

CALIDAD SANITARIA DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO DE LA COMUNIDAD SUCHES, SAN ROMÁN, REGIÓN PUNO

SANITARY QUALITY OF WATER FOR HUMAN CONSUMPTION IN THE SUCHES COMMUNITY, SAN ROMÁN, PUNO REGION

Mery Maribel Mamani Aguilar^{1*}; Nora Ortiz Calcina²

¹ Instituto Nacional de Investigación Agraria Puno - Perú

² Universidad Nacional del Altiplano, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica. Puno, Perú

 <https://orcid.org/0000-0001-6447-5417>

 <https://orcid.org/0000-0003-3772-7564>

*Autor para correspondencia, email: merymamaniaguilar2@gmail.com

Resumen

La investigación reporta los valores de los parámetros fisicoquímicos del río Coata, en la comunidad campesina de Suches, distrito de Caracoto, provincia de San Román, región Puno durante los meses de octubre y diciembre del año 2018. Los objetivos fueron determinar los valores de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de las aguas superficiales y subterráneas de la C.C. Suches. La metodología consistió en evaluar de 18 muestras de agua de la comunidad campesina Suches, mediante los métodos electrométrico, titulométrico, de Mohr, colorimétrico y espectrofotométrico según el parámetro físico químico a determinar y de recuento en placa y NMP para los parámetros bacteriológicos. Los resultados obtenidos fueron: pH de 7.47 – 8.23, dureza de 178.33 – 953.33 mg/l, conductividad eléctrica de 216.67 – 1284 μ S/cm, bicarbonatos de 56.67 - 240.00 mg/l, cloruros de 21.69 – 500.71 mg/l, sulfatos de 93.00 – 305.33 mg/l, hierro de 0.006 – 0.012 mg/l, nitratos de 1.53 – 25 mg/l, arsénico de 0.020 – 0.044 mg/l y plomo de 0.044 – 0.089 mg/l, las coliformes totales de 29 – 26.67 NMP/100 ml y las coliformes termotolerantes de 3 – 60 NMP/100 ml. Se concluye que los parámetros dureza, sulfatos, arsénico, plomo y las coliformes superan las normas vigentes y vendrían ocasionando daños en los consumidores.

Palabras clave: Coata, coliformes, parámetros fisicoquímicos, pozos.

Abstract

The research reports the current values of the physicochemical parameters of the Coata River, in the rural community of Suches, district of Caracoto, province of San Román, Puno region during the months of October and December of the year 2018. The objectives were to determine the values of the physicochemical and bacteriological parameters of the surface and groundwater of the CC Suches. The methodology consisted of the evaluation of 18 water samples from the Suches peasant community, using the electrometric, titrimetric, Mohr, colorimetric and spectrophotometric methods according to the chemical physical parameter to be determined and plate count and MPN for bacteriological parameters. The results obtained were: pH of 7.47 - 8.23, hardness of 178.33 - 953.33 mg/l, electrical conductivity of 216.67 - 1284 μ S/cm, bicarbonates of 56.67 - 240.00 mg/l, chlorides of 21.69 - 500.71 mg/l, sulfates of 93.00 - 305.33 mg/l, iron of 0.006 - 0.012 mg/l, nitrates of 1.53 - 25 mg/l, arsenic of 0.020 - 0.044 mg/l and lead of 0.044 - 0.089 mg/l, total coliforms of 29 - 26.67 NMP/100 ml and thermotolerant coliforms of 3 - 60 NMP/100 ml. It is concluded that the parameters hardness, sulfates, arsenic, lead and coliforms exceed the standards in force and would cause damage to consumers.

Keywords: Coata, coliforms, physicochemical quality, wells.

Introducción

La comunidad campesina de Suches, en Puno, utiliza pozos subterráneos y el río Coata como fuentes de agua para consumo humano, riego de cultivos y bebida de animales, actividades esenciales para su economía. Sin embargo, estudios indican que estas aguas están contaminadas por aguas residuales de la ciudad de Juliaca, por lo que no serían aptas para el consumo humano, riego ni para los animales.

A nivel internacional se realizaron diversos estudios como en los pozos de Zacatepec (México), las coliformes totales y termotolerantes se determinaron entre 1 y 107 UFC/100 ml (Ramírez et al., 2009), las aguas subterráneas en el municipio de Valledupar (Colombia), resultaron con coliformes totales entre 105 y 2600 UFC/100 ml y las coliformes fecales entre 33 y 2600 UFC/100 ml (Quinteros & Herrera, 2009). A nivel nacional el agua de consumo humano de la localidad de Pacora – Lambayeque, presentó coliformes totales entre 30 – 50 UFC/100 ml y coliformes termotolerantes entre 1 – 2 UFC/100 ml (Cava & Ramos, 2016), en pozos del centro poblado de La Yarada y los Palos – Tacna, el agua fue no apta para el consumo humano ya que presentaron bacterias heterotróficas 2%, coliformes totales 54% y coliformes termotolerantes 11% (Cutimbo, 2012), las aguas subterránea de Taparachi III (Juliaca), presentaron una conductividad eléctrica de 1636.25 – 1082.18 μ S/cm, sulfatos 324.00 - 226.18 mg/l, cloruros 206.50 – 134.31 mg/l, dureza total 628.91 – 438.91 mg/l, coliformes totales 628.91 – 438.91 UFC/100 ml y coliformes fecales 107.22- 27.79 UFC/100 ml (Calsín, 2016).

Actualmente las aguas subterráneas poseen compuestos de diversos orígenes y naturaleza química, por lo que es necesario detectarlos ya que originarían un impacto ecológico y efectos en la salud pública (Stuart, 2012), debido a la introducción continua en el ambiente a través de algunas fuentes como las aguas residuales domésticos e industriales (Daughton, 2004), residuos de plantas de tratamiento (Kolpin, 2002), de efluentes hospitalarios (Kummerer, 2001), de actividades agrícolas y ganaderas (Watanabe, 2010) y de los tanques sépticos (Swartz, 2006), los cuales contienen un gran número de componentes químicos, farmacéuticos, productos de cuidado personal, plastificantes y aditivos industriales, que no están incluidos en el monitoreo actual de programas de tratamiento de aguas (Terzic, 2008).

El estudio busca informar a los habitantes de la comunidad de Suches sobre la calidad del agua que consumen y proponer medidas para su conservación, con el fin de mejorar sus condiciones de vida y salud. Para ello, los objetivos de la investigación fueron determinar los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de las aguas superficiales y subterráneas en la comunidad de Suches.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la comunidad de Suches, ubicada en el distrito de Caracoto, provincia de San Román, región Puno, el cual está ubicado al sur este de la ciudad de Juliaca, a 3820 msnm, su población se dedica a actividades de ganadería mayoritariamente y actualmente es una de las zonas más afectadas por las aguas residuales procedentes de la ciudad de Juliaca.

Determinación de los parámetros fisicoquímicos de calidad en aguas de la comunidad de Suches.

pH. Se aplicó el método electrométrico, utilizando un potenciómetro, el cual midió el pH en un vaso de precipitado (Miranda, 2012).

Dureza. Se aplicó el método con EDTA, agregando un ml de la solución tampón pH 10, 3 gotas de eriocromo T y titulado con EDTA (Belizario, 2002)

Conductividad eléctrica. Se aplicó el método electrométrico, utilizando un conductímetro multiparámetro, el cual midió en un vaso de precipitado (Belizario, 2002).

Alcalinidad. Se aplicó el método volumétrico, añadiendo tres gotas de fenolftaleína y titulado con ácido sulfúrico 0.05 N, a continuación, se adicionó dos gotas de anaranjado de metilo y se tituló como en el paso anterior (Belizario, 2002).

Cloruros. Se aplicó el método de Mohr, mediante la adición de un ml de cromato de potasio al 5% y titulado con nitrato de plata (Belizario, 2002).

Sulfatos. Se aplicó el método turbidimétrico, adicionando 0.01 mg de cloruro de bario, determinando su transmitancia en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 420 nm (Belizario, 2002).

Nitratos. Se aplicó el método colorimétrico, agregando reactivos según las indicaciones del fabricante, el cual fue contrastado con un patrón.

Arsénico y plomo. Se aplicó el método espectrofotometría de emisión por plasma (ICP – Plasma), que fue realizado en el laboratorio RHLAB S. A. C. – Juliaca.

Determinación de los recuentos de bacterias indicadoras de calidad en aguas de la comunidad de Suches

Se realizó un análisis de varianza y pruebas de Tukey en el software estadístico. Se aplicó el método del número más probable, donde las muestras de agua, positivas a la presencia de coliformes se determinó mediante la turbidez, el cambio de color del caldo lactosado y la producción de gas (Pascual & Calderón, 2000).

Análisis estadístico. Se realizó un análisis de varianza y pruebas de Tukey en el software estadístico Infostat Versión 2020.

Resultados Y Discusión

Parámetros fisicoquímicos de las muestras de aguas superficiales y subterráneas de la comunidad de Suches.

El pH de las muestras de agua colectadas osciló entre 7.43 y 8.23 y un coeficiente de variación de 1.40% y 3.37%, todos ellos se encontraron dentro de los valores permitidos por el Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua (D.S. 004-2017- MINAM) para las categorías A1 agua que pueden ser potabilizadas con desinfección y D1 para riego de vegetales (6.5 – 8.5 unidades) y D2 para bebida de animales (6.5 – 8.4 unidades), presentando diferencia estadística significativa ($p=0.0019$).

Los resultados sobre los valores de pH obtenidos en la investigación fueron similares a los reportados por Petro & Wees (2014), quienes en el municipio de Tubarco (Colombia) obtuvieron valores entre 7.08 – 7.55 unidades y Salazar (2015), quién en la ciudad de Juliaca las muestras de agua presentaron valores de pH entre 7.31 – 7.78 unidades. Los valores del pH, si es superior al 8.0 disminuye la eficacia del proceso de desinfección con cloro, y necesario para determinar los efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua (Barrenechea, 2015), asimismo, Baccaro et al. (2006), indican que el pH es una variable muy importante ya que determina las concentraciones relativas de las especies disueltas de carbonatos.

Los valores de dureza total en las muestras de agua variaron entre 178.33 y 953.33 mg/l cuyos coeficientes de variación fueron entre 0.87% y 25.44%, en cinco de seis puntos de muestreo, se encuentran por debajo de los valores permitidos por el Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua (D. S. 004-2017- MINAM) para la categoría A1 para aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección (500 mg/l), presentando diferencia estadística significativa ($p<0.0001$).

Los resultados de dureza fueron similares a los mencionados por Petro & Wees (2014), quienes en Tubarco (Colombia) valores de 66.60 – 225.80 mg/l, Calsín (2016), quién en aguas subterráneas de consumo humano en Taparachi III – Juliaca las muestras de agua presentaron valores de dureza entre 628.91 – 438.91 mg/l y Salazar (2015), quién en muestras de agua de la ciudad de Juliaca las muestras de agua encontraron valores de dureza entre 185 - 310 mg/l. La dureza total del agua constituye un parámetro de calidad de las aguas de interés doméstico o industrial ya que indica la concentración de calcio y magnesio, se determinaron aguas duras, los cuales dejarían depósitos sólidos o costras en las tuberías pudiendo llegar

a obstruirlas especialmente cuando superan los 200 mg/l de dureza total (Clair et al., 2000), asimismo (Harris, 2007); sin embargo, la dureza del agua es beneficiosa para el riego porque los iones alcalinotérreos tienden a flocular las partículas coloidales del suelo (es decir favorecen la formación de agregados de dichos coloides) lo cual aumenta la permeabilidad del suelo al agua (OMS, 2006).

La conductividad eléctrica (CE) de las muestras de agua fluctuaron entre 216.67 y 1284.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con un coeficiente de variación de 0.49% y 3.23%, los valores se encontraron por debajo de los valores permitidos por el Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua (D. S. 004-2017- MINAM) para las categorías A1 agua que pueden ser potabilizadas con desinfección (1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y D1 para riego de vegetales (2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y D2 para bebida de animales (5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), presentando diferencia estadística significativa ($P<0.0001$). Los resultados fueron similares a los obtenidos por Petro & Wees (2014), que en el municipio de Tubarco (Colombia) obtuvieron entre 158.60 – 947.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Salazar (2015), quién en Juliaca arrojan entre 1024 – 1025 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Quispe (2010), en Aplao – Arequipa, obtuvo valores de CE de 726.50 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La CE representa la capacidad de una solución acuosa para transmitir la corriente eléctrica, dependiendo de la presencia de cloruros, nitratos, sulfatos y fosfatos, que son relativamente buenos conductores, que sería un indicador de posible contaminación con nitratos, ya que existen niveles altos de asociación entre la conductividad eléctrica y los nitratos, en la salud pública se pueden originar casos de metahemoglobinemias, que se constituye en una enfermedad mortal para los lactantes (González et al., 2007), por otro lado, la CE se eleva ante la cercanía del mar, lo que provoca un aumento de sales (Fernández & Fernández, 2007), por su parte, Baccaro et al. (2006), menciona la importancia que se debe de tener en las aguas de riego ya que en valores muy elevados afecta el crecimiento de muchos cultivos. Por otro lado, según Tapia (2002), en muestras de agua con CE fuera de los rangos de 50 y 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, no es adecuada para la vida de ciertas especies de peces o invertebrados.

El contenido de bicarbonatos varió entre 56.67 y 240 mg/l y un coeficiente de variación entre 4.17% y 14.29%, dichos datos se encuentran por debajo de los valores permitidos por el Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua (D. S. 004-2017- MINAM) para la categoría D1 riego de vegetales (518 mg/l), mientras tanto que para las categorías A1 agua que pueden ser potabilizadas con desinfección y D2 para bebida de animales, no aplican y por tanto no presentan valores referenciales, con diferencia estadística significativa ($p<0.0001$).

Los resultados sobre los contenidos de bicarbonatos fueron similares a los obtenidos por Petro & Wees (2014), quienes en Tubarco (Colombia) obtuvieron valores de 55.20 – 302.40 mg/l, Vilca (2011), en la localidad de

Vilque obtuvo entre 61.18 mg/l y 55.97 mg/l, en el manantial y las muestras de agua del reservorio respectivamente, la normatividad vigente (D. S. N° 004-2017-MINAM), no considera valores para las categorías A1 y D2, ésta última para bebida de animales, la cual no es considerada en la norma; pero se debe tener en cuenta que el contenido de bicarbonato presente en el agua posee un efecto negativo sobre el crecimiento el área foliar, en razón de que origina quemaduras en las hojas, a causa del ingreso de los iones bicarbonato a las plantas, y como consecuencia originar un perjuicio sobre la producción su metabolismo o por la disminución de su índice de área foliar.

El contenido de cloruros osciló entre 21.69 y 409.68 mg/l con coeficientes de variación entre 2.926% y 12.981 mg/l, tres de los cinco puntos de muestreo superaron los parámetros para la categoría A1 y debajo de la categoría D1 para riego de vegetales, los datos obtenidos presentaron diferencia estadística significativa ($P < 0.0001$) y fueron concordantes con los datos obtenidos de Petro & Wees (2014), quienes en Colombia obtuvieron valores entre 8.75 – 67.98 mg/l, Salazar (2015), quién en Juliaca determinó entre 0.7 – 1.6 mg/l y a los registrados por Quispe (2010), quien en Aplao – Arequipa, obtuvo contenido de cloruros de 81.2 mg/l.

Fernández & Fernández (2007), manifiestan que las muestras de agua con elevadas concentraciones de cloruros, se presentan en cuerpos de agua cercanos al mar, por otro lado, indica la presencia de contaminación fecal ocasionada por vertimientos de aguas residuales sólidos y líquidos (Doria et al., 2009). Los análisis de cloruros son un parámetro muy importante porque todas las aguas naturales contienen este componente, sin embargo, se debe verificar su concentración dado que puede dañar la salud (Pérez, 2016), por otro lado, no obstante, las bajas concentraciones, es algo que no debe causar preocupación ya que no presenta ningún inconveniente en cuanto al consumo humano, su presencia en el agua depende de las características de los terrenos que atraviesan (Melgarejo, 2003).

El contenido de sulfatos fluctuó entre 93.00 y 305.33 mg/l con un coeficiente de variación entre 4.71 y 48.96%, los cuales superaron los valores permitidos por el Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua (D. S. 004-2017- MINAM) para las categorías A1 agua que pueden ser potabilizadas con desinfección (250 mg/l), mientras tanto ninguna de las muestras supera la categoría D1 para riego de vegetales y D2 para bebida de animales, ambos con 1000 mg/l, los resultados presentaron diferencia estadística significativa ($P = 0.0003$).

Los valores de sulfatos obtenidos en cuatro de los seis puntos de muestreo no superaron los valores de 250 mg/l, tal como lo recomienda la norma vigente, estos concuerdan con Salazar (2015), quién en muestras de agua de la ciudad de Juliaca las muestras de agua arrojaron valores de sulfatos entre 65 – 90 mg/l; con Baccaro et al.

(2006) quienes en Mar de Plata determinaron valores de sulfatos promedio de 200 mg/l; y a los registrados por Curo (2017) quien en el distrito de Coata obtuvo valores de sulfatos de 132.7 mg/l en Collana I y 46.0 mg/l en Yasín.

Las fuentes de aguas en los puntos de muestreo estarían influenciados por el río Coata el cual viene siendo contaminado por las aguas residuales de la ciudad de Juliaca, también se afirma que se encuentran en concentraciones elevadas en cercanía al mar, y por la contaminación fecal que es ocasionada por vertimientos de aguas residuales sólidos y líquidos (Fernández & Fernández, 2007), sin embargo, las fuentes de sulfatos en el agua, puede tener su origen en terrenos ricos en yesos y la contaminación con aguas residuales industriales, a pesar de ellos no origina problemas de potabilidad para el consumo humano, pero con contenidos superiores a 300 mg/l pueden causar trastornos gastrointestinales en los niños (Wilson et al., 2007), así como su efecto laxante ante la presencia de sulfatos de sodio y magnesio, por lo que no debe superar los valores permitidos en las ECAS (Guzmán, 2011). Por otro lado, el ion sulfato es abundante en aguas naturales, ya que procederían de las aguas de lluvias debido a la presencia de ácido sulfúrico proveniente del dióxido de azufre presente en la atmósfera (Arboleda, 2000).

El contenido de nitratos varía entre 1.53 y 25 mg/l y un coeficiente de variación que oscilaron entre 8.00% y 44.83%, todos los puntos de muestreo se encuentran por debajo de los valores permitidos por el Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua (D. S. 004-2017-MINAM) para las categorías A1 agua que pueden ser potabilizadas con desinfección (50 mg/l) y D1 para riego de vegetales y D2 para bebida de animales (690 mg/l) y presentaron diferencia estadística significativa ($p = 0.0055$).

Los resultados coinciden con Vitoria *et al.*, (2015), quienes, en muestras de ciudades españolas, reportan una concentración promedio de nitratos es 3.47 mg/l, los cuales variaron entre 15 mg/l y 50 mg/l, así también Vinelli (2012), reporta que el cultivo de arroz en San Pedro de Lloc, (La Libertad – Perú), revelaron una concentración de nitratos inferior a los límites de calidad válidos en el país a la fecha de estudio. Los nitratos no son en sí mismos tóxicos. Se sabe que se absorben rápidamente a nivel intestinal y se eliminan por orina. El peligro potencial de los nitratos radica en la eventual transformación en nitritos (NO_2^-) dentro del organismo, esta transformación, que implica una reducción enzimática, puede ocurrir en la cavidad bucal y bajo ciertas condiciones, en el tubo digestivo, el efecto más conocido producido por una alta concentración de nitritos en sangre es la transformación de la hemoglobina a metahemoglobina. La hemoglobina se encuentra presente en los glóbulos rojos de la sangre y es la encargada de transportar el oxígeno a todo el organismo. La metahemoglobina es un tipo de hemoglobina no funcional

que por lo tanto no es capaz de transportar oxígeno (Sierra, 2011).

El contenido de arsénico en las muestras de agua colectadas osciló entre 0.020 y 0.038 mg/l con coeficientes de variación que oscilaron entre 4.028% y 78.623%, todos superan los valores permitidos por el Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua (D.S. 004-2017- MINAM)

para la categoría A1 agua que pueden ser potabilizadas con desinfección (0.01 mg/l) y están por debajo de valores de las categorías D1 para riego de vegetales (0.1 mg/l) y D2 para bebida de animales (0.2 mg/l), pero no presentaron diferencia estadística ($P=0.4134$) (Figura 1).

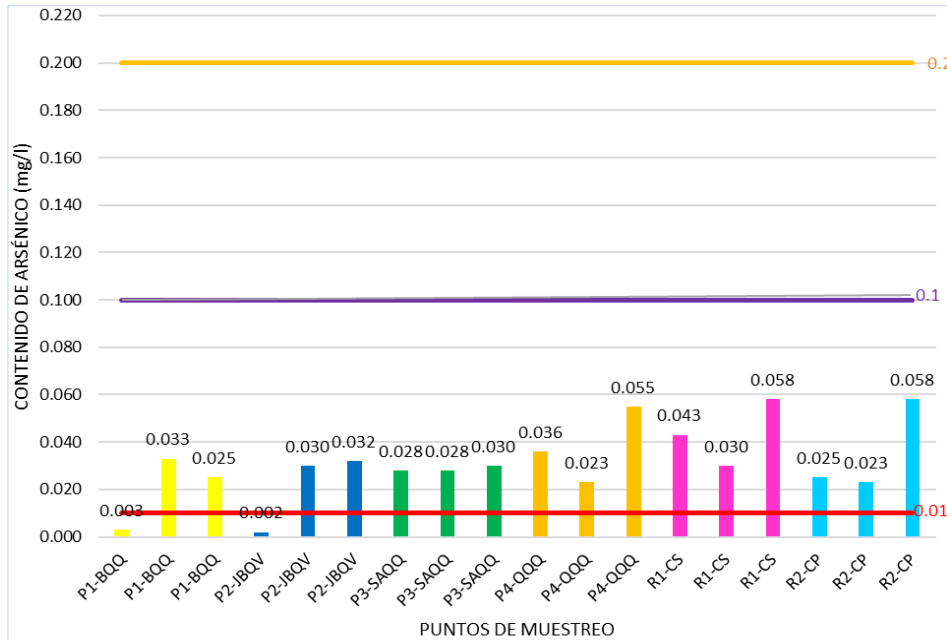


Figura 1. Valores de contenido de arsénico según normatividad en muestras de agua colectadas en el río Coata y fuentes de agua aledañas en la C.C. Suches. (línea roja categoría A1, línea morada categoría D1; línea naranja categoría D2).

Los valores del contenido de arsénico fueron inferiores a los reportados por Guzmán et al. (2011), quienes reportan que el contenido de arsénico en muestras de agua del río San Pedro (Aguascalientes – México), osciló entre 0.010 y 0.030 mg/l, con Meza (2018), quien cuantificó plomo y arsénico, en agua de caño para consumo humano y del reservorio central provenientes del río Cañete (Lima), e inferiores a los mencionados por Huaranga *et al.*, (2012), quienes evaluaron la contaminación de las aguas de la cuenca alta, media y baja del río Moche (Trujillo, Perú), concentraciones de arsénico de 9.00 mg/l y en la Cuenca Baja 0.016 mg/l; y valores superiores a los mencionados con Afán & Flores (2015), quienes evaluaron la presencia de arsénico en agua potable en el distrito de Hualgayoc (Cajamarca), con concentraciones de arsénico de 0.0060 mg/l (0.0000 mg/l y 0.0213 mg/l) encontrándose que el 27% supera los LMP dados por la DIGESA.

La existencia de As en los suelos y ecosistemas acuáticos, tienen diferentes orígenes, como son en la agricultura, siendo parte de los pesticidas, insecticidas,

herbicidas o defoliantes durante muchos años. Los arsenicales orgánicos han reemplazado, en la mayoría de los casos, a los inorgánicos como herbicidas selectivos o generales, asimismo son aplicados en proporciones más bajas que los arsenicales inorgánicos y de este modo se reducen en general los problemas asociados con la acumulación de As en los suelos agrícolas (Walsh & Keeney, 1975), pero puntualmente pueden persistir y merecen ser estudiados. La acumulación de As en las plantas puede estar afectada por muchos factores, incluyendo las especies de plantas, el tipo de compuestos utilizados, los métodos de aplicación, las condiciones del suelo y la aplicación de fertilizantes (Moreno, 2010), así como el origen subterráneo y la presencia de efluentes industriales mineros como lo que sucede en la región Puno.

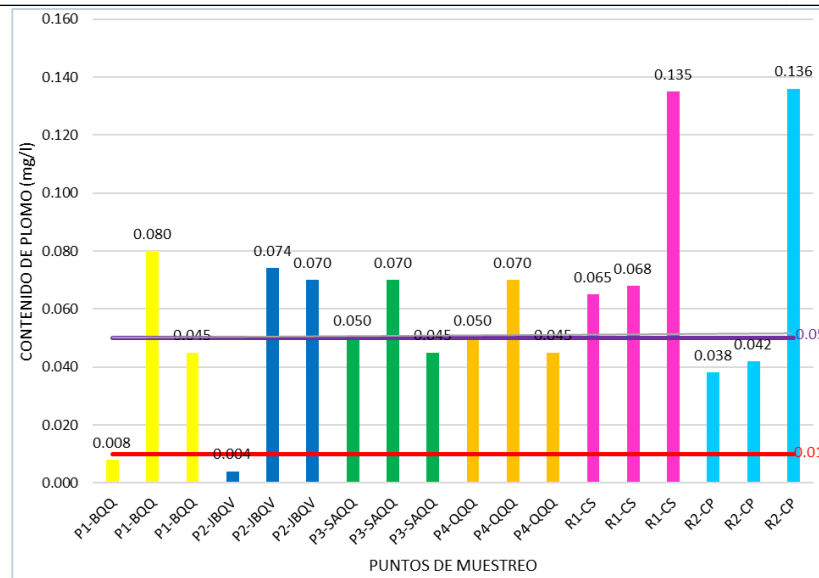


Figura 2. Valores de contenido de plomo según normatividad de las muestras de agua colectadas en el río Coata y sus fuentes de agua aledañas en la C.C. Suches (línea roja categoría A1, línea morada categoría D1; línea naranja categoría D2).

Las muestras de agua presentaron contenidos de plomo entre 0.044 y 0.089 mg/l con un coeficiente de variación que oscilaron entre 24.052% – 81.213%, todos se encuentran por encima de los valores permitidos por el Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua (D. S. 004-2017- MINAM) para las categorías A1 agua que pueden ser potabilizadas con desinfección (0.01 mg/l) y D1 para riego de vegetales y D2 para bebida de animales (0.05 mg/l), el análisis de varianza resultó que no presentaron diferencia estadística significativa ($p=0.6799$) (Figura 2).

Los resultados fueron inferiores a los mencionados por Huaranga *et al.*, (2012), quienes evaluaron la contaminación de las aguas de la cuenca alta, media y baja del río Moche (Trujillo, Perú), y reportaron contenidos de plomo de 100.37 mg/l, Afán & Flores (2015), el principal riesgo del plomo es su toxicidad, la intoxicación se manifiesta en las enfermedades profesionales, inhalado y depositado en el sistema respiratorio bajo, se absorbe por completo, alteran la fisiología de los huesos, la sangre, los riñones, el hígado y el cerebro y los dientes (Repetto & Repetto, 2009), los valores de plomo en agua que superan lo indicado por las normas vigentes, serían potenciales tóxicos en especies vegetales especialmente en plantas sensibles (Hernández, 2001), los principales procesos fisiológicos afectados por la fitotoxicidad del Pb son la

actividad enzimática, la nutrición mineral, el potencial hídrico, el estatus hormonal, la estructura de la membrana y el transporte de electrones. A altas concentraciones de Pb, ocurre una inhibición de crecimiento de la raíz y del mismo modo a bajas concentraciones de Pb, existe una mayor sensibilidad en el desarrollo y extensión de la raíz principal. Debido a esto, se dice que la inhibición del crecimiento radicular bajo toxicidad con Pb puede ser un resultado de la inhibición de la división celular de la raíz (Vargas *et al.*, 2007).

Recuentos de bacterias coliformes totales y termotolerantes presentan las muestras de aguas superficiales y subterráneas de la comunidad Suches

Los recuentos de coliformes totales se determinaron entre 29.00 y 246.67 NMP/100 ml con coeficientes de variación que oscilaron entre 15.03% y 35.94%, los valores superan los valores permitidos por el Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua (D. S. 004-2017- MINAM) para las categorías A1 agua que pueden ser potabilizadas con desinfección (50 NMP/100 ml), mientras que para las categorías D1 para riego de vegetales y D2 para bebida de animales no aplican, el análisis de varianza mostró que los puntos de muestreo, presentaron diferencia estadística significativa ($p<0.0001$), (Figura 3).

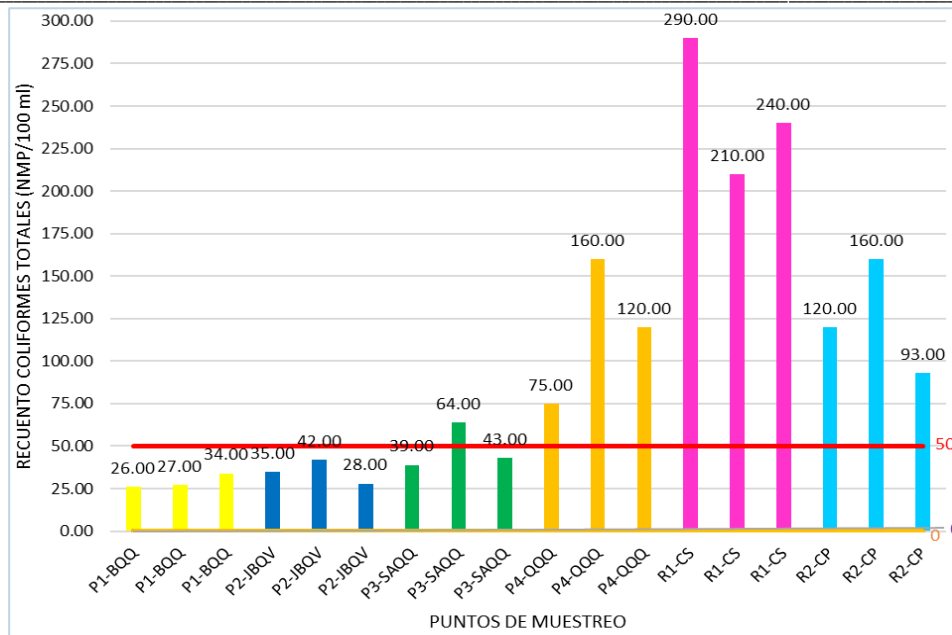


Figura 3. Valores de contenido de coliformes totales según normatividad, de muestras de agua colectadas en el río Coata y sus fuentes de agua aledañas en la C.C. Suches (línea roja categoría A1, categoría D1 y categoría D2 no aplican).

Los valores de coliformes totales fueron inferiores a los reportados por Quispe (2010), quien, en la ciudad de Aplao – Arequipa, obtuvo valores de coliformes totales de 4200 NMP/100 ml; a los reportados por Calsín (2016), quién en aguas subterráneas de consumo humano en el sector de Taparachi III (Juliaca) de la ciudad de Juliaca las muestras de agua presentaron valores de coliformes totales entre 438.91 – 628.91 UFC/100 ml; pero fueron similares a los citados por Oruna (2010), quien, en muestras de agua de la ciudad de Puno, obtuvo valores de coliformes totales de 0 – 200 NMP/100 ml; y a los indicados por Soto (2013), comparó el agua de pozo del mercado Bellavista y Unión Dignidad (Puno), reportó recuento de coliformes totales entre 592 y 112 NMP/100 ml.

La presencia de coliformes totales, indica la presencia de estas bacterias en el cuerpo de agua ha sido o está contaminada con materia orgánica de origen fecal, ya sea por humanos y animales; y los coliformes termotolerantes, son un indicador indirecto de riesgo potencial de contaminación con bacterias o virus de

carácter patógeno, debido a que las coliformes termotolerantes, siempre están en heces humanas y de los animales (Sierra, 2011), ya que viven en el intestino grueso, no son patógenos y su presencia permite diagnosticar el tiempo transcurrido desde la contaminación fecal (Orozco et al., 2005), su presencia en el agua es un índice evidente de contaminación fecal y por tanto la existencia de contaminación con organismos patógenos. El consumo de agua con *E. coli* patógena causa diarrea, especialmente en niños y en viajeros (Romero, 2009).

Los promedios del coliformes termotolerantes en las muestras de agua colectadas variaron entre 4.00 y 66.67 NMP/100 ml, los cuales presentaron coeficientes de variación entre 17.32% y 50.00%, los valores superaron los valores permitidos por el Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua (D. S. 004-2017- MINAM) para las categorías A1 agua que pueden ser potabilizadas con desinfección (20 NMP/100 ml) y presentaron diferencia estadística significativa ($p < 0.0001$).

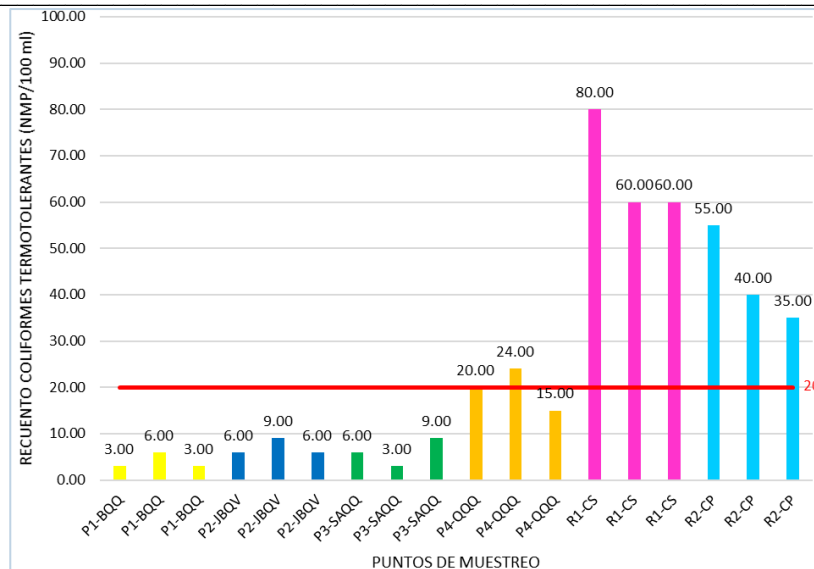


Figura 4. Valores de contenido de coliformes termotolerantes según normatividad de muestras de agua del río Coata y sus fuentes aledañas en la C.C. Suches (línea roja categoría A1).

Los valores de coliformes termotolerantes superan los valores recomendados por la norma vigente, estos fueron inferiores a los reportados por Quispe (2010), quien, en la ciudad de Aplao – Arequipa, obtuvo valores de coliformes termotolerantes de 1881 NMP/100 ml; y superiores a los citados por Oruna (2010), quien, en muestras de agua de la ciudad de Puno, obtuvo valores de coliformes termotolerantes de 0 – 7 NMP/100 ml; a los indicados por Soto (2013), comparó el agua de pozo del mercado Bellavista y Unión Dignidad (Puno), reportó recuento de coliformes termotolerantes de 112 NMP/100 ml en época lluviosa y en época seca de 9.75 NMP/100 ml; y a los publicados por Baccaro et al. (2006) quienes en Mar de Plata determinaron valores de coliformes termotolerantes en promedio de 3 NMP/100 ml.

Una muestra positiva a coliformes termotolerantes, se debe a una inadecuada cloración que presentaba el punto de muestreo, así como a la presencia de animales y letrinas (Quispe, 2005) o algún vertido que proceda de aguas residuales domésticas (Fernández & Fernández, 2007). Por otra parte, la presencia de coliformes fecales indican con un mayor grado de certeza la posible presencia de patógenos entéricos, por tanto, cuanto mayor es la población de coliformes fecales, mayor es la probabilidad que microorganismos patógenos estén presentes en el agua (Baccaro et al., 2006). Si consideramos que el agua pasa por dosificador de cloro antes de llegar al público usuario, las coliformes deberán estar ausentes. La presencia de coliformes indica que puede estar presente en las fuentes de abastecimiento, caso contrario se estaría contaminando por las tuberías de desagües o alcantarillados (Ramírez et al., 2009), ya que la contaminación por coliformes indica la ocurrencia de polución fecal y por lo tanto la contaminación de organismos patógenos (Doria et al., 2009), tal como

sucede con el río Coata el cual posee la contaminación por las aguas residuales de la ciudad de Juliaca.

Conclusiones

Los parámetros fisicoquímicos de las muestras de aguas superficiales y subterráneas de la comunidad de Suches presentaron un pH entre 7.47 – 8.23 unidades, la dureza entre 178.33 – 953.33 mg/l, la conductividad eléctrica entre 216.67 y 1284 μ S/cm, los bicarbonatos entre 56.67 y 240.00 mg/l, cloruros entre 21.69 – 500.71 mg/l, sulfatos entre 93.00 y 305.33 mg/l, nitratos entre 1.53 – 25 mg/l, arsénico entre 0.020 – 0.044 mg/l y plomo entre 0.044 – 0.089 mg/l, de los cuales los parámetros de dureza, cloruros, sulfatos, arsénico y plomo superan los valores de las normas vigentes y vendrían causando daño a los consumidores.

Los recuentos de bacterias coliformes totales oscilaron entre 29 – 246.67 NMP/100 ml y las bacterias termotolerantes variaron entre 4 – 66.67 NMP/100 ml, ambos parámetros bacteriológicos fueron superados en 3 puntos de muestreo en las muestras de aguas superficiales y subterráneas de la comunidad de Suches, y los consumidores estarían propensos a sufrir enfermedades infecciosas.

Referencias

- Afán K. & Flores V. (2015). Determinación por absorción atómica de plomo y arsénico en agua potable de viviendas del distrito Hualgayoc, Cajamarca – octubre 2017. Tesis de Químico Farmacéutico. Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad Norberth Wiener. Lima – Perú. 93 p.
- Arboleda, J. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua. Colombia: Ed. McGraw Hill. p. 31.

- Baccaro, K., Degorgue, M., Lucca, M., Picone, L., Zamuner, E. & Ancheoli, Y. (2006). Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de Mar de Plata. *Rev. Investigaciones Agropecuarias*. Argentina. Vol. 35, No. 3.
- Barrenechea, A. (2015). Aspectos físico químicos de la calidad del agua. Documento on line. Recuperado de: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomoI/uno.pdf>. Fecha de revisión: 10 de Julio del 2015.
- Belizario, S. 2002. Informe de prácticas pre – profesionales. Estación Experimental Ilpa – Puno. Laboratorio de análisis de suelos y aguas. Puno – Perú. 110 p.
- Calsín, K. (2016). Calidad física, química y bacteriológica de aguas subterráneas de consumo humano en el sector de Taparachi III de la ciudad de Juliaca, Puno – 2016. Tesis para optar el título profesional de Licenciado en Biología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú. 64 p.
- Cava, T. & Ramos F. (2016). Caracterización físico – química y microbiológica de agua para consumo humano de la localidad Las Juntas del distrito Pacora – Lambayeque, y propuesta de tratamiento. Tesis para optar el título profesional, Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque – Perú. 161 p.
- Curo M. (2017). Calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua de pozos con fines de consumo humano en el distrito de Huata – Puno, 2016. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano, Puno – Perú. 99 p.
- Cutimbo, C. (2012). Calidad bacteriológica de las aguas subterráneas de consumo humano en centros poblados menores de Yarada y los Palos del distrito de Tacna. Tesis para optar el título de Biólogo – Microbiólogo, Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna – Perú, 176 p.
- Daughton, Ch. (2004). Non-regulated water contaminants: emerging research. En: *Environ Impact Asses Rev*. Vol. 24. p. 711-32.
- Doria, C., Daza, A., Deluque, H., López, A. & Serna, J. (2009). Caracterización físico – química y microbiológica de las aguas de reservorios en los resguardos indígenas localizados en la zona de influencia del Complejo Carbonífero Cerrejón, La Guarija – Colombia. Territorios semiáridos del Caribe y Fundación Carrejón para el agua en la Guarija.
- Fernández, M. & Fernández, O. (2007). Evaluación de la calidad físico – química y bacteriológica del agua subterránea en pozos criollos del municipio de Moa. *Rev. de Minería y Geología*. Vol. 23 (4).
- González, O., Aguirre, J., Saugar, G., Orozco, L., Álvarez, G., Palacios, K. & Guevara, O. (2007). Diagnóstico de la calidad del agua de consumo en las comunidades del sector rural nor este del municipio de León, Nicaragua. *Rev. Universitas*, Vol. 1 (1).
- Guzmán G., Ramírez E., Thalasso F., Rodríguez S., Guerrero A. & Avelar F. (2011) Evaluación de contaminantes en agua y sedimentos del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes. *Rev. Universidad y Ciencia*. Vol. 27 (1): 17 – 32.
- Guzmán, G. (2011). Evaluación espacio temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes, México. México: *Rev. Int. Contam. Ambient*. Vol. 27 (2).
- Harris, C. (2007). Análisis químico cuantitativo (Segunda edición ed.). Reverte.
- Hernández A. (2001). Depuración y desinfección de aguas residuales. Quinta Edición. Editorial Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puentes. Madrid – España. 1151 p.
- Huaranga F., Méndez E., Quilcat V. & Huaranga F. (2012). Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche, 1980 – 2010, La Libertad – Perú. *Scientia Agropecuaria*. Vol. 3: 235 – 247.
- Kolpin, D. (2002). Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in US streams, 1999-2000: a national reconnaissance. En: *Environmental Science and Technology*. Vol. 36. p.1202-1211
- Kümmerer, K. (2001). Drugs in the environment: emission of drugs, diagnostic aids and disinfectants into wastewater by hospitals in relation to other sources da review. En: *Chemosphere*. Vol. 45. p. 957-969.
- Melgarejo J. (2003). Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada. Editorial Universitat. Barcelona – España. 2003.
- Meza M. (2018). Determinación de plomo y arsénico por absorción atómica en aguas de río para consumo humano provenientes de caños y reservorio en el anexo de Huancapuquio, distrito de Chocos, Provincia de Yauyos, 2017. Tesis de Químico Farmacéutico. Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad Particular Norbert Wiener. 87 p.
- Miranda, N. (2012). Tecnología de aguas y control de calidad. Puno: Facultad de Ingeniería Química. Universidad nacional del Altiplano.
- Moreno J. (2010). Recuperación de suelos mineros contaminados con arsénico mediante fitotecnologías. Tesis Doctoral. Madrid - España: Departamento de Química Agrícola, Universidad Autónoma de Madrid.
- Organización Mundial de la Salud. (2006). Guías para la calidad del agua potable primer apéndice a la tercera edición Volumen 1 Recomendaciones Organización Mundial de la Salud del año 2006.
- Orozco, C., Pérez, A., González, M., Rodríguez, F. & Alfayate, J. (2005). Contaminación ambiental. Una visión desde la química. España: Ed. Thomson.

- Oruna, C. (2010). Calidad bacteriológica, física – química del agua potable de la ciudad de Puno. Puno – Perú: Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano.
- Pascual M. & Calderon V. 2000. Microbiología alimentaria. Metodología para alimentos y bebidas. Segunda Edición. Editorial Díaz de Santos. Madrid – España. 429 p.
- Pérez E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo en la región occidental de Costa Rica. Revista Tecnología en marcha. Vol. 29 (3): 3 – 14.
- Petro, A. & Wees, T. (2014). Evaluación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua de municipio de Tubarco – Bolívar, Caribe Colombia. Tesis para optar el Título de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Tecnológica de Bolívar. Colombia. 95 p.
- Quinteros, D. & Herrera, I. (2009). Microbiología de aguas subterráneas en la región sur del municipio de Valledupar – Cesar – Colombia. Tesis para optar el Título de Microbiólogo. Facultad de Ciencias de la Salud, Programa Microbiología de la Universidad Popular del Cesar. 75 p.
- Quispe, G. (2005). Análisis de las fuentes de agua y su conservación domiciliaria en una población de Sumampa; relación con el brote de Hepatitis A. Revista de la Facultad de Medicina. Vol. 6, Suplemento No. 1.
- Quispe, H. (2010). Componentes físico – químicos e indicadores bacterianos de contaminación fecal en aguas de consumo humano de la Ciudad de Aplao, Valle de Majes, Arequipa. Puno – Perú: Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano.
- Ramírez, E., Robles, E., Sainz, G., Ayala, R. & Campoy, E. (2009). Calidad microbiológica del acuífero de Zacatepec, Morelos, México. Facultad de Estudios Superiores, Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. 25 (4) 247-255 p.
- Repetto M. & Repetto G. (2009). Toxicología fundamental. 4ª ed. España: Díaz Santos.
- Romero J. (2009). Calidad del agua. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá – Colombia. 483 p.
- Salazar, M. (2015). Calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua, en el sistema de abastecimiento para consumo humano, en la ciudad de Juliaca – 2014. Tesis para optar el título de Licenciado en Biología, Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano. Puno - Perú. 96 p.
- Sierra, R. (2011). Calidad de agua. Primera edición. Editorial Ediciones de la U. Bogotá – Colombia, 457 p.
- Soto Y. (2013). Calidad bacteriológica de agua de pozo y agua potable utilizada en los mercados de la ciudad de Puno – 2012. Tesis de Licenciado en Biología. Universidad Nacional del Altiplano.
- Stuart, M. (2012). Review of risk from potential emerging contaminants in UK groundwater. En: Science of the Total Environment. Vol. 416. p. 21
- Swartz, Ch. (2006). Steroid estrogens, nonylphenoethoxylate metabolites, and other wastewater contaminants in groundwater affected by a residential septic system on Cape Cod, MA. En: Environmental Science and Technology. Vol. 40. p. 4894-4902.
- Tapia, M. (2002). Calidad de vida en cuatro zonas del Municipio de Potosí. Bolivia.
- Terzić, S. (2008). Occurrence and fate of emerging wastewater contaminants in Western Balkan Region. En: Science of the total environment. Vol. 399. p. 66-67.
- Vargas L., Martínez M., Ortiz R. & López. J. (2007). Efecto de metales pesados sobre el crecimiento de la raíz primaria de *Arabidopsis thaliana*. Ciencia Nicolaita. p. 49.
- Vilca, C. (2011). Calidad Bacteriológica y Físico – química del agua de consumo humano en la localidad de Vilque. Puno – Perú: Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano.
- Vinelli R. (2012). Estudio analítico de nitratos en aguas subterráneas en el distrito San Pedro de Lloc. Tesis de Licenciatura en Química. Facultad de Ciencias e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Vitoria I., Maraver F., Sánchez F. & Armijo F. (2015). Contenido de nitratos de aguas de consumo público españolas. Gac. Sanit. Vol. 29 (3): 217 – 220.
- Walsh, L. & Keeney, D. (1975). Behaviour and phytotoxicity of inorganics arsenicals in soil. In W. E., ed. Arsenical Pesticides. Washington: American Chemical Society. 35 - 52 pp.
- Watanabe, N. (2010). Use and environmental occurrence of antibiotics in freestall dairy farms with manure forage fields. En: Environmental Science and Technology. Vol. 44. p. 6591-6600.
- Wilson, D., Fernández, A. & Zayas, Y. (2007). Desarrollo y validación de un método de valoración anemométrica para la determinación del ion sulfato en muestras de aguas naturales y residuales. Cuba: Rev. Cub. Qca. Vol. 19 (2).