



Evaluación del impacto de las aguas residuales domésticas y semi-industriales sobre la calidad físico-química del río Chiquito, León, en el período de mayo 2016-enero 2017.

Lic. Jorge Luis Esquivel Quezada

Especialista en análisis de laboratorio
Laboratorio de Biotecnología, UNAN-Managua
<https://orcid.org/0000-0003-2582-2169>
jesquivel@unan.edu.ni

Dra. Martha Lacayo Romero

Docente titular
Laboratorio de Biotecnología, UNAN-Managua
<https://orcid.org/0000-0002-6918-7796>
mlacayor@unan.edu.ni

Fecha de recepción: 22 de enero, 2020 / Fecha de aceptación: 19 de marzo, 2020

<https://doi.org/10.5377/torreon.v9i25.9854>

Palabras claves: Calidad de agua, ICP-OES, índice de calidad de agua, metales pesados y tenería.

RESUMEN

El presente estudio evaluó el impacto de las aguas residuales sobre la calidad físico-química de dos sitios de muestreo, aguas arriba y aguas abajo, en un transecto seleccionado del Río Chiquito de la ciudad de León. Se tomaron muestras durante cuatro campañas de muestreo, dos en época lluviosa y dos en época seca. Quince parámetros físico-químicos y doce metales, metaloides y no metales fueron comparados con directrices nacionales (NTON) e internacionales (U.S.EPA, CCME, NOM, INEN y FAO). Se utilizó el Software canadiense WQI 1.2 para evaluar integralmente la calidad del agua basado en un índice de calidad (CWQI), para distintos usos del agua: protección para la vida acuática, e irrigación. Sobresalieron

elevados niveles de contaminación por sólidos suspendidos, materia orgánica (aceites y grasas, DBO y DQO, turbidez), nutrientes (amonio, hierro) y metales como el Al, Cr³⁺, Cu, Mn, Se, V y Zn. El índice de calidad de agua categorizó el sitio aguas arriba como marginal a regular y pobre para aguas abajo, lo que implica que estuvo casi siempre amenazada y se apartó en la mayoría de los casos de los niveles deseables para los usos específicos a los cuales se sometió. Según CONAGUA, la calidad del agua se encontró deteriorada clasificándola de Contaminadas a Fuertemente Contaminadas para ambos sitios, prevaleciendo la materia orgánica, implicando contaminación por descargas de aguas residuales municipales y de tenerías. Se detectó Cromo hexavalente en mayo en el sitio aguas arriba lo que hace más tóxica el agua de esta zona, y la mayoría de cromo presente está en estado reducido.

1. INTRODUCCIÓN

Los ríos son corrientes naturales de agua continua que se ve afectada en la actualidad por el cambio climático, y por ende la calidad físico-química del agua del río a lo largo del tiempo y a lo largo de su curso. Sin embargo, las actividades humanas provocan pérdida en la calidad de agua de éste, de una manera descontrolada ocasionando la eliminación de hábitat de las especies, dando lugar a inmensos daños en la dinámica de un cuerpo de agua (Castañé, y otros, 1998). Dentro de las actividades humanas que más daño provocan al ambiente a nivel mundial está la del curtido de pieles, cuya gravedad aumenta en tenerías medianas o semi-industriales que generalmente no tratan sus efluentes potencialmente tóxicos antes de verterlos a los cuerpos receptores (Roig Orts et ál., 2003). La contaminación en los últimos 50 años del Río Chiquito de la ciudad de León ha sido objeto de estudio por agencias gubernamentales, ambientales, universidades y diversas organizaciones, ya que a lo largo de su ribera se ubican industrias de tenerías, principalmente (Alcaldía de León, 2016). La obtención de datos a través del monitoreo en una investigación es un trabajo muy complejo; ya que va a depender de la naturaleza multidimensional de la calidad del agua del río, el cual cambia constantemente en todos sus puntos a lo largo de su curso, por lo que, es difícil de entender debido la naturaleza química de las sustancias presentes (Samboni, Carvajal y Escobar, 2007).

Nicaragua es el país centroamericano con mayor privilegio en lo que a recursos hídricos se refiere. El recurso de agua disponible es de 38 668 m³/cápita/año, lo que lo ubica por encima del promedio centroamericano (Jiménez y Galizia, 2012). Al noroeste del territorio nacional se localiza la ciudad de León. León es la segunda ciudad más importante del país. El Río Chiquito atraviesa el perímetro del casco urbano de la ciudad, mide 21 kilómetros de longitud, de los cuales diecisiete km es área rural y 4,5 km dentro del casco urbano. La caída de aguas residuales representa una fuente de contaminación muy severa, además de los desechos sólidos y restos de animales muertos, que cotidianamente son lanzados al cauce del río por parte de la población,

lo que ha generado pérdidas de manantiales, de la biodiversidad, contaminación visual, pérdida de sitios paisajísticos y de recreación (Lezama, 2013). En la ribera se ubican tenerías, jabonerías, el rastro municipal entre otros, que han venido deteriorando la calidad del agua mediante sus vertidos directos de residuos tóxicos (Palacios y Zapata, 2011). Se han contabilizado alrededor de 30 tenerías en la parte baja del río, las que generan una elevada carga de materia orgánica contaminando el recurso hídrico, el aire y suelo, por lo que León representa un 60% de la actividad de tenerías a nivel nacional (MIFIC, 2008). Los trabajadores de las curtiembres están expuestos al contacto con productos químicos durante todo el proceso del curtido del cuero. El Cr^{6+} es el contaminante que conlleva mayores riesgos a la salud de la población y es utilizado por tenerías debido a los métodos y procedimientos rudimentarios (Chávez, 2010). Casi en su totalidad las tenerías vierten sus aguas residuales directo al cauce del río sin previo tratamiento por lo que no hay remoción del material en suspensión (Henríquez de Guidos, 2003).

Esta investigación contribuye a una evaluación del impacto de las aguas de desecho de las actividades domésticas y de tenerías semi-industriales y artesanales sobre la calidad físico-química del agua del Río Chiquito, con énfasis en cromo. La estimación de la calidad de agua se realizó comparando parámetros físico-químicos con énfasis en metales potencialmente tóxicos en los dos sitios de interés seleccionados. Los resultados se compararon con la normativa nacional NTON 05-007 98 para uso del agua en aplicaciones agropecuarias e internacionales asociados al uso del agua para la protección de la vida acuática y uso en la agricultura (irrigación): Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), la Agencia Ambiental Norteamericana (U.S.EPA), la norma mexicana NOM-001-semarnat-1996 y la ecuatoriana INEN para la protección de la vida acuática y silvestre, la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la ganadería (FAO). Esta investigación es un insumo para las autoridades locales (MARENA-León, Alcaldía) y a los representantes y trabajadores de tenerías en el proceso de toma de decisiones en la definición y ejecución de medidas correctivas para disminuir el impacto de las actividades semi-industriales y artesanales sobre la calidad del recurso hídrico.

2. METODOLOGÍA

Área de estudio

El estudio se realizó entre mayo 2016 a enero de 2017 en un transecto de 3,5 km seleccionado del Río Chiquito, ubicado en el casco urbano de la ciudad de León. Se seleccionaron dos sitios representativos denominados aguas arriba y aguas abajo. Se establecieron cuatro campañas de muestreo para coleccionar las muestras de agua superficial del río, dos en época lluviosa (mayo a septiembre) y dos en época seca (noviembre a enero). Los puntos de muestreo se representan en la Tabla 1.

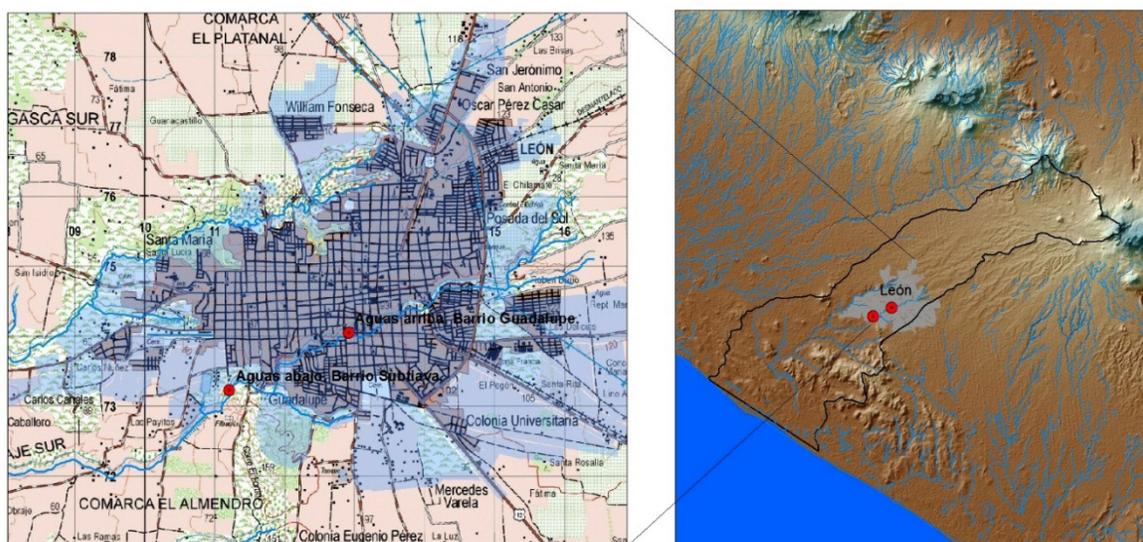


Figura 1. Área de estudio y sitios seleccionados en la sub-cuenca del Río Chiquito, León

Tabla 1. Coordenadas geográficas de los sitios de muestreo en el Río Chiquito

Sitio	Coordenadas	
	N	E
Aguas arriba	1374152	512938
Aguas abajo	1373352	511234

Fuente: elaboración propia

Selección de variables y sustancias tóxicas

Las variables se seleccionaron como prioridad para el desarrollo de vida acuática y biodiversidad existente, así como otros parámetros físico-químicos de riesgo para la salud humana según el uso del agua. A partir de estos criterios se seleccionaron los siguientes parámetros de campo y de laboratorio, mostrados en la Tabla 2.

Muestreo

Se tomaron muestras puntuales de agua superficial en cada sitio. La colecta, preservación, transporte y análisis de laboratorio se llevaron a cabo siguiendo las recomendaciones y procedimientos de métodos normalizados (APHA, 2012).

Para la determinación de metales totales recuperables, las muestras fueron preservadas con HNO₃ concentrado y almacenadas bajo refrigeración a 4°C. Para el análisis de los metales disueltos, la muestra fue filtrada, llevada a pH<2, preservada y almacenada en las mismas

condiciones. Las muestras se inyectaron por la técnica analítica Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES). El cromo hexavalente fue cuantificado por medio de espectrofotometría Ultravioleta Visible. El análisis de parámetros físico-químicos como el pH, conductividad, potencial redox, alcalinidad, cloruros, turbidez, aceites y grasas, sulfatos, sulfuros, amonio, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, DBO y DQO, se detalla en la tabla 2.

Tabla 2. Parámetros físico-químicos de interés, metodología y técnica analítica empleada

Parámetros	Método analítico	Técnica analítica
Potencial de hidrógeno (pH)	SMWW 4500.H+B	Potenciometría
Potencial redox (ORP)	U.S.EPA 9045 + SMWW 2580.B	Potenciometría
Conductividad eléctrica	SMWW 2510.B	Potenciometría
Alcalinidad total	SMWW 2320.B	Titulometría
Cloruros	SMWW 4500-Cl.B	Titulometría
Turbidez	SMWW 2130.B	Nefelometría
Aceites y grasas	SMWW 5520.B	Gravimetría
Sulfatos	SMWW 4500-SO ₄ ²⁻ .E	Espectrofotometría
Sulfuros	SMWW 4500.S ²⁻ .D	Colorimetría
Amonio	HACH 8038	Espectrofotometría
Sólidos suspendidos totales	SMWW 2540.D	Gravimetría
Sólidos sedimentables	SMWW 2540.F	Gravimetría
Demanda bioquímica de Oxígeno	SMWW 5210.B	Incubación
Demanda química de Oxígeno	SMWW 5220.C	Reflujo cerrado
Cromo hexavalente	SMWW 3500-Cr.B	Espectrofotometría Ultravioleta/visible
Metales totales recuperables: Aluminio, Bario, Boro, Cinc, Cobre, Cromo, Fósforo, Hierro, Manganeso, Potasio, Selenio, Vanadio	SMWW 3030.F+3120.B U.S.EPA 200.7 Rev.4.4, 1994/ ICP-OES	Espectrometría de emisión / Colorimetría

Parámetros	Método analítico	Técnica analítica
Metales disueltos: Calcio, Magnesio, Sodio	SMWW 3030.B+3120.B	Espectrometría de emisión
U.S.EPA: U.S. Environmental Protection Agency; SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; ICP-OES: Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Inductivamente Acoplado. HACH Company/Hach Lange GmbH, 2007-2017. Nitrogen. Ammonia-U.S.EPA Nessler Method. DOC316.53.01078, Edition 9.		

Fuente: elaboración propia

Estimación de la calidad del agua mediante el software CWQI

El software CWQI 1.2 es un programa desarrollado por Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). Este calcula datos físicos, químicos y biológicos complejos en un indicador que simplifica la calidad de agua y facilita su interpretación. El Índice se basa en: a) Alcance: número de variables que no cumplen los objetivos de calidad del agua; b) Frecuencia: número de veces que no se cumplen los objetivos; y c) Amplitud: cantidad por la que no los cumplen. El software fue desarrollado en una hoja de cálculo de Excel donde se compararon los resultados obtenidos en los análisis con los objetivos de calidad. El resultado es un número entre 0 (agua de *inferior* calidad) y 100 (agua de *superior* calidad), por lo que la calidad del agua se clasifica en diferentes rangos a los que se le asigna una descripción cualitativa del grado de contaminación (Samboni, Carvajal, & Escobar, 2007) (CCME, 2001), ver tabla 3.

Tabla 3. Categorización y clasificación del índice de la CCME

Valor del CWQI	Categoría	Descripción
95 - 100	Excelente	La calidad del agua se encuentra protegida con una ausencia práctica de amenaza o deterioro; las condiciones son muy cercanas a los niveles naturales. Esos valores de índice sólo pueden obtenerse si todas las mediciones están dentro de los objetivos prácticamente todo el tiempo.
80 - 94	Buena	La calidad del agua está protegida con un grado menor de amenaza o deterioro; las condiciones rara vez se apartan de niveles naturales o deseables y usualmente, por un mínimo margen.
65 - 79	Regular	La calidad del agua se encuentra usualmente protegida pero algunas veces excede los niveles naturales o valor establecido y, posiblemente, por un pequeño margen.

Valor del CWQI	Categoría	Descripción
45 - 64	Marginal	La calidad del agua se encuentra frecuentemente amenazada o deteriorada; las condiciones normalmente se alejan de los niveles naturales o deseables por un margen considerable.
0 - 44	Pobre	La calidad del agua casi siempre está amenazada o deteriorada; usualmente se aleja de los niveles naturales o deseables por un margen considerable.

Fuente: (CCME, 2001)

3. RESULTADOS

La tabla a continuación muestra el resumen de los resultados obtenidos de la investigación:

Tabla 4. Resultados de parámetros físicos químicos y del contenido de metales pesados

Fecha de muestreo	27/05/2016	05/09/2016	11/11/2016	18/01/2017	27/05/2016	05/09/2016	11/11/2016	18/01/2017
Hora	12h00	11h55	10h56	11h14	10h20	10h35	09h45	09h15
Sitio de muestreo	Aguas arriba (barrio Guadalupe)				Aguas abajo (barrio Sutiaba)			
Parámetros FQ								
pH (unidades)	6,250	7,367	7,450	7,112	7,120	7,504	8,679	7,092
C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	553,0	559,0	583,0	548,0	742,5	770,5	807,5	1 283,0
E_h^* (mV)	165,7	262,7	290,8	177,4	284,4	268,0	286,6	301,0
S. Sed. (ml/l)	<0,1	<0,1	0,1	1,7	<0,1	<0,1	0,4	1,6
S.S.T. (mg/l)	51,6	85,2	92,0	176,4	63,7	76,0	180,7	186,6
Alcalinidad (mg/l)	89,0	204,0	221,2	222,0	103,8	214,0	227,5	228,0
Materia orgánica disuelta								
Aceites y Grasas (mg/l)	41,4	8,2	52,3	53,1	18,85	8,75	15,35	17,10
DBO ₅ (mg/l)	168,00	141,12	94,96	172,15	80,00	49,00	122,95	91,14
DQO (mg/l)	255,00	216,03	174,72	296,46	165,00	137,48	221,32	148,23
Turbidez (UNT)	31,75	103,2	79,2	127,2	94,0	85,6	106,0	133,0

Fecha de muestreo	27/05/2016	05/09/2016	11/11/2016	18/01/2017	27/05/2016	05/09/2016	11/11/2016	18/01/2017
Aniones y cationes								
Cl ⁻ (mg/l)	33,51	27,86	27,64	28,23	70,42	73,69	86,93	192,29
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	85,193	41,723	42,113	54,751	65,817	15,263	64,140	188,387
Ca _{dis} (mg/l)	16,659	24,040	19,225	75,446	24,647	29,888	41,942	41,613
Mg _{dis} (mg/l)	7,512	9,013	10,169	9,056	10,575	9,550	10,631	11,747
K (mg/l)	14,775	14,166	15,854	14,512	14,686	13,939	17,034	14,709
Na _{dis} (mg/l)	56,095	39,641	43,541	107,384	56,550	57,675	79,114	134,192
Nutrientes								
NH ₃ -N (mg/l)	17,555	16,644	18,956	22,035	20,388	18,240	20,731	23,046
B (mg/l)	0,122	0,063	0,084	0,121	0,039	0,260	0,304	0,311
Fe (mg/l)	0,903	0,777	0,652	2,600	0,740	0,644	1,045	1,389
P (mg/l)	2,302	2,312	3,243	3,434	2,359	2,354	2,922	2,970
Otros elementos/compuestos								
S ²⁻ (mg/l)	0,705	0,259	0,416	7,900	0,338	0,361	0,860	1,057
Cr ⁶⁺ (mg/l)	0,022	<0,016	<0,016	<0,016	<0,016	<0,016	<0,016	<0,016
Metales, metaloides y no metales								
Al (mg/l)	0,532	0,486	0,435	3,002	0,340	0,365	0,736	1,334
Ba (mg/l)	<0,001	0,176	0,096	0,115	0,137	0,135	0,136	0,116
Cr (mg/l)	<0,002	nd	<0,002	<0,002	0,626	1,047	0,605	39,719
Cu (mg/l)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,022
Mn (mg/l)	0,131	0,192	0,094	0,084	0,169	0,231	0,207	0,141
Se (mg/l)	nd	nd	nd	nd	<0,010	<0,010	nd	0,949
V (mg/l)	0,015	0,021	0,061	0,039	0,014	0,016	0,065	0,019
Zn (mg/l)	0,111	0,038	0,051	0,135	0,041	0,031	0,053	0,065
*: por cálculo; nd: No Detectado. Fuente: elaboración propia								

4. DISCUSIÓN

4.1. Parámetros físico-químicos

El potencial de Hidrógeno (pH) de las aguas colectadas en el sitio aguas arriba presentó valores casi neutros de 7,112 a 7,450. En época lluviosa presentó un pH de 6,250; sin embargo, el pH raramente representa un problema para el suelo y los cultivos, ya que la mayoría de los nutrientes están disponibles a pH 5,5 — 6,5 (Ayers y Westcot, 1985). El valor de pH en el sitio aguas abajo fue entre 7,120 a 8,679 con una ligera tendencia alcalina en época seca lo que podría disminuir la capacidad de bufereo del agua (CCREM, 1987). Los valores de conductividad más altos se presentaron en época seca (743 a 1283 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) en el sitio denominado aguas abajo debido a que en el período seco las concentraciones de las sales tienden a aumentar porque no hay dilución por el agua de lluvia lo que indicó una mineralización de importante a excesiva. Según la FAO (Motsara & Roy, 2008), aguas con una CE menor a 225 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ se consideran adecuadas para riego. Los SST se encontraron en el sitio aguas arriba entre 92,0 y 176,4 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y en el sitio aguas abajo, por encima del valor máximo (180,7 y 186,6 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) en época seca superando la directriz mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, protección de la vida acuática. La Comisión Nacional del Agua de México (CONAGUA, 2016), clasifica el agua del río como aguas superficiales con indicios de contaminación a contaminadas y de mala calidad en ambos sitios de muestreo, lo que se aduce a descargas de aguas residuales crudas, aguas con alto contenido de material suspendido y con uso restringido para riego. Los sólidos sedimentables no superaron el valor normado por las directrices a comparar. Los resultados de alcalinidad varían en el rango de 89,0 a 222,0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en el sitio aguas arriba y de 103,8 a 228,5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en el sitio aguas abajo, superando así el valor de la directriz U.S.EPA, protección de la vida acuática, crónica, en las cuatro campañas de muestreo. La alcalinidad promedio es de rango alto ($>150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) y en ambos sitios se supera por 11 veces en época seca lo cual implica la capacidad que tienen las aguas de amortiguar vertidos ácidos e indican un elevado potencial de fertilidad ya que las aguas extraen el CO_2 del ácido carbónico disuelto (Espinosa & Rodríguez, 2016).

4.2. Materia orgánica disuelta

Los resultados de DBO_5 se encontraron de 95,0 a 172,1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para aguas arriba y de 49,0 a 122,9 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ aguas abajo, superando el valor de la directriz NOM-001-SEMARNAT-1996, protección de la vida acuática, en las cuatro campañas de muestreo para el sitio aguas arriba y tres de las cuatro campañas en el sitio aguas abajo. CONAGUA lo clasifica como aguas superficiales contaminadas a fuertemente contaminadas, con un fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas, municipales y no municipales en ambos sitios. Los resultados de DQO obtenidos fueron de 174,7 a 296,5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para aguas arriba y de 137,5 a 221,3 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para aguas abajo superando así lo establecido por CONAGUA, para un agua contaminada a fuertemente contaminada ($\text{DQO}>200$) en ambos sitios. La alta demanda es provocada por la contribución

de materia orgánica que recibe el río. Según Custodio y Llamas (Custodio & Llamas, 2001), indica que hay contaminación cuando la concentración de DBO_5 supera 1 mg.L^{-1} y cuando la concentración de DQO supera los 10 mg.L^{-1} . La turbidez alcanzó su máximo en época seca para ambos sitios debido principalmente a causas bióticas y abióticas en suspensión como el arrastre de material, vertidos industriales y domésticos, y desechos sólidos como animales muertos y la erosión del suelo (CCREM, 2002).

4.3. Aniones y cationes

Los cloruros (Cl) en aguas arriba se encontraron entre 27,64 a 33,51 mg.L^{-1} y para el sitio aguas abajo entre 70,42 a 192,29 mg.L^{-1} . En época seca, en el sitio aguas abajo, la concentración superó el valor establecido por las directrices CCME protección para uso agrícola, INEN uso agrícola y FAO uso agrícola por 2 veces, lo que indica una contaminación residual doméstica e industrial ya que los cloruros son típicos indicadores de este tipo de contaminación antropogénica (Marín, 1996). Los sulfatos (SO_4^{2-}) en el sitio aguas arriba varió entre 41,723 a 85,193 mg.L^{-1} y en el sitio aguas abajo de 53,263 a 188,387 mg.L^{-1} . Las altas concentraciones de sulfatos son aportadas por la actividad industrial y doméstica entre las que están el uso de productos químicos como tintes, fertilizantes, y el aporte de la tenería semi-industrial por su desecho en la etapa de la coloración del cuero. El calcio (Ca) correspondiente al sitio aguas arriba estuvo entre 16,66 a 75,45 mg.L^{-1} , en donde en época seca se presentó la mayor concentración. En el sitio aguas abajo se encontraron concentraciones de 24,65 a 41,94 mg.L^{-1} , con elevadas concentraciones en época seca. Las concentraciones de magnesio (Mg) encontradas, en el sitio aguas arriba se encontraron entre 7,51 a 10,17 mg.L^{-1} y para aguas abajo entre 9,55 a 11,75 mg.L^{-1} , presentando las más altas concentraciones en época seca. Los iones carbonato y bicarbonato se combinan con calcio y magnesio para formar un precipitado en forma de CaCO_3 , lo que conlleva a una moderada alcalinización ($\text{pH}_{\text{máx}}$ de 7,45) y en aguas abajo (un máximo de 8,679) y altas concentraciones en la alcalinidad. Las concentraciones encontradas para el potasio (K) estuvieron entre 14,17 a 15,85 mg.L^{-1} para el sitio aguas arriba y 13,94 a 17,03 mg.L^{-1} para aguas abajo, concentraciones que se mantuvieron con poca variación, cuyo origen antropogénico puede estar relacionado con el uso de fertilizantes como el NPK. Según Rodier, J., en aguas naturales si no sobrepasa los 10 mg.L^{-1} no ofrece inconvenientes para la salud de la población (Rodier, 1981). Las concentraciones de sodio (Na) encontradas en el sitio aguas arriba estuvieron entre 39,64 a 107,38 mg.L^{-1} y en aguas abajo oscilaron entre 56,55 a 134,19 mg.L^{-1} valores que sobrepasan el máximo admisible según las directrices FAO e INEN para riego por 2 veces.

4.4. Nutrientes

Se encontraron elevadas concentraciones de amonio en el sitio aguas arriba de 16,6 a 22,0 mg.L^{-1} , y 18,24 a 23,05 mg.L^{-1} en aguas abajo. Aguas arriba supera en los cuatro muestreos los valores normados por la U.S.EPA protección de la vida acuática, aguda y crónica por 9

veces, la CCME (protección de la vida acuática) por 13 veces, y la INEN protección de la vida acuática y silvestre en más de 1000 veces. Aguas abajo supera la U.S.EPA, protección de la vida acuática, aguda por más de 3 veces y crónica por más de 18 veces, la CCME (protección de la vida acuática) en 75 veces y la INEN, protección de la vida acuática y silvestre, en más de 1000 veces. Estos resultados indicaron una contaminación reciente, ya que la presencia de este ion favorece la multiplicación microbiana. La concentración del ion amonio se eleva cuando el medio es fuertemente reductor ($P.R_{prom} = 224$ mV aguas arriba y $P.R_{prom} = 285$ mV aguas abajo) (Fernández & Vásquez, 2006). Las concentraciones encontradas de hierro en aguas arriba variaron de 0,652 a 2,600 $mg.L^{-1}$ en donde la mayor se registró en época seca, estos superan los valores normados para las directrices CCME protección de la vida acuática e INEN, protección de la vida acuática y silvestre en las cuatro campañas de muestreo por 9 veces. El valor de 2,6 $mg.L^{-1}$ supera la U.S.EPA vida acuática, crónica y la NTON categoría 2-A y 2-B por 3 veces. En tanto que las concentraciones en el sitio aguas abajo variaron de 0,644 a 1,389 $mg.L^{-1}$ en donde las mayores concentraciones se registraron en época seca. No se supera los valores normados para uso en irrigación.

4.5. Otros elementos/compuestos

Las concentraciones encontradas para sulfuro total son de 0,259 a 7,90 $mg.L^{-1}$ para el sitio aguas arriba y 0,338 a 1,057 $mg.L^{-1}$ para el sitio aguas abajo. El azufre es un componente esencial de la materia viva. La gran cantidad de materia orgánica presente en ambos sitios se evidenció por la alta concentración en aceites y grasas, turbidez, DBO_5 y DQO, esta se descompone debido a la presencia de bacterias heterotróficas y anaeróbicas reduciendo así el sulfato a sulfuro, primariamente como H_2S (CCREM, 1987). El cromo hexavalente resultó ser de 22 $\mu g.L^{-1}$ en la primer campaña de muestreo en el sitio aguas arriba supera las directrices U.S.EPA vida acuática aguda y crónica, CCME protección de la vida acuática y uso agua de riego, en 2 veces para la U.S.EPA y 22 veces para la CCME vida acuática, lo que hace más tóxica el agua de esta zona, relacionándola con la presencia de tenerías artesanales dispersas ubicadas en barrios al este de la ciudad como el barrio El Coyolar.

4.6. Metales, metaloides y no metales

4.6.1. Elementos trazas

El bario (Ba) presentó concentraciones en aguas arriba en el rango de 0,096 a 0,176 $mg.L^{-1}$ y en aguas abajo en el rango de 0,116 a 0,137 $mg.L^{-1}$. El boro (B) presentó concentraciones en el sitio aguas arriba en el rango de 0,063 a 0,122 $mg.L^{-1}$ y en aguas abajo de 0,039 a 0,311 $mg.L^{-1}$, presentando las más altas concentraciones en época seca. Los resultados obtenidos utilizando la técnica espectrométrica ICP-OES, con previa digestión ácida (HNO_3) no superaron los valores establecidos por las directrices a comparar en el estudio. Las concentraciones encontradas de boro

se pueden atribuir a que generalmente las aguas de manantial contienen cantidades apreciables de boro, especialmente en áreas geotérmicas. También puede deberse al uso doméstico de boratos/perboratos en detergentes y suavizantes, y blanqueadores domésticos como bórax y el ácido bórico (CCREM, 1987). Se encontraron concentraciones de cinc (Zn) en aguas arriba en el rango de 0,038 a 0,135 mg.L⁻¹, en donde las mayores concentraciones se dieron en el primer y último muestreo; en tanto que aguas abajo presentó concentraciones en el rango de 0,031 a 0,065 mg.L⁻¹, y las más altas concentraciones en época seca. Las concentraciones de cobre (Cu) encontradas aguas arriba son menores al límite de detección pero en el mes de enero se encontró una concentración de 22 µg.L⁻¹, ésta supera los valores normados de las directrices siguientes: U.S.EPA protección de la vida acuática, aguda por 2 veces, U.S.EPA protección de la vida acuática, crónica por 2,5 veces, CCME, protección de la vida acuática por 8 veces, y la INEN protección de la vida acuática y silvestre. Las altas concentraciones de cobre usualmente se relacionan con las actividades antropogénicas y por la descomposición bacteriana de la materia orgánica ya que el cobre tiene una alta afinidad por esta. Los resultados para manganeso (Mn) en el sitio de aguas arriba, superaron el valor normado para la directriz INEN, protección de la vida acuática y silvestre por 2 veces en época lluviosa. En el sitio aguas arriba las concentraciones variaron en el rango de 0,084 a 0,192 mg.L⁻¹ y la menor concentración se registró en época seca con un potencial redox bajo (177,4 mV). El potencial redox entre los meses de septiembre a noviembre fue el mayor registrado (277 mV_{prom}) y los cambios de pH fueron variantes, registrándose un valor de 6,25 en el mes de mayo y 7,367 en el mes de septiembre. Las concentraciones encontradas de manganeso en aguas abajo varió de 0,141 a 0,231 mg.L⁻¹ registrándose la menor concentración en época seca. Los resultados superaron los valores normados de las directrices CCME, INEN y FAO para agua de riego, la INEN protección de la vida acuática y silvestre por 2,3 veces con un potencial redox promedio en esos dos meses de 278 mV_{prom}. El potencial Redox medido en campo en el mes de enero es el mayor registrado (301 mV). En aguas abajo el manganeso superó las directrices CCME, INEN y FAO para agua de riego en los meses de septiembre a noviembre lo que se podría relacionar con muy poco crecimiento en las plantas (ATSDR, 2012). El selenio (Se), en el sitio aguas arriba no se detectó por la técnica espectrométrica ICP-OES. En el sitio aguas abajo, en época seca en el último muestreo fue de 0,949 mg.L⁻¹, superando así el valor normado de todas las directrices a comparar. U.S.EPA, agudo y crónico por 47 veces y 190 veces respectivamente; CCME vida acuática por 950 veces, CCME irrigación por 47 veces; INEN, vida acuática por 95 veces e INEN irrigación por 47 veces; NTON para riego de vegetales por 95 veces; FAO irrigación por 47 veces. Las concentraciones encontradas de vanadio (V) en el sitio aguas arriba variaron entre 0,015 mg.L⁻¹ a 0,061 mg.L⁻¹, en tanto que en aguas abajo variaron de 0,014 mg.L⁻¹ a 0,065 mg.L⁻¹. En todos los casos los resultados no superaron los valores establecidos por las directrices evaluadas.

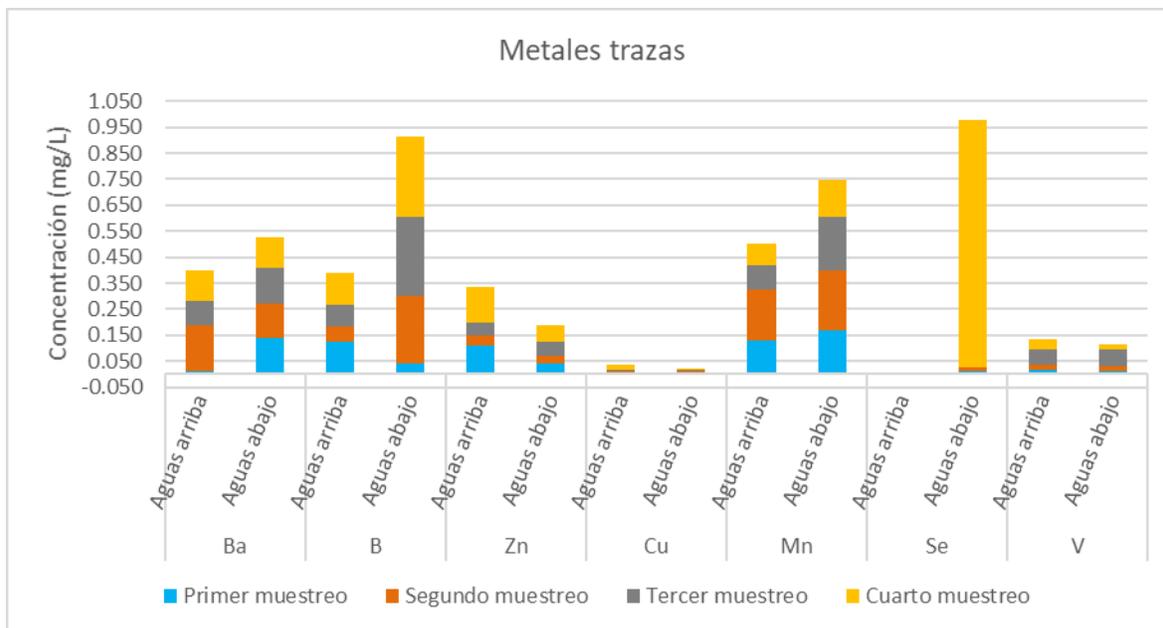


Gráfico 1. Gráfico de concentraciones de elementos trazas en las cuatro campañas de muestreo, en los dos sitios seleccionados. Fuente: elaboración propia

La concentración encontrada de aluminio (Al) en aguas arriba fueron de 0,435 a 3,002 mg.L⁻¹ y en el sitio aguas abajo varió de 0,340 a 1,334 mg.L⁻¹. Las mayores concentraciones se presentaron en época seca en ambos sitios de hasta 2,25 veces mayor en aguas arriba. En aguas abajo resultaron ser 15 veces mayores a lo establecido por U.S.EPA crónica y 13 veces mayor a la CCME e INEN.

Las concentraciones de Cromo³⁺ encontradas en el sitio aguas arriba resultaron ser menores al límite de detección (0,002 mg.L⁻¹). En el sitio aguas abajo las concentraciones de Cr se encontraron entre 0,626 mg.L⁻¹ a 39,719 mg.L⁻¹ en el mes de enero. Las concentraciones encontradas superaron el valor establecido por las directrices U.S.EPA protección de la vida acuática, aguda y crónica, CCME protección de la vida acuática, y la INEN protección de la vida acuática y silvestre. En época lluviosa el resultado del mes de septiembre superó los valores establecidos por la U.S.EPA por 2 veces y 14 veces, el valor de la CCME por más de 115 veces y el valor de la INEN por 21 veces. En este mismo mes se superó los valores de la CCME uso irrigación por más de 210 veces, NTON Categoría 2A-2B por 21 veces y FAO uso irrigación por más de 10 veces. El valor de 39,719 mg.L⁻¹ supera todos los valores establecidos por las distintas directrices por un amplio margen: U.S.EPA vida acuática aguda y crónica por 70 veces y más de 530 veces, respectivamente. CCME vida acuática, irrigación por 4 400 veces, más de 8 mil veces y 790 veces, respectivamente. La NOM-001-SEMARNAT-1996 protección de la vida acuática y uso irrigación por 40 veces y 26 veces, respectivamente. La INEN protección de la vida acuática y silvestre y la NTON Categoría 2A y 2B por 790 veces. La FAO uso irrigación por 400 veces. Estos

elevadísimos márgenes se deben a la influencia directa de la mayoría de tenerías artesanales y semi-industriales ubicadas a lo largo de 3,5 km del transecto seleccionado, cuya aglomeración de 30 tenerías inicia en el barrio Laborío hasta el barrio Sutiaba, las cuales vierten directamente al río sin tratamiento previo las aguas residuales provenientes principalmente, del proceso de curtido del cuero y el uso de sales de cromo ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$), y es común que cada tenería artesanal utilice formulaciones propias basados en su empirismo y experiencia con equipos obsoletos (Palacios & Zapata, 2011) (MIFIC, 2008).

4.7. Índice de Calidad de Agua

4.7.1. Índice de calidad de agua para la protección de la vida acuática y silvestre

En el sitio aguas arriba los índices de calidad variaron entre 33 hasta 81 (categoría pobre a buena). Los parámetros incluidos en el cálculo varían desde 11 hasta 18. Las directrices CCME y la INEN categorizaron el agua como pobre, la U.S.EPA la categorizó como regular (CWQI=71) y la NOM-001-semarnat-1996, como buena (CWQI=81). Implicando que la calidad casi siempre está amenazada o deteriorada y usualmente se aleja de los niveles naturales por un margen considerable. Los parámetros que disminuyeron la calidad del agua en este sitio fueron el Al, Cr^{6+} , Cu, Fe, Mn, Zn, los aceites y las grasas, la DBO_5 , los sólidos suspendidos totales y el amonio. En el sitio aguas abajo, los índices de calidad variaron desde 28 hasta 70 (categoría pobre a regular) desde una calidad casi siempre deteriorada hasta usualmente protegida. Los parámetros que disminuyeron la calidad del agua en este sitio fueron el Al, Cr^{3+} , Cu, Fe, Se, los aceites y grasas, los sólidos suspendidos totales y el amonio. El atributo que más influyó en ambos sitios fue la amplitud (F_3) que representa la cantidad por la cual los valores de los parámetros o pruebas fallidas no cumplieron sus objetivos de calidad.

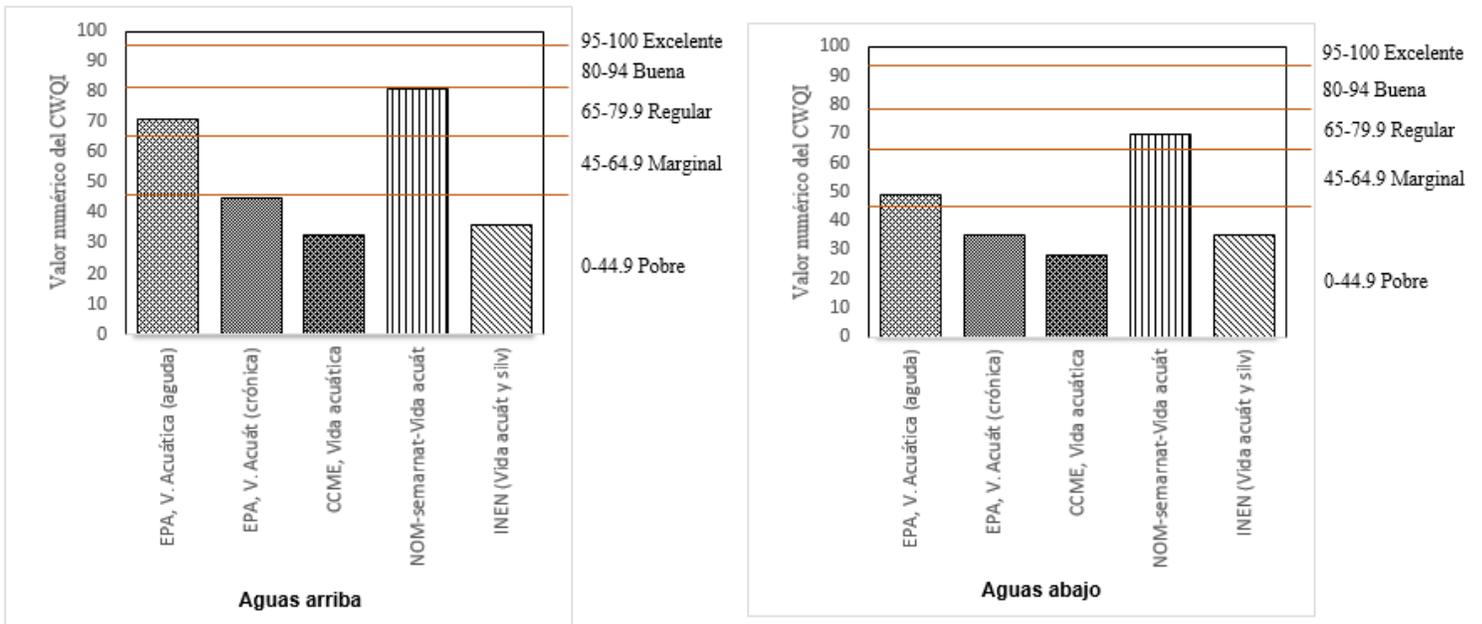


Gráfico 2. Comportamiento de la calidad del agua (CWQI) del Río Chiquito para el uso protección de la vida acuática.
Fuente: elaboración propia

4.7.2. CWQI para el uso agrícola (irrigación)

En el sitio aguas arriba, uso en riego, los índices de calidad variaron desde 49 hasta 96 (categoría marginal a excelente). Los parámetros incluidos en el cálculo varían desde 15 hasta 21. La directriz INEN categorizó el agua como marginal y FAO, la NTON y la NOM-001-semarnat-1996 la categorizaron como buena (CWQI entre 90 y 94). Los parámetros que disminuyeron la calidad del agua para riego en este sitio fueron el pH, Al, Cr⁶⁺, Fe, los aceites y las grasas, y la alcalinidad. El atributo que más influyó en los índices de calidad fue la frecuencia (F₁) que representa el porcentaje de variables “fallidas” que no cumplen sus objetivos al menos una vez durante el período de investigación. En aguas abajo, los índices de calidad variaron entre 41 hasta 52 (categoría pobre a marginal) con excepción de la NOM-001-semarnat-1996 que dio un índice de 81 (regular). Los parámetros que disminuyeron la calidad del agua para riego en este sitio fueron el Al, Cr³⁺, Cu, Fe, Se, los aceites y grasas, los sólidos suspendidos totales y el amonio. El atributo que más influyó en los índices de calidad fue la amplitud (F₃).

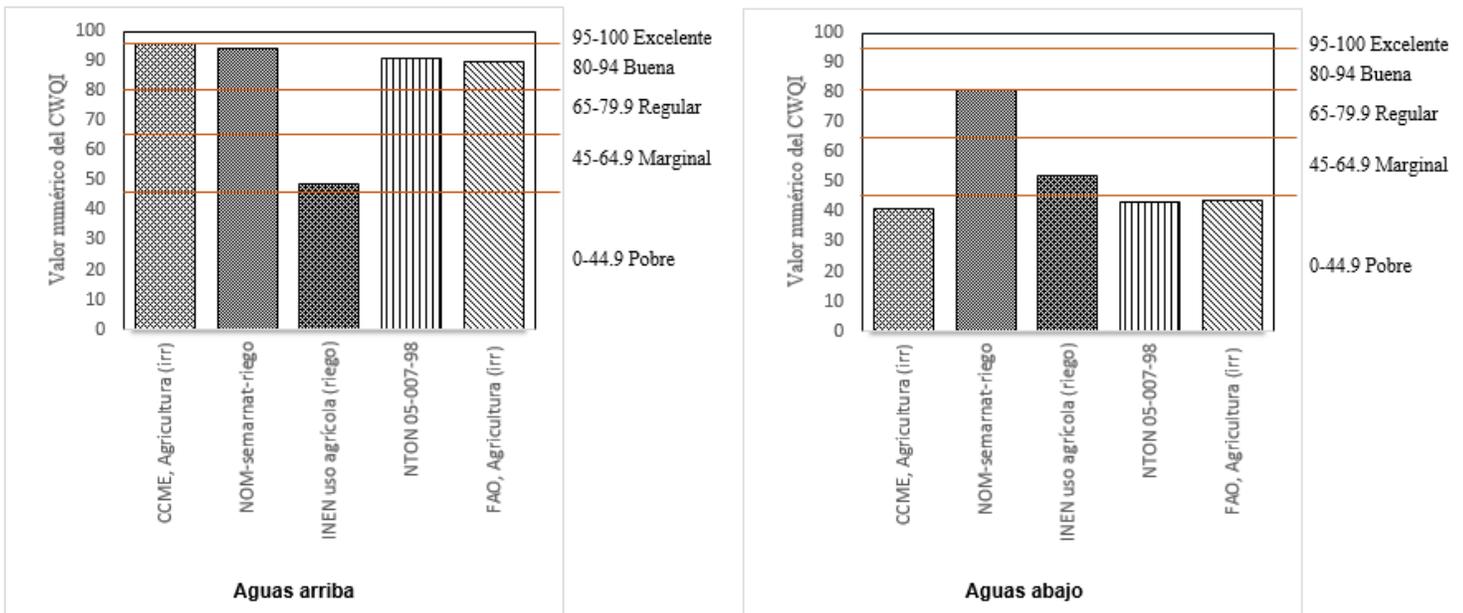


Gráfico 3. Comportamiento de la calidad del agua (CWQI) del Río Chiquito para el uso agrícola (irrigación). Fuente: elaboración propia

5. CONCLUSIONES

- La calidad del agua de los sitios de muestreo aguas abajo y aguas arriba se encontró deteriorada clasificándola según los parámetros DBO₅, DQO y SST, como contaminadas a fuertemente contaminadas. La mayoría de los parámetros físico-químicos (alcalinidad, aceites y grasas, sulfatos, amonio, sulfuro, cromo⁶⁺) y metales evaluados (Fe, Mn, Cr³⁺, Cu, Se, Zn) en el estudio superan en más del 50% las diferentes directrices utilizadas para los distintos usos.
- El cálculo del índice de calidad de agua de los sitios seleccionados para los usos del agua de protección de la vida acuática y uso irrigación, utilizando el CWQI, categorizó la calidad del agua del río para protección de la vida acuática como marginal para aguas arriba y pobre para aguas abajo y, para uso agrícola (irrigación) como regular para el sitio aguas arriba y marginal para aguas abajo. El uso del CWQI en esta investigación simplificó la interpretación y la tendencia del deterioro para la toma de decisiones acertadas para el cuerpo hídrico, por lo que se recomienda en estudios puntuales como este.
- Las elevadas concentraciones de cromo en el sitio aguas abajo superaron el valor establecido por las distintas directrices por un amplio margen (U.S.EPA, CCME, NOM-001-Semarnat, INEN, NTON y FAO). Por lo que la calidad del agua en este sitio está altamente contaminada.

AGRADECIMIENTOS

- A la Vice-Rectoría de Investigación, posgrado y Extensión Universitaria, de la UNAN-Managua, por apoyar económicamente mediante los fondos para proyectos de investigación (FPI).
- Al Ministerio del Ambiente y Los Recursos Naturales (MARENA-León) y su personal técnico, y a la Alcaldía de León, por su colaboración en el reconocimiento y monitoreo de los puntos de muestreo, y facilitar los medios para el reconocimiento de las principales industrias teneras artesanal y semi-industrial.
- Al Laboratorio de Biotecnología de la UNAN-Managua y al Centro de Investigación de Recursos Acuáticos (CIRA-UNAN) por el apoyo brindado en la realización de los análisis.
- A la Dra. Katia Montenegro Rayo, por su valioso apoyo técnico y humano durante todo el proceso de la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de León. (2016). *Estudios Biofísicos y Socioeconómico de las sub-cuencas y Micro cuencas hídricas del Río Chiquito, municipio de León, León, Nicaragua*. León.
- APHA. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (22 ed.). (E. W. Rice, R. B. Baird, A. D. Eaton, & L. S. Clesceri, Edits.) Washington, DC, United States of America: American Public Health Association. <https://www.standardmethods.org/>
- ATSDR. (2012). (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades). *Reseña toxicológica del Manganeso*. Atlanta, EEUU: Servicios de Salud Pública. <https://www.atsdr.cdc.gov/es/>
- Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). Water quality for agriculture. FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1985*): *Irrigation and Drainage Paper 29 Rev.1*. Reimpreted 1989, 1994.
- Castañé, P. M., López, C. R., Olgún, H. F., Puig, A., Rovedatti, M. G., Topolián, M. L., & Salibián, A. (1998). Caracterización y variación de parámetros fisicoquímicos y del plancton en un río urbano contaminado (río Reconquista, Argentina). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 14(2), 69-77. <https://www.redalyc.org/pdf/370/37014202.pdf>
- CCME. (2001). (Canadian Council of Ministers of the Environment). *Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, User's Manual*. Winnipeg, Manitoba, Canada. <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/138>

- CCME. (2014). *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Summary Table.*
- CCREM. (1987). *Canadian Water Quality Guide. (Canadian Council of Resource and Environment Ministers, Ontario).* Canadian.
- CCREM. (2002). (Canadian Council of Resource and Environment Ministers). *Canadian water quality guidelines for the Protection of Aquatic Life: Total particulate matter.* Winnipeg, Manitoba, Canada. <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/217>
- Chávez, Á. (2010). Descripción de la nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 9(17), 41-49. <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/6>
- CONAGUA. (2016). *Comisión Nacional del Agua.* Obtenido de www.conagua.com.mx
- Custodio, E., & Llamas, M. (2001). *Hidrología Subterránea* (Segunda. Tomo I y II ed.). Barcelona, España: Ediciones Omega S.A.
- Espinosa, T., & Rodríguez, C. (diciembre de 2016). Determinación del índice de calidad de agua (ICA) de los ríos Morón y Patanemo del Estado Carabobo, en Venezuela. *Revista INGENIERÍA UC*, 23(2), 204-2015. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70746634011>
- Fernández, C., & Vásquez, Y. (2006). Origen de los nitratos y nitritos y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas. *Revista Minería y Geología*, 22(3), 1-9. <https://www.redalyc.org/pdf/2235/223517652002.pdf>
- Henríquez de Guidos, D. A. (2003). Determinación espectrofotométrica de cromo en aguas residuales de tenerías: validación y aplicación. *Tesis para optar al Título de Máster en Química Analítica, UNAN-León.* León, Nicaragua. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/retrieve/5097>
- Jiménez, B., & Galizia, J. (2012). *Diagnóstico de las aguas en las Américas.* Distrito Federal: Foro Consultivo Científico y Tecnológico, CA. https://www.ianas.org/water/book/diagnostico_del_agua_en_las_americas.pdf
- Lavié, E., Morábito, J. A., & Salatino, S. E. (2014). Aplicación de índices integradores de calidad hídrica al Piedemonte Andino Argentino. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(4), 23-37. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v5n4/v5n4a2.pdf>
- Lezama, J. C. (2013). *Microcuenca del Río Chiquito: Diagnóstico socioeconómico.* Managua. Nicaragua: Universidad Nacional Agraria.
- Marín, R. (1996). Características físicas, químicas y biológicas de las aguas. *Empresa Municipal de Aguas de Córdoba S.A. (EMACSA).* Plateros, Córdoba, España.

- MIFIC, C. U. (2008). *Manual de Buenas Prácticas Ambientales del Sector MIPYME - Tengería*. Centro de Producción más Limpia de Nicaragua.
- Motsara, M. R., & Roy, R. R. (2008). Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis. *FAO fertilizer and plant nutrition, bulletin* 19. Rome.
- Palacios, H., & Zapata, J. (noviembre de 2011). Estimación del índice simplificado de la calidad de agua (ISCA) del río chiquito de la ciudad de León. *Tesis para optar al Título de Licenciado en Química, UNAN-León*. León, Nicaragua.
- Rodier, J. (1981). *Análisis de las aguas. Aguas naturales, aguas residuales y agua de mar*. Barcelona, España: Ediciones Omega.
- Roig Orts, M., Martínez, M. Á., Segarra, V., Ferrer Palacios, J., Nieto Álvarez, J. A., García Espantaleón, A., & Gandia Campos, F. (2003). *Recirculación de baños de curtición en las industrias de curtidos*. Instituto Tecnológico del Calzado y Conexas (INESCOP).
- Samboni, N., Carvajal, Y., & Escobar, J. C. (diciembre de 2007). Revisión de parámetros físico-químicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181. <https://www.redalyc.org/pdf/643/64327320.pdf>
- U.S.EPA. (2017). (Environmental Protection Agency). *Draft Aquatic Life Ambient Water Quality Criteria for Aluminium, 2017*. Office of Water, Office of Science and Technology Health and Ecological Criteria Division. Washington, D.C., EE.UU. <https://www.epa.gov/wqc/aquatic-life-criteria-and-methods-toxics>
- USEPA. (20 de Julio de 2017). *National Recommended Water Quality Criteria - Aquatic Life Criteria Table*.