

## CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO DEL POBLADO HUÉPARI, SONORA

*Drinking water quality in the village of huepari, sonora.*

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

ISSN: 2007-4530 (impresa)

Gilberto García Navarrete <sup>1</sup>  
Yesica Raquel Quijada Noriega <sup>2</sup>  
Sylvia Lorenia López Mazón <sup>3</sup>  
María Elena Ochoa Landín <sup>4</sup>  
Guillermo Tiburcio Munive <sup>5</sup>

Recibido: 15 de marzo de 2017

Aceptado: 26 de mayo de 2018

Autor de Correspondencia:

M.I. Gilberto García Navarrete

Correo: ignacio.cruz@fisica.uson.mx

### Resumen

En una visita a Huépari, un pequeño poblado de San Pedro de la Cueva; se entrevistaron a sus habitantes, y ellos mencionaron que en éstos últimos años han presentado enfermedades intestinales y renales. La causa de dicha problemática podría ser la contaminación de la fuente de abastecimiento de agua. Por este motivo, se establece la necesidad de realizar un proyecto para evaluar la calidad del agua que abastece al poblado Huépari, considerando los límites permisibles establecidos por la NOM-127-SSA1-1994 (modificada el 22 de Noviembre del 2000). De esta manera, se efectuó un monitoreo a 6 sitios distintos del poblado en 6 diversos meses del año, analizando las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua. Los resultados de los metales Cd, Cr, Pb, Zn y Fe se presentaron por encima de los límites permisibles; y en algunos meses, los valores de coliformes.

**Palabras claves:** Agua, metales pesados, coliformes, límites permisibles.

### Abstract

*On a visit to Huepari, a small town of San Pedro de la Cueva; they interviewed their inhabitants, and they mentioned that in recent years they have had intestinal and kidney diseases. The cause of problem could be the contamination of the water supply. For this reason, it is necessary to carry out a project to evaluate the quality of the water that supplies the town Huépari, considering the permissible limits established by NOM-127-SSA1-1994 (modified on November 22, 2000). In this way, a monitoring was carried out to 6 different sites of the town in 6 different months of the year, analyzing the physicochemical and microbiological characteristics of the water. The results of the metals Cd, Cr, Pb, Zn and Fe were above the permissible limits; and in some months, coliform values as well.*

**Keywords:** Water, heavy metals, coliforms, permissible limits.

Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia, Universidad de Sonora / Correo:ggarcian@iq.uson.mx 1

Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia, Universidad de Sonora / Correo: raquel.quijada@gmail.com 2

Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia, Universidad de Sonora / Correo:sllopez@iq.uson.mx 3

Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia, Universidad de Sonora / Correo:meochoa@iq.uson.mx 4

Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia, Universidad de Sonora / Correo:gtmunive@iq.uson.mx 5

## INTRODUCCIÓN

Huépari se localiza en el Municipio de San Pedro de la Cueva, en el Estado de Sonora, y se encuentra en las coordenadas GPS longitud (dec): -109.823056, latitud (dec): 29.397222; a una mediana altura de 440 metros sobre el nivel del mar. La Figura 1 muestra la ubicación de Huépari.



**Figura 1. Localización del poblado Huépari, municipio de San Pedro de la Cueva, Sonora.**

Al visitar el poblado de Huépari, se conoció su naturaleza, paisajes, animales, comida, etc., y al tener entrevistas con los habitantes del poblado, mencionaron que en los últimos años han presentado enfermedades intestinales y renales, el cual es un factor que frena su desempeño diario para realizar sus actividades productivas.

La calidad del agua potable es una cuestión que preocupa a todos, porque el agua es una fuente vital de los seres vivos, y esta enlazada a la salud de una población; de esta manera, la situación que presenta el poblado fue inquietante, por lo que, la causa podría ser una contaminación de la fuente de abastecimiento de agua. Asimismo, se debe descartar un entorno que tiene que ver con las heces o restos fecales de los animales, que provoca enfermedades gastrointestinales; y la ingesta de metales pesados tóxicos aún en pequeñas concentraciones, los cuales provocan tumores y enfermedades en órganos vitales (aparato digestivo, respiratorio y reproductivo). Además, el daño y grado de toxicidad va directamente relacionada con la dosis ingerida y del tiempo de exposición al contaminante [2].

Las fuentes de contaminación bacteriana pueden ser: puntuales, como drenajes con fugas, equipo de tratamiento de aguas residuales que no funcionen correctamente y derrames sanitarios; y, no puntuales, tales como escurrimientos, desechos fecales de humanos y mascotas, ganado, animales salvajes y derrames de drenajes combinados [3].

Las aguas contienen metales disueltos, en primer lugar, porque son componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos; en segundo lugar, por la consecuencia de las actividades antropogénicas; y por último, por las actividades geológicas naturales, esto es, desgastes de



cerros y volcanes. Sus niveles de concentración afectan a los suelos, agua, plantas, animales y al ser humano [4].

El objetivo es analizar el agua que abastece al poblado Huépari, Municipio de San Pedro de la Cueva, para determinar si éste es un factor de riesgo para desarrollar enfermedades gastrointestinales y renales en los pobladores, determinando las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua que consumen.

### Descripción del sistema

Los habitantes de Huépari consumen agua provenientes de dos pozos, uno que funciona con energía solar y el otro con energía de corriente eléctrica. Después es trasladada por tubería a un depósito de almacenamiento de agua elevado. Cuando se tienen las condiciones para que las celdas fotovoltaicas capten los rayos solares, el motor succionará automáticamente el agua del pozo para que enseguida sea transportada al depósito, pero si no existen las anteriores condiciones, el motor no funcionará. Entonces, a la manera en que los habitantes consuman agua, el nivel del agua en el depósito disminuirá, por lo tanto, cuando la demanda de agua es mucho mayor a lo que se tienen acumulado en el depósito, se utiliza el segundo pozo, el que funciona con corriente eléctrica. Por consiguiente, el agua es transportada por una tubería hacia las casas, desplazándose por gravedad, abasteciendo aproximadamente a 35 casas y alrededor de 100 personas.



tratarse de un agua de muy buena calidad, es decir, que las diferentes sustancias orgánicas e inorgánicas contenidas en el agua cumplan con el rango de las características, especificaciones y concentraciones ideales para que pueda consumirse [5]. Si el agua no es de buena calidad, quiere decir que está contaminada, y no es recomendable tomarla. Para describir la calidad del agua de un sitio, se deben de realizar mediciones cuantitativas, cualitativas y estandarizadas de parámetros físicos, químicos y biológicos; en donde algunos son determinados haciendo un muestreo de campo, y otros, realizando pruebas específicas en un laboratorio. Por lo anterior, se estableció efectuar visitas de prospección y diagnóstico al poblado en cuestión, localizar la zona de estudio, muestreos y análisis de laboratorio, así como la evaluación de resultados.

Al visitar el poblado y planteándoles lo que se pretendía realizar, los pobladores presentaron una buena aceptación, abriendo las puertas de sus casas para llevar a cabo los muestreos convenientes por el interés en conocer la calidad del agua que consumen. Por tal motivo, se establecieron 6 sitios de muestreo: pozo de energía solar, pozo de energía eléctrica, depósito de agua, casa cercana al depósito, casa situada en el punto medio del poblado y la casa lejana al depósito. Se visitó el poblado los meses Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Junio y Agosto; para obtener la muestra en cada sitio específico de estudio.

Todos los análisis se realizaron de acuerdo a los lineamientos de higiene establecidos, así mismo, los resultados obtenidos se compararon con los límites permisibles establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud Ambiental, Agua para uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización" [6].



Figura 2. Visualización de la trayectoria del suministro de agua.

### DESARROLLO DEL PROYECTO

El agua dulce es vital para todos los seres vivos, y para que sea apta para consumo humano debe



**Figura 3. Puntos de muestreo: pozo de energía solar, pozo de energía eléctrica, depósito de agua, obteniendo muestra en la casa cercana al depósito, casa situada en el punto medio del poblado, casa lejana al depósito (de izquierda a derecha, arriba a abajo).**

Los análisis fisicoquímicos que se llevaron a cabo fueron: temperatura, pH, acidez, alcalinidad, cloruros, dureza, Calcio, Magnesio, sólidos disueltos totales, sulfatos, nitratos, Fósforo total, Nitrógeno total, Cadmio, Cobre, Cromo, Hierro, Manganeso, Plomo, Potasio, Sodio y Zinc. Los análisis microbiológicos: coliformes fecales, coliformes totales y cuenta estándar.

### **Descripción de algunos parámetros**

La temperatura en las aguas es un parámetro importante por su efecto en propiedades como, la solubilidad, aceleración de reacciones químicas, reducción de la solubilidad de los gases, intensificación de sabores y olores, etc.

La alcalinidad significa la cantidad de iones en el agua que reaccionan para poder neutralizar los iones del hidrógeno. Repercute en el sabor del agua e influye en las tuberías y accesorios de transporte de agua disminuyendo el diámetro y ocasionando una disminución del caudal.

La dureza es considerada como la cantidad de cationes metálicos multivalentes en el agua.

Los elementos orgánicos pueden ser biodegradables o no, y se les determinan la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) que representan respectivamente, el oxígeno que se requiere para que se degraden los elementos orgánicos y la cantidad de oxígeno para oxidar químicamente el carbono.

Los nutrientes significativos para delimitar la calidad del agua son el Nitrógeno y Fósforo.

En los parámetros biológicos se analizan las bacterias coliformes totales que se encuentran comúnmente en el medioambiente (suelos y plantas) y generalmente no causan problemas. Los coliformes fecales son un subgrupo de bacterias coliformes totales que se encuentran en grandes cantidades de los intestinos y excremento de los humanos y





animales, que producen diarrea, vómitos, disentería, polio, hepatitis [8], además de otras enfermedades gastrointestinales que son graves, serias, y posiblemente letales.

Los metales corresponden a los elementos químicos con propiedad metálica que contiene el agua. En los metales tóxicos están el Plomo, Mercurio, Cadmio, Arsénico y Zinc; los cuales causan efectos significativos en la salud humana. Por otro lado, los metales no tóxicos a bajas concentraciones se encuentra el Sodio, Hierro y Manganeseo. La ingesta de metales pesados tóxicos provoca enfermedades en el riñón, debilidad en los huesos, dolor de garganta, náuseas, vómito, úlceras en el estómago, disminución de glóbulos rojos y blancos, ritmo cardiaco anormal, sensación de hormigueo en las manos y pies, diarrea, debilidad muscular, entre otras cosas [1]. Para minimizar el riesgo de daños en los consumidores de agua potable, se tiene establecido un límite máximo para los diferentes metales y metaloides en agua potable y estos niveles son mínimos, del orden de partes por billón. Los límites permisibles según la Norma Oficial Mexicana 127-SSA1-1994 [6], son las siguientes:

**Tabla 1. Límites permisibles de metales pesados (NOM-127-SSA1-1994).**

Metales Pesados	Límites permisibles
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cobre	2.00
Cromo total	0.05
Hierro	0.30
Manganeseo	0.15
Mercurio	0.001
Plomo	0.025
Sodio	200
Zinc	5.00

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la realización de los muestreos correspondientes en cada sitio y en cada fecha, se presentaron factores que pudieron influir en los resultados fisicoquímicos y microbianos, los cuales se describen a continuación:

**Tabla 2. Recapitulación del ambiente en cada muestreo.**

No. de Muestreo	Fecha	Observación
1	15 de Febrero	<p>En el momento del muestreo estaba lloviendo. Se tuvo especial cuidado al hacer la actividad, para que no entrará agua a los recipientes designados para muestrear.</p> <p>En el sitio 3, que equivale al depósito de agua, se utilizó una manguera para obtener la muestra. La manguera no estaba esterilizada así que los resultados microbianos se pueden ver afectados. Para los muestreos microbianos se utilizaron bolsas esterilizadas.</p>
2	16 de Marzo	<p>El día fue ideal para realizar el muestreo. No hubo complicaciones algunas.</p> <p>De este muestreo en adelante no se utilizó manguera en el depósito de agua, sino que se utilizó un frasco de vidrio estéril, enrollado en un alambre, para poder bajarlo al nivel en donde se encontraba el agua, y obtener la muestra.</p> <p>En los demás sitios de muestreo se utilizaron recipientes de plástico esterilizados, así como en las siguientes fechas de muestreo.</p>
3	5 de Abril	Las condiciones climatológicas fueron ideales para el muestreo.
4	24 de Mayo	El día estuvo soleado y sin antecedentes de lluvia.
5	7 de Junio	Días anteriores al muestreo se presentaron lluvias. El día anterior al muestreo también llovió.
6	23 de Agosto	El día del muestreo no se presentaron lluvias. Pero estas fechas son periodo de lluvias y con anterioridad, se tuvieron lluvias muy intensas. Hay que recalcar que en las cercanías del pozo solar y eléctrico (aproximadamente 100 metros) se encuentra un arroyo, que en esas fechas estaba crecido.



**Figura 4. (De izquierda a derecha) El recipiente de muestreo dentro del depósito de agua utilizando un alambre, la muestra microbiológica, visualización del arroyo de Huépari cuando se realizó el sexto muestreo.**





Para el análisis de las muestras por metales pesados se utilizó un Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin-Elmer mod. 3110, que se encuentra dentro de las instalaciones del Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad de Sonora.

De los 26 parámetros analizados el Cd, Cr, Pb y Fe están por encima de los límites permisibles marcados por la NOM-127-SSA1-1994. Las Figuras 5, 6, 7 y 8 presentan estos resultados.

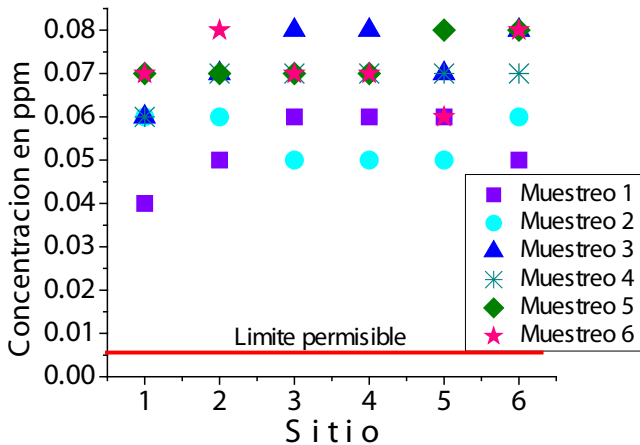


Figura 5. Resultados de los niveles de Cadmio (Cd).

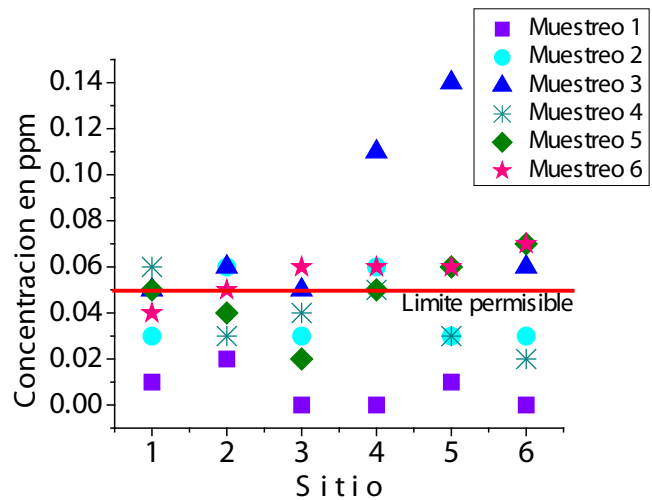
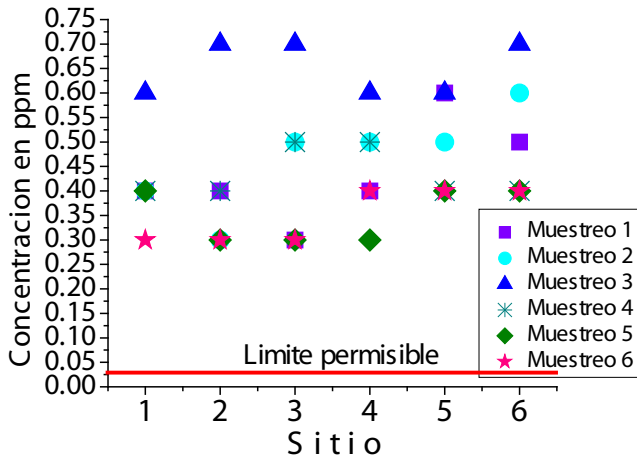
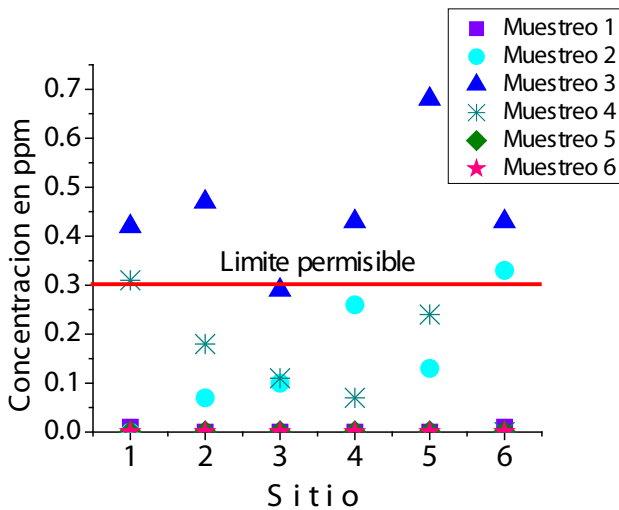


Figura 6. Resultados de los niveles de Cromo (Cr).





**Figura 7. Resultados de los niveles de Plomo (Pb).**



**Figura 8. Resultados de los niveles de Hierro (Fe).**

Todas las muestras de agua del poblado de Huépari, Sonora, presentaron concentraciones de Cd y Pb muy por arriba de los límites permisibles. Mientras que las concentraciones de Cr durante el tercer muestreo fueron de más del doble del límite permisible para las casa habitación 1 y 2 seleccionadas; en otros puntos de los demás muestreos estuvieron ligeramente arriba del límite permisible. La concentración de Fe también estuvo por arriba del límite permisible en todas las muestras del tercer muestreo. Los demás resultados estuvieron por debajo del límite permisible.

Para la determinación de microorganismos coliformes totales se utilizó el método del Número más Probable (NMP), se fundamenta en la capacidad de este grupo microbiano de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas al incubarlos a  $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 48 horas, utilizando un medio de cultivo [7].







Las Figuras 9, 10, y 11 muestran los resultados del análisis microbiológico para coliformes totales y fecales.

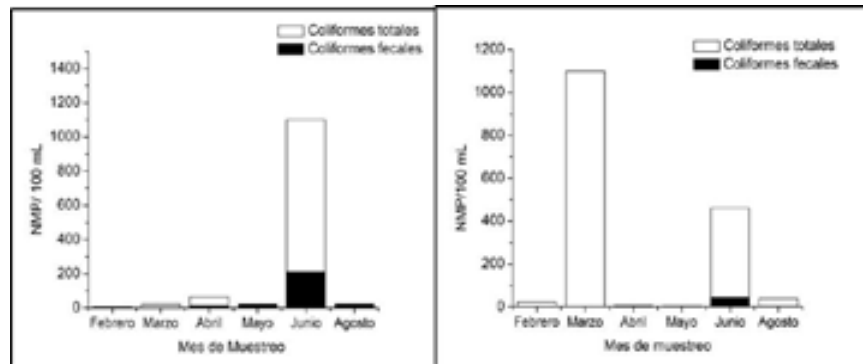


Figura 9. Niveles de coliformes totales y fecales en el pozo de energía solar y energía eléctrica.

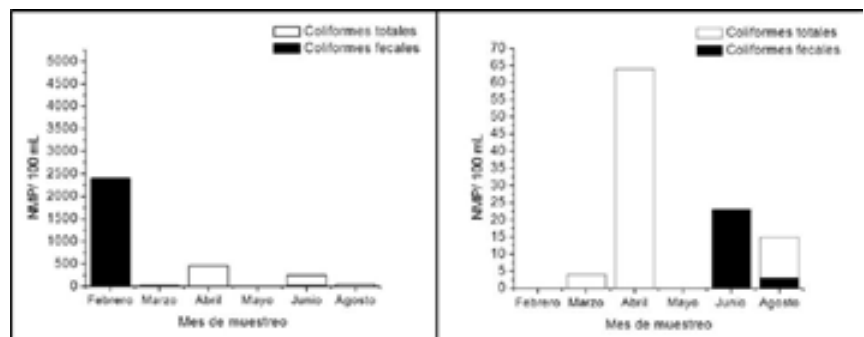


Figura 10. Niveles de coliformes totales y fecales en el depósito y casa 1.

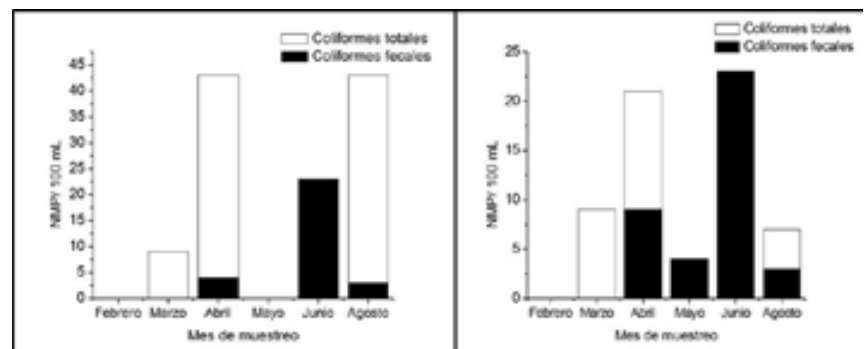


Figura 11. Niveles de coliformes totales y fecales en casa 2 y 3.

En el pozo operado con energía solar se detectó presencia de coliformes fecales excepto en la muestra del mes de Marzo, mientras que el pozo con motor eléctrico sólo en Abril, Mayo y Junio se presentaron coliformes fecales. La División de Salud Pública de Carolina del Norte, en una hoja informativa comenta dos puntos muy importantes: "Los pozos que no están bien contruidos, que están rajados o que no están bien sellados pueden proveer una puerta para que las bacterias coliformes entren al agua subterránea y contaminen el agua que usted usa para beber", "Los efectos del exponerse a contaminantes biológicos en el agua de los pozos depende de la dosis, duración, cómo entró en contacto con el organismo, hábitos y características personas, y el tipo de contaminantes biológico presente" [8]. Al analizar las condiciones de los pozos, se puede establecer que la construcción no está en condiciones aptas, y especialmente el pozo solar, que en ninguna de las ocasiones que se realizó muestreo, no estaba cerrado completamente (se puede apreciar en la Figura 3). Además, por los dos pozos pasan vacas, y otros animales que son foco de infección para que el pozo se contamine.

En las muestras de Febrero, Marzo, Junio y Agosto del depósito se detectaron coliformes fecales, siendo en Febrero cuando se presentaron valores por encima de 2250 NMP/100 mL, esto fue debido al mal procedimiento de muestreo que se realizó ese mes (Tabla 2 lo describe), se utilizó una manguera no esterilizada; dicho resultado es descartable y no se considera como parte de los resultados finales.

Las casa 1 (la más cercana al depósito) presentó valores de coliformes fecales en las muestras de Junio y Agosto solamente. Las muestras de Abril, Junio y Agosto de la casa 2 presentaron valores de coliformes fecales. Finalmente, en la casa 3 (la más alejada al depósito) se presentaron coliformes fecales en las muestras de Abril, Mayo, Junio y Agosto. Solamente los meses Junio y Agosto, las tres casas de muestreo coincidieron en presentar coliformes fecales. Después, se aprecia que en la casa 2 se añade el mes de Abril con contaminación y también se ve afectada la casa 3, como si arrastrará la contaminación (pero la casa 1 no fue afectada). Además, en la casa 3 se añade el mes de Mayo con coliformes fecales (pero casa 1 y 2 no fueron afectadas). Con dichos resultados surge el cuestionamiento: ¿Cuál es la causa para que unas casas sean afectadas con coliformes fecales y otras no?. Quizá exista un daño en la tubería y al filtrarse el agua y tener contacto con heces fecales, pasa una parte a la tubería y afecta a la casa siguiente. Además, analizando los resultados del depósito, los meses de contaminación en las casa muestra, no coinciden con los meses en los que el depósito presentó contaminación, esto puede ser porque el muestreo se realizó a menos de 1 metro de profundidad (no en la superficie), y quizá los coliformes fecales estaban asentados en el depósito (mide 3 metros de alto). Además, nunca se ha vaciado todo el agua del depósito, ni se ha limpiado profundamente; también, las pastillas de cloro se añaden cuando tienen, sin alguna regularidad.



## CONCLUSIONES

La calidad fisicoquímica de todas las muestras de agua del poblado de Huépari, Sonora, en el periodo seleccionado no cumple con los límites permisibles para Cd y Pb establecidos por la NOM-127-SSA1-1994; y ocasionalmente no se cumple para Cr y Fe. No se ha detectado explotación minera intensiva cercana, por lo que se descarta la posibilidad del motivo de los altos valores en algunos parámetros. Para la eliminación de dichos metales en el agua, se recomiendan utilizar cualquiera de los siguientes procesos: ósmosis inversa, volatilización, nanofiltración, intercambio iónico, procesos de adsorción [9]; pero es importante el análisis de la eficiencia de cada uno de ellos.

Dentro de los procesos de adsorción, investigaciones han determinado el uso de una zeolita natural que sea sometida a un tratamiento térmico para obtener una mejor retención del plomo [10]. Para remover el cromo, una cascarilla de arroz activada con NaOH [11]. El cadmio y el plomo, un carbón activado recubierto en caucho de polisulfuro [12]; y para el hierro, se recomienda un tratamiento por oxidación con cloro y filtración en agua [13].

La calidad microbiológica de la mayoría de las muestras de agua en los diferentes puntos seleccionados presentaron la presencia de coliformes fecales, por lo que no cumple con lo establecido por la norma anteriormente mencionada. Además, las condiciones de los pozos están mal y se recomienda una reconstrucción de la infraestructura de los dos pozos, así como un mantenimiento constante y rehabilitación del depósito de almacenamiento.

Asimismo, se recomienda la instalación de un sistema económico de potabilización de agua, y se establece la necesidad de realizar un monitoreo periódico anual de las fuentes de abastecimiento de agua de este poblado, para la verificación constante de los parámetros que determinan la calidad del agua, y analizando la efectividad del sistema de potabilización.

Fue gratificante realizar éste proyecto y ahora es cuestión de que las autoridades tomen cartas en el asunto y arreglen la problemática.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Albert, Lilia. A. "Curso básico de toxicología ambiental". Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. Limusa, Noriega Editores, pp. 105-121, 145-183, 2005.
- [2] Aznar Jiménez, Antonio. "Determinación de parámetros físico-químicos de la calidad de las aguas". Instituto Tecnológico de Química y Materiales. Madrid, pp. 1, 4, 6, 9 y 10.
- [3] Larios G. y González A. "Agua Saludable, Gente Saludable. Manual de Parámetros de la Calidad del Agua". 1ª Edición, IMTA. Desarrollo Profesional e Institucional, México, pp. 8,

2005.

- [4] Prieto Méndez, Judith; González Ramírez, César A.; Román Gutiérrez, Alma D.; Prieto García, Francisco. "Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua". Tropical and Subtropical Agroecosystems, Vol. 10, núm 1. Mérida, Yucatán, México, pp. 29-44, 2009, en imprenta.
- [5] Campos Gómez, Irene. "Saneamiento Ambiental". EUNED. 1ª Edición. San José, Costa Rica, pp. 45-56, 2003.
- [6] Diario Oficial de la Federación, Norma Oficial Mexicana 127-SSA1-1994. "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe de someterse el agua para su potabilización". Modificada 22 de Noviembre de 2000.
- [7] Camacho A.; M. Giles; A. Ortegón; M. Palao; B. Serrano y O. Velázquez. "Análisis Microbiológico de Agua y hielo para consumo humano. Determinación de bacterias coliformes, coliformes fecales y *Escherichia coli* por la técnica de Número más Probable (NMP)". Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos. 3ra Ed. Facultad de Química, UNAM, México. Pp. 2-16. 2011, en imprenta.
- [8] División de Salud Pública de Carolina del Norte. "Hoja informativa sobre las bacterias coliformes en los posos de agua privada" Septiembre 2009, en imprenta. [http://epi.publikealth.nc.gov/oe/doc/Las\\_Bacterias\\_Coliformes\\_WellWaterFactSt.pdf](http://epi.publikealth.nc.gov/oe/doc/Las_Bacterias_Coliformes_WellWaterFactSt.pdf)
- [9] Rebollo Soto, Juan Manuel. "Eliminación de Cadmio (III) de efluentes urbanos tratados mediante procesos de bioadsorción: el efecto competitivo de otros metales pesados". Universidad Politécnica de Cartagena. Máster de Gestión de Cuencas Hidrográficas. Programa Oficial de Posgrado en Planificación y Gestión de Recursos Hídricos, pp. 11-13, 30-37 y 52. 2011-2012, en imprenta.
- [10] Mendoza Córdova, Abraham; Flores Valenzuela, Joaquín; Flores Acosta, Mario; Vidal Solano, Jesús R.; Paz Moreno, Francisco A. "Estudio sobre la incorporación y retención de plomo en zeolita natural". UNISON, México. Revista Epistemus, pp. 16-22, 2014, en imprenta.
- [11] Rodríguez, Yansy Milena; Salinas, Lizbeth Paola; Ríos, Carlos Alberto; Vargas, Luz Yolanda. "Adsorbentes a base de cascarilla de arroz en la retención de cromo de efluentes de la industria de curtiembres". Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Vol. 10, No. 1, pp. 146-156. Enero a Junio 2012, en imprenta.
- [12] Tovar Guevara, Jenny Paola. "Remoción de Cadmio y Plomo en agua con carbón activado recubierto en caucho de polisulfuro". Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Facultad de Química. Bogotá, pp. 15-18, 41-47. 2016, en imprenta.
- [13] Marín Burbano, Lina María. "Remoción de Hierro y Manganese por oxidación con cloro y filtración en grava". Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Postgrado en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Santiago de Cali, pp. 13-14, 19, 21-24. 2011, en imprenta.

