

## **Evaluación de la calidad del agua del manantial “El Paraíso” en Santiago de Cuba**

Evaluation of the water quality of the spring “El Paraíso” in Santiago de Cuba

Leandro León-Duarte<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-2667-6802>

María de los Ángeles Arada-Pérez<sup>1\*</sup><https://orcid.org/0000-0001-9262-2066>

Liliana Vila-Torres<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-9729-2374>

Ailed Fernández-Estrada<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0001-9485-8830>

Cecilia Chibinda<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-6815-0510>

<sup>1</sup>Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

<sup>2</sup>Empresa Productora Integral de Alimentos, Guantánamo, Cuba

<sup>3</sup>Empresa de Bebidas y Licores, Santiago de Cuba, Cuba

<sup>4</sup>Universidad Politécnica de Zaire, Zaire, Angola

\*Autor para la correspondencia: [mayarada@uo.edu.cu](mailto:mayarada@uo.edu.cu)

### **RESUMEN**

En este trabajo se realizó un estudio diagnóstico de las aguas del manantial “El Paraíso”, ubicado en el poblado El Cristo, Santiago de Cuba, para evaluar su uso para el consumo humano, como fuente de abasto y actividades de riego para cultivos. Se efectuaron cinco muestreos en período de seca en los meses de octubre 2019 y febrero 2020. Posterior se hizo el análisis de la caracterización físico-químico y bacteriológico en conjunto con la interpretación de índices integradores. Los resultados reflejaron la contaminación del manantial, debido a que parámetros tales como hidrogenocarbonato, potasio, nitrato, coliformes totales, coliformes termotolerantes se encuentran por encima de la concentración máxima admisible establecida por las NC 1021:2014 y NC 827:2017. Debido a esto, no son aptas, como agua potable, aunque recomendable para el riego de cultivos y el abasto animal.

**Palabras clave:** calidad del agua; aguas subterráneas; manantial; características físico-químicas; agua potable.

## **ABSTRACT**

In this work, a study of the spring “El Paraíso”, located in the El Cristo town, Santiago de Cuba was carried out to evaluate its use by human consumption, as source of supply and irrigation activities for crops. Five samplings were carried out in the dry period of october 2019-february 2020 and subsequent analysis of the physicochemical and bacteriological results in conjunction with the interpretation of integrating indices. The results reflected the contamination of the spring since many parameters such as hydrogencarbonate, nitrate, total and termotolerant coliforms, are outside the established indices. Due to this, the spring waters are not apt like water drinkable, neither for provisioning, which is why necessary treatment according to the contamination degree, although recommended for animal consumption and watering of cultivations.

**Keywords:** water quality; groundwater; spring; physico-chemical characteristics; drinking water.

Recibido: 20/1/2022

Aprobado: 24/2/2022

## **Introducción**

Desde el comienzo de la vida, el agua ha sido esencial. Todos los seres vivos necesitan del vital líquido. Al desarrollarse la humana, esta ha estado presente en todo tipo de producción, ya sea agrícola, avícola, energética, lo que la ha convertido en un instrumento estratégico; esencial en la regulación del clima y clave para la calidad de vida y la salud humana.<sup>(1)</sup>

La fuente original de todas las aguas naturales es la lluvia. Al pasar esta a través del aire por los diferentes estratos de la tierra, va almacenando impurezas. Aunque las aguas difieren

mucho en su composición según la previa historia de su vida, las impurezas que reúne en este viaje hasta el consumidor son relativamente pequeñas.

El hombre para poder satisfacer sus necesidades hídricas, hace uso de diferentes fuentes de agua, como son los ríos, manantiales, lagos, lagunas, pozos y presas. Estas dos últimas construidas por él para poder tener fuentes del líquido en tiempos de sequías, las cuales cada vez azota más a la humanidad en muchas regiones del planeta.<sup>(2)</sup>

En el desarrollo de un país, las aguas subterráneas tienen gran importancia, debido a su uso como agua potable, fuente de abasto a objetivos económicos y sociales, y para el riego de cultivos. El agua subterránea, actualmente está siendo receptora de las consecuencias provocadas por las diferentes actividades que lleva a cabo el ser humano, lo que la ha convertido en un recurso altamente vulnerable, ya sea por contaminación o por reducción de las fuentes de abastecimiento, que disminuye los usos potenciales de la misma.<sup>(3)</sup> De aquí la importancia de la realización de estudios hidroquímicos que aborden la influencia de las características físico-químicas de las aguas y su posible efecto en la utilización en determinados sectores económicos y sociales.

Cuba ha tenido en su periodo de seca carencia de agua en zonas altamente habitadas, como su capital, provincias muy pobladas como Santiago de Cuba y Holguín; pero dentro de estas, las zonas rurales también sufren en ocasiones la carencia del líquido vital, y sus pobladores han recurrido a consumir aguas de diferentes acuíferos, sin conocer si estas están aptas para el consumo humano, abasto y actividades de riego. En este sentido se viene realizando estudios de diferentes fuentes de agua <sup>(4-11)</sup> y sus implicaciones medioambientales en disímiles aspectos.

El consumo de las aguas varía según el tipo de actividad para lo cual se emplea. La utilización para consumo doméstico, tiene en cuenta la higiene personal, lavado de utensilios, cocina, bebida, lavado de autos, riego de jardines, entre otros.

Se establecieron diferentes niveles adecuados de índices de calidad para evaluar las aguas de las que hace uso el hombre, elaborados por un Comité Técnico de Normalización: Norma de Agua Potable- Requisitos Sanitarios <sup>(12)</sup>, la de Higiene Comunal- Fuentes de abastecimiento de agua- calidad y protección sanitaria <sup>(13)</sup>, y la de Calidad del agua para preservar el suelo. Especificaciones.<sup>(14)</sup> Estas normas son las utilizadas en esta investigación.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar los indicadores de calidad de las aguas del manantial “El Paraíso”, ubicado en el poblado El Cristo, Santiago de Cuba para establecer los posibles usos de la misma como agua potable, para abasto de la población y animal, así como

para el riego de cultivos y establecer las medidas para alcanzar los niveles adecuados de los parámetros de calidad para el consumo humano, abasto y actividades de riego.

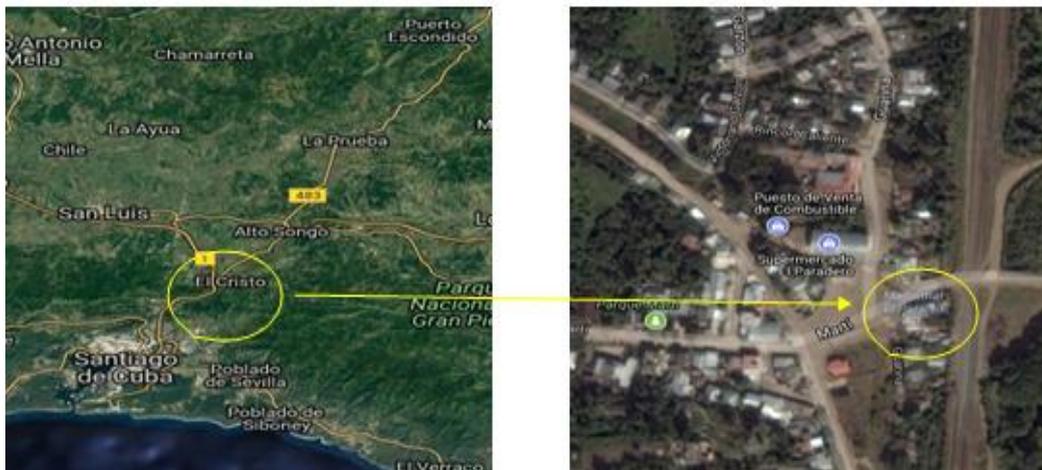
## Materiales y métodos

La experimentación se desarrolló con materiales y equipos de los laboratorios de la UEB ENAST, Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos, Las Tunas. Todos los reactivos utilizados son puro para análisis.

Los procedimientos y técnicas que se emplearon fueron los establecidos para estos estudios. Se llevó a cabo la calibración de los equipos utilizados. Se realizaron las curvas con sustancias patrones, necesarias para aquellos parámetros que establecen las Normas empleadas para evaluar la calidad de las aguas analizadas. Todos los reactivos utilizados en la realización de la investigación son de calidad para análisis.

### Ubicación y características de la estación de muestreo

El manantial “El Paraíso” se encuentra ubicado al noroeste de la provincia de Santiago de Cuba, según se puede observar en la figura 2.1. La zona donde se localiza se caracteriza por tener un clima tropical húmedo, con períodos de lluvia frecuente. Durante casi todo el año la temperatura del aire oscila entre 23 y 29°C, el suelo es pardo sin carbonatos.<sup>(15)</sup>



**Fig. 1-** Imagen satelital de la zona de estudio. Señalado en amarillo la ubicación de la zona donde se localiza el manantial objeto de estudio

Alrededor del manantial se encuentran casas que tienen fosas sépticas, esta zona no cuenta con alcantarillado por lo que las aguas domésticas son vertidas directamente en la tierra. En periodos de sequía el agua es utilizada como agua potable, para el lavado de ropa y utensilios y también en el lavado de corrales y en el riego de sembradíos cercanos.

### **Colección de las muestras**

Se realizaron cinco muestreos en período de seca, en los meses de octubre 2019 – febrero 2020. Se tomaron muestras por triplicado. Para recolectar las muestras se utilizaron envases de plástico de 1,5 L y 240 mL de capacidad, lavados previamente con agua destilada y  $\text{HNO}_3$  (1:1). La toma y conservación de las mismas, se realizó mediante la metodología establecida en el Standard Methods.<sup>(16)</sup> La temperatura se determinó “in situ”. La toma de muestra se realizó a 30 cm de la superficie de la columna de agua.

### **Análisis fisicoquímico**

#### **Parámetros determinados**

Se midió el pH y la conductividad eléctrica (CE), por medida directa con equipos destinados a este fin, y mediante análisis de laboratorios se determinó el nivel de Sales Solubles Disueltas(SSD),  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , Coliformes Totales (CT) y Termotolerantes (CTT) y se calcularon los indicadores: Relación de Absorción de Sodio (RAS), Relación de Absorción de Sodio ajustada (RAS ajust), Salinidad Efectiva (SE) y Carbonato Sódico Residual (CSR) como especifica la norma cubana de preservación del suelo.<sup>(14)</sup>

Para la evaluación de la calidad del agua se tomaron como referencia las normas cubanas de agua potable <sup>(12)</sup>, abasto a la población <sup>(13)</sup> y, en relación al uso agrícola se utilizaron los criterios de la norma cubana de preservación del suelo <sup>(14)</sup> y de la publicación FAO.<sup>(17)</sup>

## **Métodos de Interpretación y Tratamiento de Resultados**

## Análisis estadístico

Se empleó el tabulador matemático Microsoft Excel, 2016.<sup>(18)</sup> Como medida de la tendencia central se consideró la media y como medida de dispersión, el coeficiente de variación, calculadas con el software Statgraphics Centurion versión 15.0.<sup>(19)</sup>

## Resultados y discusión

### Caracterización fisicoquímica de las aguas estudiadas para consumo humano

Como resultados de los análisis químicos y los parámetros bacteriológicos realizados a las muestras obtenidas, se alcanzaron los datos ofrecidos en las tablas 1 y 2.

Como se puede observar los  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , están por debajo del nivel máximo permitido por la NC 827:17, por lo que no constituyen problema alguno de riesgo; excepto el  $\text{NO}_3^-$  que si supera el valor máximo permitido por norma. El contenido de los otros iones determinados no son reportados en la norma. Vale destacar, de ellos, el valor muy alto obtenido (respecto a los otros iones) para el  $\text{HCO}_3^-$ ; además el valor obtenido para  $\text{K}^+$  (1,31 mg/L), independientemente de que no esté reportado en la norma empleada, es un valor de concentración superior al nivel máximo permisible para aguas de diversos usos según normativas internacionales (1 mg/L).<sup>(20)</sup> Por tanto, su presencia en estas aguas indica contaminación de las mismas.

En la tabla 1 se muestran los valores medios y el coeficiente de variación obtenidos de los resultados para los diferentes parámetros químicos estudiados. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

**Tabla 1-** Resultados del Análisis Químico

	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	Na <sup>+</sup> (mg/L)	K <sup>+</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)
<b>Media</b>	0,6	418,8	44,96	25,15	106,3	7,92	43,17	1,31	46,3
<b>CV (%)</b>	5,2	0,6	5,2	3,8	4,8	1,5	3,6	1,7	4,5
<b>NC 827:17</b>	NR	NR	250	400	200	150	NR	NR	45

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos del cálculo de los índices o indicadores empleados en esta investigación, así como del análisis bacteriológico realizado.

**Tabla 2-** Indicadores calculados y parámetros bacteriológicos

<b>pH</b>	<b>CE</b> (dS/m)	<b>SSD</b> (mg/L)	<b>RAS<sub>ajust</sub></b> (mmol/L) <sup>0,5</sup>	<b>SE</b> (mmol/L)	<b>CSR</b> (mmol/L)	<b>CT</b> (NMP/100 mL)	<b>CTT</b> (NMP/100 mL)
8.0	0,81	362,5	3,46	1,9	0,92	42	17,5

### **Evaluación de la calidad del agua para consumo humano**

El valor de coliformes totales y termotolerantes (tabla 2) sobrepasa el límite establecido por la norma para agua potable <sup>(12)</sup> y es el riesgo más grave para la salud humana relacionado con la calidad del agua de beber, derivado de la contaminación microbiológica, particularmente la fecal. La presencia de coliformes totales y termotolerantes (fecales) son elementos que aparecen fundamentalmente por el incorrecto tratamiento de los residuales, tanto domésticos como animales.

La presencia elevada de nitratos (tabla 1) indica, fundamentalmente, contaminación albañal no reciente. Los valores superan el valor máximo permisible según las normas de agua potable y de abasto, considerándose según esta clasificación aguas de mala calidad.

Debido al contenido de hidrogenocarbonato, estas aguas se clasifican como aguas de alcalinidad muy fuerte y muy contaminada. También poseen carácter incrustante.<sup>(21)</sup> El

predominio en estas aguas del ion hidrogenocarbonato con respecto al carbonato, está relacionado con los valores de pH que posee, menores de 8 unidades.

### Evaluación de la calidad del agua para riego

La evaluación de la calidad del agua se regirá, como indica la norma cubana de preservación del suelo (14), mediante la valoración de los indicadores de requisitos técnicos de su composición que determinará la clasificación y posibilidades de uso de la misma en 3 categorías: Superior (**Calidad I**), Primera (**Calidad II**) y Segunda (**Calidad III**). La calidad del agua está en dependencia las propiedades físicas e hidrofísicas de los suelos y tipo de cultivos en los que va a incidir.

El suelo predominante en el área estudiada, según la norma cubana de preservación del suelo, clasifica en el sub tipo V (Pardo sin carbonatos) y los cultivos más comunes son: frijol, boniato, plátano, lechuga y calabaza. La tabla 3 resume los indicadores de evaluación de la calidad del agua para riego según el tipo de suelo.<sup>(14)</sup>

**Tabla 3-** Rango de indicadores de calidad del agua para suelos de subtipo V

Agrupaciones		U.M.	Calidad I	Calidad II	Calidad III
Conductividad eléctrica (CE)		(dS/m)	< 0,62	0,62 a 1,33	1,34 a 2,00
Sales solubles disueltas (SSD)		(mg/L)	< 400	400 a 850	851 a 1 300
RAS ajustada		(mmol/L) <sup>0,5</sup>	< 6	6 a 8	8,1 a 9
Salinidad efectiva (SE)		(mmol/L)	< 7	7 a 10	11 a 15
Na <sup>+</sup> (riego superficial)		(mmol/L)	< 3	3 a 6	7 a 9
Cl(riego superficial)	S	(mmol/L)	< 2	2 a 5	5,1 a 10
	ST		< 3	3 a 6	6,1 a 10
	T		< 4	4 a 7	7,1 a 10
Carbonato sódico residual (CSR)		(mmol/L)	< 1,25	1,25 a 1,87	1,87 a 2,50

Leyenda: (S) sensibles, (ST) semitolerantes, (T) tolerantes

Los valores de CE obtenidos reflejan un riesgo potencial de salinizar el suelo de manera creciente ocasionando problemas de permeabilidad e infiltración provocando la degradación

del mismo. La misma presenta calidad tipo II por lo que no deben descuidarse las labores agrotécnicas o medidas de mejoramiento específicas que permitan mantener las características de los suelos regados con el agua estudiada. Pero las aguas no presentan limitaciones para el riego de cultivos sensibles como, frijol y boniato, y no afectan el rendimiento de los cultivos semitolerantes y tolerantes tales como, lechuga y calabaza.

En la Tabla 4 se muestran los indicadores de calidad del agua para consumo animal a partir de la CE, según Ayers y Westcot, 1987.<sup>(17)</sup>

**Tabla 4-** Calidad del agua para el ganado <sup>(22)</sup>

<b>CE(dS/m)</b>	<b>&lt;1,5</b>	<b>1,5-5,0</b>	<b>5,0-8,0</b>	<b>8,0-11,0</b>	<b>11,0-16,0</b>	<b>&gt; 16,0</b>
<b>Clase</b>	1	2	3	4	5	6

**Leyenda:** 1. Excelente; 2. Muy satisfactoria; 3. Satisfactoria; 4. De uso limitado; 5. De uso muy limitado; 6. No recomendable

El valor obtenido de CE de 0,81 dS/m (tabla 2) permite demostrar que según este parámetro es posible clasificar el agua estudiada, como excelente para ser empleada para bebida animal.

En la tabla 5 se muestra una clasificación del agua para bebida animal según el contenido de diversos iones; además de los resultados de los mismos obtenidos en esta investigación (P\*).

**Tabla 5-** Calidad de agua para bebida animal <sup>(22)</sup>

<b>Determinación</b>	<b>P*</b>	<b>Muy buena</b>	<b>Buena</b>	<b>Regular</b>	<b>Mala</b>
<b>Cloruros (Cl<sup>-</sup>) (mg/L)</b>	44,96	1 000-2 000	< 1 000	< 2 000	> 1 000
<b>Sulfatos SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (mg/L)</b>	25,15	< 600	< 600	600-2 000	> 2 000
<b>Calcio (Ca<sup>2+</sup>) (mg/L)</b>	106,3	> 60	> 60	< 120	> 30
<b>Magnesio (Mg<sup>2+</sup>) (mg/L)</b>	7,92	< 30	< 30	<90	> 60
<b>Relación (Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup>)</b>	13,4	> 2	> 2	1-2	< 2
<b>Sales solubles (mg/L)</b>	362,5	2 000-3 000	< 3 000	< 4 000	> 4 000

**Leyenda:** \* Parámetros

La calidad de agua investigada en el pozo es de muy buena a buena, según la clasificación propuesta para ser usada en bebida animal.<sup>(22)</sup>

## Conclusiones

Las aguas del manantial estudiado no son aptas para ser utilizadas como agua potable, ni para ser destinadas para abasto. Es necesario realizar un tratamiento de tipo convencional o especial según el grado de contaminación que presentan. Las mismas no muestran problemas de calidad para el riego de cultivos, ni para el abasto animal y, a pesar que no es necesario un plan de medidas, las mismas son recomendables para evitar el posible deterioro del suelo.

## Referencias bibliográficas

1. BUENO DE MEZQUITA, M. "No desperdiciar ni una gota de agua", *Revista de Agroecología Leisa*. 2003, **19** (3), 4. ISSN: 1729-7419.
2. CODINA, J. "Las aguas subterráneas: una visión social. El caso de la Comunidad del Delta del Llobregat". *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales* (España). Madrid. 2004, **98** (2), 323–329. ISSN 1579-1505.
3. SARDIÑAS, S. y col. "Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba)". *Revista Hig. Sanid. Ambient.* 2006, (6),202-206. ISSN 1579-1734.
4. LÓPEZ, C. y col. "Influencia del embalse Parada en la calidad del agua del Rio Cobre". *Revista Cubana de Química*, 2002, **14** (3), 24-33. ISSN: 2224-5421.
5. PÉREZ-GÓMEZ, L. M. "Calidad del agua subterránea en el municipio Jimaguayú". *Revista Ingeniería Agrícola*, 2019, **9**, (3), 3-9. ISSN-2306-1545.
6. CHIBINDA, C. y col. "Caracterización por métodos físico-químicos y evaluación del impacto cuantitativo de las aguas del Pozo la Calera". *Revista Cubana de Química*, 2017, **29** (2), 303-321. ISSN 2224-5421.

7. MIGUEL-FERNÁNDEZ, C. y VÁZQUEZ-TASET, Y. “Origen de los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas. *Minería y Geología*. 2006, **22**(3), 10-19. ISSN: 0258-8959
8. CISNEROS, E. y col. “Efecto de los polímeros en la economía del agua”. *Revista Ingeniería Agrícola*, 2020, **10** (1), 21-27. ISSN-2306-1545
9. ARADA, M. Á. y col. “Determinación de la incertidumbre en la medición de la determinación de nitrato con electrodo selectivo a iones”. *Afinidad*. 2020, LXXVII, 591, 215- 221. ISSN 0001-9704
10. ARADA, M. Á. y col. “Evaluación de metales pesados e impacto ambiental en los pozos “Rive Fuente” y “Bárbara” del poblado El Cobre”. *Revista Cubana de Química*, 2018, **30** (1), 68-76. ISSN 2227-5421.
11. ARADA, M. Á. y col. “Determination of nitrate in drinking water by ion-selective electrode”. *Revista Cubana de Química*, 2003, **XV** (3), 8-13. ISSN 2227-5421.
12. NC 827: 17: “Agua Potable- Requisitos Sanitarios”. *Normas de Calidad de agua*. NC 827: 2017, La Habana, Cuba, Vig de 2017.
13. NC 1021: 14: “Higiene comunal- fuentes de abastecimiento de agua- calidad y protección sanitaria”. *Normas de Calidad del agua*. NC 1021:2014, La Habana, Cuba, Vig de 2014.
14. NC 1048:14: “Calidad del agua para preservar el suelo. Especificaciones”. *Normas de Calidad del agua*. NC 1048:2014, La Habana, Cuba, Vig de 2014.
15. HERNÁNDEZ, A. “Propuesta de clasificación de suelos de Cuba sobre la base de resultados edafológicos internacionales y nacionales”. Tesis Doctoral. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Mayabeque, Cuba, 2015. Disponible en: <http://beduniv.reduniv.edu.cu/index.php?page=13&id=1436&db=1html>.
16. APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 2<sup>nd</sup> Edition. American Public Health Association, Washington, 2012. ISBN 978-087553-013-0
17. AYERS, S. R. y WESTCOT, D. W. *La calidad del agua en la Agricultura*, Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, Italia, 1987. ISBN: 92-5-302263-9.
18. Microsoft Excel, 2016 Microsoft Excel, Microsoft Office, Microsoft Corporation, 2016.
19. Statgraphics Centurion, X.V.I. *Statpoint Technologies*. INC. version, 16, 17. 2009.

20. MANAHAN, S. E. *Fundamentals of Enviromental Chemistry*. 3<sup>rd</sup> Edition, CRC Press, USA. 2008. ISBN 13: 978-1420052671.
21. SNOEYINK, V. L. y JENKINS, D. *Química del agua*. Ed. Limusa, México, 2004. ISBN 978-968-18-1608-7.
22. BONEL, J. y AYUB, G. “Método para determinar la calidad de agua para bebida de bovinos y recomendaciones para el ganadero”. *Rev. Arg. Prod. Animal*, 1985,4 (3), 45-48, ISSN 0326-0550.

### **Declaración del conflicto de intereses**

Los autores expresan que no hay conflictos de intereses en el manuscrito presentado.

### **Contribución de los autores**

Leandro León Duharte: Revisión y aprobación de la versión final del trabajo.

María de los Ángeles Arada Pérez: Revisión y aprobación de la versión final del trabajo.

Liliana Vila Torres: Participación activa en la discusión de los resultados.

Ailed Fernández Estrada: Participación activa en la discusión de los resultados.

Cecilia Chibinda: Revisión y aprobación de la versión final del trabajo.