

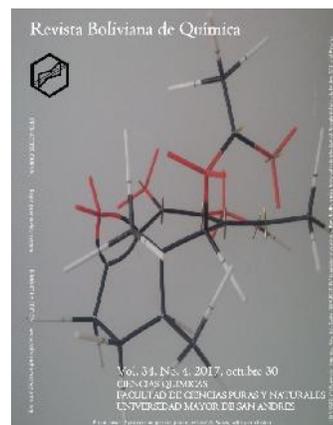


**ASSESSMENT OF THE QUALITY OF
PHYSICOCHEMICAL AND
BACTERIOLOGICAL PARAMETERS
OF WATER SPRINGS
OF LA PAZ CITY, BOLIVIA**

**EVALUACIÓN DE LA
CALIDAD DE LOS PARÁMETROS
FISICOQUÍMICOS Y
BACTERIOLÓGICOS
DE AGUAS DE MANANTIALES
DE LA CIUDAD DE LA PAZ, BOLIVIA**

Received 09 12 2017
Accepted 10 20 2017
Published 10 30 2017

Vol. 34, No.4, pp. 104-111, Sep./Oct. 2017
34(4), 104-111, Sep./Oct. 2017
Bolivian Journal of Chemistry



Full original article

Peer-reviewed

Lizangela Huallpara Lliully, Mauricio Ormachea Muñoz*, María Eugenia García Moreno

Laboratorio de Química Ambiental, Instituto de Investigaciones Químicas IIQ, Carrera de Ciencias Químicas, Facultad de Ciencias Puras y Naturales FCPN, Universidad Mayor de San Andrés UMSA, P.O. Box 303, Calle Andrés Bello s/n, Ciudad Universitaria Cota Cota, phone +59122792238, La Paz, Bolivia, mormachea@umsa.bo, www.umsa.bo

Keywords: Physicochemical, Bacteriological, Assessment, Water springs, La Paz Bolivia.

ABSTRACT

During the emergency caused by the shortage of drinking water for the city of La Paz in November 2016, the local government has used spring water to distribute drinking water to affected areas. The present study has evaluated the physicochemical and bacteriological quality of these water sources and has found that all samples of the studied springs are contaminated by total coliforms with concentrations up to 2400 CFU/ml; it has also been found that 62,5% of the studied springs have high nitrate concentrations up to 105 mg/L. Is then advisable to carry out previously a water treatment for potabilization prior to distribution as drinking water. On the other hand, the hydrochemical characterization has shown that the main water types correspond to Na-Ca-Mg-SO₄-HCO₃ and Ca-Mg-Na-NO₃-SO₄-Cl facies; this characteristic of the water has a probable origin in the mineralization and/or dissolution of trona type minerals [Na₃(HCO₃)(CO₃)·2H₂O], calcite [CaCO₃] and/or thenardite [NaSO₄] and anthropogenic contamination with nitrate..

*Corresponding author: maurormache@gmail.com

RESUMEN

Durante la emergencia por desabastecimiento de agua potable para la ciudad de La Paz ocurrido en Noviembre de 2016, el gobierno local ha empleado agua de manantiales para la distribución de agua potable a las zonas afectadas. El presente estudio ha evaluado la calidad fisicoquímica y bacteriológica de estas fuentes de agua y ha encontrado



que todas las muestras provenientes de los manantiales estudiados se encuentran contaminados por coliformes totales que presentan concentraciones de hasta 2400 UFC/ml; también se ha encontrado que el 62,5% de los manantiales estudiados presentan concentraciones elevadas de nitrato de hasta 105 mg/L. En este sentido, es recomendable realizar previamente un tratamiento de potabilización previo a la distribución como agua potable. Por otro lado, la caracterización hidroquímica ha mostrado que los principales tipos de agua corresponden a las facies Na-Ca-Mg-SO₄-HCO₃ y Ca-Mg-Na-NO₃-SO₄-Cl; esta característica del agua tiene un probable origen en la mineralización y/o disolución de minerales tipo trona [Na₃(HCO₃)(CO₃)·2H₂O], calcita [CaCO₃] y/o thenardita [NaSO₄] y en la contaminación antropogénica con nitrato.

INTRODUCCIÓN

El agua es un componente importante para el desarrollo y en la actualidad es considerada un recurso escaso. Uno de los principales retos que enfrentan los países a nivel mundial es el abastecimiento de agua en cantidad y calidad adecuada para sus habitantes [1]. Las Naciones Unidas, han declarado un derecho humano al acceso a fuentes seguras de agua potable para las poblaciones de todo el planeta [2]; sin embargo este derecho se ve postergado, sobre todo en países en vías de desarrollo [3].

Durante la transición entre época seca y época húmeda (Noviembre de 2016), en la ciudad de La Paz, capital administrativa de Bolivia, con aproximadamente 2.8 millones de habitantes [4], la empresa responsable de la distribución de agua potable para la ciudad (Empresa Publica Social de Agua y Saneamiento, EPSAS), informó a sus ciudadanos acerca del racionamiento de agua que afectaría aproximadamente a 350000 habitantes de 94 barrios de la ladera este y la zona sur de la ciudad. El motivo, un importante decremento del recurso hídrico en los embalses que alimentan la planta de potabilización ubicada en Pampahasi. Tres represas, Incachaca, Hampaturi y Ajuan Khota, redujeron sus embalses hasta llegar al 8%, 5% y 1% respectivamente de su capacidad y ninguna de ellas pudo mantener el suministro de agua potable para la ciudad de La Paz [5,6]. Ante este acontecimiento, el gobierno nacional y el gobierno municipal instalaron cientos de tanques de agua de 10000 litros de capacidad y los ubicaron en los diferentes barrios y zonas afectadas de la ciudad; muchos de estos tanques eran aprovisionados con agua proveniente de manantiales ubicados dentro de la misma ciudad de La Paz.

La Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), como ente articulador entre la sociedad y el gobierno, conformó el Comité Universitario de Emergencia, para dar directrices y proporcionar posibles soluciones a la crítica situación por la que estaba atravesando la población de la ciudad de La Paz. En este sentido una de las primeras tareas del comité fue evaluar la calidad del agua empleada para el consumo y que era extraída de los principales manantiales de la ciudad. Los principales objetivos de esta investigación fueron: (i) Ubicar y georreferenciar los principales manantiales que abastecen de agua a la ciudad de La Paz y (ii) evaluar la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua de manantiales empleada como fuente de agua potable para los pobladores de la ciudad de La Paz.

EXPERIMENTAL

Área de estudio

El área de estudio está ubicada en la ciudad Nuestra Señora de La Paz, Sede de Gobierno del estado Plurinacional de Bolivia. Dentro de la mancha urbana, se recolectaron 16 muestras de agua proveniente de manantiales, la selección de los puntos de muestreo se hizo en base a estudios de investigación preliminares que identificaron a los manantiales como fuentes alternativas de suministro de agua.

Los criterios considerados fueron:

- Mayor frecuencia de uso como fuente de aprovisionamiento.
- Mayor población que se abastece de esa fuente.
- Accesibilidad de la fuente.

La ubicación de los puntos de muestreo fue realizada con un sistema de posicionamiento global GPS (Garmin modelo GPSmap 60CSx). Los sitios de muestreo se muestran en la figura No 1.

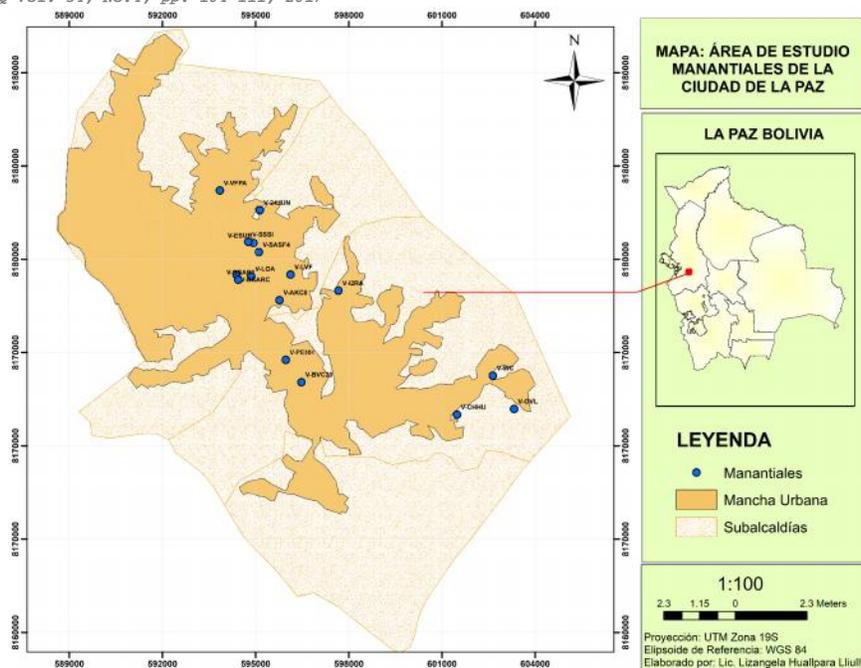


Figura No 1. Área de estudio- Ubicación de los manantiales de la ciudad de La Paz.

Toma de muestras

Se colectó muestras de agua de 16 manantiales en diferentes barrios de la ciudad de La Paz. Para la colecta de muestras se utilizó envases de plástico limpios de un volumen de 100 ml. Se filtró la muestra a través de una membrana filtrante de $0,45 \mu\text{m}$ (Sartorius), la muestra filtrada se la dividió en dos porciones, una para la determinación de cationes mayoritarios preservada en ácido nítrico (pH aprox. 2,0) y otra porción para la determinación de aniones mayoritarios. Todas las porciones fueron refrigeradas a 4°C hasta el análisis en laboratorio.

Determinación de parámetros de campo

Se realizó la determinación de parámetros de campo empleando un equipo portátil marca HANNA Instruments, modelo 98185. Los parámetros de campo determinados por este equipo fueron: potencial de hidrogeno, pH; Potencial óxido-reducción, ox-red; Conductividad eléctrica, CE; Solidos totales disueltos, STD; Temperatura, T y Oxígeno disuelto; OD. La alcalinidad debida al CO_3^{2-} y/o HCO_3^- se determinó mediante titulación ácido-base con ácido sulfúrico 0,2 N hasta pH 5,0.

Determinación de parámetros en laboratorio

Los cationes mayoritarios sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg). Se determinaron en el laboratorio de Química Ambiental del IIQ, empleando un espectrofotómetro de absorción atómica técnica llama Perkin Elmer AAnalyst 200

Los aniones mayoritarios cloruro (Cl^-), nitrato (NO_3^-), fosfato (PO_4^{3-}), sulfato (SO_4^{2-}), se determinaron en el laboratorio de Química Ambiental del IIQ empleando un Cromatógrafo de iones marca DIONEX, modelo ICS-1100. El control de calidad de los resultados fue verificado empleando material de referencia certificado, réplicas y blancos de control [7].

Análisis microbiológico

Se recolectaron 16 muestras de agua de manantiales. Los pasos empleados para el estudio de estos grupos microbianos están descritos en el Método Estándar para el Análisis Microbiológico de Agua Potable [8]. Todos los resultados se expresaron en unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/ml).



Interpretación hidroquímica

Para evaluar los resultados y realizar una mejor descripción de la hidroquímica de los manantiales estudiados, se utilizó el software Aquachem ver. 4.0264 [9]; este software permite elaborar los diagramas Piper, determinar los tipos de agua, elaborar diagramas de Box & Whisker y encontrar correlaciones entre los diferentes iones presentes en las muestras acuosas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Hidroquímica

La Tabla 1 muestra un resumen de la estadística de resultados de los análisis físico-químicos de las muestras colectadas en 16 manantiales de la ciudad de La Paz.

Los parámetros medidos en campo mostraron valores de pH ligeramente alcalinos, comprendidos entre 6,4 y 8,6 con una mediana de 7,0. La conductividad eléctrica varió en un amplio rango desde los 123 hasta los 169 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y una mediana igual a 338 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando que algunos de los pozos presentan elevada salinidad, uno de los cuales supera el límite permisible de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ establecido por la norma boliviana NB 512 para agua potable [10].

Tabla No 1. Resumen estadístico de resultados de parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua de manantiales

Parámetro	Manantiales de la Ciudad de La Paz			Límite permisible NB 512
	Máximo	Mínimo	Mediana	
pH	8,6	6,4	7,0	6,5 – 9,0
Conductividad específica, $\mu\text{S}/\text{cm}$	1691	123	338	1500
Bicarbonatos, mg- CaCO_3/L	596	18,0	67,0	370
Cloruros, mg/L	74	11	38	250
Fluoruros, mg/L	1,0	< 0,1	< 0,1	1,5
Sulfatos, mg/L	425	18,0	48,0	400
Nitratos, mg/L	106	9,0	66,0	45,0
Calcio, mg/L	230	19,0	55,0	200
Magnesio, mg/L	58	6,0	16	150
Sodio, mg/L	304	9,0	21,0	200
Potasio, mg/L	9,0	2,0	4,0	-
Hierro, mg/L	0,2	< 0,1	< 0,1	0,3
Manganeso, mg/L	0,2	< 0,1	< 0,1	0,05
Zinc, mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	5,0
Coliformes Totales, UFC/100ml	2400	50	2400	0

Los resultados de laboratorio referentes a los iones mayoritarios fueron representados en un diagrama de Piper (Figura No 2).

Observando este diagrama y evaluando los resultados de la Tabla 2, se puede evidenciar que no hay una gran diferencia entre la composición química de las diferentes muestras de agua de manantiales. Los tipos de agua más importantes presentan la siguiente distribución: Na-Ca-Mg-SO₄-HCO₃ y Ca-Mg-Na-NO₃-SO₄-Cl (18,8%); Ca-Na-HCO₃-SO₄, Ca-Mg-Na-SO₄, Ca-Mg-NO₃-SO₄-Cl (12,5%). El restante 6,3% está constituido por tipos de agua mixtos.

Los resultados de los análisis de laboratorio para los cationes mayoritarios mostraron los siguientes rangos de concentraciones (ver Tabla 1): Sodio entre 9,0 y 304 mg/L (mediana: 21 mg/L); calcio entre 19,0 y 231 mg/L (mediana: 55 mg/L); magnesio entre 6,0 y 58 mg/L (mediana: 16 mg/L) y potasio entre 2,0 y 9,0 mg/L (mediana: 4,0 mg/L). Con respecto a los aniones mayoritarios los rangos de concentraciones (Tabla 1) variaron de la siguiente manera: Carbonato entre 18,0 y 596 mg/L (mediana: 67,0 mg/L); cloruro entre 11 y 74 mg/L (mediana: 38 mg/L);



sulfato entre 18,0 y 425 mg/L (mediana: 48,0 mg/L) y nitrato entre 9,0 y 106 mg/L (mediana: 66,0 mg/L); siendo los iones predominantes el sodio, el calcio y el bicarbonato (ver Figura No 3).

Tabla No 2. Distribución de tipos de agua

TIPO DE AGUA	NÚMERO DE MANANTIALES	PORCENTAJE
Na-Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	3	18,8%
Ca-Mg-Na-NO ₃ -SO ₄ -Cl	3	18,8%
Ca-Na-HCO ₃ -SO ₄	2	12,5%
Ca-Mg-Na-SO ₄	2	12,5%
Ca-Mg-NO ₃ -SO ₄ -Cl	2	12,5%

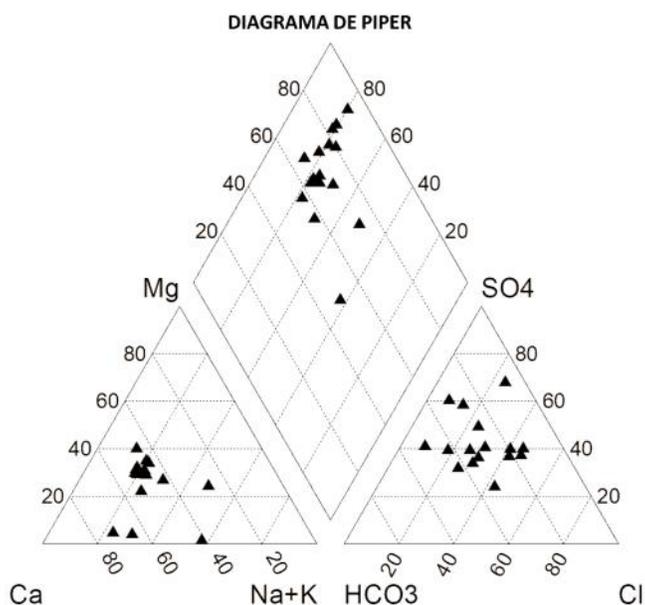


Figura No 2. Diagrama de Piper de los manantiales ubicados en la zona de estudio

Se pudo evidenciar una correlación positiva entre sodio y bicarbonato ($r=0,979$), entre calcio y bicarbonato ($r=0,769$), entre el sodio y el sulfato ($r=0,814$) presentes en el agua de los manantiales lo cual nos permite suponer que el origen del de los manantiales podría estar causado por la mineralización y/o disolución de minerales tipo trona $[\text{Na}_3(\text{HCO}_3)(\text{CO}_3)\cdot 2\text{H}_2\text{O}]$, calcita $[\text{CaCO}_3]$ y/o thenardita $[\text{NaSO}_4]$.

Distribución Espacial de la Presencia de iones Nitrato y Coliformes Totales

En la figura No. 4 se puede observar la influencia de la presencia de nitratos, donde los valores de 6 manantiales están dentro del rango permitido, para agua de consumo. Las otras 10 muestras se encuentran contaminadas con altas concentraciones de nitrato. Las muestras con códigos V-PEHH de la zona Puerto Esperanza Huano Huanuni, V-I2RA de Aruntaya Irpavi 2, V-BSAR1 de Retamani San Antonio Bajo, V-BSARC Regimiento Castrillo San Antonio Bajo, V-AKC8 Alto Kupini, V-LOA Oscar Alfaro San Antonio, V-ESUR Escobar Uria, V-SSSI Sector IBBO San Antonio, V-VFPA Plaza Arandia Villa Fátima, V-OVL Lacacollo Ovejuyo y V-BVC20 de Bella Vista, sobrepasan el máximo permitido por la NB 512.

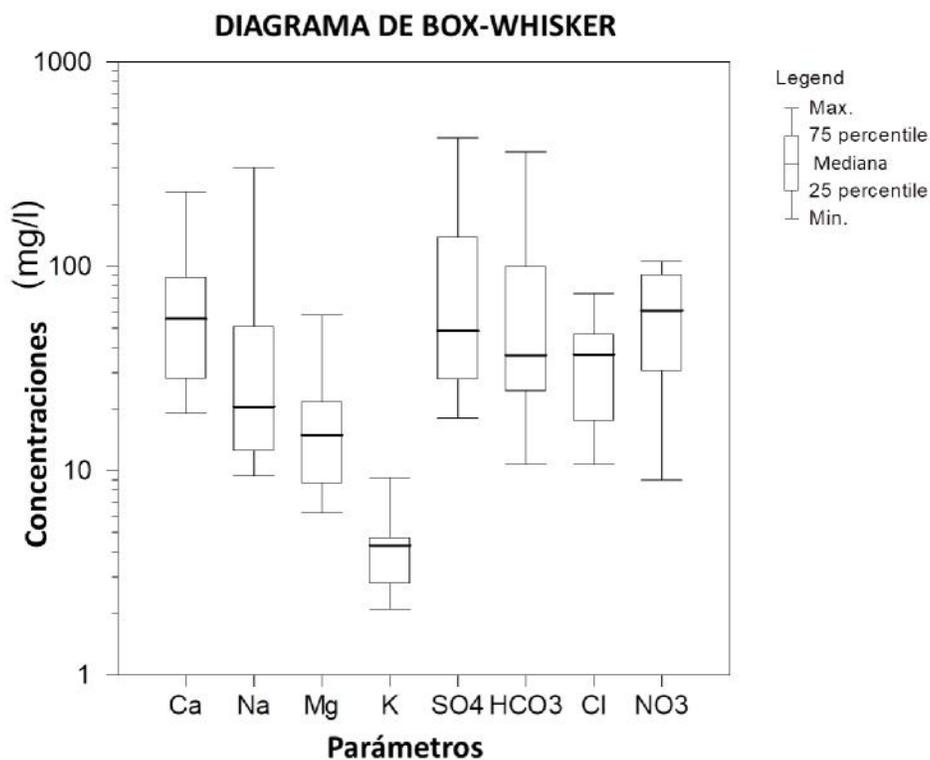


Figura No 3. Diagrama de Box-Whisker de los manantiales ubicados en la zona de estudio

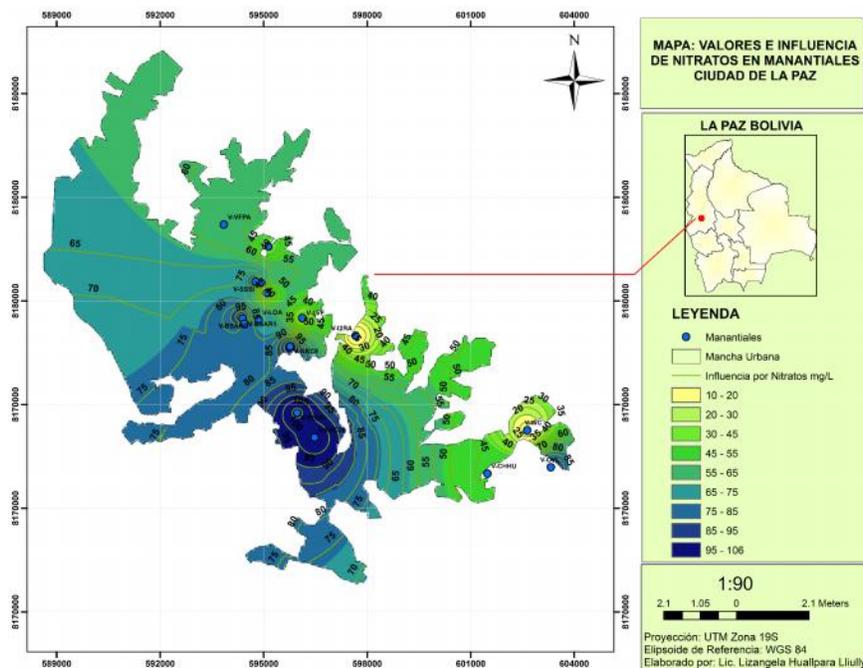


Figura No 4. Distribución espacial del ión Nitrato- Manantiales de la ciudad de La Paz

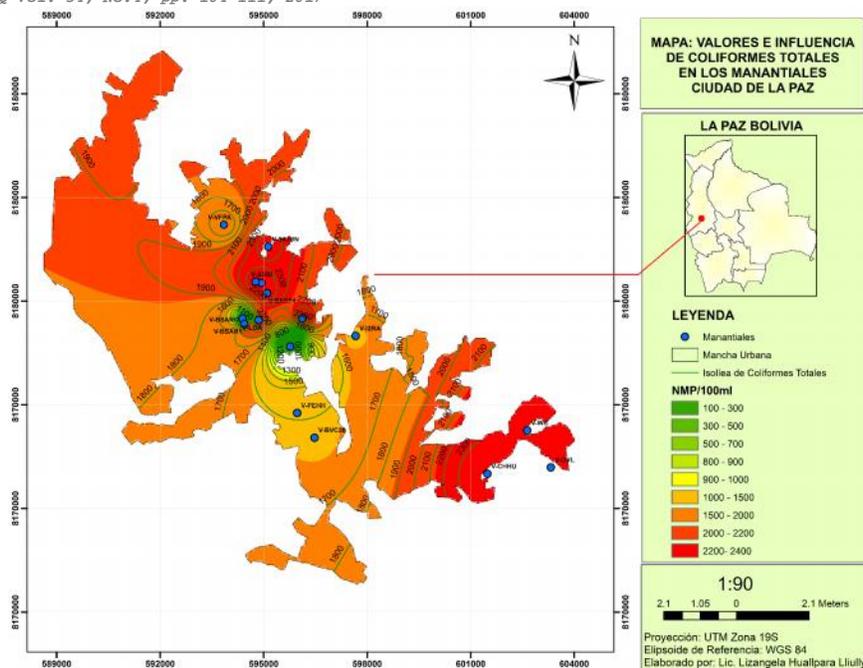


Figura No 5. Distribución espacial de Coliformes Totales- Manantiales de la ciudad de La Paz

Observando el mapa de distribución espacial para coliformes totales, determinamos que todas las muestras de agua de manantiales se encuentran contaminadas con concentraciones que sobrepasan el máximo permitido por la NB 512 (Figura No 5).

La mayoría de las bacterias coliformes se encuentran comúnmente en el medio. Sin embargo, la determinación de la concentración de bacterias coliformes totales es utilizada como indicador de la presencia de excrementos o desechos de alcantarillas como potencial fuente de contaminación por microorganismos patógenos entéricos en el agua. En tal sentido, las fuentes de agua que como en el presente estudio demuestran concentraciones de coliformes totales, deberían ser sujetas a un proceso de desinfección previa su utilización por la población, aunque estas aguas no vayan a ser consumidas.

CONCLUSIONES

La evaluación hidroquímica del agua proveniente de 16 manantiales de la ciudad de La Paz, ha mostrado que los principales tipos de agua corresponden a las facies Na-Ca-Mg-SO₄-HCO₃ y Ca-Mg-Na-NO₃-SO₄-Cl; esta característica del agua puede ser proporcionada por la mineralización y/o disolución de minerales tipo trona [Na₃(HCO₃)(CO₃)·2H₂O], calcita [CaCO₃] y/o thenardita [NaSO₄] y por contaminación antropogénica con nitrato.

La evaluación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica ha mostrado que los 16 manantiales estudiados se encuentran altamente contaminados por coliformes totales que presentan concentraciones de hasta 2400 UFC/ml, lo que supone un alto riesgo a la salud, por lo que se recomienda previamente hacer un tratamiento de desinfección si se la desea emplear como agua de consumo.

También se ha encontrado que la presencia de nitratos en 10 de las muestras de manantiales supera el valor máximo permisible establecido por la NB 512, con valores de hasta 105 mg/L, de la misma manera, debe hacerse un tratamiento previo para potabilizar el agua de estas fuentes toda vez que su persistencia en el agua puede causar diferentes tipos de enfermedades [11].

REFERENCIAS

1. Bundschuh, J., Pérez Carrera, A., Litter, M. 2008 *Distribución del arsénico en las regiones ibérica e iberoamericana (Arsenic distribution in Ibero & Iberoamerican regions; in Spanish)*. Editorial CYTED, Buenos Aires, 230pp..
2. UNESCO. 2009. *Resultado de la reunión de expertos internacionales sobre el derecho humano al agua*. París: UNESCO Etexa - Centro UNESCO.
3. ANESAPA. 2002. *Información necesaria para la evaluación de recursos da agua*. La Paz.
4. INE. 2016. Instituto Nacional de Estadística <http://www.ine.gob.bo/>. Accessed: 11/6/2016.



5. La Razón. **2016**. Crisis del agua: La Paz sufre la peor sequía en cuarto siglo, <http://www.la-razon.com/>, Accessed: 12/19/2016.
6. Página Siete. **2016**. La Paz: crisis-agua-sufre-peor-sequia-cuarto-siglo-120657, <http://paginasiete.bo/especial>, Accessed: 12/19/2016.
7. Harrison, R. M., & Rapsomanikis, R. **1989**. Environmental Analysis Using Chromatography Interfaced with Atomic Spectroscopy. New York: Wiley.
8. APHA. **1992**. American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18 ed. Washington D.C.
9. Waterloo Hydrogeologic, Inc., 2003. Manual del Usuario, Waterloo Hydrogeologic, Inc.
10. Domenico, P. A., & Schwartz, F. W. **1990**. Physical and chemical Hydrogeology. New York, United States of America: John Wiley & Sons.
11. OMS, Agua saneamiento y salud. (s.f.), http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/guidelines/es/. Accessed 12/02/2016.