



# CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA PARA EL ARCHIPIÉLAGO DE SOLENTINAME EN EL LAGO COCIBOLCA, NICARAGUA

Valeria Delgado y Yelba Flores Meza

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Apdo. Postal 4598. Managua, Nicaragua. Correo electrónico: valeria.delgado@cira-unan.edu.ni.

## RESUMEN

El Archipiélago de Solentiname, con una superficie total de 40.2km<sup>2</sup>, se encuentra ubicado en el sureste del Lago Cocibolca, con una elevación entre los 30 y 250 msnm. Se encuentra compuesto de 36 islas e islotes de diferentes tamaños, dentro de las cuales destacan cuatro por su tamaño y mayor concentración de la población. Las principales actividades económicas son la agricultura y pesca artesanal. En las últimas décadas la población se ha dedicado a la pintura primitivista y artesanía, lo que ha atraído al turismo. La principal fuente de agua para la población del Archipiélago proviene del Lago Cocibolca; seguida por el agua subterránea suministrada a través de puestos de agua o de algunos pozos excavados particulares. Existen manantiales, los cuales con un adecuado manejo y protección podrían suministrar de agua a la población. Se realizaron reconocimientos geológico e hidrogeológico, inventario de fuentes de contaminación y problemas ambientales en el Archipiélago, así como muestreo de fuentes de agua superficial y subterránea para la evaluación de la calidad del recurso. Se observó que el material volcánico presente en el área tiene influencia en la química del agua (composición iónica y presencia de arsénico). Las actividades humanas han impactado la calidad del agua. La presencia de heces fecales en ciertas fuentes de agua, así como concentraciones de carbamatos detectadas en el lago, están por arriba de los valores establecidos por las normas internacionales, y hace que su uso no sea recomendable para agua de consumo humano. Es importante implementar un adecuado tratamiento para eliminar la presencia de heces fecales en el agua de los pozos, así como un plan para establecer zonas de protección de pozos y manantiales, en donde estos últimos sirvan como fuente de suministro de agua a la población en sus alrededores. El uso del agua del lago, repercutiría en serios problemas de salud para la población del Archipiélago.

Palabras Clave: Cocibolca, Solentiname, calidad del agua.

## INTRODUCCIÓN

El archipiélago de Solentiname es un grupo de 36 islas e islotes de diverso tamaño, con una superficie de 40.2 km<sup>2</sup>; situado en el extremo sureste del Lago Cocibolca. El Archipiélago pertenece al municipio de San Carlos, cabecera departamental de Río San Juan. Las principales islas debido a su tamaño y número de pobladores son la isla Mancarroncito, Mancarrón, la Elvis Chavarría (Fernando) y la isla Donald Guevara (conocida localmente como La Venada) (Figura 1) y La Venadita. El clima del municipio de San Carlos se clasifica como monzónico tropical, con una temperatura que oscila entre los 25 y 26°C, y una precipitación anual que varía entre los 2000 y 2400mm (INIFOM, 1995). Por su alta riqueza natural, cultural e histórica, el Archipiélago es un área protegida del país de acuerdo al Decreto 527, resolución No. 6699 del MARENA (MARENA, 1990).

Los habitantes de las islas desarrollan agricultura de subsistencia (granos básicos) y la pesca artesanal, como medios de sustento. En la isla Mancarroncito, hay cultivo de aguacate para consumo nacional. Al igual que otras islas del Lago, el archipiélago de Solentiname fue el solar de una cultura precolombina de la que aún pueden observarse una gran cantidad de petroglifos (Cueva del Duende, en la Isla



La Venada) (MARENA, INTUR, AECI, 2008). La artesanía local tallada en madera de balsa, la pintura primitivista y las visitas con guías, son algunas de las actividades desarrolladas para promocionar el turismo en el archipiélago, con el fin de lograr una mejor calidad de vida para la población, contribuyendo al desarrollo sostenible de sus comunidades (MARENA, AECI, 2009).

Debido a su posición geográfica, el suministro de agua es de suma importancia para sus pobladores y visitantes. La mayoría de la población utiliza el agua del Lago Cocibolca para satisfacer todas sus necesidades. Algunas islas y sectores de las mismas cuentan con pozos excavados a través de los cuales se abastecen sus dueños. Los pobladores de la Isla Elvis Chavarría, cuentan con un pozo perforado (PP-ACRA), el cual es bombeado dos veces al día, y el agua es colectada en un tanque desde el cual es suministrada a los puestos de agua distribuidos a lo largo de la zona litoral de la isla. Este es el único pozo perforado en el Archipiélago.

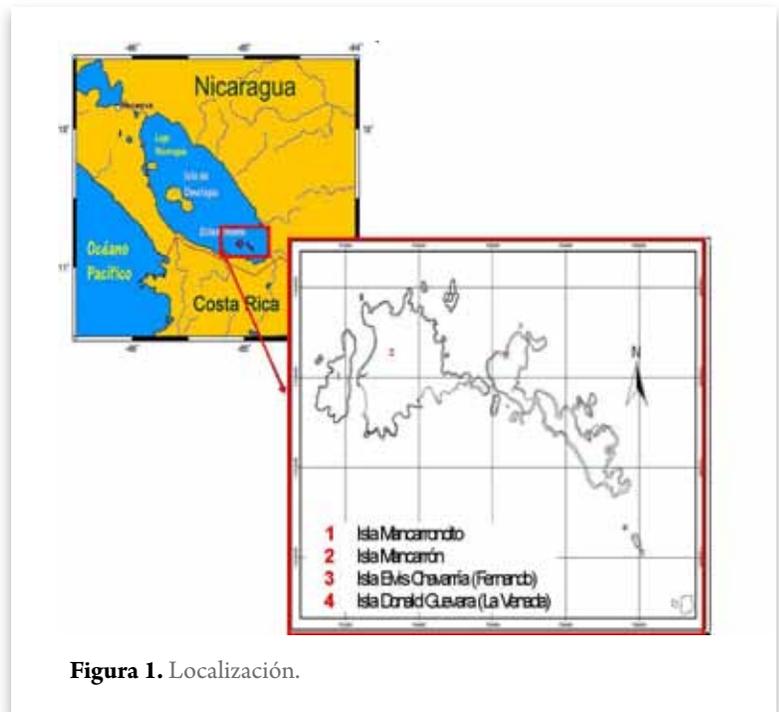


Figura 1. Localización.

Reconociendo el valor del recurso agua como elemento básico para el desarrollo humano, el Programa de Voluntariado de la Diputación de la Provincia de Huelva (España) en conjunto con la Asociación para el Desarrollo de Solentiname (APDS), han establecido vínculos estratégicos con el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN), con el fin de conocer cualitativa y cuantitativamente algunos aspectos del origen y de las fuentes de abastecimiento de agua (superficial y subterránea), así como de su calidad para abastecimiento de los pobladores de Solentiname.

## MATERIAL Y MÉTODO

Se procedió con la recopilación, procesamiento y análisis de la información primaria del área de estudio. Se realizaron los reconocimientos geológicos e hidrogeológicos en las principales islas del Archipiélago (Mancarroncito, Mancarrón, Elvis Chavarría y La Venada), en donde se condujo el levantamiento de fuentes de agua (pozos excavados, pozos perforados y manantiales), inventario de actividades realizadas (tipo de cultivos, ganadería, pesca; entre otros) e inventario de fuentes de contaminación de los recursos naturales (enfocándose en el recurso agua). Aplicando la información, se efectuó el diseño del protocolo de muestreo de agua superficial (seis sitios en el Lago Cocibolca, codificados como M1 a M6) y de agua subterránea (dos pozos excavados, un pozo perforado y un manantial; Figura 3). La caracterización de las aguas se realizó en base a su composición físico-química, microbiológica y de residuos de plaguicidas (organoclorados y carbamatos).

Los análisis de físico-químico completo se realizaron siguiendo la metodología del American Public Health Association (American Public Health Association, APHA, 2005); el amonio de acuerdo a la metodología de análisis indicada por Rodier (Rodier, 1981); y los microbiológicos (coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*) de acuerdo a American Public Health Association (American Public Health Association (APHA), 1999).

Para la determinación de plaguicidas organoclorados, se utilizaron los dispositivos de membrana semipermeable (SPDM) (United States Geological Survey (USGS)), los cuales fueron colocados en los seis sitios seleccionados en el lago (M1 a M6), y retirados un mes después. Una vez que las membranas fueron retiradas, éstas se trasladaron en termos con hielo al Laboratorio de Contaminantes Orgánicos del CIRA/UNAN en donde fueron analizadas

según la metodología adaptada y estandarizada con la asesoría de Per-Anders Bergqvist, PhD, experto en técnicas de análisis con muestreadores por integración pasiva de Exposmeter (Exposmeter, 2002). En cuanto a los plaguicidas carbamatos, la metodología empleada fue la descrita en el Carbamate Analysis System (Method Manual number 30804, 1989).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Geología e Hidrogeología

Regionalmente el Lago Cocibolca y sus islas están ubicados dentro de la Provincia de la Depresión Nicaragüense, cuya parte central presenta la apariencia de un graben definido por fallas bien alineadas de rumbo NO-SE. El conjunto de islas que conforma el Archipiélago fue formado por las actividades eruptivas de finales del Terciario, en donde el tipo de rocas presentes son volcánicas explosivas, del tipo básicas e intermedias del Grupo Coyol Superior, las que tienen directa relación con las condiciones hidrogeológicas y en menor grado con la calidad química del agua. A su vez, el tipo de rocas caracteriza el tipo de relieve de la zona, siendo predominante las colinas de pendiente suave y las colinas en forma de mesas. Este a su vez domina el tipo de drenaje dendrítico secundario.

La profundidad del agua subterránea en los pozos excavados monitoreados es de pocos metros, prácticamente casi al nivel del lago. Los pozos excavados se encuentran localizados sobre la superficie meteorizada de las rocas, así como sobre los sedimentos aluviales o lacustres, que presentan formaciones acuíferas de poca productividad, pero suficiente para abastecimiento a nivel comunal. El único pozo perforado (PP-ACRA) de la isla presenta una columna de agua de aproximadamente 40m, por lo que se considera de productividad media, en acuífero de permeabilidad primaria en ignimbritas y secundaria al alcanzar los basaltos.

La presencia de estructuras de fallamiento y fracturamiento, así como las particularidades propias a las formaciones volcánicas de la isla, presentan una permeabilidad secundaria, por lo que puede darse infiltración lateral de las aguas del lago al sistema (Figura 2, fracturamiento observado en las rocas que forman el fondo de uno de los pozos de la Isla Fernando). La existencia de manantiales indica la presencia de acuíferos de extensión suficiente para el abastecimiento a grupos de familias o de una comunidad pequeña.

### Calidad del agua

Como se mencionó, el material volcánico tiene influencia en la química del agua. Las rocas volcánicas básicas e intermedias se caracterizan por presentar minerales de la serie isomorfa de K-Na-Ca; esto se refleja en el tipo químico de las aguas (Figura 3) y en la variación de los contenidos de iones de Ca, Na, K y Mg, en cada una de las muestras de agua recolectadas. Esta variación de los contenidos de iones se debe en primer lugar al tipo de



Figura 2. Fracturamiento de rocas en un pozo excavado.

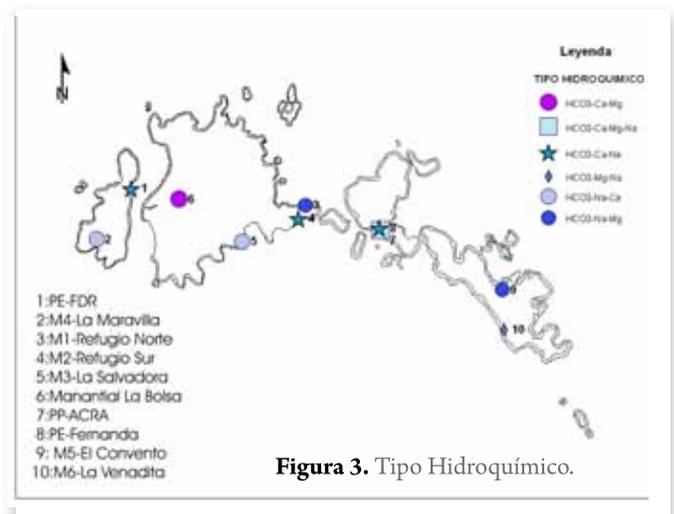


Figura 3. Tipo Hidroquímico.



minerales que son constituyentes de la roca, también al tipo y grado de meteorización y la forma de deposición. La caracterización físico-química indica que naturalmente el agua se considera potable (tanto superficial como subterránea); aunque en las aguas superficiales, la turbidez y el hierro, afectan un poco su calidad, restándole estética. Por su contenido de dureza (Durfur & Becker, 1962) las aguas del lago son aguas suaves (sitios M1, M3, M4 y M5); y moderadamente duras en M2 y M6 (en el lago). En cuanto a las aguas subterráneas, la dureza las determina como aguas duras en el PE-Fernando y como aguas muy duras en PE-FDR, PP-ACRA y manantial La Bolsa. El agua dura es aceptable para consumo humano, pero no para usos industriales debido a los problemas de incrustación que causa en los calentadores (Glynn Henry & Heinke W., 1996). Las normas CAPRE establecen como máximo  $400 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  de dureza para consumo humano (CAPRE, 1994). En cuanto a la dureza, se consideran aguas de buena calidad los sitios M1 a M6 (en el Lago Cocibolca) y el agua subterránea de PE-Fernando (hasta  $150 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$ ); y de calidad media las aguas subterráneas de los sitios PE-FDR, PP-ACRA y manantial La Bolsa (hasta  $300 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$ ) (Ambientum, 2002).

Para clasificar su uso en agricultura, se utilizaron las Normas Riverside (US Salinity Laboratory Staff, 1954), las cuales establecen una relación entre la conductividad eléctrica y el índice S.A.R (relación absorción sodio). De esta manera, las aguas superficiales se catalogan como C1-S1 (agua de baja salinidad y contenido de sodio), aptas para el riego en todos los casos; aunque puede presentar problemas en suelos de muy baja permeabilidad y en cultivos sensibles al sodio. Mientras que las aguas subterráneas son aguas del tipo C2-S1 (agua con salinidad media y bajo contenido de sodio), que se consideran aptas para el riego pero se recomienda utilizar en cultivos tolerantes a la salinidad y que pueden presentar problemas en cultivos sensibles al sodio.

Desde el punto de vista sanitario-bacteriológico, el agua del Lago Cocibolca (sitios M1 a M6) no es apta para consumo humano, debido a la presencia de coliformes termotolerantes (Figura 4) y *Escherichia coli*. El Manantial La Bolsa, tampoco es apto para consumo humano, por la presencia de los indicadores antes mencionados. En cuanto a las aguas subterráneas de los pozos PE-FDR, PP-ACRA y PE-Fernando presentaron coliformes totales, por lo que no se consideran aptos para consumo humano (CAPRE, 1994)(Canadian

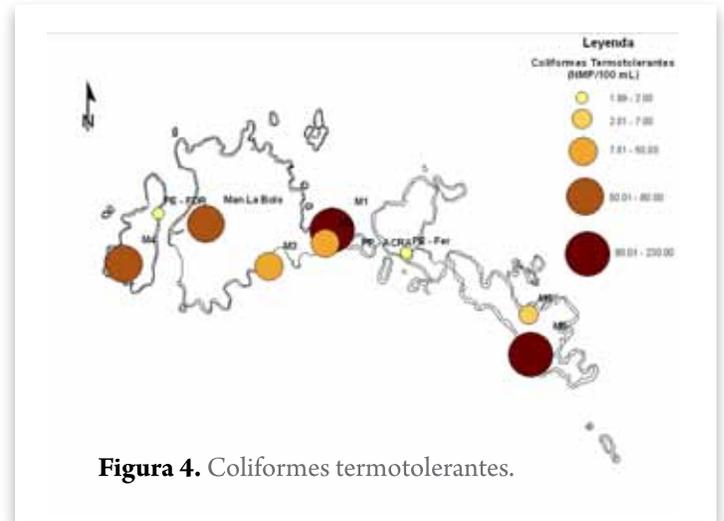


Figura 4. Coliformes termotolerantes.

Council of Ministers of Environment (CCME), 2003).

De los cuatro sitios analizados para arsénico (Figura 5), únicamente el PE-FDR no presenta arsénico en sus aguas. El arsénico fue detectado en el manantial La Bolsa, PE-Fernando y PP-ACRA, en concentraciones que no superan los valores permitidos por la norma para consumo humano ( $10 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ , (CAPRE, 1994), irrigación y ganadería (Canadian Council of Ministers of Environment (CCME), 2003). Las rocas donde se encontraron los mayores valores de arsénico (en el PP-ACRA y Manantial La Bolsa) son basaltos y aglomerados basálticos, en donde el agua está en contacto directo con rocas alteradas, resultando en la incorporación de este elemento en el agua. Si bien su composición es básica por su modo de deposición y formación, denotan que fueron originadas por actividades violentas o explosivas, de aquí su relación con los valores altos. En los pozos de Fundación del Río y Fernando no aparecen estas anomalías debido a que son superficiales y las rocas están menos alteradas.

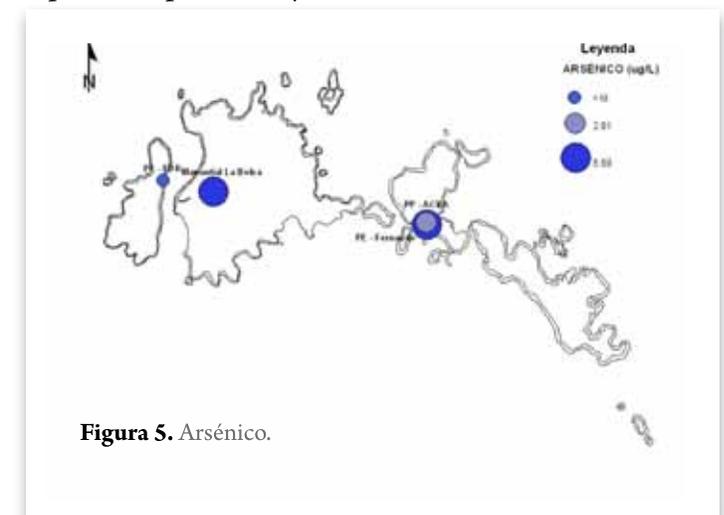


Figura 5. Arsénico.

En cuanto a los plaguicidas organoclorados analizados únicamente en las aguas superficiales (M1 a M6), el Endosulfan fue el único plaguicida organoclorado detectado en el sitio M2 en una concentración de 14.24 ng/SPDM (que representa la cantidad de este plaguicida absorbido en la membrana durante un mes). Al igual que con los plaguicidas organoclorados, los plaguicidas carbamatos fueron analizados únicamente en aguas superficiales. De esta manera se detectó carbofurán (en M2, M5 y M6), aldicarb (en M1, M2 y M3) y carbaryl (en M2 y M5). Las concentraciones de los carbamatos (Figura 6) sobrepasan los niveles sugeridos por las normas para agua potable (Cuadro 1), por lo que no se consideran aptas para consumo humano, ni para contacto. La actividad agrícola en el Archipiélago es básicamente de autoconsumo (con excepción de la aguacatera); sin embargo, las concentraciones reportadas de carbamatos en las aguas del lago, indican que esta contaminación puede provenir de las otras cuencas (tanto nacionales como costarricenses) que drenan a este cuerpo de agua.

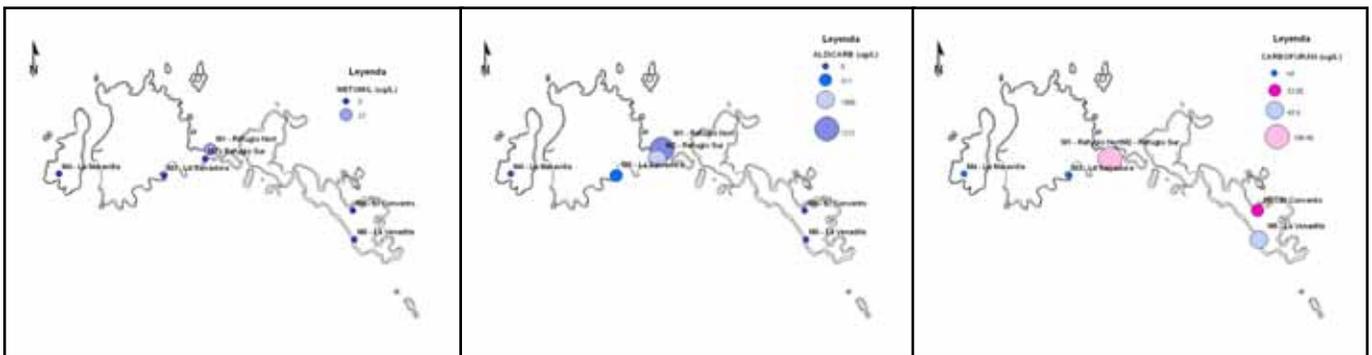


Figura 6. Carbamatos.

Cuadro 1. Localización de concentraciones de carbamatos por arriba de los valores recomendados por las normas.

Carbamato		Aldicarb ( $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ )	Sitio	Carbofurán ( $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ )	Sitio	Carbaryl ( $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ )	Sitio
Norma Regional CAPRE (1994)		10.00	M1, M2, M3	5.00	M2	nr	
Canadian Environmental Quality Guidelines (2003)	Para agua potable	9.00	M1, M2, M3	90.00	M2	90.00	
	Para vida acuática	1.00	M1, M2, M3	1.80	M2, M5, M6	0.20	M2, M5
	Irrigación	54.90	M1, M2, M3	nr		nr	
	Ganado	11.00	M1, M2, M3	45.00	M2	1100.00	

Los resultados de este estudio indican la importancia en confirmar la presencia de acuíferos a través de un estudio más detallado que contemple pruebas de infiltración, estudios geofísicos y mayor detalle de la litología y estructuras de la isla.

Ya que el muestreo ha sido ejecutado solamente en una ocasión, es recomendable proteger las fuentes de agua, tener cuidado con el tratamiento que se le está dando al agua, y procurar monitorear en el futuro la calidad de los pozos PP-ACRA, PE-Fernanda y PE-FDR para indicadores microbiológicos; así como también de aquellas fuentes que presentaron arsénico, dado el material geológico presente en las islas.

Los resultados de la metodología empleada generarán la información base para la formulación de planes de protección para el abastecimiento seguro de agua para la población en Solentiname.



## AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue posible gracias a la colaboración de las diferentes organizaciones presentes en el área de estudio: Diputación de la Provincia de Huelva, Asociación Pro-Desarrollo de Solentiname (APDS), a la Lic. Xóchitl Centeno Coordinadora Nacional de Diputación de la Provincia de Huelva (en el momento de la realización del presente trabajo), a los estudiantes de 5º año de la secundaria del Instituto Público de Solentiname y los pobladores de la región.

## BIBLIOGRAFÍA

Ambientum. (2002). [http://www.ambientum.com/revista/2001\\_43/2001\\_43\\_AGUAS/DRZZGUAS2.htm](http://www.ambientum.com/revista/2001_43/2001_43_AGUAS/DRZZGUAS2.htm). Recuperado el Mayo de 2008.

American Public Health Association (APHA). (1999). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington: 20th Edition.

American Public Health Association, APHA. (2005). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 20th Edition.

Canadian Council of Ministers of Environment (CCME). (2003). *Canadian Quality Guidelines. Summary Table*. Canadá.

CAPRE. (1994). *Normas Regionales para Centroamérica, Panamá y República Dominicana. Normas de Calidad del Agua para Consumo Humano*. 1ª Edición.

Durfor, C. N., & Becker, E. (1962). *Public Water Supplies of the 100 largest cities in the United States*. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1812.

Exposmeter. (2002). *Course on use of SPMD technology for monitoring of River San Juan basin*. Managua.

Glynn Henry, J., & Heinke W., G. (1996). *Environmental Science and Engineering*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall Inc.

INIFOM. (1995). [http://www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/RIO%20SAN%20JUAN/san\\_carlos.pdf](http://www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/RIO%20SAN%20JUAN/san_carlos.pdf). Recuperado el 2008

MARENA. (23 de Abril de 1990). [http://www.marena.gob.ni/index.php?option=com\\_remository&Itemid=181&func=startdown&id=164](http://www.marena.gob.ni/index.php?option=com_remository&Itemid=181&func=startdown&id=164). Recuperado el 2008

MARENA, AEI. (23 de Septiembre de 2009). [http://www.aecid.es/web/es/noticias/2009/09\\_Septiembre/2009\\_09\\_23\\_nicaragua\\_turismo.html](http://www.aecid.es/web/es/noticias/2009/09_Septiembre/2009_09_23_nicaragua_turismo.html). Recuperado el 2009

MARENA, INTUR, AEI. (2008). [http://www.aecinicaragua.org.ni/files/doc/mapa\\_turistico\\_rio\\_san\\_juan.pdf](http://www.aecinicaragua.org.ni/files/doc/mapa_turistico_rio_san_juan.pdf). Recuperado el 2009

Method Manual number 30804. (1989). *Carbamate Analysis System*. 4th Edition.

Rodier, J. (1981). *Análisis de las Aguas Naturales, Aguas Residuales y Aguas de Mar*. España: Ediciones Omega.

United States Geological Survey (USGS). (n.d.). *Semipermeable Membrane Devices*. Retrieved from [http://wwwaux.cerc.cr.usgs.gov/SPMD/spmd\\_overview.htm](http://wwwaux.cerc.cr.usgs.gov/SPMD/spmd_overview.htm)

US Salinity Laboratory Staff. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali sols*. Handbook 60. U.S. Gov. Print Office, Washington DC.