en el agua causando el aumento progresivo de la turbidez hasta hacerse constante ([Figura 2](#)), en el caso del pozo E la turbidez del agua se incrementó a 43 UNT, y en el agua del pozo H aumentó a 26 UNT.

**Tabla 3.** Parámetros fisicoquímicos de las aguas de los pozos

Parámetros	Pozos			
	C	M	E	H
Turbidez (UNT)	3	3	2	2
pH	7,39	7,08	6,64	6,47
Conductividad eléctrica (μS/cm)	293,19	497,65	378,01	237,81
Bicarbonatos (mg/L HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	158,25	226,00	141,25	64,00
Dureza permanente (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	13,82	15,03	14,60	16,43
Dureza temporal (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	90,34	172,29	80,21	53,29
Dureza cálcica (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	79,23	161,71	69,80	40,31
Dureza magnésica (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	11,11	10,58	10,41	12,98
Sólidos totales (mg/L)	70,50	99,10	59,97	54,73
Sólidos minerales (mg/L)	61,90	91,50	52,27	47,40
Sólidos orgánicos (mg/L)	8,60	7,60	7,70	7,33
Perfil metálico				
Cationes mayoritarios (mg/L)				
Ca	31,74	64,78	27,96	16,15
Na	6,11	6,75	6,43	6,02
Mg	2,69	2,57	2,53	3,15
K	0,41	0,81	1,16	1,36
Cationes minoritarios (μg/L)- niveles por debajo de 0,4 mg/L				
Mn	21,08	26,66	321,78	229,16
Sr	111,08	148,93	104,35	118,72
Ti	63,08	101,53	38,18	29,58
Ba	22,25	45,89	56,15	60,01
Zn	15,59	19,44	11,44	77,98
Fe	9,23	21,08	43,66	15,47



**Figura 2.** Evolución de la turbidez en el tiempo de las muestras tomadas de los pozos E y H.

Los valores de pH de las aguas indican diferencias en los niveles ácido-básicos, dos de ellas (C y M) son ligeramente alcalinas, mientras que, E y H son levemente ácidas, siendo éstas las que presentan el fenómeno de incremento de la turbidez.

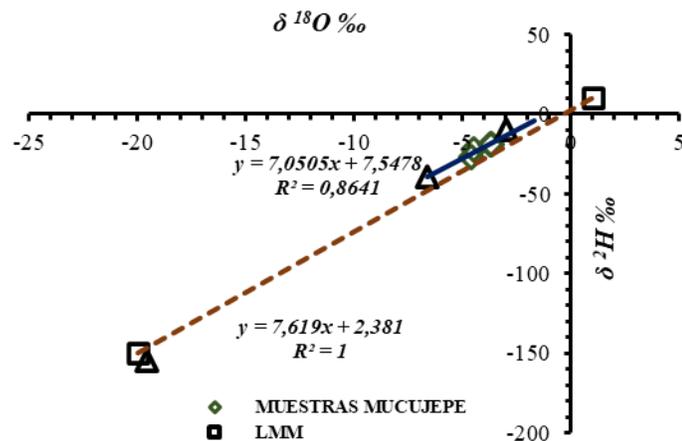
Los resultados de la conductividad eléctrica, muestran valores constantes en el tiempo, lo que indica una composición poco variable de las aguas. Sin embargo, las muestras se pueden diferenciar de acuerdo al valor de su conductividad. Así, el agua del pozo M presenta una

carga iónica superior y una mayor concentración de sólidos minerales, que la distingue del resto de las muestras que contienen menores cargas iónicas y sólidos disueltos. La proporción entre sólidos minerales y sólidos orgánicos es regularmente constante en todas las muestras, y los sólidos minerales están en el rango entre 80 y 90 % de los sólidos totales (Tabla 3).

Los resultados del perfil metálico indican una diversidad de metales en las aguas (mayoritarios y minoritarios), donde la mayor cantidad corresponde a calcio y sodio, presentándose la más alta concentración de Ca en la muestra del pozo M, coincidiendo con la mayor cantidad de sólidos minerales disueltos. Otras especies metálicas como Al, Cu, Li, Sc, As, Ag, Cd, Pb no se reportan en la Tabla 3, porque su concentración está por debajo de 10 µg/L.

En cuanto a la dureza del agua, se aprecia que son básicamente carbonatadas, en especial, la muestra proveniente del pozo M que presenta el mayor contenido de bicarbonatos. La dureza temporal representa entre 80 y 90% con respecto a la permanente, y está gobernada por el calcio, siendo la dureza magnésica una pequeña fracción de la total.

**Análisis isotópico de oxígeno e hidrógeno:** en la Figura 3 se observa la distribución isotópica de las muestras de aguas subterráneas estudiadas, con respecto a la línea meteórica mundial y en la Tabla 4 se reporta el resumen de los valores de las desviaciones  $\delta^2\text{H} \text{‰}$  y  $\delta^{18}\text{O} \text{‰}$  con respecto al patrón VSOMW aceptado internacionalmente (10).



**Figura 3.** Distribución isotópica de las muestras de agua subterránea con respecto a la línea meteórica mundial y desviaciones  $\delta^2\text{H} \text{‰}$  y  $\delta^{18}\text{O} \text{‰}$  con respecto al patrón VSOMW

Los valores de  $\delta$  son negativos, indican una baja concentración isotópica en las aguas subterráneas. Por lo general, las muestras de aguas subterráneas pertenecientes a la misma unidad acuífera presentan valores de exceso isotópico semejantes. En este sentido, los valores de  $\delta^2\text{H} \text{‰}$  como los de  $\delta^{18}\text{O} \text{‰}$  correspondientes a los pozos C y M son similares, pero se

diferencian de los valores de las muestras de los pozos E y H, que son análogos entre sí.

**Tabla 4.** Desviaciones de las relaciones isotópicas respecto al patrón VSOMW para el Deuterio,  $^2\text{H}$ , y el  $^{18}\text{O}$

Muestra	$\delta^2\text{H} \text{‰}$	$S_{\delta^2\text{H}}$	$\delta^{18}\text{O} \text{‰}$	$S_{\delta^{18}\text{O}}$
C	-18,54	0,25	-3,67	0,00
M	-18,67	0,06	-3,71	0,00
E	-22,25	0,74	-4,49	0,26
H	-26,60	1,84	-4,62	0,23

**Análisis bacteriológico:** la Tabla 5 muestra los resultados del análisis bacteriológico de las aguas estudiadas, observándose que, en la mayoría de los pozos, a excepción del H, se evidencia contaminación bacteriana, tanto del grupo de las bacterias heterótrofas, como del género *Pseudomonas*.

**Tabla 5.** Resultados del análisis microbiológico

Pozo	Bacterias heterótrofas (UFC/mL)	<i>Pseudomonas</i> spp. (Presencia/ausencia)	Coliformes Totales (NMP/mL)
C	Incontables ( $\geq$ a $2,0 \times 10^3$ )	Presencia	Positivo ( $\geq$ a 2400)
M	Incontables ( $\geq$ a $2,0 \times 10^3$ )	Ausencia	Positivo ( $\geq$ a 2400)
E	Incontables ( $\geq$ a $2,0 \times 10^3$ )	Presencia	Positivo ( $\geq$ a 2400)
H	Negativo ( $<$ $1,0 \times 10$ )	Ausencia	Negativo ( $<$ 3,0)

Es importante resaltar los resultados obtenidos con las bacterias heterótrofas, donde la mayoría de los casos da valores incontables ( $\geq$  a  $2,0 \times 10^3$ ), lo cual señala una abundante cantidad de bacterias en el agua de estos pozos, resultado que coincide con los valores de coliformes totales.

**Análisis parasitológico:** los detalles de las especies de parásitos encontrados en el análisis de las aguas subterráneas, se muestra en la Tabla 6. Es importante destacar la detección de huevos de *Ascaris* spp., en el agua del pozo M, cuando se cuantificó en cámara de McMaster, se encontró un promedio 0,5 huevos, que al ser multiplicado por el volumen del sedimento de agua (9 mL) y dividido entre el volumen contado en la cámara de McMaster (0,3 mL) y el volumen total de agua analizado (10 L) aplicando la ecuación 1 (Ec. 1), se obtiene como resultado 1,5 huevos de *Ascaris* spp./L de agua.

Estos huevos fueron retirados de la cámara de McMaster y lavados tres veces con solución salina fisiológica, y mantenidos a 37°C en formalina al 0,05%, hasta comprobar su viabilidad con el desarrollo de las larvas en incubación.

Al realizar un análisis exhaustivo del sedimento del agua obtenida en cada pozo, también se encontraron cromistas y protozoarios: en el pozo M se hallaron estadios morfológicos de resistencia de *Blastocystis* sp., y quistes de *Giardia* sp. En el pozo E se detectaron

*Blastocystis* sp., y ooquistes de *Eimeria* sp., parásitos excretados tanto por humanos como por animales.

**Tabla 6.** Análisis parasitológico.

Pozo	Protozoarios	Helmintos	Total
C	Negativo	Negativo	Negativo
M	<i>Blastocystis</i> sp. <i>Giardia</i> sp.	<i>Ascaris</i> spp. 1,5 huevos / L agua	Positivo para dos especies de protozoarios y un helminto
E	<i>Blastocystis</i> sp. <i>Eimeria</i> sp.	Negativo	Positivo para dos especies de protozoarios
H	Negativo	Negativo	Negativo

## Discusión

Los acuíferos de aguas subterráneas son un recurso para el abastecimiento a bajo costo (1.11), principalmente en regiones rurales, donde el suministro es limitado, por lo que son explotados a través del bombeo de pozos, siendo necesario su estudio para garantizar un suministro seguro, libre de microorganismos patógenos que evite infecciones de transmisión hídrica. Las aguas subterráneas se encuentran expuestas a contaminantes fisicoquímicos y biológicos provenientes de las comunidades y de sus actividades antropogénicas, como el manejo de aguas residuales, tratamientos de desechos y efluentes de tanques sépticos, que pueden llegar a los acuíferos mediante la infiltración a través del suelo (1.3).

El estudio de los suelos alrededor de los pozos, indica la presencia de altos contenidos de arena (Tabla 2), lo que les confiere cierto grado de permeabilidad superficial (12). Esta permeabilidad puede permitir la contaminación de las aguas subterráneas con productos de la actividad agropecuaria o de las instalaciones sanitarias cercanas a los pozos, que pueden ser lixiviados con las aguas de lluvia (1.3.11).

El análisis fisicoquímico de las aguas subterráneas (Tabla 3) indica que éstas cumplen con los niveles máximos permitidos en la Gaceta N°. 36395 de la legislación venezolana (5), para los parámetros evaluados (pH, turbidez, sólidos totales, dureza, contenidos de metales), solo el contenido de manganeso (Mn) supera las concentraciones aceptadas en la normativa nacional (5) e incluso las normas para efluentes líquidos (100 µg/L) (13). La presencia de Mn ha sido reportada en aguas subterráneas debido a la mineralogía de la roca del acuífero y por lixiviado de vertederos y aguas residuales (14-18), es importante destacar que este catión es un elemento vital para los sistemas biológicos, cuyo comportamiento químico es función de las reacciones de pH, oxidación y reducción (15,17,18).

En las muestras provenientes de los pozos E y H se produce un precipitado durante las 24 h posteriores a la extracción, que afecta la turbidez del agua (Figura 2), originando un incremento constante hasta estabilizarse en valores superiores a los permitidos. Una hipótesis podría formularse en base al poco oxígeno disuelto en el agua

del pozo y su contenido metálico. En la profundidad de los pozos, donde las concentraciones de oxígeno son bajas, se crean condiciones reductoras y disminuye el potencial redox (15-16), al extraer el agua, el oxígeno del aire se disuelve en ella y puede ocurrir la formación de óxidos insolubles que precipitan.

En el diagrama Pourbaix se comprueba que, de acuerdo a las propiedades del agua, el manganeso se encuentra como Mn<sup>+2</sup>, cambiando las condiciones de concentración de oxígeno disuelto e incrementándose el potencial redox (16), el manganeso puede pasar a la forma de Mn(OH)<sub>3</sub> (K<sub>sp</sub> = 10<sup>-36</sup>), Mn(OH)<sub>2</sub> (K<sub>sp</sub> = 2 x 10<sup>-13</sup>) y precipitar (15).

Las aguas estudiadas son ricas en una gran variedad de metales (Tabla 3), todos estos cationes alcalinos y alcalinotérreos deben estar presentes en el agua bajo la forma de bicarbonatos de calcio y magnesio que son los elementos en mayor proporción, constituyendo la dureza carbonática temporal de las aguas (15.16). La diversidad de sales disueltas en los acuíferos subterráneos se debe a la geología del lecho de roca por donde fluye el agua, por lo tanto, su composición es característica de la región en estudio (19-22).

Los altos niveles de dureza de las aguas subterráneas (19.21.22) limitan su aplicación para fines domésticos y agrícolas, en este estudio, el agua proveniente del pozo M, se clasifica como agua dura, las obtenidas de los pozos E y C se catalogan como semiduras, mientras que la muestra del pozo H se considera blanda (15.16).

El análisis de los isótopos estables en el agua, δ<sup>2</sup>H y δ<sup>18</sup>O, se utiliza para identificar las diferentes fuentes de recarga de agua subterráneas y distinguir aguas con una composición química similar (23). Los resultados negativos del análisis de los isótopos (Figura 3) describen que las muestras tienen menor concentración isotópica que el patrón VSMOW (10). Sin embargo, por la falta de una línea meteorológica nacional y local es imposible dar una mejor referencia. Los valores de δ<sup>2</sup>H ‰ y de δ<sup>18</sup>O ‰ (Tabla 4) sugieren conexiones hidráulicas distintas entre los dos grupos de aguas. Las aguas de los pozos C y M deben provenir de un mismo acuífero, siendo este distinto a la fuente de las aguas de los pozos E y H (10.23).

Respecto al estudio bacteriológico, es importante señalar la presencia de bacterias heterótrofas en las aguas de los pozos analizados, excluyendo el pozo H, donde no se detectó la presencia de microorganismos (Tabla 5). Los datos señalan que en la mayoría de los pozos estudiados la población de bacterias heterótrofas se ha adaptado a las condiciones fisicoquímicas presentes, las cuales fueron determinadas, sobre todo las relacionadas con los valores de pH, sales disueltas, bicarbonato y poca cantidad de sólidos orgánicos (Tabla 3). Estos acuíferos se clasifican como ecosistemas acuáticos oligotróficos (alto en sales minerales y bajo en cantidad de nutrientes). Este tipo de ambiente a pesar de que posee una concentración baja de nutrientes puede sustentar el crecimiento de varios microorganismos. De esta forma, diversos autores han señalado que el número

total de bacterias heterótrofas encontradas en los ecosistemas de agua subterránea puede variar entre  $10^2$  y  $10^6$  células/mL de agua, valores que se asemejan a los obtenidos en el presente trabajo (21,24,25).

El gradiente del potencial redox se ha señalado como uno de los factores que más condiciona la distribución de los microorganismos en los medios saturados, como es el caso de los pozos de agua subterránea. Este gradiente varía desde medios oxidantes hasta medios reductores, con la profundidad. Mientras que, en los ambientes oxidantes se pueden encontrar diversos tipos de microorganismos, los ambientes reductores quedan restringidos a los microorganismos anaerobios y anaerobios facultativos, la mayoría de los cuales son bacterias heterótrofas, como es el caso de esta investigación, donde la baja concentración de oxígeno observada estaría en concordancia con los datos microbiológicos, y sobre todo con la presencia de bacterias heterótrofas, del género *Pseudomonas* y del grupo de bacterias coliformes, donde la mayoría de sus miembros son bacterias anaeróbicas facultativas (26,27).

La enumeración de las bacterias heterótrofas provee una estimación del número total de bacterias viables y da información acerca de la calidad sanitaria del agua. De igual forma, permite juzgar la eficiencia de los sistemas de protección de los acuíferos en contra de la contaminación externa (24,27). Se interpreta que cuando el resultado del número de bacterias heterótrofas es superior a 200 UFC/mL, existe una importante contaminación bacteriana. Por esto la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos recomienda que el límite de bacterias heterótrofas en agua potable debe ser de un máximo de 300 UFC/mL (14).

De acuerdo con los resultados obtenidos para la cuantificación del número de bacterias heterótrofas, los pozos C, M y E estarán contaminados desde un punto de vista microbiológico, y estas aguas deben considerarse no potables, a menos que sean sometidas a algún tipo de tratamiento físico o químico antes de su uso. Estos resultados concuerdan con los indicados por diversas investigaciones sobre aguas subterráneas (3,21,28,29).

La microbiota de un agua mineral natural, como la subterránea, está constituida por dos tipos de microorganismos, muy diferentes en origen y en propiedades, que coexisten: Los llamados autóctonos que son los propios del hábitat y que constituyen la microbiota natural y los alóctonos procedentes de otro hábitat (suelo, heces y vegetales) y que se consideran contaminantes ocasionales (30).

Las bacterias del género *Pseudomonas*, son quimiorganotrofos y oligotróficas, necesitan muy poca cantidad de materia orgánica por lo que pueden crecer a concentraciones de 1-15 mg de carbono orgánico/L (30). Los requerimientos de nitrógeno también son mínimos, menos de 1 g/L, por lo que son oligonitrofilicas. Algunas pueden ser quimiolitótropas opcionales y utilizar hidrógeno o CO<sub>2</sub> como fuente de energía. Estas bacterias suelen ser prototróficas porque no necesitan factores de crecimiento

(25). Son aerobias o anaerobias facultativas, aunque de acuerdo con su bajo metabolismo solo necesitan pequeñas cantidades de oxígeno, algunas especies pueden crecer con menos de 0,5% y otras son capaces de realizar la respiración anaerobia en presencia de nitratos o nitritos (31).

Los aspectos señalados anteriormente, concuerdan con las condiciones fisicoquímicas, determinadas en el presente trabajo para cada una de las aguas de los pozos subterráneos investigados, y explicarían la presencia de *Pseudomonas* en estas aguas, lo que indica, una escasa protección del acuífero de las aguas subterráneas analizadas, o la presencia de filtraciones de aguas procedentes de núcleos poblacionales próximos al acuífero.

Su presencia en ausencia de indicadores de contaminación fecal y de otros patógenos, puede ser debida a una contaminación antigua y transitoria por filtraciones del agua de río. Se ha señalado que esta bacteria puede colonizar acuíferos de aguas subterráneas debido a su capacidad de sobrevivir en ambientes oligotróficos (26).

Por otra parte, especies del género *Pseudomonas* se han asociado a ciclos de elementos químicos en la naturaleza, como es el caso del ciclo del carbono, del nitrógeno, del manganeso, entre otros, en donde intervienen a través de sus enzimas en la oxidación y reducción de las distintas especies químicas que participan de estos ciclos (18,24,26,31). El alto contenido de Mn encontrado en estas aguas subterráneas favorecería el metabolismo de algunas especies del género de *Pseudomonas*. Resultados similares a los obtenidos en la presente investigación, la presencia de *Pseudomonas* en aguas subterráneas, han sido indicados por varios autores (21,28,29,32-34).

Tradicionalmente para determinar si un agua tiene unas buenas condiciones higiénico-sanitarias no se investigan los microorganismos patógenos, sino los microorganismos indicadores, como los coliformes totales y fecales, *Escherichia coli*, estreptococos fecales, anaerobios sulfito reductores y *Pseudomonas*. Así lo especifican diversos autores y normativas nacionales e internacionales (6,8,9,20,35).

En el caso de las aguas subterráneas analizadas, la presencia de coliformes totales señala deficiencias en los mecanismos de protección natural de los acuíferos y la contaminación de fuentes adyacentes al pozo por infiltraciones (24,26).

Resultados similares a los obtenidos en el presente estudio, con relación a la presencia de coliformes, se han indicado para agua subterráneas en diferentes partes del mundo (3,19,21,28,29,32,33).

La presencia de los microorganismos en las aguas subterráneas se ha atribuido a los flujos hidrológicos del agua que los han llevado desde la superficie y estos han producido una colonización horizontal y vertical de la tierra (3,21,31). Según Schmidt-Lorenz (30) esta microbiota se

multiplica en el agua del manantial y se renueva continuamente. Es posible que la reproducción bacteriana se produzca al menos temporalmente y que, una multiplicación significativa de la microbiota autóctona tenga lugar en las zonas subterráneas de los acuíferos, por lo que, si se quiere utilizar este tipo de agua para uso humano o animal, se debería realizar previamente un tratamiento de las mismas (3.21).

La OMS aprueba el uso de aguas residuales recicladas para riego en las que se encuentren menos de 1 huevo de nemátodo/ L agua (9.20,36), mientras que, para el agua de consumo humano no se permite ningún parásito (9).

El hallazgo de parásitos humanos y animales (Tabla 6), evidencia un potencial riesgo antropozoonótico y zoonozoonótico.

En el presente estudio se encontró una mayor contaminación con especies antropozoonóticas, por haber sido realizado en una comunidad agropecuaria, contrastando con los resultados obtenidos por Gallego y col., que comprueban contaminación con parásitos antropozoonóticos al analizar muestras de agua de pozos subterráneos en áreas urbanas (11).

La detección de parásitos humanos se puede explicar, porque en el medio rural, se construyen pozos sépticos de descarga doméstica, es importante considerar el efecto contaminante del lixiviado de estos depósitos. Existen evidencias del recorrido lateral que realizan los microorganismos a través del suelo, se ha comprobado que las bacterias logran desplazarse en distancias hasta de 25 m, los virus 50 m, parásitos como *Cryptosporidium* 320 m y *Giardia* 500 m, contaminando los yacimientos de agua (37).

También, ha sido comprobado que *Cryptosporidium* y *Giardia* pueden persistir durante períodos mayores de tres meses, tanto en el suelo como en el agua, constituyendo así, fuentes de infección que implican riesgo de salud pública (38).

Los microorganismos excretados por los bovinos y demás animales que se encuentran en la superficie terrestre son arrastrados (por el agua de lluvia y el lavado de las vaqueras), filtran a través del suelo y contaminan las aguas subterráneas, como ha sido referido por Qi y col. (39).

Por lo tanto, se considera que la cercanía de estas construcciones a los pozos de aguas subterráneas, constituye la fuente de contaminación de los pozos C, M y E. En cambio, no llegan a afectar al pozo H, que se encuentra más alejado de estas instalaciones.

Como se indicó, los suelos circundantes a los pozos contienen un porcentaje importante de arena, lo que les confiere permeabilidad, permitiendo que la materia orgánica percole hacia los pozos, sin embargo, la conductividad hidráulica del suelo dependerá de régimen hídrico, siendo máxima la saturación en época de lluvia, en la que se realizó el muestreo (1.3.11).

Las formas parasitarias encontradas en este estudio, no son afectadas por las características fisicoquímicas del agua, especialmente el alto contenido de minerales, probablemente porque las formas de resistencia encontradas, tienen la capacidad de sobrevivir en condiciones medioambientales adversas.

En Venezuela es común que las poblaciones rurales utilicen el agua subterránea local, para consumo doméstico, agrícola o pecuario (4). Estos pozos pueden contaminarse con microorganismos patógenos que son vehiculizados por el agua como lo demuestran los resultados obtenidos, siendo la transmisión hídrica la principal vía de contagio de enfermedades infecciosas diarreicas de diferente etiología (11).

Se conoce que entre los patógenos bacterianos más frecuentes se encuentran los coliformes fecales y entre los parásitos: cromistas (*Blastocystis*), protozoarios (*Cryptosporidium* y *Giardia*), así como los helmintos (*Ascaris* y *Trichuris*), siendo responsables de la mayoría de los brotes de enfermedades intestinales transmitidas por el agua como describen Campos y col., Daniels y col., Ercumen y col. (20,38,40), que concuerda con los resultados obtenidos.

Particularmente en esta zona rural andina de baja altitud, se utilizan aguas subterráneas y se construyen pozos sépticos, sin la precaución de mantener las distancias requeridas para evitar la contaminación, aspecto que debe ser informado a los entes gubernamentales para que apliquen medidas de remediación y saneamiento ambiental, especialmente en este caso, donde los resultados indican que los pozos pertenecen a acuíferos diferentes y que la contaminación encontrada puede afectar aguas abajo a otras poblaciones que utilizan aguas subterráneas.

Otro factor indispensable en el control microbiológico, es la educación higiénico-sanitaria de la población, tratando de erradicar la defecación humana en el suelo, como es sugerido por otros autores (38).

Así mismo, se requiere el tratamiento antiparasitario periódico de los animales que pastorean libremente en la zona (39), y de animales domésticos o criados en el peridomicilio (41), que constituyen reservorios de microorganismos antropozoonóticos como ha sido comprobado por Sarzosa y col. (42).

Además, se debe identificar otras fuentes de contaminación adicionales como frutas, hortalizas y verduras, productos de los cultivos abonados con excretas o regados con aguas servidas (36).

Para evitar la contaminación del agua subterránea, con bacterias y parásitos intestinales debe considerarse que el nivel freático durante la estación de lluvia puede elevarse, permitiendo la conexión hidráulica entre aguas servidas de los pozos y agua subterránea, arrastrando materia orgánica y nutrientes que mantienen la viabilidad de los microorganismos por tiempo suficiente para su transmisión. Esto se evitaría al construir los pozos sépticos a

mayor profundidad que los yacimientos de agua subterránea como recomienda Daniels y col. (37).

Las aguas subterráneas estudiadas son aguas minerales de dureza carbonática cuyas características fisicoquímicas están por debajo de los estándares oficiales para la calidad de aguas potables, a excepción del contenido de manganeso.

En relación con los parámetros microbiológicos las muestras presentan cantidades significativas de bacterias heterótrofas, muchas de las cuales pueden ser parte de la microbiota autóctona, pero otra podría representar contaminantes transitorios y en base a su magnitud, la haría no apta para el consumo, de acuerdo con la normativa internacional para límites microbiológicos de aguas potables. Adicionalmente, la presencia de coliformes totales y huevos de helmintos por encima de la norma, indican que estas aguas no se podrían utilizar para otros fines, tales como el riego o uso industrial. Además, se suma la presencia de *Pseudomonas*, bacteria considerada como patógeno oportunista, lo cual representa un serio riesgo para la salud de las personas que consuman este tipo de agua. De manera de poder utilizar estas aguas para abastecimiento humano, deben ser sometidas previamente a tratamientos convencionales de filtración y/o coagulación y de desinfección o cloración. Es posible que, la presencia de esta contaminación orgánica y biológica se deba al impacto de las instalaciones agropecuarias y sanitarias como vaqueras y pozos sépticos que están en las cercanías de las aguas subterráneas analizadas.

### Conflicto de Intereses

Los autores declaran no presentar conflictos de intereses.

### Financiamiento

El proyecto fue autofinanciado por los investigadores

### Referencias Bibliográficas

1. Piguave-Reyes JM, Castellano-González MJ, Macías-Avia AM, Vite-Solórzano FA, Ponce-Pibaque MD, Ávila-Ávila JA. Calidad microbiológica del agua subterránea como riesgo epidemiológico en la producción de enfermedad diarreica infantil. Revisión Sistemática. Kasmera [Internet]. 2019;47(2):153-73. Disponible en: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/kasmera/article/view/29868/30869> DOI: [10.5281/zenodo.3556409](https://doi.org/10.5281/zenodo.3556409) EBSCO Lilacs DOAJ Google Académico
2. Hardoy JE, Mitlin D, Satterthwaite D. Environmental problems in an urbanizing world: Finding solutions in cities in Africa, Asia and Latin America [Internet]. 2nd edition. London: Routledge; 2013. 1-448 p. Disponible en: <https://www.taylorfrancis.com/books/9781315071732> DOI: [10.4324/9781315071732](https://doi.org/10.4324/9781315071732) Google Académico
3. Anduro Jordan JA, Cantú Soto Ernesto Uriel EU, Campas Baypoli ON, López Cervantes J, Sánchez Machado DI, Félix Fuentes A. Diagnóstico de la calidad sanitaria del agua de pozo en comunidades del sur de Sonora, México. RESPYN [Internet]. 2017;16(1):1-8. Disponible en: <http://respyn.uanl.mx/index.php/respyn/article/view/24/306> DOI: [10.29105/respyn16.1-1](https://doi.org/10.29105/respyn16.1-1)
4. Méndez Vergara E, Contreras Miranda W, Rivero Ballesterero JC, Monsalve M, Segundo Contreras Á, Carballo K, et al. Plan Municipal de Desarrollo 2014-2018 del Municipio Alberto Adriani. Visión Compartida y Acciones Propositivas a Corto, Mediano y Largo Plazo. Ecodiseño & Sostenibilidad [Internet]. 2016;6(1):34-279. Disponible en: <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/ecodisenio/article/view/7917/7859>
5. Ministerio de Sanidad y Asistencia Social. Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable [Internet]. Gaceta Oficial de la República de Venezuela N°. 36395, SG-018-98 Caracas, Venezuela; feb 11, 1998 p. 1-7. Disponible en: <http://www.safeintl.com/descargas/NORMAS-SANITARIAS-DE-CALIDAD-DEL-AGUA-POTABLE.pdf>
6. Eaton AD, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st ed. Washington, D.C. USA: APHA-AWWA-WEF; 2005.
7. Jaramillo D. Introducción a la ciencia del suelo [Internet]. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias; 2002. 163-172 p. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf> Google Académico
8. Association of Official Agricultural Chemists (AOAC). Official Methods of Analysis. 17th ed. AOAC International. 17th ed. Washington, D.C. USA: Association of Official Analytical Chemists; 2000.
9. Ayres R, Duncan M. Análisis de aguas residuales para su uso en agricultura: Manual de Técnicas parasitológicas y bacteriológicas de laboratorio [Internet]. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 1997. 3-19 p. Disponible en: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/41996/9243544845\\_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/41996/9243544845_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
10. Valenzuela L, Ramírez-Hernández J, Palomares RB. Composición isotópica del agua subterránea y su relación con la salinidad en el valle de san luis río colorado en sonora, México. Inf Tecnol [Internet]. 2013;24(2):57-66. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v24n2/art08.pdf> DOI: [10.4067/S0718-07642013000200008](https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000200008) SciELO Google Académico
11. Gallego-Jaramillo L, Heredia-Martínez H, Salazar-Hernández J, Hernández-Muñoz T, Naranjo-García M, Suárez-Hurtado B. Identificación de parásitos intestinales en agua de pozos profundos de cuatro municipios . Estado Aragua, Venezuela 2011-2012. Rev Cubana Med Trop [Internet]. 2014;66(2):164-73. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/mtr/v66n2/mtr02214.pdf> SciELO Google Académico
12. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Guía para la descripción de suelos. [Internet]. 4th edición. Roma, Italia; 2009. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
13. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Verificados o Efluentes Líquidos. Decreto 883. [Internet]. Gaceta Oficial de la República de Venezuela, Gaceta oficial N° 5.021 Caracas, Venezuela; 1995. Disponible en: <https://hiqueroteonline.com/normas-para-la->

- [clasificacion-y-el-control-de-la-calidad-de-los-cuerpos-de-agua-y-vertidos-o-efluentes-liquidos-decreto-883/](#)
14. National Academy of Science (NAS). Drinking water and Health. [Internet]. Vol 1. Washington, USA: National Academy Press. 1977. p. 63-85, 265-266. Disponible en: <https://www.nap.edu/download/1780>
  15. Romero Rojas JA. Calidad del agua. 2 edición. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería; 2009. p. 48-52, 120-95.
  16. Jenkins D, Snoeyink V. Química del agua. México-DF, México: Limusa; 2004. 244, 396-401 p.
  17. Popoola LT, Yusuff AS, Aderibigbe TA. Assessment of natural groundwater physico-chemical properties in major industrial and residential locations of Lagos metropolis. Appl Water Sci [Internet]. 2019;9(8):191. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1073-y> DOI: [10.1007/s13201-019-1073-y](https://doi.org/10.1007/s13201-019-1073-y) [Google Académico](#)
  18. Gounot AM. Microbial oxidation and reduction of manganese: Consequences in groundwater and applications. FEMS Microbiol Rev [Internet]. 1 de agosto de 1994;14(4):339-49. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.1994.tb00108.x> DOI: [10.1111/j.1574-6976.1994.tb00108.x](https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.1994.tb00108.x) [Google Académico](#)
  19. Rahman A, Rahaman H. Contamination of arsenic, manganese and coliform bacteria in groundwater at Kushtia District, Bangladesh: human health vulnerabilities. J Water Health [Internet]. 19 de julio de 2018;16(5):782-95. Disponible en: <https://doi.org/10.2166/wh.2018.057> DOI: [10.2166/wh.2018.057](https://doi.org/10.2166/wh.2018.057)
  20. World Health Organization. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. En: World Health Organization. Wastewater use in agriculture [Internet]. Vol. II, Ginebra: World Health Organization; 2006. Disponible en: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/wastewater/wuvol2intro.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/wuvol2intro.pdf)
  21. Kolawole OM, Afolayan O. Assessment of groundwater quality in Ilorin, north central Nigeria. Arid Zo J Eng Technol Environ [Internet]. 2017;13(1):111-26. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Assessment-of-Groundwater-Quality-in-Ilorin%2C-North-Kolawole-Afolayan/3fb9a38f2ff04d9b60c5d83b1adb766559bf1487> [Google Académico](#)
  22. Varughese S, Devi Prasad KV. Physico-chemical analysis of groundwater samples in the Varahanadi watershed, India. Int J Environ Sci [Internet]. 2012;2(3):1662-9. Disponible en: <http://www.ipublishing.co.in/ijesarticles/twelve/articles/voltwo/EIJES3155.pdf> DOI: [10.6088/ijes.002020300050](https://doi.org/10.6088/ijes.002020300050) [Google Académico](#)
  23. Water Resources Programme - Isotópos Ambientales en el Ciclo Hidrológico: Principios Y Aplicaciones [Internet]. Disponible en: [http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/IHS\\_resources\\_publication\\_hydroCycle\\_es.html](http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/IHS_resources_publication_hydroCycle_es.html)
  24. Griebler C, Lueders T. Microbial biodiversity in groundwater ecosystems. Freshw Biol [Internet]. 1 de abril de 2009;54(4):649-77. Disponible en: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2427.2008.02013.x> DOI: [10.1111/j.1365-2427.2008.02013.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.02013.x) [Google Académico](#)
  25. Koch AL. Oligotrophs versus copiotrophs. BioEssays [Internet]. 1 de julio de 2001;23(7):657-61. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/bies.1091> DOI: [10.1002/bies.1091](https://doi.org/10.1002/bies.1091) [Google Académico](#)
  26. Cullimore DR. Practical Manual of Groundwater Microbiology. 2nd Edition. Group T&F, editor. Boca Raton, USA: CRC Press; 2007. DOI: [10.1201/9781420008166](https://doi.org/10.1201/9781420008166) [Google Académico](#)
  27. Humbert JF, Dorigo U. Biodiversity and aquatic ecosystem functioning: A mini-review. Aquat Ecosyst Health Manag [Internet]. 1 de octubre de 2005;8(4):367-74. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/14634980500457773> DOI: [10.1080/14634980500457773](https://doi.org/10.1080/14634980500457773) [Google Académico](#)
  28. Tiquia SM, Schleibak M, Schlaff J, Floyd C, Benipal B, Zakhem E, et al. Microbial community profiling and characterization of some heterotrophic bacterial isolates from river waters and shallow groundwater wells along the rouge river, southeast Michigan. Environ Technol [Internet]. 1 de junio de 2008;29(6):651-63. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/09593330801986998> DOI: [10.1080/09593330801986998](https://doi.org/10.1080/09593330801986998) [Google Académico](#)
  29. Jasmine Shahina SK, Sandhiya D, Rafiq S. Bacteriological quality assessment of groundwater and surface water in Chennai. Nat Environ Pollut Technol [Internet]. 2020;19(1):349-53. Disponible en: [http://neptjournal.com/upload-images/\(37\)B-3619.pdf](http://neptjournal.com/upload-images/(37)B-3619.pdf) [Google Académico](#)
  30. Schmidt-Lorenz W. Microbiological characteristics of natural mineral water. Ann Ist Super Sanita. 1976;12(2-3):93-112. PMID [829205](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/829205/) [Google Académico](#)
  31. Chapelle F. Ground-water microbiology and geochemistry. 2nd ed. New York, USA: John Wiley and Sons; 2000. 30-78 p. [Google Académico](#)
  32. Lotfi S, Chakit M, Najy M, Z. Talbi F, Benchahid A, El Kharrim K, et al. Assessment of microbiological quality of groundwater in the Saïs plain (Morocco). Egypt J Aquat Biol Fish [Internet]. 25 de febrero de 2020;24(1):509-24. Disponible en: [https://ejabf.journals.ekb.eg/article\\_73595.html](https://ejabf.journals.ekb.eg/article_73595.html) DOI: [10.21608/ejabf.2020.73595](https://doi.org/10.21608/ejabf.2020.73595) [Google Académico](#)
  33. Lamrani Alaoui H, Oufdou K, Mezrioui N. Determination of several potential virulence factors in non-O1 *Vibrio cholerae*, *Pseudomonas aeruginosa*, faecal coliforms and streptococci isolated from Marrakesh groundwater. Water Sci Technol [Internet]. 1 de abril de 2010;61(7):1895-905. Disponible en: <https://doi.org/10.2166/wst.2010.263> DOI: [10.2166/wst.2010.263](https://doi.org/10.2166/wst.2010.263) [Google Académico](#)
  34. Fillinger L, Hug K, Griebler C. Selection imposed by local environmental conditions drives differences in microbial community composition across geographically distinct groundwater aquifers. FEMS Microbiol Ecol [Internet]. 9 de octubre de 2019;95(11). Disponible en: <https://doi.org/10.1093/femsec/fiz160> DOI: [10.1093/femsec/fiz160](https://doi.org/10.1093/femsec/fiz160) [Google Académico](#)
  35. World Health Organization. Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera agenda. Ginebra: World Health Organization; 2011. Disponible en: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958\\_spa.pdf?ua=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958_spa.pdf?ua=1)
  36. Campos MC, Beltrán M, Fuentes N, Moreno G. Huevos de helmintos como indicadores de contaminación de origen fecal en aguas de riego agrícola, biosólidos, suelos y pastos. Biomédica [Internet]. 15 de marzo de 2018;38(1):42-53. Disponible en: <https://revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/3352> DOI: [10.7705/biomedica.v38i0.3352](https://doi.org/10.7705/biomedica.v38i0.3352) [Google Académico](#)

37. Daniels ME, Smith WA, Schmidt W-P, Clasen T, Jenkins MW. Modeling *Cryptosporidium* and *Giardia* in Ground and Surface Water Sources in Rural India: Associations with Latrines, Livestock, Damaged Wells, and Rainfall Patterns. *Environ Sci Technol* [Internet]. 19 de julio de 2016;50(14):7498-507. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05797> DOI: [10.1021/acs.est.5b05797](https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05797) PMID [27310009](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27310009/) PMCID [PMC5058636](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/PMC5058636/) [Google Académico](#)
38. Daniels ME, Smith WA, Jenkins MW. Estimating *Cryptosporidium* and *Giardia* disease burdens for children drinking untreated groundwater in a rural population in India. *PLoS Negl Trop Dis* [Internet]. 2018;12(1):e0006231. Disponible en: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pntd.0006231> DOI: [10.1371/journal.pntd.0006231](https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0006231) PMID [29377884](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29377884/) PMCID [PMC5805363](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/PMC5805363/) [Google Académico](#)
39. Qi M, Wang H, Jing B, Wang R, Jian F, Ning C, et al. Prevalence and multilocus genotyping of *Giardia duodenalis* in dairy calves in Xinjiang, Northwestern China. *Parasit Vectors* [Internet]. 2016;9(1):546. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s13071-016-1828-3> DOI: [10.1186/s13071-016-1828-3](https://doi.org/10.1186/s13071-016-1828-3) PMID [27737706](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27737706/) PMCID [PMC5064801](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/PMC5064801/) [Google Académico](#)
40. Ercumen A, Pickering AJ, Kwong LH, Arnold BF, Parvez SM, Alam M, et al. Animal Feces Contribute to Domestic Fecal Contamination: Evidence from *E. coli* Measured in Water, Hands, Food, Flies, and Soil in Bangladesh. *Environ Sci Technol* [Internet]. 1 de agosto de 2017;51(15):8725-34. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b01710> DOI: [10.1021/acs.est.7b01710](https://doi.org/10.1021/acs.est.7b01710) PMID [28686435](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28686435/) PMCID [PMC5541329](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/PMC5541329/) [Google Académico](#)
41. Kostopoulou D, Claerebout E, Arvanitis D, Ligda P, Voutzourakis N, Casaert S, et al. Abundance, zoonotic potential and risk factors of intestinal parasitism amongst dog and cat populations: The scenario of Crete, Greece. *Parasit Vectors* [Internet]. 2017;10(1):43. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s13071-017-1989-8> DOI: [10.1186/s13071-017-1989-8](https://doi.org/10.1186/s13071-017-1989-8) PMID [28122583](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28122583/) PMCID [PMC5264337](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/PMC5264337/) [Google Académico](#)
42. Sarzosa M, Graham JP, Salinas L, Trueba G. Potential zoonotic transmission of *Giardia duodenalis* in semi-rural communities near Quito, Ecuador. *Int J Appl Res Vet Med* [Internet]. 2018 [citado 26 de mayo de 2020];16(1):1-6. Disponible en: <https://www.ijarvm.com/articles/Vol16Iss1/Vol16Trueba.pdf> EBSCO [Google Académico](#)

**Autores:**

**Correspondencia:** Prato-Moreno José G. <https://orcid.org/0000-0001-8381-404X>. Universidad Nacional de Chimborazo. Facultad de Ingeniería. Grupo de Investigación "Clean Energy and Environment". Riobamba-Chimborazo. Ecuador. Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Área de Ingeniería Ambiental. Mérida-Mérida. Venezuela. Dirección Postal: Carrera Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería. Av. Antonio José de Sucre. Campus Edison Riera. Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba-Chimborazo. Ecuador. Teléfono: +59399192986. E-mail: [pratoj@gmail.com](mailto:pratoj@gmail.com)

Millán-Marrero Fernando C. <https://orcid.org/0000-0001-6829-6168>. Instituto Universitario Politécnico "Santiago Mariño". Escuela de Ingeniería Química. Mérida-Mérida. Venezuela. E-mail: [carlosmillan@gmail.com](mailto:carlosmillan@gmail.com)

Prada-Andrade Carly M. <https://orcid.org/0000-0003-0728-1506>. Instituto Universitario Politécnico "Santiago Mariño". Escuela de Ingeniería Química. Mérida-Mérida. Venezuela. E-mail: [investigadoraprada@gmail.com](mailto:investigadoraprada@gmail.com)

Tănașelia Claudiu. <https://orcid.org/0000-0001-8931-787X>. INCDO-INOE 2000 Research Institute for Analytical Instrumentation, Cluj-Napoca. Rumania. E-mail: [claudiu.tanaselia@icia.ro](mailto:claudiu.tanaselia@icia.ro)

Prado Lenis C. <https://orcid.org/0000-0002-7711-0115>. Universidad de Los Andes. Centro Interamericano de Investigaciones Ambientales y Territoriales CIDIAT-ULA. Laboratorio de Aguas y Suelos. Laboratorio de Isotopos Estables. Mérida-Mérida. Venezuela. E-mail: [leniscarolap@gmail.com](mailto:leniscarolap@gmail.com)

Lucena María Eugenia. <https://orcid.org/0000-0001-9120-345X>. Universidad Nacional de Chimborazo. Facultad de Ciencias de la Salud. Carrera Laboratorio Clínico. Grupo de Investigación "Análisis de Muestras Biológicas y Forenses". Riobamba-Chimborazo. Ecuador. E-mail: [mlucena@unach.edu.ec](mailto:mlucena@unach.edu.ec)

Ríos-García Iván. <https://orcid.org/0000-0003-0858-4365>. Universidad Nacional de Chimborazo. Facultad de Ingeniería. Grupo de Investigación Clean Energy and Environment. Riobamba-Chimborazo. Ecuador. E-mail: [iriosj@unach.edu.ec](mailto:iriosj@unach.edu.ec)

González-Ramírez Luisa C. <https://orcid.org/0000-0002-4431-965X>. Universidad Nacional de Chimborazo. Facultad de Ciencias de la Salud. Carrera de Laboratorio Clínico e Histopatológico. Grupo de Investigación "Análisis de Muestras Biológicas y Forenses". Riobamba-Chimborazo. Ecuador. Universidad de Los Andes. Facultad de Farmacia y Bioanálisis. Departamento de Microbiología y Parasitología. Cátedra de Parasitología. Laboratorio de Investigaciones Parasitológicas "Jesús Moreno Rangel". Mérida-Mérida. Venezuela. E-mail: [luisacarolinagonzalez@gmail.com](mailto:luisacarolinagonzalez@gmail.com)

**Contribución de los Autores:**

**PMJG y MMFC:** conceptualización, metodología investigación, redacción-preparación del borrador original. **PACM, TC y PLC:** validación, análisis formal, validación. **LME, RGI y GRCL:** validación, análisis formal, validación, redacción-revisión y edición