

**Determinación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del Manantial La Manzanilla, Michiquillay –
La Encañada, Cajamarca**

**Determination of the physicochemical and bacteriological quality of La Manzanilla Spring, Michiquillay
– La Encañada, Cajamarca**

Ramiro Salazar Salazar^{1*}, Augusto Chavez Correa¹, Jorge Lezama Bueno¹, Casimiro Paico Cusquisibán¹

¹Facultad de Educación, Universidad Nacional de Cajamarca, Av. Atahualpa 1070, C.P. 06003, Cajamarca, Perú

* Autor de correspondencia: rsalazar@unc.edu.pe

Resumen

La investigación aborda dos aspectos fundamentales: las propiedades fisicoquímicas y la presencia de bacterias en el agua. En cuanto a las propiedades fisicoquímicas, se examinan parámetros como la acidez, alcalinidad, dureza, conductividad eléctrica, entre otros. Estos factores son indicativos de la composición química del agua y su capacidad para satisfacer las necesidades humanas sin representar riesgos para la salud. La evaluación bacteriológica se enfoca en identificar la presencia de microorganismos patógenos que podrían causar enfermedades. Se emplean técnicas especializadas para detectar la posible contaminación microbiológica del manantial. Los resultados de estas pruebas son cruciales para determinar si el agua es apta para el consumo humano sin representar un riesgo para la salud. Este estudio no solo contribuye a la protección de la salud de la población local, sino que también puede tener implicaciones más amplias para la gestión sostenible del recurso hídrico en la región. Los datos recopilados proporcionarán información valiosa para las autoridades locales y los responsables de la toma de decisiones en términos de políticas de agua y medidas de conservación. En conclusión, la investigación sobre la calidad del agua en el manantial La Manzanilla en Michiquillay es esencial para garantizar la seguridad hídrica y la salud de la comunidad. Los resultados obtenidos pueden tener un impacto significativo en la formulación de políticas y prácticas de gestión del agua en la región de Cajamarca, promoviendo así el bienestar de la población y la conservación sostenible de este recurso vital.

Palabras clave: calidad del agua, evaluación bacteriológica, gestión sostenible del agua, propiedades fisicoquímicas

Abstract

The research addresses two fundamental aspects: the physicochemical properties and the presence of bacteria in the water. Regarding physicochemical properties, parameters such as acidity, alkalinity, hardness, electrical conductivity, among others, are examined. These factors are indicative of the chemical composition of the water and its ability to meet human needs without posing risks to health. Bacteriological assessment focuses on identifying the presence of pathogenic microorganisms that could cause diseases. Specialized techniques are employed to detect potential microbiological contamination of the spring. The results of these tests are crucial to determine if the water is suitable for human consumption without posing a risk to health. This study not only contributes to the protection of the health of the local population but may also have broader implications for the sustainable management of the water resource in the region. The collected data will provide valuable information for local authorities and decision-makers in terms of water policies and conservation measures. In conclusion, research on the water quality in the La Manzanilla spring in Michiquillay is essential to ensure water safety and community health. The obtained results can have a significant impact on the formulation of water management policies and practices in the Cajamarca region, thus promoting the well-being of the population and the sustainable conservation of this vital resource.

Key words: bacteriological assessment, physicochemical properties, quality of water, sustainable water management

Introducción

La determinación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica de un manantial con influencia minera es un tema de crucial importancia en la actualidad, dado el creciente impacto de la actividad minera en los recursos hídricos. Este análisis se centra en comprender los desafíos y las implicaciones asociadas con la presencia de componentes minerales en fuentes de agua natural.

Desde el punto de vista fisicoquímico, la influencia minera puede introducir una variedad de elementos como metales pesados, cianuro y sulfuros, que afectan la composición química del agua. La acidez, alcalinidad, dureza y conductividad eléctrica son parámetros críticos a evaluar en este contexto. La exposición a altas concentraciones de metales pesados, como el plomo, el arsénico o el mercurio, puede tener consecuencias perjudiciales para la salud humana y el ecosistema acuático.

La evaluación bacteriológica también cobra relevancia, ya que la presencia de sustancias minerales puede crear un entorno propicio para el desarrollo de microorganismos patógenos. Esto plantea riesgos significativos para la salud, ya que las comunidades que dependen de estos manantiales podrían estar expuestas a

enfermedades transmitidas por el agua.

La síntesis de información revela la necesidad crítica de implementar protocolos de monitoreo exhaustivos en áreas con influencia minera. Estos deben incluir métodos de muestreo especializados y técnicas analíticas avanzadas para evaluar la presencia y concentración de sustancias químicas y bacterias. La colaboración entre entidades gubernamentales, empresas mineras y comunidades locales es esencial para garantizar una gestión sostenible de los recursos hídricos y proteger la salud de las poblaciones afectadas.

El estudio en cuestión representa una contribución esencial para evaluar la calidad del agua que utilizan los residentes de la zona baja del sector Michiquillay, específicamente en el distrito de La Encañada. El principal objetivo fue determinar tanto la calidad fisicoquímica como microbiológica del manantial La Manzanilla, ubicado en el distrito de La Encañada, perteneciente a la provincia de Cajamarca, en la región homónima de Cajamarca.

Materiales y métodos

Material Biológico

El estudio utilizó muestras de agua como material biológico, recolectadas del manantial La Manzanilla en el sector Michiquillay, distrito de La Encañada, Cajamarca.

Material Químico

Se empleó un kit Merck que incluía reactivos para analizar aluminio (Al) y hierro (Fe), junto con hidróxido de sodio. El material de vidrio utilizado comprendía fioles de 100 mL, pipetas de 1,5 y 10 mL, termómetros, tubos de ensayo, varillas de agitación y vasos de precipitación de 250 mL.

Equipos

El proceso contó con el soporte de una balanza analítica digital, un espectrofotómetro de absorción atómica, un pH-metro y un conductímetro.

Método

La población bajo estudio abarcó las aguas subterráneas en el sector La Manzanilla de Michiquillay, distrito La Encañada, Cajamarca. Las muestras se tomaron conforme al Protocolo de Monitoreo de DIGESA, remontando a 1 L. Se siguieron métodos normalizados para el análisis de agua, específicamente los descritos por la American Public Health Association (APHA), la American Water Works Association (AWWA) y la Water Pollution

Control Federation (WPCF). Además, se implementaron métodos conforme a la Ley de Recursos Hídricos y la Ley General del Ambiente, garantizando así la aplicación de estándares reconocidos y la conformidad con regulaciones ambientales nacionales.

Resultados y discusión

Se llevó a cabo un análisis de la calidad inicial del agua subterránea procedente del Manantial La Manzanilla, ubicado en el Sector Michiquillay, distrito de La Encañada, Cajamarca. Al contrastar los resultados obtenidos en el laboratorio con los parámetros establecidos por el Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-SA, Anexo 11: Límites Máximos Permisibles de Calidad Organoléptico, Microbiológicos y Parasitológicos), se verificaron los valores conforme se detalla en la Tabla 1.

El análisis de las muestras de agua se efectuó en el laboratorio de química de la Universidad Nacional de Cajamarca. Para llevar a cabo este proceso, se utilizó el espectrofotómetro Merck SQ118, ubicado en el laboratorio de química de la Escuela de Ingeniería Ambiental. Cabe destacar que, para las muestras líquidas, las lecturas fueron reportadas en miligramos por litro (mg/L). Este enfoque permitió una evaluación precisa de los niveles de diversos componentes, asegurando así una comparación detallada con los estándares regulatorios establecidos para garantizar la calidad del agua destinada al consumo humano.

Tabla 1. Resultados de los análisis fisicoquímicos

ÉPOCA			ÉPOCA SECA				ÉPOCA LLUVIOSA			
MES			Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Parámetro	LMP	Unidad								
pH	6,5-8,5	pH	7,80	8,29	8,19	7,9	8,08	7,99	8,16	7,29
C.E	1500	uS/cm	660	882	998	972	608	489	484	434
Turbidez	5	UNT	2,1	1,4	2,9	2,8	3	2,1	2	3
S.T.D.	1000	mg/L	600	635	609	700	400	300	391	208
Cloruros	250	mg/L	20	39	31	26	35	23,2	21	22,4
Nitratos	50	mg/L	0,4	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1
Hierro	0,3	mg/L	0,025	0,028	0,026	0,022	0,015	0,024	0,011	0,013
Aluminio	0,2	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

pH

En los datos obtenidos del parámetro pH, se registró una mayor concentración en agosto y octubre, con valores de 8,29 y 8,27, respectivamente. En esos meses, el agua se caracteriza por ser alcalina, dado que en la zona se producen lluvias que arrastran consigo carbonatos y bicarbonatos (HCO_3^- , CO_3^{2-}) o debido a la presencia de rocas carbonatadas. Por este motivo, se les denomina aguas naturales (Figura 1).

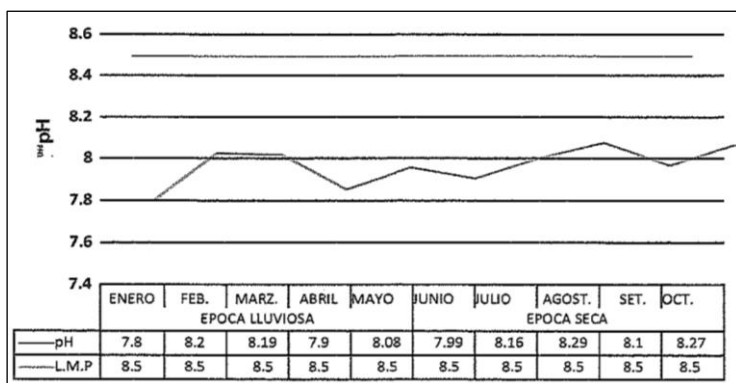


Figura 1. Valores de pH de acuerdo a la época del año

Conductividad eléctrica

La concentración máxima de la conductividad eléctrica en el manantial fue de 998 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el mes de marzo. Al comparar este valor con la normativa de la ECA Nacional, se puede afirmar que la conductividad se encuentra considerablemente por debajo del estándar establecido, una tendencia que se mantiene a lo largo de todos los meses del año (Figura 2).

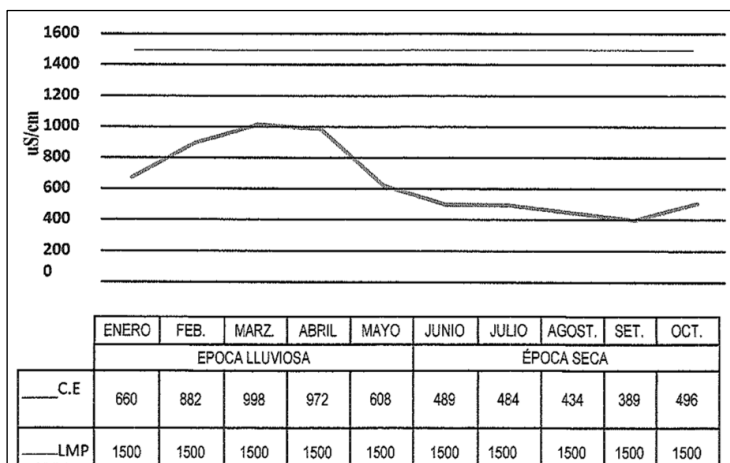


Figura 2. Concentración de la conductividad eléctrica

Turbidez

La concentración máxima de turbidez alcanza los 3 UNT en los meses de mayo y agosto, sugiriendo la posible presencia de partículas en suspensión. En contraste, se registra un valor mínimo de 1,4 UNT en febrero. Es relevante destacar que todos estos valores se sitúan por debajo de los límites máximos permitidos según la normativa de la ECA Nacional (Figura 3).

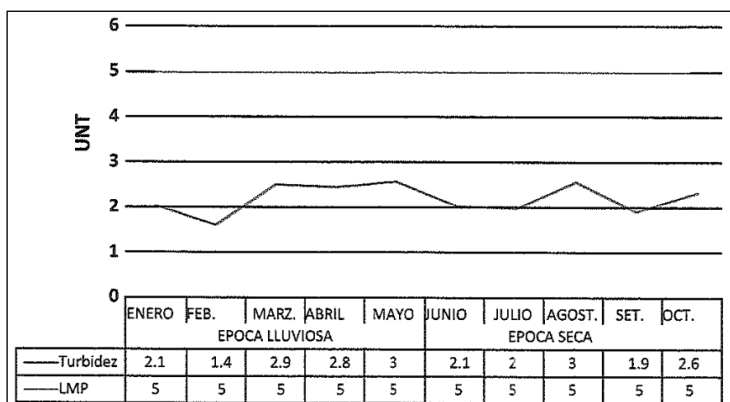


Figura 3. Concentración de la conductividad eléctrica

Sólidos Totales Disueltos

Los sólidos totales disueltos (STO) muestran valores elevados, alcanzando 635 y 700 mg/L en febrero y abril, respectivamente. En contraste, el mes de agosto presenta el valor mínimo de 300 mg/L. Aunque estos datos indican una aptitud para el consumo humano con tratamiento simple, ya que se sitúan por debajo del límite máximo permitido establecido por la ECA Nacional (Tabla 2).

Tabla 2. Concentración de sólidos totales disueltos

	ÉPOCA LLUVIOSA					ÉPOCA SECA				
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct
S.T.D.	600	635	609	700	400	300	391	208	300	442
LMP	1000									

Cloruros

Los cloruros alcanzan su valor máximo de 39 mg/L en febrero, mientras que el mínimo se registra en 20 mg/L. En base a este parámetro, el agua demuestra ser apta para el consumo humano con tratamiento simple, al presentar un contenido por debajo de los límites establecidos (Tabla 3).

Tabla 3. Concentración de cloruros

	ÉPOCA LLUVIOSA					ÉPOCA SECA				
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct
Cloruros	20	39	31	26	35	23,2	21	22,4	30	25
LMP	250									

Sulfatos

La concentración máxima de sulfatos se registra en febrero con 35 mg/L, mientras que el valor mínimo es de 24 mg/L en octubre. Todos estos valores están por debajo del estándar establecido, lo que indica que el agua es apta para el consumo humano según este parámetro (Tabla 4).

Tabla 4. Concentración de sulfatos

	ÉPOCA LLUVIOSA					ÉPOCA SECA				
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct
Sulf	30	35	32	28	34	28	25	28	26	24
LMP	250									

Nitratos

Las concentraciones de nitratos en todos los meses se sitúan muy por debajo del límite establecido, con un valor máximo de 0,4 mg/L en enero y un valor mínimo de 0,1 mg/L en abril, mayo y agosto. De acuerdo con este parámetro, el agua se considera apta para el consumo humano (Tabla 5).

Tabla 5. Concentración de nitratos

	ÉPOCA LLUVIOSA					ÉPOCA SECA				
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct
NO₃	0,4	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3
LMP	50									

Hierro

Durante la época de lluvias, la concentración máxima de hierro es de 0,028 mg/L en el mes de febrero, y una concentración mínima de 0,011 mg/L en el mes de julio, en la época seca. Por lo que las concentraciones de hierro se encuentran por debajo del límite máximo permisible de 0,3 mg/L establecido (Tabla 6).

Tabla 6. Concentración de hierro

	ÉPOCA LLUVIOSA					ÉPOCA SECA				
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct
NO₃	0,025	0,028	0,026	0,022	0,015	0,024	0,011	0,013	0,015	0,015
LMP	0,3									

Análisis microbiológico

Los valores obtenidos de los coliformes totales y coliformes fecales sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos en la ECA nacional, lo que indica que el manantial contiene microorganismos patógenos. En su estado natural, el agua del manantial no es apta para el consumo humano, ya que puede causar efectos negativos en la salud, como infecciones y enfermedades gastrointestinales (Tabla 7).

Tabla 6. Evaluación de la calidad bacteriológica para coliformes totales y coliformes fecales

Nro.	Periodo	Coliformes	Coliformes	Normas de	Calidad Bacteriológica –
		Totales UFC/100 mL	Fecales UFC/100 mL	Calidad UFC/100 mL	Coliformes Totales (Apta – No Apta)
1	Enero	1200	1000	0 (*)	No Apta
2	Febrero	1540	1120	0 (*)	No Apta
3	Marzo	1760	1060	0 (*)	No Apta
4	Abril	980	900	0 (*)	No Apta
5	Mayo	720	820	0 (*)	No Apta
6	Junio	630	615	0 (*)	No Apta
7	Julio	880	650	0 (*)	No Apta
8	Agosto	470	642	0 (*)	No Apta
9	Setiembre	610	520	0 (*)	No Apta
10	Octubre	700	514	0 (*)	No Apta

En los análisis de los coliformes totales, se observaron valores máximos en el mes de marzo, alcanzando 1 760 UFC/100mL, mientras que los valores mínimos se registraron en agosto, con 470 UFC/100mL. Estos resultados sugieren una disminución de bacterias coliformes totales durante la época seca, posiblemente debido a la carencia de micronutrientes.

En cuanto a los coliformes fecales, se registraron valores máximos en febrero, alcanzando 1 120 UFC/100mL, y valores mínimos en octubre, con 514 UFC/100mL. La variación en las concentraciones se atribuye a las épocas de lluvia y seca. Este patrón indica que las condiciones climáticas pueden influir significativamente en la presencia de coliformes fecales en el manantial.

Conclusiones

Los análisis fisicoquímicos realizados en las aguas del manantial La Manzanilla, incluyendo parámetros como pH, conductividad eléctrica, turbidez, cloruros, sulfatos, hierro y aluminio, revelaron que no hay evidencia de contaminación fisicoquímica, ya que sus concentraciones se encuentran considerablemente por debajo de los

estándares de la ECA Nacional. Sin embargo, se identificó presencia de contaminación bacteriológica. Se sugiere implementar medidas de protección para el manantial, como evitar el contacto con la escorrentía superficial durante las lluvias, restringir el acceso de animales y prevenir el contacto con residuos o partículas en suspensión transportados por los vientos. Asimismo, se insta a continuar con muestreos de agua más frecuentes para establecer una línea de base más sólida y obtener información más precisa sobre los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos. Es recomendable ampliar el monitoreo de la calidad del agua, incluyendo la evaluación de más parámetros y la presencia de metales pesados. Además, se propone gestionar capacitaciones en la administración, operación y mantenimiento de sistemas de agua potable por gravedad, con el objetivo de mejorar el suministro del servicio y salvaguardar la infraestructura hidráulica.

Referencias

Auquilla, R.C., Astorga, Y., & Jiménez, F. (2006). Influencia del uso del suelo en la calidad del agua en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente*, 48, 81-92.

Borrego, J., Morales, J. A., De la Torre, M. L., & Grande, J. A. (2002). Geochemical Characteristics of Heavy Metal Pollution in Surface Sediments of the Tinto and Odiel River Estuary (Southwestern Spain). *Environmental Geology*, 41(6), 785-796.

Catalán Lafuente, J. (1969). *Química del agua*. Madrid: Blume.

Chevalier, J.M. (2007). La Identificación Nominal. En: *La Guía Sistemas de Análisis Social (SAS)* [en línea]. Consultado el 04 de agosto de 2023. Disponible en <http://www.sas2.net/index.php?mact=News.cntnt01.detail.O&cntnt01articleid=10&cntnt01iiaid=99&cntnt01retumid=85>

Chow, V.T., Maidment, D.R., & Mays, L.W. (1994). *Hidrología Aplicada*. (M. E. Suarez R., Ed., J. G. Saldarriaga, Trans.). Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana.

CIRA-UAEM (Centro Interamericano de Recursos del Agua-Universidad Autónoma del Estado de México). (2005). *Recursos Hídricos: Conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica*. (C.D. Delgado, M.V. Esteller, & F. López-Vera, Eds.). Montevideo/Toluca: Piriguazu Ediciones.

Cortes-Lara, M.C. (2003). Importancia de los coliformes fecales como indicadores de contaminación en la Franja Litoral de Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit. *Rev. Biomed*, 14, 121-123.

Custodio, E., & Díaz, E. (2001). Sección 18: Calidad del agua subterránea. En E. Custodio & M.R. Llamas

(Eds.), Hidrología Subterránea (2da ed., Tomo 11, pp. 18.28-18.31). Barcelona, España: Omega.

El Falaki, A., et al. (1994). Metales pesados y componentes mayoritarios en sedimentos.

Enger, E., & Smith, B. (2006). Ciencia Ambiental, un estudio de interrelaciones (1ra ed.). McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A.

Esparza, M., & Castro, L. (1987). Curso taller sobre Control de Calidad Analítica: Parámetros Fisicoquímicos que influyen en el Tratamiento y la Calidad del Agua, Lima - Perú.

ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.). (2000). ArcView GIS (Versión 3.3) [Software]. New Delhi, India: Autor.

Fallas, J. (2004). Configuración de receptores Garmin Lambert Norte, Sur y CRTM. Costa Rica, Universidad Nacional. 2 p.

Fallas, J., & Valverde, C. (2008). Manejo y Priorización de Cuencas Hidrográficas: Principios, criterios e indicadores. Costa Rica, Universidad Nacional. 54 p.

Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M., & París, M. (2003). Protección de la Calidad del Agua Subterránea. México D.F., Ediciones Mundi-Prensa. 127 p.

Galán, E. (2008). The role of clay minerals in removing and immobilising heavy metals from contaminated soils. In C. [Apellido del editor] (Ed.), Proceedings of the 1st Latin American Clay Conference (Vol. 1, p. [páginas]). Ciudad de la publicación: Nombre de la editorial.

Gámez, L. (2002). Agua transparente... deuda invisible. En Octavo Informe del Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. San José, Costa Rica: Litografía e imprenta Lil, S.A. 40 p.

García Manjón, J.V. (2008). Concentración de Sectores Intensivos en Conocimiento y de Alta Tecnología: el Caso de España. Journal of Technology Management and Innovation, 3(4), 66-79. <https://doi.org/10.4067/S0718-27242008000400006>

García, L.A. (1998). Manejo Integrado de los Recursos Hídricos en América Latina y el Caribe (Documento de trabajo No. ENV-123S). Banco Interamericano de Desarrollo. <https://www.iadb.org/sds/doc/ENV-123S.pdf>

Glim, H., & Heinke, G. (1999). Ingeniería Ambiental (2da ed.). Prentice Hall.

Gómez, A. (2002). Monitoreo y atención de intoxicación con arsénico en El Zapote, Municipio de San Isidro, Departamento de Matagalpa, Nicaragua. UNICEF. <https://www.cepis.org/bvsacd/arsenico/monitoreo.pdf>

Henry, J.G., & Heinke, G.W. (1999). Ingeniería Ambiental. Prentice Hall.

Hudson, N.W. (1997). Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía (Boletín de Suelos de la FAO - 68, capítulo 4). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Ganadería. <https://www.fao.org/docrep/T0848S/T0848S06.htm>

Hunt, D., & Johnson, C. (1996). Sistema de Gestión Medio Ambiental (1ra ed.). McGraw-Hill/Interamericana.

Jiménez, F. (2007). Curso de Maestría. Manejo de Cuencas Hidrográficas I. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Jiménez, F. (2008). Curso de Maestría: Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas I. Guía para elaborar planes de gestión de cuencas hidrográficas. Turrialba, CR: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Jouravlev, A. (2004). Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI. Serie Recursos Naturales e Infraestructura (No. 74). Santiago, Chile: División de Recursos Naturales e Infraestructura, CEPAL. Recuperado de <http://vr.vw.eclac.org/cgi-bin/etProd.asp?xml=/drenaje/4/xmli&xsl=/aarpadores/xml/aoruaolistaado.xsl>

Kiely, G. (1999). Ingeniería Ambiental: Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Madrid, España: McGraw-Hill.

Madigan, M.T., Martinko, J.M., & Parker, J. (2004). Biología de los microorganismos (10th ed.). España: Pearson Prentice Hall.

Ongley, E.O. (1997). Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. En Estudios FAO: Riego y drenaje - 55 1997 W2598/S. Recuperado de <http://1w.jw.iao.oro/dccreo/W2598Slw2598s05.htm>

Opazo, U. (2003). Ingeniería Sanitaria: Aplicada a saneamiento y salud pública. México: Editorial Milusca S.A.

OPS (Organización Panamericana de la Salud, US). (2003). Calidad del Agua Potable en Costa Rica: Situación actual y perspectiva. San José, C.R.: OPS.

OPS (Organización Panamericana de la Salud, US). (2004). Salud y Agua. Recuperado de <http://www.cor.opsoms.org/TextoCompleto/configuredList.asp?catid=6&cattttle=Salud+y+Ambiente>

Orozco, B.C., Pérez, S.A., González, D.M.N., Rodríguez, V.F., & Alfayate, B.J.M. (2005). Contaminación Ambiental: Una visión desde la Química. Madrid, España: Thomson.

Pacheco Ávila, J., Pal Canul, R., & Cabrera Sansores, A. (2002). Análisis del ciclo de nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. Ingeniería Revista Académica, 6(3), 73-81.