

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
Recinto Universitario Rubén Darío
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Departamento de Química
Carrera de Química Ambiental



Monografía para optar al título de Licenciatura en Química Ambiental

**Título: Impacto de los vertidos de tenerías sobre la calidad físico-química y la integridad biológica del sedimento del Río Chiquito, León
Mayo 2016 – Enero 2017.**

Autor:

Edwin Ottoniel Alvarado

Tutora:

Dra. Katia Montenegro

Asesor:

Lic. Jorge Esquivel

Managua, Febrero de 2019

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo de culminación de estudio a:

Mi abuela María Alvarado Páramo (Mamá Leo) por ser un pilar fundamental en cada etapa de mi vida, a mi tía Liliam Alvarado por sus consejos en los momentos oportuno y tía Josefa Villavicencio Alvarado por ser un ejemplo que constancia y perseverancia se puede lograr las metas propuestas.

Mi hermano Osmar Villavicencio Alvarado con quien he compartido buenos momentos y con quien puedo contar siempre que lo necesite.

A mis demás familiares y amistades por todo el apoyo e interés brindado en mi formación académica.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua que ha sido mi hogar por tanto tiempo, abriendo las puertas a la educación superior del pueblo nicaragüense, y a sus docentes que me han proporcionado la base para construir mi desarrollo profesional e intelectual.

Al fondo para proyectos de investigación (FPI) del Vicerrectorado de Investigación, posgrado y extensión de la UNAN-Managua, por el apoyo financiero para la realización de esta investigación por medio de los fondos otorgados a la tutora de la tesis.

A la dirección del Laboratorio de Biotecnología de la UNAN-Managua por su colaboración en la logística de muestreo y financiamiento parcial para la realización de los análisis, y los recursos brindados para la redacción e investigación de este estudio. A los analistas del Laboratorio que también brindaron su aporte en la realización de muestreos y análisis, agradeciéndoles el haberme facilitado los conocimientos y medios para llevar a cabo todas las actividades necesarias para la realización de esta investigación.

Al Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua) por el apoyo brindado en descuentos de los precios en análisis realizados y recursos para la toma de muestra así como el tiempo de tutoría y los recursos brindados para la redacción de este estudio.

A mi tutora de tesis Dra. Katia Montenegro, por su valioso apoyo técnico y humano en este proceso, así como su voluntad de ayuda, tolerancia e interés en el desarrollo técnico científico y mi formación profesional.

A mi asesor de tesis Lic. Jorge Esquivel, por su asesoría brindada en la realización de los análisis y ayuda en el ámbito profesional y humano en toda la elaboración de este trabajo.

Al MARENA-León y Alcaldía de la ciudad de León por la ayuda proporcionada en el acompañamiento a los sitios de estudio y la recolección de las muestras, así como la información proporcionada acerca de la contaminación generada en los sitios.

Índice

| | |
|---|----|
| 1. Resumen..... | 10 |
| 2. Introducción | 12 |
| 3. Planteamiento del problema | 14 |
| 4. Justificación | 16 |
| 5. Objetivos..... | 17 |
| 5.1. Objetivo general | 17 |
| 5.2. Objetivos específicos..... | 17 |
| 6. Marco teórico | 18 |
| 6.1. Antecedentes..... | 18 |
| 6.2. Generalidades | 20 |
| 6.2.1. Geología Regional | 20 |
| 6.2.2. Sedimentos | 21 |
| 6.2.3. Contaminación de sedimento..... | 22 |
| 6.2.4. Actividades antropogénicas | 22 |
| 6.2.5. Protección de vida acuática | 22 |
| 6.2.6. Integridad biológica y bio-monitoreo | 25 |
| 6.2.7. Estructura de los macro-invertebrados bentónicos | 25 |
| 6.2.7.1. Abundancia | 25 |
| 6.2.7.2. Índices de diversidad y similitud | 26 |
| 6.2.7.3. Grupos funcionales alimenticios..... | 27 |
| 6.2.8. Función de la comunidad microbiana..... | 28 |
| 6.2.9. Metales pesados con énfasis en Cromo | 28 |
| 6.2.9.1. Arsénico | 29 |
| 6.2.9.2. Aluminio..... | 30 |
| 6.2.9.3. Cadmio | 30 |
| 6.2.9.4. Cromo..... | 30 |
| 6.2.9.5. Cobre..... | 30 |
| 6.2.9.6. Hierro..... | 31 |
| 6.2.9.7. Mercurio | 31 |

| | |
|--|----|
| 6.2.9.8. Manganeso..... | 31 |
| 6.2.9.9. Níquel..... | 32 |
| 6.2.9.10. Plomo | 32 |
| 6.2.9.11. Zinc..... | 32 |
| 6.2.10. Fraccionamiento de metales y metaloide por el método de extracción secuencial..... | 32 |
| 6.3. Importancia de parámetros físicos-químicos y biológicos de interés..... | 33 |
| 6.3.1. Potencial de Hidrógeno (pH)..... | 33 |
| 6.3.2. Potencial Redox (ORP)..... | 34 |
| 6.3.3. Conductividad eléctrica..... | 34 |
| 6.3.4. Humedad | 35 |
| 6.3.5. Materia Orgánica | 35 |
| 6.3.6. Granulometría | 35 |
| 6.3.7. Zoobentos..... | 36 |
| 6.3.8. Actividad enzimática de deshidrogenasas | 36 |
| 7. Preguntas directrices | 37 |
| 8. Diseño metodológico..... | 38 |
| 8.1. Descripción del ámbito de estudio..... | 38 |
| 8.2. Tipo de estudio..... | 38 |
| 8.3. Área de estudio | 39 |
| 8.4. Definición y operacionalización de variables | 41 |
| 8.5. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos..... | 42 |
| 8.5.1. Recolección de muestras..... | 46 |
| 8.5.2. Métodos y técnicas analíticas utilizadas | 48 |
| 8.5.2.1. Procedimiento previo al análisis | 49 |
| 8.5.2.2. Determinación de parámetros físicos-químicos..... | 49 |
| 8.5.2.3. Determinación de metales y metaloide de interés..... | 49 |
| 8.5.2.4. Determinación de actividad enzimática y análisis cualitativo y cuantitativo de zoobentos | 51 |
| 8.5.2.5. Ecuaciones de los índices de diversidad y similitud realizadas..... | 52 |
| 9. Resultados y discusión | 54 |
| 9.1. Parámetros físicos-químicos | 54 |
| 9.2. Metales y metaloides..... | 57 |

| | |
|--|----|
| 9.3. Macro-invertebrados bentónicos | 67 |
| 9.3.1. Riqueza y taxonomía | 67 |
| 9.3.2. Densidad comunitaria y abundancia relativa..... | 69 |
| 9.3.3. Grupos funcionales alimenticios | 72 |
| 9.3.4. Índices de diversidad | 72 |
| 9.4. Actividad enzimática de Deshidrogenasas | 75 |
| 10. Conclusiones | 77 |
| 11. Recomendaciones | 79 |
| 12. Bibliografía..... | 80 |
| 13. Anexos..... | 89 |
| 13.1. Sitios de interés..... | 89 |
| 13.2. Toma de muestra en los sitios de interés..... | 91 |
| 13.3. Preparación de muestra | 91 |
| 13.4. Determinación del Cromo hexavalente | 92 |
| 13.5. Determinación de metales totales recuperables | 93 |
| 13.6. Valores de referencia de corrección de electrodo ORP | 93 |
| 13.7. Curva de calibración..... | 95 |
| 13.8. Concentraciones totales recuperable, intercambiables y reducible de los metales, metaloides y no metales analizados en este estudio..... | 95 |
| 13.9. Distribución del tamaño de la partícula de sedimento del Río chiquito | 97 |
| 13.10. Formato de resultados | 97 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Directrices de calidad de sedimento para metales y metaloides de interés recomendados por CCME, MOE y USEPA. | 24 |
| Tabla 2. Coordenadas de los sitios de toma de muestra. | 47 |
| Tabla 3. Parámetros físicos-químicos y biológicos de interés, metodología y técnicas analíticas utilizadas en el estudio de los sedimentos del Río Chiquito. | 48 |
| Tabla 4. . Resultados obtenidos de los parámetros físicos-químicos en el sedimento del Río Chiquito en los dos sitios de interés durante las dos campañas de muestreo realizadas en mayo 2016 y enero 2017. | 54 |
| Tabla 5. Resultados de clase textural del sedimento del Río Chiquito en los sitios de interés durante mayo 2016 y enero 2017. | 56 |
| Tabla 6. Comparación de resultados de metales y metaloides en muestras de sedimento (mg/kg, peso seco) de los sitios de interés en los dos muestreos realizados con valores guía propuestos por el CCME y la USEPA para el uso protección de la vida acuática. | 58 |
| Tabla 7. Concentraciones de metales de interés total recuperable y en las fracciones biodisponible/intercambiable (f1) y óxido reducible (f2) en muestras de sedimento de Río Chiquito (mg/kg, peso seco) durante mayo 2016 y enero 2017 en los sitios de interés. | 65 |
| Tabla 8. Densidad poblacional (ind/m ²) y grupo funcionales alimenticios (GFA) de las taxas de macro-invertebrados bentónicos identificadas en sedimentos del Río Chiquito, durante los meses de mayo 2016 y enero 2017 en los sitios de interés. | 68 |
| Tabla 9. Índices de diversidad (Shannon-Wiener, Margalef y Simpson) y equidad (Pielou) calculados a partir de los parámetros estructurales de las comunidades de macro-invertebrados bentónicos de sedimentos del Río Chiquito colectados en los períodos lluvioso y seco (Mayo 2016 y Enero 2017). | 73 |
| Tabla 10. Índices de similitud (PSC y B2) entre las comunidades de macro-invertebrados del Río Chiquito en los sitios de interés (Aguas arriba vs. Aguas abajo) en los muestreos realizados en Mayo (2016) y Enero (2017). | 74 |
| Tabla 11. Actividad enzimática de deshidrogenasas (µg de INTF/ g de suelo × 2h) detectada en muestras de sedimento del Río Chiquito en los sitios de interés durante mayo 2016 y enero 2017. | 76 |

Siglas y acrónimos

| | |
|-----------------------------|--|
| CCME | Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (Canadian Council of Ministers of the Environment) |
| US EPA | Agencia de protección del medio ambiente (Environmental Protection Agency, of the United States) |
| MOE | Ministerio del Ambiente de Ontario |
| MARENA | Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales |
| INIDE | Instituto Nacional de Información de Desarrollo |
| NMX | Normas Mexicanas |
| ISQGs | Guías provisionales de calidad de los sedimentos de agua dulce |
| LEL | Nivel de efecto más bajo |
| PEL | Niveles de efectos probables e incidencia |
| SEL | Nivel de efecto severo |
| NE | No Establecido |
| SMWW | Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales |
| ATSM | Sociedad Americana para Pruebas y Materiales |
| ISO | Organización Internacional de Normalización |
| BMWP | Biological Monitoring Working Party score |
| ICP-OES | Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplada Inductivamente |
| UV/Vis | Ultravioleta-Visible |
| pH | Potencial de Hidrogeno |
| ORP | Potencial Redox en Campo |
| Eh | Potencial Redox Corregido |
| mg/kg | Miligramo sobre kilogramo |
| µg de INTF/(g de suelo *2h) | Microgramos de Iodonitrotetrazolium formazan sobre gramo de suelo seco después de 2 horas |
| Ind/m ² | Individuo sobre metro cuadrado |

| | |
|----------------|--|
| <LD | Por debajo del límite de Detección |
| ND | No Detectado |
| NI | No Identificado |
| G.n.i | Género no identificado |
| ° C | Grados Celsius |
| mV | mili voltios |
| km | Kilómetro |
| m | Metros |
| % | Porcentaje |
| GPS | Sistema de Posición Global |
| H' | Diversidad de Shannon-Wiener |
| J | Equidad de Pielou |
| Margalef | Índice de Biodiversidad |
| Simpson | Índice de dominancia Simpson |
| %PSC | Índice de Porcentaje de similitud de comunidades |
| B ² | Índice de similitud de Pinkham y Pearson |

1. Resumen

La contaminación de ecosistemas acuáticos por las actividades antropogénicas es un serio problema ambiental a nivel mundial, esta es la situación que enfrenta el Río Chiquito en la ciudad de León que recibe los vertidos directos de aguas de desecho doméstico así como de las actividades artesanales y semi-industriales del curtido de pieles. El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto de las aguas residuales provenientes de tenerías de la ciudad de León sobre la calidad físico-química y la integridad biológica del sedimento del Río Chiquito. Para cumplirlo se realizaron muestreos en el período lluvioso (mayo 2016) y seco (enero 2017) en los sitios Aguas arriba (sitio no impactado por aguas residuales de tenerías) y Aguas abajo (sitio después de los vertidos de aguas residuales de tenerías). Las muestras de sedimento se analizaron para conocer sus parámetros físico-químicos básicos, contenidos totales y unidos a las fracciones intercambiable y reducible de 11 metales (Al, Fe, Mn, Zn, Cr, Cu, Ni, Pb, As, Hg y Cd), la estructura de macro-invertebrados bentónicos y la actividad enzimática de deshidrogenasas. Los resultados obtenidos evidenciaron que la textura arenosa de los sedimentos limita la acumulación de metales y facilita su transporte aguas abajo. Las concentraciones de los metales de interés indican que existen altas probabilidades de que ocurran efectos adversos a la vida acuática debido a la contaminación por Hierro, Zinc, Mercurio y Cromo; y probabilidades de bajas a moderadas por Cobre, Níquel, Cadmio y Manganeso en uno o ambos sitios en al menos uno de los períodos muestreados. La movilidad y potencial tóxico de los metales de interés en ambos sitios y períodos muestreados parecen ser bajos dadas las condiciones de pH y potencial redox predominantes; sin embargo esto podría cambiar si hay un aumento del potencial redox. No se detectó Cromo hexavalente en ninguno de los períodos del año muestreados en los sedimentos de los sitios seleccionados, implicando que el Cromo presente posiblemente se encuentra en estado reducido, el cual es menos tóxico. De los parámetros utilizados para evaluar la integridad biológica usando la comunidad de macro-invertebrados bentónicos, la diversidad fue la que detectó las mayores diferencias entre las comunidades del sitio Aguas arriba, con mayor diversidad de géneros y mayor equidad que la del sitio Aguas abajo en ambos períodos muestreados. La mayoría de las familias de macro-invertebrados identificadas son bioindicadoras de aguas desde medianamente hasta muy contaminadas, entre las

que se distinguen el género *Psychoda* que resultó ser tolerante al Cromo y el G.n.i. del *Phylum* Nematoda que resultó sensible. La actividad enzimática de deshidrogenasas, usada para detectar el impacto sobre la funcionalidad de las comunidades microbianas, fue mayor en el sitio Aguas abajo en ambos períodos de muestreo, posiblemente debido al enriquecimiento de materia orgánica debido a la actividad de tenería y sin aparente impacto negativo de la contaminación por Cromo y Zinc. Estos hallazgos implican la necesidad de la implementación urgente de medidas que permitan disminuir los vertidos y mitigar los daños de las distintas actividades de la ciudad de León sobre el Río Chiquito.

Palabras clave: tenería, cromo VI, integridad biológica, calidad de sedimento, protección de la vida acuática.

2. Introducción

La contaminación de ecosistemas acuáticos debido a las distintas actividades antropogénicas puede ocasionar afectaciones a niveles físicos, químicos y biológicos en los ecosistemas (García Galán, 1997). Dentro de las actividades antropogénicas que más daño provocan al ambiente a nivel mundial está el curtido de pieles, cuya gravedad aumenta en tenerías artesanales o semi-industriales que generalmente no tratan sus efluentes potencialmente tóxicos antes de verterlo a los cuerpos receptores (Roig, y otros, 2003).

La contaminación generada por las aguas residuales no tratadas puede intensificarse en el sedimento afectando a los organismos que lo habitan, ya que este actúa como trampa o reservorio para muchos contaminantes que podrían ser liberados, afectando así la calidad del agua (CCME, 1995).

La actividad de tenerías en el país genera más de 300 empleos directos. El informe del 2010 sobre la situación y perspectivas de la industria del cuero y calzado en Nicaragua, registró que esta está distribuida en el país principalmente en los departamentos de Granada, Estelí (Condega), León y Managua, en 27 micro, 10 pequeñas y 5 medianas tenerías. Solamente en el departamento de León se encontraron más de 30 tenerías entre dos tenerías catalogadas como semi-industriales, 8 tenerías artesanales y más de 12 micro artesanales conformando aproximadamente un 60 % de la actividad de tenería a nivel nacional (MIFIC, CPML, UNI, 2008; INEC, 2006).

El impacto que generan los vertidos de las actividades de tenería (artesanal y semi-industrial) sobre la calidad de sedimento del Río Chiquito se estimó para el uso protección de la vida acuática en dos sitios ubicados a lo largo de 3,5 km del casco urbano de la ciudad de León. Esta estimación se comparando los resultados de parámetros físicos-químicos con énfasis en 11 metales/metaloideos potencialmente tóxicos (Cromo, Cobre, Cadmio, Arsénico, Aluminio, Plomo, Hierro Níquel, Cinc, Mercurio y Manganeso) con los valores guías o directrices recomendados por Agencias Ambientales internacionales (CCME, USEPA), en los sitios de interés (Aguas arriba, sitio no impactado por aguas residuales de tenerías y Aguas abajo ubicado después de

los vertidos de la actividad de tenería artesanal y semi-industrial) durante dos campañas de muestreo para caracterizar los períodos lluvioso (mayo 2016) y seco (enero 2017).

La integridad biológica del sedimento se estimó al comparar algunos parámetros estructurales de las comunidades de macro-invertebrados bentónicos como lo son la riqueza, abundancia relativa, similitud, equidad y diversidad (García Galán, 1997), así como la funcionalidad de llevar cabo procesos redox de las comunidades microbianas al cuantificar la actividad enzimática de deshidrogenasas (Margesin & Schinner, 2005) en los dos sitios seleccionados.

3. Planteamiento del problema

Las industrias juegan un papel importante en la economía de cualquier país, en retrospectiva en Nicaragua un país en desarrollo, mediante la búsqueda del placer económico, con el desarrollo de las industrias se ha venido perjudicado en gran medida los ecosistemas acuáticos y/o terrestres ya que la industria vierte sus desechos tóxicos a los cuerpos de agua, que son los receptores finales, de forma directa o indirecta y sin previo tratamiento en la mayoría de los casos (MIFIC, CPML, UNI, 2008; Roig, y otros, 2003). Un ejemplo es la industria del curtido del cuero (MIFIC, CPML, UNI, 2008; Alcaldía de León, 2016) la que actualmente sigue utilizando maquinaria obsoleta lo que sigue generando desechos tóxicos sin ningún tratamiento previo. Y por si fuera poco a esto le sumamos la contribución de los desechos que generan las actividades domésticas perjudicando aún más los ecosistema (MIFIC, CPML, UNI, 2008; Vera & Safra, 2014).

El proceso del curtido de pieles comprende varias etapas, según Porta & Muños, (2003), una de ellas es la etapa de curtido, en donde se utiliza un agente de curtición como la sal sulfato básico de cromo (CrOHSO_4), que luego de un proceso de agitación de 12 horas se vierte el efluente resultante directamente al río en donde el cromo se acumula en el sedimento provocando el aumento de las concentraciones del mismo, lo que consecuentemente perjudica la diversidad, abundancia y comportamiento de los organismos bentónicos del ecosistema (Porta & Muños, 2003). (CCME, 1999; MIFIC, CPML, UNI, 2008; Alcaldía de León, 2016). La acumulación de cromo en el sedimento puede ser tóxica ya que el cromo puede oxidarse, dependiendo de las condiciones del medio, a Cromo hexavalente (Cr^{+6}) que es la especie más tóxica (Palmer & Puls, 1994; Xiao, y otros, 2012; CCME, 1999).

Según el MIFIC y MIPYME, en Nicaragua la mayor actividad de tenería se concentra en la ciudad de León, en donde las empresas se han ubicado en la ribera del Río Chiquito, desde la parte norte de la ciudad que abarca el barrio El Coyolar hasta la parte baja (suroeste del barrio Sutiaba), y han afectado por aproximadamente 50 años gran parte del río debido a las descarga de las aguas residuales provenientes de las actividades

de tenerías (que no trata sus vertidos), combinado con los desechos líquidos y sólidos producto de las actividades domésticas (de la población que está asentada a la ribera del río) y las 19 lagunas de oxidación (que actualmente rebasan su capacidad) afectan también las aguas y sedimento del río (Alcaldía de León, 2016).

En los últimos 20 años, con el aumento de la población y creciente demanda del cuero a nivel nacional, ha provocado que la industria artesanal aumente en número y por ende se ha aumentado la producción del cuero. Lo que consecuentemente ha provocado un mayor flujo de aguas residuales industriales. Estas aguas residuales, además de las domésticas servidas, y una apreciable cantidad de desechos sólidos recorren el cauce principal del Río Chiquito de unos 48 km hasta desembocar en el océano Pacífico a través de la Reserva Protegida Isla Juan Venado, la cual recibe un aporte de carga de sedimento de 4,12 toneladas por año a través del sector El Carmen (Alcaldía de León, 2016). Cabe mencionar que la Reserva alberga distintas especies acuáticas desde peces a aves y es atractivo turístico del departamento (Martínez, 2003; Alcaldía de León, 2016).

Por lo que este estudio está orientado a la obtención de datos actualizados de calidad del sedimento, para estimar el potencial impacto que están generando las actividades antropogénicas de la ciudad mediante la medición de algunos parámetros físico-químicos incluyendo metales y metaloides, estimación del estado de la estructura de las comunidades de macro-invertebrados bentónicos, así como una estimación de la funcionalidad de las comunidades microbianas al medir su actividad enzimática.

4. Justificación

Este estudio de grado abordará la estimación de la calidad del sedimento en el Río Chiquito de la ciudad de León; a partir de los resultados obtenidos se emitirá un diagnóstico del estado actual del sedimento del río, y por ende estos primeros datos de calidad del sedimento ayudarán en el proceso de toma de decisiones a las Autoridades municipales para el establecimiento de acciones pertinentes para proteger y recuperar a este cuerpo receptor.

Los sedimentos son el destino final de todo objeto, ya que este recibe y almacena todo lo que se vierte, sean sustancias orgánicas e inorgánicas, de forma natural o antropogénica (Williams, 2012). Por tal razón es necesario, a través de este estudio, estimar el grado de contaminación del río y su posible efecto tóxico generado por las actividades antropogénicas, principalmente. La retención del Cromo (sal de cromo en la etapa de curtido) en el sedimento provoca la oxidación de este a su forma más tóxica (hexavalente) para la diversidad, abundancia y comportamiento de las comunidades acuáticas, dependiendo del pH, la temperatura y las condiciones redox del medio (Xiao, y otros, 2012; MIFIC, CPML, UNI, 2008).

El Río Chiquito atraviesa el casco urbano de la ciudad por lo que es afectado por las aguas residuales no tratadas que tienen su origen en las distintas actividades antrópicas de la ciudad mayormente por las actividades domésticas e industriales, lo que ha provocado un deterioro de la calidad del agua y el sedimento por alrededor de unos 50 años ocasionando molestias a la población en general (Alcaldía de León, 2016). Cabe mencionar el fuerte hedor perceptible a más de 50 metros en dirección norte-sur del río, producto de desechos líquidos y sólidos que se vierten. El arrastre de todos estos desechos tiene como destino final la reserva isla Juan Venado, denotando así la importancia de conocer las condiciones actuales del sedimento (Alcaldía de León, 2016).

El aporte de este trabajo es proporcionar información acerca del estado actual de la calidad del sedimento del río afectado por la contaminación a las entidades encargadas del manejo y control del recurso (MARENA-León y la Alcaldía de León), una valiosa herramienta de gestión que les permita tomar decisiones pertinentes para rehabilitar el recurso hídrico.

5. Objetivos

5.1. Objetivo general

Evaluar el impacto de los vertidos las tenerías sobre la calidad físico-química y la integridad biológica del sedimento del Río Chiquito, León Mayo 2016 – Enero 2017.

5.2. Objetivos específicos

- Estimar la calidad físico-química del sedimento del Río Chiquito en los dos sitios seleccionados, con énfasis en 11 metales y metaloides, para el uso protección de la vida acuática.
- Estimar la integridad biológica del sedimento del Río Chiquito en los dos sitios seleccionados en base a la estructura de las comunidades de macro-invertebrados bentónicos y la actividad enzimática de las comunidades microbianas.
- Evaluar la movilidad y potencial tóxico de 11 metales y metaloides (Al, Fe, Mn, Zn, Cr, Cu, Ni, Pb, As, Hg y Cd) del sedimento del Río Chiquito, con énfasis en Cromo en los sitios seleccionados.

6. Marco teórico

6.1. Antecedentes

A nivel latinoamericano se han encontrado estudios de los estados de sedimentos superficiales de río, los cuales se mencionan a continuación.

La evaluación de sedimentos del Río Pirro en Heredia, Costa Rica reportó altas concentraciones de Cd, Ag, Se, Sn, Ni, Cr, Cu, B, Zn, Hg, Ba, Pb, Mn, As y Al debidas a los vertidos de las aguas residuales sin previo tratamiento provenientes de actividades domésticas, agrícolas, metalúrgicas y metal-mecánicas, (Herrera, Rodríguez, Coto, Salgado, & Borbón, 2012). Estos autores concluyeron que los metales pesados detectados provienen de diversas actividades de origen antropogénico y constituyen un gran peligro para la biota acuática y para el ser humano, ya que estas actividades favorecen al deterioro de la calidad hídrica y ambiental.

Mora, Jumbo, González y Bermeo, (2016) analizaron las concentraciones de elementos como Al, Co, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb y Zn en sedimentos de algunos sectores de la cuenca del río Puyango en Ecuador, para determinar el factor de enriquecimiento que presentan los metales pesados en los sedimentos. Siete de los metales analizados (Hg, Cu, Pb, Zn, Mn, Co y Fe) presentaron altos factores de enriquecimiento debido a la descarga por lixiviación minera lo que a su vez implicó un alto grado de potencial de efectos adversos para la biota acuática.

A nivel nacional se encontraron diferentes estudios relacionados a la calidad de sedimento.

En la determinación de los elementos Hg, Pb, As, Cu, Cr y Cd, en agua y sedimento del río San Juan y sus principales tributarios, en el período de 1992 a 1993, se realizaron dos campañas de muestreo en las cuales los resultados indicaron que las concentraciones de metales en agua, se encuentran en el rango permisible para aguas naturales y consumo humano establecido por la OMS. Las concentraciones de estos elementos en el sedimento son semejantes en ambas campañas, por lo que se consideraron concentraciones naturales de la zona (Lacayo & Sarria, 1993).

García (1997) describió la composición específica, densidad poblacional y el comportamiento de los grupos funcionales de zoobentos en nueve puntos representativos a lo largo de Río San Juan y algunos de sus tributarios, en los años 1993, 1994 y 1997. El autor concluyó que había falta de integridad en las comunidades bénticas ya que solo el 4% presentaron tres grupos funcionales, el 51% dos grupos funcionales y el resto uno o ninguno. La presencia de depredadores y colectores resultaron ser los grupos más frecuentes compartiendo el mismo ambiente. El trastorno de las comunidades bénticas pudo explicarse por la presencia de plaguicidas y desechos de actividades industriales y domésticas asociadas al río y su cuenca.

Blanco, Duarte, y Espinoza (1985) estudiaron la distribución y abundancia de macroinvertebrados en el Río Chiquito como indicadores de contaminación. Se encontraron 10 familias: Culicidae, Chironomidae, Grastropo, Muscidae, Oligochaeto, Sirphydae, Cicadelidae, Geometridae, Pieridae yTonebrionidae. Esto lo hicieron en un total de 20 transectos a lo largo de río, en siete de los cuales no se encontraron organismos. La menor diversidad se determinó en el transecto XII (386 individuos pertenecientes a 3 géneros) y la mayor en el transecto I (51 individuos pertenecientes a 8 géneros). Los autores llegaron a la conclusión que no todos los organismos pueden ser utilizados como indicadores de contaminación debido a sus mecanismos de adaptación, pero recomendaron las familias *Culicidae* y *Muscidae* por su importancia sanitaria al ser vectores de enfermedades humanas.

Este estudio provee información sobre la estructura de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos del Río Chiquito usando varios métodos de bio-monitoreo como son: índices de diversidad, índices de similitud y grupos funcionales alimenticios en el sedimento del Río Chiquito, acompañados de algunos parámetros físico-químicos básicos como son el pH, Potencial redox, materia orgánica y la textura; la concentración de metales/metaloides con potencial tóxico (As, Cd, Cu, Cr, Pb, Ni, Zn y Hg) o de importancia para su destino ambiental (Al, Mn, Fe), metales intercambiables/biodisponibles y la funcionalidad de las comunidades microbianas mediante la determinación de la actividad enzimática de deshidrogenasas.

6.2. Generalidades

6.2.1. Geología Regional

Rocas Volcánicas Terciarias

Las principales formaciones volcánicas de Nicaragua están formadas por tamarindo, con un espesor total de aproximadamente 600 m dividida en tres, tamarindo superior, medio e inferior. La litología del tamarindo superior está dada por ignimbritas, tobas y lavas con un espesor de aproximadamente 100 m, el tamarindo medio está caracterizado por tobas, ignimbritas, aglomerados, lavas y areniscas con un espesor de aproximadamente de 200 m, el tamarindo inferior está formada por lavas e ignimbritas con un espesor de aproximadamente 300 m (Bethune, Jesse, Losilla, Rodríguez, & Schosinsky, 2001; Alcaldía de León, 2016).

Rocas cuaternarias

El Grupo Las Sierras con un espesor de 680 m, está compuesto principalmente por una diversa variedad de materiales piroclásticos. Estos se han litificado en tobas. La formación es heterogénea con intercalaciones de cenizas, brechas y escoria volcánica. La compactación es media y están parcialmente meteorizadas. La granulometría del grupo varía desde limo hasta conglomerados y los acuíferos están formados por capas de sedimento entre arena fina y gruesa (Alcaldía de León, 2016; Bethune, Jesse, Losilla, Rodríguez, & Schosinsky, 2001).

Los depósitos sueltos son materiales transportados y depositados (recientemente) sobre las partes bajas de las cuencas de los ríos, y en las laderas poco inclinadas de las zonas altas. Están constituidos por arenas finas a gruesas, limos, arcillas y suelos arcillosos. En la parte intermedia de los cauces de algunos ríos estos depósitos presentan cierta clasificación granulométrica. Los depósitos volcánicos Cuaternarios incluyen material detrítico expulsado por los volcanes y flujos de lava. Las secuencias son de lavas basálticas, andesíticas y riolíticas, así como materiales piroclásticos de ceniza, arena, lapilli, pómez y bombas volcánicas.

Geología Local

La secuencia local (sub-cuenca del Río Chiquito), es la misma que la secuencia regional. Al noreste y sureste afloran las rocas volcánicas. En la parte central dominan los materiales detríticos de variada granulometría. La distribución espacial de la sub-cuenca no ha sido definida a detalle, sin embargo, la franja central representa el área acuífera, lo que sugiere una mayor granulometría (Alcaldía de León, 2016).

6.2.2. Sedimentos

Regularmente el término sedimentos, involucra materiales suspendidos que está en la columna de agua y al depositado en el lecho del río, estuarios y cuerpos lacustres. Se puede decir que los sedimentos son materiales originados de la fricción, erosión y destrucción de las rocas encontradas en la superficie (Posada, 1994), así como erosiones y fricciones del suelo, provenientes de la parte alta de la cuenca, generados por acciones naturales (lluvia y viento), además de las acciones antropogénicas (arado para cultivos, desforestación), siendo estas acciones las que transportan los sedimentos hacia el río, mayormente las acciones naturales (Garcías & Maza, 1995).

El transporte de los sedimentos por acción de las corrientes pluviales de la parte alta de la cuenca se ve unida al transporte de basura y aguas fluviales generadas por la población que se sitúa a lo largo de la cuenca (Alcaldía de León, 2016; Garcías & Maza, 1995).

Estos juegan un papel muy importante en la calidad del agua del río, debido a la capacidad asimilativa de los mismos para ligar, inmovilizando en algunas ocasiones y de forma casi permanente a metales pesados, herbicidas y plaguicidas. (NMX-AA-014, 1980). Por esta razón, los metales en sedimento pueden causar grandes afectaciones debido a que la toxicidad y biodisponibilidad de estos en el agua y sedimento varían con la condición del sitio (USEPA, U.S., 1996).

6.2.3. Contaminación de sedimento

La contaminación de sedimento puede ocurrir de forma natural y/o antropogénica, como minerales erosionados por las lluvias arrastradas a cuerpos de agua y aguas fluviales, así como vertidos domésticos e industrias como la minería, industria textil, curtidoras de pieles, entre otras (Rosas, 2005).

El sedimento actúa como portador y posible fuente de contaminación, debido a que retiene contaminantes que se pueden liberar a la columna de agua y modificar por cambios en las condiciones ambientales (el pH, potencial Redox, oxígeno disuelto), las cuales están fuertemente relacionadas a las partículas del sedimento y a su porcentaje de materia orgánica (Rosas, 2005).

Al ser el sedimento hábitat de organismos acuáticos, la contaminación liberada que puede ser modificada por el mismo, representa un peligro potencial para la integridad biológica en el ámbito de riqueza, abundancia relativa, similitud, equidad y diversidad (CCME, 1995).

6.2.4. Actividades antropogénicas

Las actividades antropogénicas hacen referencia a las acciones del ser humano con respecto al ambiente, de un impacto mayormente negativo, por la modificaciones adversas de los valores naturales estético-cultural, paisajístico de productividad ecológica (Vera & Safra, 2014). Por ejemplo las descargas de aguas residuales no tratadas a cuerpos aguas, procedentes de actividades industriales, zonas urbanas y agrícolas, perjudicando la calidad de aguas y sedimentos (Rosas, 2005; Viera, Botelho, & Boaventura, 2009).

6.2.5. Protección de vida acuática

Los sedimentos son hábitat para muchos organismos bentónicos y epibentónicos. También influyen en el destino ambiental de muchas sustancias químicas en los ecosistemas acuáticos actuando como sumideros y subsecuentemente como fuentes de sustancias que han entrado en el medio acuático. Muchos organismos acuáticos pueden estar expuestos a sustancias químicas a través de sus interacciones inmediatas con los sedimentos (USEPA, U.S., 1997; García Galán, 1997).

Por lo tanto, se requieren puntos de referencia de calidad ambiental (como las directrices de calidad de sedimentos) para apoyar en estrategias de protección y manejo para ecosistemas de agua dulces y marinos, estuarios. El Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME), desarrolló lineamientos canadienses de calidad de los sedimentos para la protección de la vida acuática, a través del Grupo de Tareas sobre Guías de Calidad de Agua del CCME (CCME, 1995).

Las directrices sobre la calidad de los sedimentos proporcionan puntos de referencia científicos para evaluar la posibilidad de observar efectos biológicos adversos en los sistemas acuáticos. Las directrices se derivan de la información toxicológica disponible según el protocolo formal establecido por el Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (CCME, 1995; USEPA, U.S., 1997).

El protocolo, incluye una guía general sobre la implementación de las guías de calidad de los sedimentos, junto con otra información relevante, con el fin de priorizar y enfocar las evaluaciones de la calidad de los sedimentos mediante valores guía de ISQGs (Directrices provisionales de calidad de sedimentos, por sus siglas en inglés) si se cumplen los requisitos mínimos de conjunto de datos. Los ISQG se obtienen utilizando el peso de la evidencia de la información toxicológica disponible. Los SQG (directrices de calidad de sedimento) completos han sido desarrollados cuando los ISQG pueden vincularse a tipos de sedimentos y/o características específicas de los sedimentos o de la columna de agua supra yacente (es decir, si se demuestra que existe una relación y es predecible en condiciones de campo). El LEL (Nivel de efecto más bajo) indica un nivel de contaminación que puede ser tolerado por la mayoría de los organismos que viven en los sedimentos. Los sedimentos que alcanzan el LEL se consideran limpios a marginalmente contaminados, PEL (Nivel de efecto probable) indica la concentración por encima de la cual se espera que los efectos biológicos adversos ocurran con frecuencia, y SEL (Nivel de efecto severo) indica un nivel de contaminación perjudicial para la mayoría de los organismos que habitan en los sedimentos. Los sedimentos que exceden el SEL se consideran altamente contaminados (CCME, 1995; CCME, 2012; MOE, 2008; USEPA, U.S., 2001).

En este estudio se tomó como referencia las concentraciones de valores propuestos de los metales de interés de las directrices normados por CCME y USEPA.

Los criterios de las directrices de calidad de sedimento estipulado por CCME (incluido los de MOE para el Hierro y Manganeseo) y USEPA se especifican en la tabla1.

Tabla 1. Directrices de calidad de sedimento para metales y metaloides de interés recomendados por CCME, MOE y USEPA.

| Elementos (mg/kg) | CCME | | USEPA | |
|----------------------|-------|-------------------|-------|-----|
| | ISQGs | PEL | PEL | SEL |
| Arsénico | 5,9 | 17 | 17 | 33 |
| Aluminio | NE | NE | NE | NE |
| Cadmio | 0,6 | 3,5 | 3,53 | 10 |
| Cromo | 37,3 | 90 | 90 | 110 |
| Cobre | 35,7 | 197 | 197 | 110 |
| Zinc | 123 | 315 | 315 | 820 |
| Manganeseo | 460* | 1100 [#] | NE | NE |
| Níquel | 16* | 75 [#] | 36 | 75 |
| Mercurio | 0,17 | 0,486 | 0,486 | 2 |
| Hierro | 2%* | 4% [#] | NE | NE |
| Plomo | 35 | 91 | 91,3 | 250 |

ISQGs: Guías provisionales de calidad de los sedimentos de agua dulce; PEL: Niveles de efectos probables e incidencia (%) de efectos biológicos adversos en rangos de concentración definidos por estos valores; SEL: Nivel de efecto severo; NE: No establecido; *LEL: Nivel de efecto más bajo y [#]SEL ONTARIO.

Nota: Interim freshwater sediment quality guideline, CCME(2002) <http://st-ts.ccme.ca/en/index.html>; Prediction of sediment toxicity using consensus-based freshwater sediment quality guidelines, USEPA (2000) <https://archive.epa.gov/reg5sfun/ecology/web/pdf/91126.pdf>; Guidelines for Identifying, Assessing and Managing Contaminated Sediments in Ontario: An Integrated Approach, MOE (2008) <https://dr6j45jk9xcmk.cloudfront.net/documents/1170/93-contaminated-sediments-en.pdf>

6.2.6. Integridad biológica y bio-monitoreo

La integridad biológica de un ecosistema es la capacidad de mantener las propiedades estructurales (composición de especies, diversidad) y funcionales de las comunidades de organismos en condiciones similares a las de hábitats naturales o poco impactados por las actividades antropogénicas (Park & Allaby, 2017).

El bio-monitoreo es una de las herramientas disponibles para evaluar las condiciones o integridad biológica de los ecosistemas acuáticos y terrestres utilizando como indicadores las estructuras y funciones de las comunidades biológicas (Springer, 2010). Las estructuras comunitarias pueden estudiarse en base a índices de diversidad y similitud así como de los grupos funcionales alimenticios, relacionados con algunos parámetros físicos-químicos y contaminantes, el cual se estudia en muestreos periódicos que usualmente se basan en la comparación entre sitios (p.ej. río-arriba y río-abajo de un foco de contaminación), para implementar un control de calidad o un programa de vigilancia a través del tiempo (usualmente años) (Springer, 2010).

Las estructuras de las comunidades más comúnmente usadas son las de macro-invertebrados, que, por su amplia distribución geográfica, variedad del ambiente que habitan y diversidad taxonómica, dan lugar a un amplio rango de respuestas ante las perturbaciones. Además, sus caracteres relativamente sedentarios facilitan un análisis espacial de la contaminación; los ciclos de vida relativamente largos permiten observar los efectos de la contaminación a lo largo del tiempo y, los métodos de muestreo son sencillos y de bajo costo (Springer, 2010).

6.2.7. Estructura de los macro-invertebrados bentónicos

6.2.7.1. Abundancia

La abundancia es una medida de la contribución de las especies a la comunidad basada en la supremacía numérica, es decir, la cantidad de individuos presentes en un área de un ecosistema. La abundancia depende del número de individuos por unidad de área (densidad poblacional) y el alcance espacial de la población (distribución de la población) (Smith & Smith , 2007).

6.2.7.2. Índices de diversidad y similitud

El índice de diversidad es probablemente el mejor medio para evaluar la integridad biológica en sistemas lóticos. Un valor numérico denota la variedad de especies en un punto, el cual es expresado por el número de especies e individuos. Este valor distribuye la variedad de especies por su rango de abundancia (Washington, 1984).

El índice de similitud, es básicamente una medida de la similitud de la estructura de dos comunidades. A menudo, se usa en la ecología vegetal para la ordenación, es decir, ordenando muestras en relación con las similitudes generales y luego examinando los gradientes principales para determinar su correlación con factores ambientales, así como para las comunidades de macro-invertebrados (Washington, 1984).

Los índices calculados en este estudio fueron: los índices de diversidad de Shannon-Wiener, Margalef, Simpson y equidad de Pielou. Los índices de similitud %PSC, Pinkham and Pearson's (B2).

El índice de Shannon-Wiener considera que los individuos se muestrean al azar a partir de una población indefinidamente grande y que todas las especies que componen la comunidad o hábitat están representadas en la muestra (Shannon & Wiener, 1964).

El índice de Margalef es un índice de riqueza en el cual se transforma el número de especies detectadas por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra (Margalef, 1958).

El índice de Simpson (D) mide la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar de una muestra pertenezcan a la misma especie. El valor de D oscila entre 0 y 1. En ausencia de diversidad, donde hay sólo una especie presente, el valor de D es 1. Cuando la riqueza y la equidad de la especie se incrementan, el valor se aproxima a 0 (Smith & Smith , 2007).

El índice de Pielou mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a

situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Heip, Herman, & Soetaert, 1998).

El índice PSC mide la similitud de las comunidades señalando las diferencias estructurales-funcionales en ellas (Washington, 1984).

El índice B₂ que al igual que PSC mide la similitud entre las comunidades este está más orientado a los cambios de especies raras, en donde PSC no es muy sensible (Washington, 1984).

6.2.7.3. Grupos funcionales alimenticios

Los grupos funcionales alimenticios en sistemas lóticos están asociados a la oferta de recursos y el tipo de metabolismo del sistema para las comunidades de macro-invertebrados (Springer, 2010). Estas representan un importante vínculo entre los recursos de materia orgánica, tales como la hojarasca, algas, detritus, entre otros aspectos, y los consumidores de niveles superiores en la red trófica, los cuales se clasifican en depredador, raspador, colector, desmenuzador, filtrador y fitófago (Gamarra, Restrepo, & Cajigas, 2012; Springer, 2010; Rodríguez, Ospina, & Turizo, 2011).

A continuación, se definen las características de los grupos funcionales alimenticios de los macro-invertebrados:

Depredador: Animal que se alimenta de tejidos de organismos vivos, como animal o planta, denominados presa, los que le provocan daño, generalmente la muerte inmediata (Gamarra, Restrepo, & Cajigas, 2012).

Raspador: Animal que se alimenta raspando las algas y la bio-película que se encuentra adherida en las piedras, raíces, hojas o troncos sumergidos (Gamarra, Restrepo, & Cajigas, 2012).

Colector: Animal que se alimenta de las partículas de materia orgánica, que recoge del sustrato donde se desarrolla (Gamarra, Restrepo, & Cajigas, 2012).

Desmenuzador: Animal que mastica y desmenuza material vegetal sumergido como hojarasca caída de la vegetación ribereña o a partir de las plantas acuáticas, que

generalmente se encuentran en estado de descomposición (Gamarra, Restrepo, & Cajigas, 2012).

Filtrador: Animal que filtra las partículas de materia orgánica suspendida o transportada por el agua (Gamarra, Restrepo, & Cajigas, 2012).

Fitófago: Animal que se alimenta exclusivamente de la vegetación ribereña o de las macrófitas acuáticas flotantes o sumergidas (Gamarra, Restrepo, & Cajigas, 2012).

6.2.8. Función de la comunidad microbiana

Las funciones o servicios ecológicos de los ecosistemas han sido menos utilizados en el pasado que las propiedades estructurales para evaluar la integridad biológica, pero en la actualidad se han reconocido su importancia para la conservación y sostenibilidad ambiental, así como su sensibilidad a los contaminantes. Entre estos parámetros funcionales se distinguen las actividades biológicas relacionadas entre sí como son la productividad primaria, la respiración y las actividades enzimáticas. Las enzimas son catalizadores en importantes procesos metabólicos que incluyen la descomposición de los insumos orgánicos. Se han utilizado como un indicador biológico de la contaminación por metales pesados, pesticidas e hidrocarburos (Margesin & Schinner, 2005; Hill, y otros, 2010).

La actividad de las deshidrogenasas ha sido usada para medir la actividad de las comunidades microbianas en ecosistemas acuáticos y su respuesta a perturbaciones naturales y antropogénicas. Por reflejar la actividad de la biomasa microbiana y el potencial oxidativo de la materia orgánica (Hill, y otros, 2010).

6.2.9. Metales pesados con énfasis en Cromo

Los metales pesados representan un grave peligro en el ambiente debido a la toxicidad que tienen sobre todo si se encuentran en altas concentraciones en distintos ecosistemas. Generalmente las altas concentraciones son provocadas por ella desarrollo de actividades antropogénicas (Pérez, 2015). Los metales tóxicos de mayor interés en el ambiente acuático se enlistan a continuación: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni) y Plomo (Pb). (USEPA, U.S., 1996).

Estos elementos son componentes naturales de la corteza terrestre, no se degradan o destruyen. En pequeñas concentraciones, son incorporados por las plantas y animales. La ingesta por los animales se hace a través de los alimentos, agua potable y el aire. Algunos de estos metales son esenciales para el metabolismo celular. Sin embargo, en concentraciones altas pueden producir envenenamiento. Un ejemplo de ellos es el Cobre, Selenio, Zinc, entre otros (Moore & Rammaoorthy, 1984).

Los metales pesados son poco solubles en el medio hidrogeológico, sin embargo, el ambientes ácidos generados por procesos óxido-reductores provocan la incorporación y la movilidad en el agua subterránea (Custodio & Llamas, 1976).

Desde el punto de vista biológico, se distinguen dos grupos de metales pesados: los elementos requeridos por el organismo en pequeñas cantidades (superado cierto umbral se vuelve tóxicos (Co, Cr, Mo, Mn, Se y Zn) y los que se acumulan en los organismos de los seres vivos (en determinadas cantidades producen disfunciones y resultan altamente tóxicos (Cd, Hg, Pb, Sb y Bi)) (Álvarez, 2004). Es de interés de este estudio las concentraciones del Arsénico (As), Aluminio (Al), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Hierro (Fe), Mercurio (Hg), Manganeso (Mn), Níquel (Ni), Plomo (Pb) y Zinc (Zn), por representar un peligro para la vida acuática (CCME, 1995).

6.2.9.1. Arsénico

El arsénico (As) es un metaloide el cual no se considera esencial para los organismos vivos, es estable en estados de oxidación +5, +3, elemental y -3, los cuales pueden estar en forma simultánea en sistemas acuáticos, de forma orgánica e inorgánica la cual perjudica a los organismos acuáticos en su estado más tóxico (+3), ocasionado la disminución de abundancia de los organismos bentónicos y el aumento en la mortalidad y cambios en el comportamiento (CCME, 2012). Siendo estos organismos uno de los factores que conllevan a la biodisponibilidad de este elemento, así como pH, potencial redox y óxidos metálicos tales como el óxido de Hierro y Manganeso (CCME, 1999).

6.2.9.2. Aluminio

El aluminio (Al) es el metal más abundante en la corteza terrestre y el tercer elemento más común. Su estado de oxidación más abundante es el +3. Se puede incorporar al sistema acuático por escorrentía. Su toxicidad no afecta a organismos vivos por su afinidad al silicio (elemento más abundante del planeta), no así a las plantas en la cual afecta su crecimiento (CCME, 2007; Hidalgo, 2013; NCEH, 2008).

6.2.9.3. Cadmio

El cadmio (Cd) es un elemento no esencial, que puede ser tóxico para la biota acuática en altas concentraciones. Este metal se incorpora al sistema acuático por arrese de escorrentía y aérea. Se acumula en el sedimento por asociación de la materia orgánica, hidróxidos de hierro y manganeso, o por precipitación por carbonato o sulfuro. La asociación con estas sustancias y variación en el pH y potencial redox incurre en su biodisponibilidad (CCME, 1999). La presencia de este metal en el sedimento puede ocasionar la disminución de los invertebrados acuáticos (CCME, 1999).

6.2.9.4. Cromo

El cromo (Cr) es un elemento, que puede ser tóxico para la biota en altas concentraciones, el cual se incorpora al medio a través de depósitos o escorrentías, y al sedimento por su asociación con las partículas de este. Sus formas más estables en el ambiente son Cr^{+3} y Cr^{+6} siendo este último el estado más tóxico, el cual ocasiona efectos adversos en la diversidad, abundancia y comportamiento de organismos bentónicos. La biodisponibilidad de este en sistemas acuáticos es independiente a la fracción reducible en el sedimento, pero la variación de pH y potencial redox pueden aumentar su biodisponibilidad, así como la presencia de óxido de manganeso (CCME, 1999). Este elemento es natural en la Corteza terrestre, pero las distintas fuentes antropogénicas en las que se incluyen refinación de minerales, galvanoplastia, bronceado, papel, producción de acero y fabricación de automóviles, contribuyen en la contaminación del medio ambiente, así como las industrias que utilizan compuestos con este metal, como las curtidoras de cuero (Palmer & Puls, 1994; Xiao, y otros, 2012).

6.2.9.5. Cobre

El cobre (Cu) es un elemento esencial, pero en concentraciones elevadas puede ser tóxico a la biota. Este se incorpora a sistemas acuáticos por escorrentía y su afinidad

por las partículas especialmente asociadas a los óxidos de hierro, manganeso, y a la materia orgánica, que lo hacen acumularse en el sedimento. Su elevada concentración hace que los organismos presenten una disminución en la abundancia y diversidad, aumentando la mortalidad y cambios en el comportamiento (CCME, 1999). Los cambios en las condiciones ambientales como el pH y potencial redox favorecen a su biodisponibilidad (CCME, 1999).

6.2.9.6. Hierro

El hierro (Fe) es uno de los elementos más abundante en la corteza terrestre, el cual se puede encontrar en estado de oxidación +2 y +3 en sistemas acuáticos, aunque estos dependen de la presencia o ausencia de oxígeno. Por lo general los sedimentos son anóxicos como resultado de la oxidación bacteriana, en el cual el Fe se encuentra en forma reducida +2, donde típicamente se precipita como sulfuro de hierro en la interface agua-sedimento, por lo que se pueden liberar algunos compuestos químicos asociados al hidróxido férrico. Su presencia como óxido de hierro afecta la biodisponibilidad de metales como el Arsénico, Cromo, Plomo y Zinc (USEPA, U.S., 1997; CCME, 2007; Lee & Lee, 2005).

6.2.9.7. Mercurio

El mercurio (Hg) es un elemento traza y no esencial con alto potencial tóxico para la biota en bajas concentraciones. Se encuentra en la naturaleza en tres estados de oxidación: Hg^0 , Hg_2^{+2} , Hg^{+2} . Su afinidad para ligarse a la parte orgánica de las partículas lo hace fácilmente transportable por el sedimento, ocasionando efectos adversos en los organismos acuáticos desde la disminución del desarrollo hasta la letalidad debido al contacto con el sedimento contaminado (CCME, 1999).

6.2.9.8. Manganeso

El manganeso (Mn) es un elemento que se encuentra abundantemente en la corteza terrestre, en ecosistemas acuáticos se encuentra en estado de oxidación +2 y +4, las condiciones de pH y potencial redox pueden hacer que predomine uno de estos estados de oxidación, es decir, en la disminución de estas condiciones predomina Mn^{+2} . La presencia del mismo en el sedimento está dada por la penetración de oxígeno y su presencia en el agua, así como el suministro de carbono orgánico bentónico, variación en el pH y el potencial redox los cuales favorecen a su solubilidad. Su presencia como

óxido de manganeso afecta la biodisponibilidad de metales y metaloides como el Arsénico, Cromo, Plomo y Zinc (CCME, 2007; WHO, 2004).

6.2.9.9. Níquel

El níquel (Ni) es un elemento que se encuentra comúnmente en estado +2 en el ambiente; la presencia del mismo en el sedimento es debido a su afinidad por el hierro, manganeso y aluminio, mucho más que la materia orgánica. La presencia natural de este en altas concentraciones no genera efectos a los organismos acuáticos, no así, lo originado de forma antropogénica (CCME, 1995; Gwiazda, Kotas, & Szalinka, 2011).

6.2.9.10. Plomo

El plomo (Pb) es un elemento no esencial, que en concentraciones elevadas puede ser tóxico para la biota. En las naturales se encuentra en estados de oxidación +1, +2 y +4; rara vez se encuentra en estado elemental Pb^0 . Su toxicidad en el ambiente ocasiona efectos adversos en la integridad biológica de ecosistemas acuáticos ya que aumenta la mortalidad de los organismos, afecta el desarrollo normal de estos, disminuye el número y diversidad de invertebrado bentónicos (CCME, 1999).

6.2.9.11. Zinc

El Zinc (Zn) es un elemento esencial; este se incorpora en el sedimento por depósito aéreo y por escorrentía superficial. Por su afinidad a los óxidos de hierro y manganeso, y la materia orgánica, en altas concentraciones provoca efectos adversos a los invertebrados bentónicos ya que disminuye su número y diversidad, aumentando la mortalidad y cambio del comportamiento en estos (CCME, 1999).

6.2.10. Fraccionamiento de metales y metaloide por el método de extracción secuencial

Debido a que las concentraciones totales de los metales en las matrices sólidas no proporcionan información suficiente acerca de la movilidad de estos, surge el método de extracción secuencial el que fue descrito por BCR (Community Bureau of Reference) de la unión Europea. Este método permite conocer la movilidad, biodisponibilidad y ecotoxicidad de los metales en suelo y sedimento (López & Mandado, 2002; Viera, Botelho, & Boaventura, 2009).

La aplicación de este método sobre los sedimentos de sistemas acuáticos está especialmente dirigido a áreas afectadas por cualquier tipo de contaminación antropogénica, sea por actividad minera, industrial o poblacional. La captación de metales pesados por parte de los sedimentos y su posible liberación al medio acuático, depende de varios factores como: las propiedades de los metales (la solubilidad, la reactividad frente a la formación de complejos y la capacidad de adsorción), las características de las soluciones (pH, Eh y concentración de ligandos en solución) y las características de las superficies bióticas y abióticas presentes, como porosidad y capacidad de captación (López & Mandado, 2002; Viera, Botelho, & Boaventura, 2009).

Los sedimentos tienden a acumular los elementos traza liberados por la contaminación, y los estudios de especiación suministran una información muy valiosa sobre el modo de asociación de los elementos traza con determinadas fracciones de los sólidos (López & Mandado, 2002). El método consiste en separar los metales en cuatro fracciones: intercambiable/biodisponible, reducible, oxidable y residual (Viera, Botelho, & Boaventura, 2009). La fracción intercambiable/biodisponible genera la información de los metales liberados de los carbonatos en la disminución del pH. La fracción reducible nos genera información sobre los metales que están unidos a los óxidos de Hierro y Manganeseo los cuales se liberan en condiciones reductoras. La fracción oxidable proporciona información de los metales asociados a la materia orgánica y que se liberan en condiciones oxidativas y la fracción residual, la incorporados a la matriz solida (suelo y sedimento) (Viera, Botelho, & Boaventura, 2009).

6.3. Importancia de parámetros físicos-químicos y biológicos de interés

6.3.1. Potencial de Hidrógeno (pH)

EL pH es acrónimo para el potencial de hidrógeno, e indica la concentración del ión hidronio en una solución. El término pH expresa la intensidad de un ácido, dependiendo de su capacidad de disociación, así como de su concentración (Fuentes & Massol, 2002).

La importancia de este está ligado a las especies químicas de metales que se pueden encontrar en una matriz sólida, así como su biodisponibilidad; entre menor sea el valor

del pH (es decir ácido), mayor será la solubilidad de los metales (CCME, 2007).

6.3.2. Potencial Redox (ORP)

El potencial redox en un perfil de sedimento, puede indicarnos cuáles procesos redox aceptadores de electrones pueden estar dominando o cuales están siendo utilizados por miembros de la comunidad microbiana residente que llevan a cabo respiración aeróbica o anaerobia. La distribución espacial de microorganismos aerobios y anaerobios está determinada principalmente por el potencial redox del ambiente. Los microorganismos aerobios estrictos son metabólicamente activos a potenciales redox positivos, mientras que los anaerobios estrictos (ej. el metano, las bacterias) demuestran actividad metabólica solo a potenciales redox negativos (Fuentes & Massol, 2002).

En un ecosistema de agua dulce el potencial redox del sedimento provoca variación en la solubilidad de varios micronutrientes esenciales como lo son el Hierro (Fe) y el Manganeseo (Mn). En potencial redox alto, el Hierro y el Manganeseo existen en su forma trivalente y tetravalente (Fe^{+3} y Mn^{+4}) respectivamente, en tanto que en potencial bajo los encontramos en forma bivalentes (Fe^{+2} y Mn^{+2}) y estos son más soluble en agua y fácil de incorporar a los microorganismos (CENMA-MMA, 2012).

6.3.3. Conductividad eléctrica

La conductividad, refleja un alto nivel de sales solubles en una solución acuosa para transmitir una corriente eléctrica y es igual al recíproco de la resistividad de la solución. Debido a la influencia urbana y/o agrícola de la zona, dicha capacidad depende de la presencia de iones, de su concentración, movilidad, valencia y de la temperatura ambiental que están asociados al sedimento y se liberan en la interface agua-sedimento (Fuentes & Massol, 2002).

6.3.4. Humedad

El contenido de humedad nos proporciona información de qué cantidad de agua se retiene en la materia sólida, la cual depende del tamaño de la partícula y permeabilidad de la misma, y la incidencia de los microorganismos (Margesin & Schinner, 2005).

6.3.5. Materia Orgánica

La materia orgánica en ecosistemas acuáticos proporciona información sobre la composición del sedimento en el ecosistema, dado que la presencia de esta revela la actividad bacteriana, y la disponibilidad de los metales acumulados, que, debido a la actividad bacteriana, puede incurrir al estado más tóxico de estos, por la relación que poseen en el aporte que generan al ecosistema los organismos bentónicos y plantónicos (Jacome & Llanos, 1990).

6.3.6. Granulometría

La granulometría es la evaluación de las partículas más finas como el limo y la arcilla, así como las gruesas, que indica una elevada proporción de arena (ASTM, 1998). Es de interés conocer el tamaño de las partículas del sedimento debido a que la mayor parte de los contaminantes se establecen en el limo y la arcilla, que son portadores primarios de productos químicos adsorbidos por ellos, especialmente la mayoría de los metales los cuales son transportados por el sedimento en un sistema acuático determinado (Rosas, 2005).

El tamaño de la partícula en el sedimento, y la cantidad de materia orgánica asociada a él, juega un papel importante en la retención y liberación del contaminante, principalmente los metales, así como la biodisponibilidad de estos en la fracción arcilla-limo (CCME, 1995).

6.3.7. Zoobentos

Los organismos bentónicos representan principalmente a la macro fauna que habita de manera fija o errante en la superficie o el interior del fondo del lecho del río, que, en el más amplio sentido, incluye minerales y fauna orgánica como las algas que crecen sobre las piedras. Su importancia radica en que los organismos bentónicos son eslabones importantes en las cadenas alimentarias acuáticas, e indicadores de impactos ambientales. Además, permiten conocer y entender la estructura y dinámica de las comunidades naturales (Salas & Malandrini, 2001; SMWW, 2012).

6.3.8. Actividad enzimática de deshidrogenasas

La actividad enzimática es importante en la participación y transformación de compuestos orgánicos complejos a sustancias asimilables (Henríquez, Uribe, Valenciano, & Nogales, 2014). Esta es la razón por la cual se relaciona su actividad con la liberación de nutrientes inorgánicos procedentes de la materia orgánica (Henríquez, Uribe, Valenciano, & Nogales, 2014; Wolińska & Stępniewska, 2012; Cerón & Melgarejo, 2005).

Las principales reacciones biogeoquímicas claves en los sedimentos es catalizada por la óxido-reductasas de enzimas como las deshidrogenasas y las catalasas, por lo que se han utilizado para reciclaje de nutrientes en suelos contaminados y la fertilidad de estos (Henríquez, Uribe, Valenciano, & Nogales, 2014). Las deshidrogenasas son componentes importantes del sistema enzimático de todos los microorganismos reflejando una amplia gama de actividades oxidativas microbianas (Wolińska & Stępniewska, 2012; Polyak, y otros, 2016).

Siendo los siguientes parámetros que afectan positiva y negativamente la actividad de deshidrogenasas como la disponibilidad de oxígeno que es favorable y óptimo para la actividad de deshidrogenasas, por ser enzimas sensibles, que dependen indirectamente del estado de aireación del suelo (Wolińska & Stępniewska, 2012). Potencial oxidación-reducción es uno de los factores ambiental importante, que expresa la tendencia de un entorno a recibir o suministrar electrones, la relación que tiene con la actividad de deshidrogenasas es de carácter negativo, es decir que el aumento de la actividad está

indirectamente conectado con la disminución de los valores de Eh, ya que la mayoría de los microorganismos, que son responsables de esta actividad, prefieren las condiciones anaeróbicas (Wolińska & Stępniewska, 2012). Los rango de pH óptimo para la actividad de deshidrogenasas está entre 5,5-5,73 (Wolińska & Stępniewska, 2012). La contaminación por metales pesados puede reducir la actividad de la enzima interactuando con el complejo enzima-sustrato, desnaturalizando la proteína enzimática o interactuando con los grupos activos de proteína (Wolińska & Stępniewska, 2012). La relación positiva de las enzimas deshidrogenasas y la materia orgánica sugiere que esta enzima puede ser un indicador del estado metabólico de la microflora y por lo tanto un importante indicador de calidad de suelo (es decir, cuanto mayor es el contenido de materia orgánica, más activos son los microorganismos del suelo, por ende mayor actividad de deshidrogenasas) (Wolińska & Stępniewska, 2012; Cerón & Melgarejo, 2005; Polyak, y otros, 2016; Margesin & Schinner, 2005).

7. Preguntas directrices

¿Hay diferencias en la calidad físico-química y la concentración de 11 metales y metaloides del sedimento en los sitios seleccionados de Río Chiquito para el uso protección de la vida acuática?

¿Hay diferencias entre las estructuras de las comunidades de macro-invertebrados bentónicos y la actividad enzimática de las comunidades microbianas del sedimento en los sitios seleccionados del Río Chiquito?

¿Hay diferencias en la movilidad y el potencial tóxico de los 11 metales y metaloides de interés, con énfasis en Cromo del sedimento en los sitios seleccionados del Río Chiquito?

8. Diseño metodológico

8.1. Descripción del ámbito de estudio

El departamento de León está situado al nor-oeste del país, limitando al norte con Chinandega, al sur con Managua, al este con Estelí y al oeste con el océano pacífico. Su clima comprende períodos secos largos, y lluviosos cortos en los cuales los meses más húmedos son los meses octubre y diciembre. La temperatura media anual en la sub-cuenca del Río Chiquito oscila entre 26 y 29 °C. La mayoría de las tenerías del país se localizan en esta sub-cuenca (Martínez, 2003; MIFIC, 2008).

El sitio de estudio se localiza en el casco urbano de la ciudad, en un tramo de 3,5 km del río que abarca desde el barrio Guadalupe hasta el barrio Sutiaba. El sitio de muestreo denominado Aguas arriba se ubica en el barrio Guadalupe a unos 50 m en dirección este del Puente Vallesca, el cual se tomó como sitio de referencia por no presenta incidencia de la actividad de tenería, pero se ve impactado por las actividades doméstica, de la población a su alrededor como de las pilas de oxidación (que sobre pasan su capacidad); y el segundo sitio de muestreo, denominado Aguas abajo se ubica en el barrio Sutiaba a unos 200 m sobre el curso del río en dirección suroeste de la Cooperativa Carlos Alvarado, en donde se unen los vertidos de la actividad de tenería, que a su vez se mezclan con las domésticas del sitio Aguas arriba (Ver anexo 13.1).

8.2. Tipo de estudio

El tipo de estudio es descriptivo (Piura, 2006) y según el análisis y alcance de los resultados es además analítico cuantitativo y predictivo (Canales, Alvarado, & Pineda, 1996). De acuerdo con el tiempo de ocurrencia de los hechos y registro de la información, el estudio es prospectivo ya que se registró la información por medio de un monitoreo de dos campañas de muestreo (mayo del 2016 y enero del 2017). Por el período y secuencia del estudio es longitudinal ya que se hicieron mediciones en un período de casi 8 meses de concentraciones de contaminantes metálicos, parámetros físicos-químicos y variables biológicas (estructura de la

comunidad de macro-invertebrados bentónicos y actividad enzimática de la comunidad microbiana) asociados al sedimento.

8.3. Área de estudio

El sitio en el que se llevó a cabo la investigación, el Río Chiquito (Fig. 1), se encuentra ubicado en la región del Pacífico de Nicaragua, el departamento de León, municipio de León, el cual tiene un área de 5 138,03 km² y una población aproximada de 400 864 habitantes, según cifras oficiales del INIDE 2017, contribuyendo a un 6% de la población a nivel nacional.

El municipio tiene un clima tropical de sabana con pronunciada estación seca entre los meses de noviembre a abril y una estación lluviosa entre los meses de mayo a octubre, con una temperatura promedio de 27 a 29 °C, observándose la más elevada en el mes de abril y la más baja en los meses de diciembre a enero. La humedad relativa promedio se presenta entre 67% cuando se registran las mayores temperaturas y 89% cuando se registran las mayores precipitaciones. Vientos predominantes: Del noreste al sureste. Velocidad del viento: de 0,5 a 2,6 m/s y una precipitación anual de 1,323 mm (Alcaldía de León, 2016; Palacio & Zapata, 2011).

La orografía del municipio está conformada por un sistema de cauces, el Río Chiquito y Pochote, y sus afluentes. Más que ríos son quebradas secas que nacen al Pie de Monte de la cordillera de los Maribios que se encuentra al este de la ciudad y drenan al Océano Pacífico por el oeste. Los ríos Chiquito y Pochote se secan durante el verano. Otros pequeños ríos del municipio son: Las Salinas y el Platanar, circunvalando el perímetro urbano de la ciudad de León, antes de su confluencia abajo del barrio de Sutiaba. La topografía del municipio es en general bastante llana y extensa (Palacio & Zapata, 2011).

No existen en el perímetro municipal de León montañas que por su categoría ameriten tal nombre. Solamente existen alturas medianas como las de Acosasco, Cerro de Santiago, Colina de San Pedro y algunas otras de menor importancia.

Hacia la región sur de León existen las fuentes de El Limón, Amolonca, Borbollón, Los Pocitos y Santa Rita (MTI, 2013).

El departamento de León se ubica en la macro región del Pacífico que se caracteriza por poseer la zona más fértil del país, la mayor densidad de población, por su vulcanismo cuaternario, por su clima subtropical cálido con marcada estación seca y por contar con un litoral de origen sedimentario no homogéneo. Esta macro región posee un extenso litoral costero en el Océano Pacífico (más de 350 km), y una topografía que presenta elevaciones entre 0-1, 500 msnm, con planicies de suelos volcánicos que constituyen la mitad de las tierras más fértiles del país (Palacio & Zapata, 2011; Alcaldía de León, 2016).

Los antiguos manantiales de cabecera del Río Chiquito estaban localizados unos 300 metros al este de los límites actuales de la ciudad. Con una longitud total de 28 km y una pendiente media de 0,2 %, el Río Chiquito atraviesa a esta en dirección suroeste a lo largo de 4 km, a partir de los cuales su curso se encamina hacia la desembocadura en el Océano Pacífico, precisamente en el estero de Las Peñitas, detrás de la reserva natural Juan Venado (Palacio & Zapata, 2011) (Fig. 1).

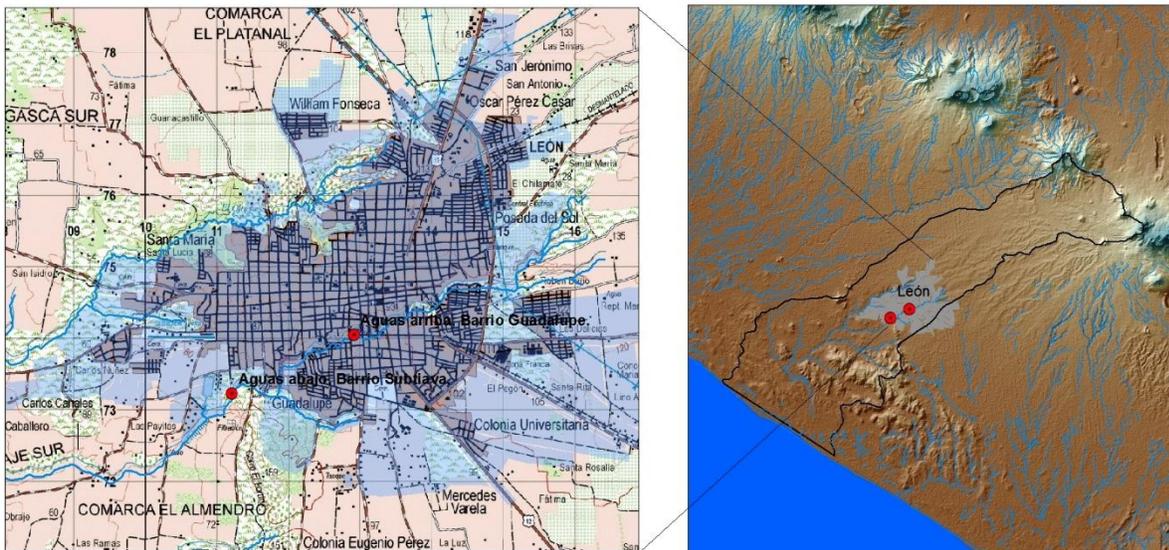


Figura 1: Área de estudio y sitios seleccionados para el estudio en sub-cuenca de Río Chiquito.

8.4. Definición y operacionalización de variables

| Objetivo general | Objetivos específicos | Variable conceptual | Variable operativa o indicador |
|--|--|--|--|
| <p>Evaluar el impacto de los vertidos de tenerías sobre la calidad físico-química y la integridad biológica del sedimento del Río Chiquito, León Mayo 2016 – Enero 2017.</p> | <p>Estimar la calidad físico-química del sedimento del Río Chiquito, con énfasis en metales y metaloides, para el uso protección de la vida acuática</p> | <p>Calidad de sedimento para la protección de la vida acuática.</p> | <p>Parámetros físico-químicos pH, ORP, CE, M.O., textura, humedad,</p> |
| | | | <p>Metales y metaloides Al, As, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg, Ni, Pb y Zn</p> |
| | <p>Estimar la integridad biológica del sedimento del Río Chiquito en los dos sitios seleccionados en base a la estructura de las comunidades de macro-invertebrados bentónicos y la funcionalidad de las comunidades microbianas</p> | <p>Integridad biológica del sedimento</p> | <p>Funcionalidad de comunidad microbiana Actividad enzimática</p> |
| | | | <p>Estructura de macro-invertebrados bentónicos Abundancia y contribución relativa de organismos Índices de diversidad y similitud Grupos funcionales alimenticios</p> |
| | <p>Evaluar la movilidad y potencial tóxico de 11 metales y metaloides (Al, Fe, Mn, Zn, Cr, Cu, Ni, Pb, As, Hg y Cd) del sedimento en los sitios seleccionados del Río Chiquito, con énfasis en Cromo.</p> | <p>Movilidad y potencial tóxico de 11 metales y metaloides con énfasis en el cromo del sedimento</p> | <p>Extracción secuencial de las fracciones intercambiable y reducible (Al, Fe, Mn, Zn, Cr, Cu, Ni, Pb, As, Hg y Cd), y Cromo hexavalente en sedimento.</p> |
| | | | |

8.5. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

Los materiales que se utilizó en campo y laboratorio se presentan en las siguientes tablas. Se utilizó cristalería de clase A.

| Equipos y Materiales utilizados en campo | | |
|--|--|---|
| Instrumento | Uso | Fotografía |
| GPS | Ubicación geográfica de punto de muestreo |  |
| Draga Van Veen | Extracción de muestras |  |
| Bandeja | Colocación de muestras para almacenamiento |  |
| Bolsas plásticas transparentes | Almacenar muestras |  |
| Cámara fotográfica | Fotografiar colecta de muestra y entorno del sitio |  |
| ORP ORION Modelo: 250 A | Medición de potencial redox |  |

Marcadores

Etiquetar



Termos

Transporte

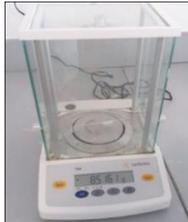


Hielo

Preservación de muestras



Equipos de laboratorio utilizados

| Equipos | Uso | Fotografía |
|--------------------------------------|---|---|
| Horno tipo mufla Barnsted Thermolyne | Análisis de porcentaje de humedad y materia orgánica |  |
| Balanza Sartorius analítica | Peso de muestra para su posterior análisis |  |
| Balanza de precisión Sartorius | Peso de muestra para su posterior análisis |  |
| Hot Plate Cimarec & stirrer | Digestión de muestras para análisis de metales, metaloides y no metales |  |

Campana de extracción
Labconco/ Premium

Evacuación de gases
producidos durante la
digestión



Multi- Purpose Rotator
Barnstead/ Lab-line

Agitación de muestra



Medidor de pH portátil
WTW

Determinación de pH de
muestra



Conductímetro portátil
WTW

Determinación de
conductividad de muestra



Medidor de ORP ORION
Modelo250 A con
electrodo combinado de
Platino SenTix® ML ORP

Determinación de
potencial redox



Espectrofotómetro de
emisión óptica por plasma
inductivamente acoplado
(ICP-OES) Agilent
Technologies

Análisis de metales y
metaloides
de muestra



Tamices (4,75mm, 2,00
mm, 425 µm, 250 µm, 150
µm, 106 µm, y 75 µm)

Determinación de la clase
textural



Espectrofotómetro UV/VIS Determinación de Cromo hexavalente



Agitador baño María Digestión de muestra de Cromo hexavalente
Fischer scientific



Autoclave Esterización de la muestra en análisis de Deshidrogenasas



8.5.1. Recolección de muestras

La recolección de las muestras se realizó en dos sitios de interés en dos campañas de muestreo en los dos períodos (lluvioso y seco), en mayo de 2016 y enero del 2017. El muestreo se realizó siguiendo procedimientos y recomendaciones estandarizados y reconocidos por agencias ambientales CCME, U.S.EPA y por el SMWW.

Los dos sitios de muestreo fueron Aguas arriba, donde no se arrojan vertidos de tenería, pero si los de las actividades domésticas, y Aguas abajo donde se une el vertido de las aguas residuales con los vertidos de la actividad de tenería semi-industrial de la Cooperativa Carlos Alvarado. El muestreo se realizó empezando por el sitio denominado Aguas abajo en el barrio Sutiaba hasta llegar al sitio denominado Aguas arriba en el barrio Guadalupe (Tabla 2).

La recolección del sedimento se realizó utilizando una draga Van Veen con una capacidad de 2 kilos para los análisis físicos-químicos, y metales de interés, almacenándose en bolsas de polietileno de una capacidad de 25 libras, preservándolas en refrigeración hasta su posterior análisis en el laboratorio. La colecta de muestras para el análisis de zoobentos se realizó colectando tres sub-muestras por sitio, que fueron preservadas con formalina al 4% (CCME, 1995; CCME, 1993). La sub-muestra para la actividad enzimática se colectó en un frasco estéril y fue preservada por refrigeración.

Para estimar la precisión y exactitud de los análisis se colectó una muestra por duplicado en el sitio Aguas abajo siguiendo las recomendaciones del SMWW (2012). (Ver anexo 13.2).

En la tabla 2 se presentan las coordenadas geográficas de los sitios de la toma de muestra durante mayo 2016 y enero 2017.

Tabla 2. Coordenadas de los sitios de toma de muestra.

| Coordenadas X, Y | Descripción |
|------------------|---------------------------------|
| 0512927, 1374158 | Aguas arriba, Barrio Guadalupe. |
| 0511224, 1373339 | Aguas abajo, Barrio Sutiaba. |

Al final de la colecta de las muestras se procedió al empaque, etiquetado, preservación, transporte, almacenamiento y documentación de la muestra (CCME, 1993; DGCRH, 2011).

8.5.2. Métodos y técnicas analíticas utilizadas

Los parámetros físicos-químicos y biológicos de interés, sus métodos y técnicas analíticas utilizadas se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros físicos-químicos y biológicos de interés, metodología y técnicas analíticas utilizadas en el estudio de los sedimentos del Río Chiquito.

| Parámetros | Método analítico | Técnica analítica |
|---|---|---|
| pH | USEPA 9045 D | Potenciometría |
| Conductividad eléctrica | USEPA 9045 D | Potenciometría |
| Potencial redox (ORP) | USEPA 9045 + SMWW 2580.B | Potenciometría |
| Humedad y Materia orgánica | ISO 11465:1993+DIN 19684-3:2000-08 | Gravimetría |
| Metales totales recuperables: Cromo, Arsénico, Plomo, Hierro, azufre y Manganeso (Totales) + Cr VI | USEPA 200.7 Rev.4.4, 1994/ICP-OES + USEPA 3060A, 1996 | Espectrometría de emisión atómica /Colorimetría |
| Metales intercambiables o biodisponibles/reducibles: Cromo, Arsénico, Plomo Hierro, Manganeso | Száková, Tlustos, Goessler, Frková & Najmanová (2009) + USEPA 200.7 Rev.4.4, 1994/ICP-OES | Espectrometría de emisión/ Colorimetría |
| Zoobentos | SMWW 10 500.C | Microscopía |
| Actividad enzimática de deshidrogenasas | Margesin & Schinner (2005) | Espectrofotometría |
| Granulometría | ASTM-D 422-63 + ASTM 854-02 | Separación por tamaños y densimetría |

USEPA: U.S. Environmental Protection Agency; SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; ATSM: American Society for Testing and Materials; ICP-OES: Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplada Inductivamente; ISO: International Organization for Standardization.

8.5.2.1. Procedimiento previo al análisis

Las muestras de sedimento colectadas fueron secadas a temperatura ambiente para eliminar la humedad (USEPA, U.S., 2001), a excepción de la alícuota destinada para el análisis de actividad enzimática de deshidrogenasas y cromo por digestión alcalina (Ver anexo 13.3).

8.5.2.2. Determinación de parámetros físicos-químicos

Las determinaciones del potencial de hidrogeno (pH) y la conductividad eléctrica (CE) se realizaron en un extracto acuoso (1:1) en donde se hizo una disolución con agua de la muestra seca dejando en reposo durante 1 hora.

La determinación del potencial redox se realizó en campo, introduciendo suavemente el electrodo directamente en el sedimento del río, hasta obtener un valor estable en mV. Posteriormente se corrigió el valor por el voltaje de electrodo de referencia en función de la temperatura según las especificaciones del fabricante, Thermo Scientific (Método 9045D, USEPA) (Tabla en anexo 13.6).

El porcentaje de humedad y de materia orgánica se determinó bajo el método gravimétrico (por diferencia de peso), descrito por ISO (ISO 11465:1993), el cual consiste en someter una porción de la muestra a diferentes temperaturas en tiempos determinados. Se pesaron 30 g de muestra húmeda en un crisol de porcelana previamente llevado a peso constante, y se secaron a 105 °C por 24 h en un horno tipo mufla y luego fueron calcinados a 550 °C por 4 h.

La clase textural se llevó a cabo mediante la separación por tamaño y densimetría descrito por ASTM (1998). Se tomó una porción de 500 g de muestra la que se depositó en una columna de tamices (mallas: 4,75 mm; 2,00 mm; 425 µm; 250 µm; 150 µm; 106 µm; y 75 µm); se agitó mecánicamente durante 30 min. No se realizó la densimetría ya que más del 90% de las muestras corresponden a la clase textural Arena media y fina.

8.5.2.3. Determinación de metales y metaloide de interés

La determinación de metales totales recuperables de interés (Al, As, Cr, Cu, Cd, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn) se realizó por Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES). Una porción de la muestra (0,1 g para elementos mayores y 1 g para elementos menores o trazas) previamente pulverizada y tamizada por una

mallita de 149 μm fue sometida a digestión ácida (ácidos nítrico y clorhídrico 1:1, grado ICP) con reflujo a 85 °C durante 30 min. El extracto digestado de la muestra fue transferido a tubos Falcon para su posterior lectura por ICP-OES (anexo 13.5).

Las concentraciones de los metales y metaloides de interés en las fracciones intercambiabile o biodisponible (unidos a carbonatos, f1) y óxido reducible (unidos a óxidos de hierro y manganeso, f2) fueron obtenidas en extracciones secuenciales analizadas posteriormente por Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES). Por razones económicas no se llevó a cabo la extracción de todas las fracciones (hizo falta realizar la extracción de las fracciones oxidable (f3) y residual (f4)).

Una porción de la muestra previamente pulverizada y tamizada en mallita de 149 μm , se mezcló con ácido acético 0,11 M en proporción 1:10. La mezcla se agitó durante 5 h, se centrifugó a 5000 r.p.m por 15 min para la determinación de la fracción biodisponible. El extracto centrifugado fue transferido a tubos Falcon para su posterior lectura en ICP-OES (Viera, Botelho, & Boaventura, 2009).

La porción de la muestra previamente centrifugada y tratada con ácido acético para la determinación de la fracción biodisponible fue centrifugada nuevamente con agua desionizada para retirar el excedente del ácido, previo a la determinación de la fracción reducible. En la determinación de la fracción de reducible se agregó clorhidrato de hidroxilamina 0,1 M en proporción 1:10 a la misma porción de la muestra agitación durante 5 h, la mezcla se centrifugó a 5000 r.p.m por 15 min. El extracto centrifugado se transfirió a tubo Falcon para su lectura en ICP-OES (Viera, Botelho, & Boaventura, 2009).

Los analitos de interés fueron cuantificados por Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) con longitudes de onda y rango de trabajo establecidos para cada uno. En el análisis por ICP-OES, la muestra en solución es bombeada al nebulizador para producir un aerosol que es transportado por el gas Argón a través de la cámara de atomización y la antorcha hacia una fuente de plasma acoplada inductivamente. Posteriormente la muestra es desolvatada y atomizada

produciendo átomos o iones excitados, cuya intensidad de emisión de luz es directamente proporcional a la concentración de las especies emisoras en solución. La cuantificación es llevada a cabo por extrapolación lineal de la intensidad emitida de cada analito contra la curva de calibración de cinco niveles de concentración. La concentración calculada es finalmente corregida tomando en cuenta el porcentaje de recuperación del estándar testigo o subrogado (Itrio) (Agilent, 2016).

La determinación del Cromo hexavalente se realizó por colorimetría en un espectrofotómetro UV-Vis después de la digestión alcalina descrita por EPA (USEPA 3060A-1). A 2,5 g de muestra húmeda se le agregaron 2 ml de agua desionizada, 50 ml de solución digestora, aproximadamente 400 mg de cloruro de magnesio y 0,5 ml de buffer de fosfato y luego digestada en baño María a 90 °C. El extracto de la muestra se filtró en papel filtro de 0,45 µm, aforando a 100 ml. Previo a la lectura en espectrofotómetro UV-Vis a longitud de onda 540 nm se ajustó a pH 1-2 con ácido fósfórico y luego sulfúrico (anexo 13.4).

8.5.2.4. Determinación de actividad enzimática y análisis cualitativo y cuantitativo de zoobentos

La determinación de la actividad enzimática de deshidrogenasas se realizó por espectrofotómetro UV/VIS descrito por Margesin & Schinner (2005). Se tomaron porciones de muestra húmeda y muestra esterilizada por autoclave (1g), se agregó 1,5 ml de buffer Tris HCl a pH 7, y dos ml de sustrato iodonitrotetrazolium formazan (INTF); se mezcló e incubó en cuarto oscuro a 40 °C durante 2 h. Posteriormente se agregó 10 ml de solución de extracción, se agitó vigorosamente durante 20 min, se dejó enfriar a temperatura ambiente durante una hora, se filtró e inmediatamente se leyó en un espectrofotómetro UV/VIS a una longitud de onda de 464 nm. Las concentraciones de INTF liberado de las muestras se calcularon a partir de una curva de calibración de seis niveles de concentración desde 3,5 hasta 37 mg/l (anexo 13.7). Los resultados se expresaron como µg de INTF liberados por gramo de masa seca del suelo después de 2 h de incubación usando la siguiente fórmula (Margesin & Schinner, 2005):

$$\mu\text{g INTF}/(\text{g suelo seco} \times 2 \text{ h}) = \frac{\text{S-C}}{\text{wm} \times \text{dm}}$$

donde:

S: concentración INTF de muestra de suelo (μg)

C: concentración INTF de control (μg)

wm: masa húmeda de suelo (1 g)

dm: masa seca de suelo (g)

El análisis cuantitativo y cualitativo de zoobentos se realizó bajo el método descrito por SMWW 10 500.C (2012). Se tomó una porción de muestra previamente lavada con agua de grifo (para eliminar la materia orgánica y el preservante con ayuda de un tamiz de 200 μm), se colocó en un plato Petri y se procedió a retirar los organismos con ayuda de pinzas goteros y estereoscopio, para depositarlos en un frasco con alcohol al 70 %. Luego se montaron los organismos en un portaobjetos, identificando hasta el nivel de familia y género con ayuda de un microscopio colocándose luego en viales según su taxonomía y procediendo a su conteo con ayuda de un estereoscopio.

Utilizando la siguiente fórmula para calcular la densidad poblacional:

$$d = N \times a$$

donde:

d: es la densidad poblacional

N: Suma de individuos contados en las submuestras (submuestra 1, 2 y 3)

a: factor resultante de la relación entre la unidad que servirá de base para calcular la densidad (m^2) y el área de cobertura del muestreador.

8.5.2.5. Ecuaciones de los índices de diversidad y similitud realizadas

Los índices utilizados fueron: índice de diversidad de Shannon-Wiener

$$H' = - \sum \left(\frac{n_i}{n} \right) * \text{Ln} \left(\frac{n_i}{n} \right).$$

Donde n_i es el número de individuo, y n es el total de número de individuos (Shannon & Wiener, 1964).

$$\text{Pielou } J = H' / H'_{\max}$$

Donde H' es el índice de diversidad de Shannon-Wiener y H'_{\max} es el Ln del número de especies (Heip, Herman, & Soetaert, 1998)

$$\text{Margalef } d = (S - 1) / \ln N$$

Donde S es el número de especies, y N es el número total de individuos en la muestra (Margalef, 1958).

$$\text{Índice de Simpson, } D = \sum P_i^2$$

Donde P_i es la abundancia relativa (Simpson, 1949).

Los índices de similitud, utilizan el porcentaje de similitud (PSC), que se da a continuación:

$$\%PSC = 100 - 0.5 \sum |a - b|$$

Donde a y b son, para una especie dada, porcentajes del total de muestras A y B que esa especie representa (Whittaker, 1952).

Y también Pinkham and Pearson's (B_2).

$$B_2 = \frac{1}{K} \sum \frac{\min(X_{ia} X_{ib})}{\max(X_{ia} X_{ib})} = \left[\frac{\left(\frac{X_{ia}}{N_a} * \frac{X_{ib}}{N_b} \right)}{2} \right]$$

Donde X_{ia} y X_{ib} son, el número de individuo en común de cada sitio, N_a y N_b es el número total de individuos de cada sitio, y k es el número de especies en común (Pinkham & Pearson, 1979).

9. Resultados y discusión

9.1. Parámetros físicos-químicos

En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos de los parámetros físicos-químicos del sedimento en los sitios de interés durante las dos campañas de muestreo realizadas en mayo 2016 y enero 2017 en el Río Chiquito.

El potencial de Hidrógeno (pH) de los sedimentos colectados presentó valores casi neutrales y ligeramente mayores o menores a 7 (6,9218 a 7,3275). El valor de pH muy ligeramente por debajo de 7 correspondiente al muestreo de enero 2017 en el sitio Aguas abajo ubicado en el Barrio Sutiaba que es representativo de la influencia de las aguas residuales de actividad tenería además de la actividad doméstica de la Ciudad de León.

Los valores de conductividad más altos se presentaron en el período seco (Enero 2017), principalmente en el sitio denominado Aguas abajo (Barrio Sutiaba) en donde se mezclan la influencia de la actividad doméstica y de tenería. Este resultado era de esperarse debido a que en el período seco las concentraciones de las sales tienden a aumentar debido a que no hay dilución por el agua de lluvia como en el período lluvioso, lo que también afecta al contenido de sales del sedimento.

Tabla 4. . Resultados obtenidos de los parámetros físicos-químicos en el sedimento del Río Chiquito en los dos sitios de interés durante las dos campañas de muestreo realizadas en mayo 2016 y enero 2017.

| Sitio | Mayo 2016 | | | | |
|---------------------------------|------------|---------------|----------|-----------|--------------------|
| | pH | Cond. (µS/cm) | ORP (mV) | Humedad % | Materia orgánica % |
| Aguas arriba (Barrio Guadalupe) | 7,0865 | 1054,0 | -85,6 | 26,758 | 0,922 |
| Aguas abajo (Barrio Sutiaba) | 7,3275 | 1255,0 | -21,6 | 32,660 | 2,729 |
| Sitio | Enero 2017 | | | | |
| | pH | Cond. (µS/cm) | ORP (mV) | Humedad % | Materia orgánica % |
| Aguas arriba (Barrio Guadalupe) | 7,0485 | 1650,0 | -15,1 | 25,050 | 0,928 |
| Aguas abajo (Barrio Sutiaba) | 6,9218 | 1912,5 | -16,3 | 29,724 | 1,755 |

Los resultados de potencial redox (ORP) obtenidos en campo presentaron valores negativos en ambos muestreos, pero más negativos en el mes de mayo comparado con el mes de enero, lo que coincide con detectar mayor actividad enzimática de deshidrogenasas (resultados presentados más adelante, Tabla 11). Los valores fueron corregidos por el valor de referencia del electrodo de Hidrógeno (Eh) con respecto a la temperatura (Thermo Scientific, 2007) dando como resultados 109,2 mV Aguas arriba; 172,2 mV Aguas abajo en mayo 2016; 181,9 mV Aguas arriba y 183,5 mV Aguas abajo en enero 2017. Al hacer esta corrección y plotear los resultados en el Diagrama de fase de Eh vs. pH (Fig. 2) notamos que todas las muestras colectadas se encuentran en la zona considerada como reductora para el Cromo (USEPA, U.S., 1996), lo que se verificó con el hecho de no detectar Cromo VI. El valor de Eh calculado para la muestra del sitio Aguas arriba (Barrio Guadalupe) de mayo 2016 (punto rojo) es el que presenta las condiciones más reducidas probablemente debido al impacto del vertido de las actividades domésticas en la parte del río con topografía plana. Se necesitaría un aumento considerable del Eh (> 500 mV) dadas las condiciones de pH en los sedimentos del Río (pH ~ 7) para que el Cromo pudiera estar en la zona oxidativa y prevalecer en el estado VI.

El sitio Aguas abajo (Barrio Sutiaba) presentó mayores porcentajes de humedad y materia orgánica en ambas campañas de muestreo, que es la fracción en donde se hace mayor la retención y la incidencia a la actividad bacteriana para los metales (Jacome & Llanos, 1990), en comparación con el sitio Aguas arriba (Barrio Guadalupe). Este mayor contenido de materia orgánica en este sitio puede deberse a que la actividad de tenería no solamente arroja sus efluentes líquidos al río sino que también trozos de cuero y pellejos que descartan del proceso de curtido (Ver anexo 13.1, figura 9)

En la Tabla 5 se presentan los resultados de la clase textural de sedimento del río durante los meses de mayo 2016 y enero 2017.

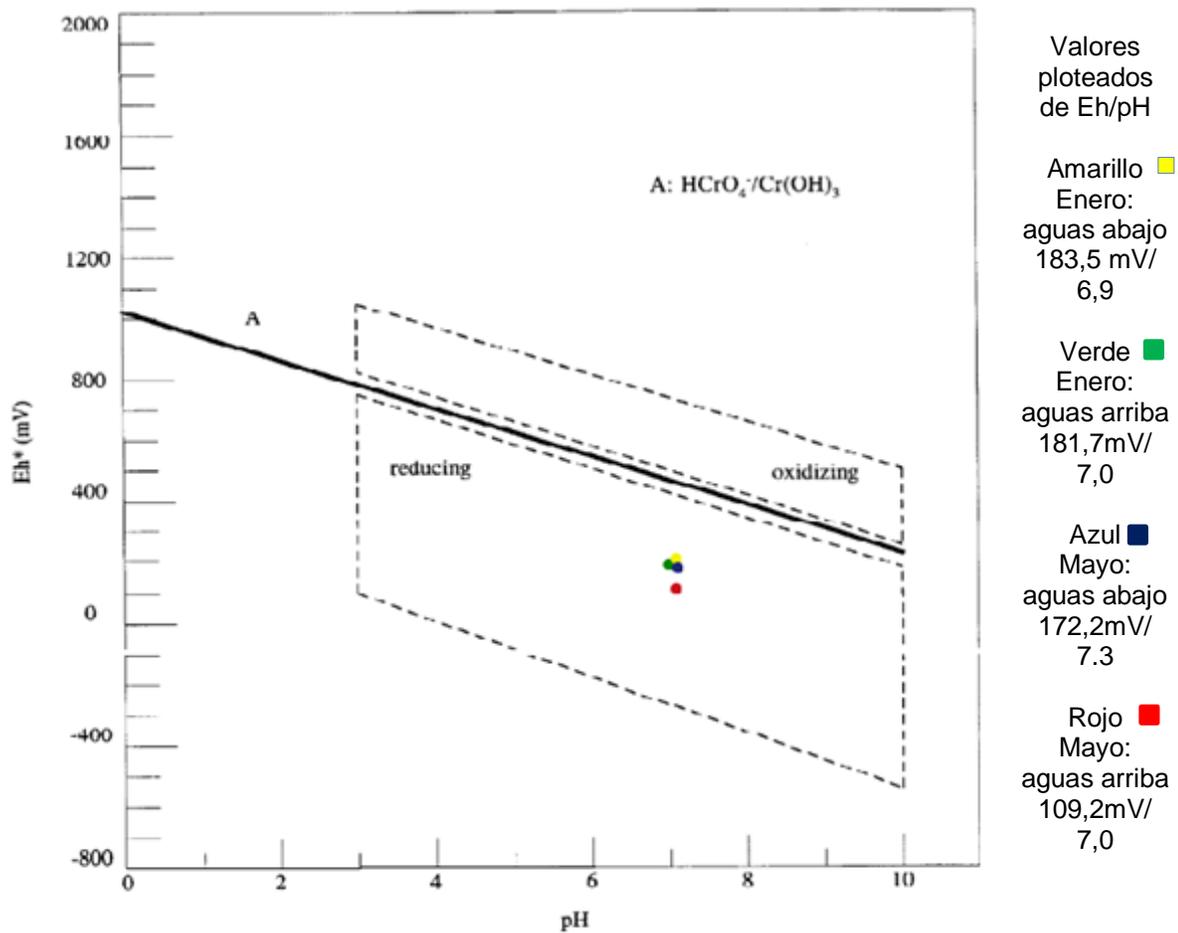


Figura 2: Diagrama de fase Eh vs pH para el Cromo en suelos y sedimentos incluyendo los valores de Eh calculados para muestras de sedimento del Río Chiquito. Tomado del método USEPA 3060A (USEPA, U.S., 1996).

Tabla 5. Resultados de clase textural del sedimento del Río Chiquito en los sitios de interés durante mayo 2016 y enero 2017.

| Mayo 2016 | | | | | | |
|---------------------------------|----------------|--------|------------|------|---------|--|
| Sitios | Clase textural | | | Limo | Arcilla | |
| | % | Gruesa | Media Fina | | | |
| Aguas arriba (Barrio Guadalupe) | Arena:99 | 3 | 50 46 | 1 | 0 | |
| Aguas abajo (Barrio Sutiaba) | Arena:97 | 0 | 29 68 | 2 | 1 | |
| Enero 2017 | | | | | | |
| Aguas arriba (Barrio Guadalupe) | Arena:100 | 7 | 66 26 | 0 | 0 | |
| Aguas abajo (Barrio Sutiaba) | Arena:100 | 10 | 77 13 | 0 | 0 | |

Los resultados granulométricos mostraron que el tamaño de partículas analizadas en el sedimento está conformada por partículas finas de limo y arcilla (Limo 1 y 2 % Aguas arriba y abajo respectivamente, y Arcilla 1 % Aguas arriba) y partículas media (50 y 29 % Aguas arriba y abajo respectivamente) y fina (46 y 68 % Aguas arriba y abajo respectivamente) de arenas durante el período lluvioso, predominando la fracción arena en este período con un 98 %. Durante el período seco se encontraron que el tamaño de la partículas del sedimento estuvo en partículas gruesa (7 y 10 % Aguas arriba y abajo respectivamente), media (66 y 77 % Aguas arriba y abajo respectivamente) y fina (26 y 13 % Aguas arriba y abajo respectivamente) de arena, reflejando un 100 % de esta fracción durante este período. Indicando que la textura del sedimento es mayormente arena durante los dos períodos del año (ver gráfico en anexo 13.9). Esto debido a la geología de la zona divide claramente en tamarindo y cuaternaria, donde el cuaternario indiferenciado abarca una área de 171, 48 km² de la sub-cuenca, por lo que la precipitación y erosión forma un tipo de litología de grava, arena y arcilla, incorporándose al río por arrastre (Alcaldía de León, 2016).

9.2. Metales y metaloides

En la Tabla 6 se muestran las concentraciones en orden decreciente de los 11 metales y metaloides analizados en los sedimentos colectados en los meses de mayo 2016 (primer muestreo, período lluvioso) y enero 2017 (segundo muestreo, período seco) en los dos sitios de interés.

Los metales analizados con las concentraciones más altas fueron Hierro (3,7 a 8,0 %), A partir del análisis se pueden considerar como elementos mayores los siguientes: Aluminio (3,4 a 6,5 %), Zinc (85 a 2031 mg/kg) y Manganeso (316 a 829 mg/kg) como se observa en el gráfico 1 y 2. Los elementos menores encontrados fueron en orden de importancia: Cromo, Cobre, Níquel y Plomo con concentraciones en el rango de 8 a 95; 40 a 59; 13 a 23 y 10 a 17 mg/kg, respectivamente. Los elementos trazas fueron Arsénico, Mercurio y Cadmio con concentraciones en el rango de ND a <LD; <LD a 1,6 y <LD a 3 mg/kg, respectivamente como se observa en el gráfico 3.

Al comparar las concentraciones detectadas con los valores guías propuestos por los criterios canadienses (CCME y MOE) y la U.S.EPA, se puede notar que hay seis

metales (Hierro, Cromo, Cobre, Níquel, Cadmio y Mercurio) que sobre pasaron alguno o dos de los criterios utilizados.

Tabla 6. Comparación de resultados de metales y metaloides en muestras de sedimento (mg/kg, peso seco) de los sitios de interés en los dos muestreos realizados con valores guía propuestos por el CCME y la USEPA para el uso protección de la vida acuática.

| Elementos | Mayo 2016 | | Enero 2017 | | Valores guía de CCME | | Valores guía de EPA | |
|------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------|--------------|---------------------|-----|
| | Agua arriba (Barrio Guadalupe) | Agua abajo (Barrio Sutiaba) | Agua arriba (Barrio Guadalupe) | Agua abajo (Barrio Sutiaba) | ISQGs | PEL | PEL | SEL |
| Al (mg/kg) | 65420 | 61986 | 35438 | 34791 | NE | NE | NE | NE |
| Fe (mg/kg) | 80217 | 63664 | 37692 | 37408 | 2%* | 4%# | NE | NE |
| Zn (mg/kg) | 1455 | 2031 | 85 | 94 | 123 | 135 | 315 | 820 |
| Mn (mg/kg) | 829 | 680 | 316 | 339 | 460* | 1100# | NE | NE |
| Cr(mg/kg) | 10 | 64 | 8 | 95 | 37,3 | 90 | 90 | 110 |
| Cu (mg/kg) | 40 | 52 | 45 | 59 | 35,7 | 197 | 197 | 110 |
| Ni (mg/kg) | 23 | 13 | 17 | 13 | 16* | 75# | 36 | 75 |
| Pb (mg/kg) | 16 | 17 | 10 | 11 | 35 | 91,3 | 91,3 | 250 |
| Cd (mg/kg) | 3 | 2 | <LD | <LD | 0,6 | 3,5 | 3,53 | 10 |
| Hg (mg/kg) | <LD | <LD | 1,60 | 1,21 | 0,17 | 0,486 | 0,486 | 2 |
| As (mg/kg) | <LD | <LD | ND | ND | 5,9 | 17 | 17 | 33 |

CCME: Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente; ISQGs: Guías provisionales de calidad de los sedimentos de agua dulce; PEL: Niveles de efectos probables de efectos biológicos adversos; SEL: Nivel de efecto severo. USEPA.: U.S. Environmental Protection Agency; MOE: Ministerio del Ambiente de Ontario; ND: No detectado; <LD: por debajo del Límite de detección NE: No establecido; *LEL: Nivel de efecto más bajo de Ontario, #SEL Nivel de efecto severo de Ontario; **Negrilla**: Valor que supera ISQGs; **Negrilla**: Valor que supera PEL.

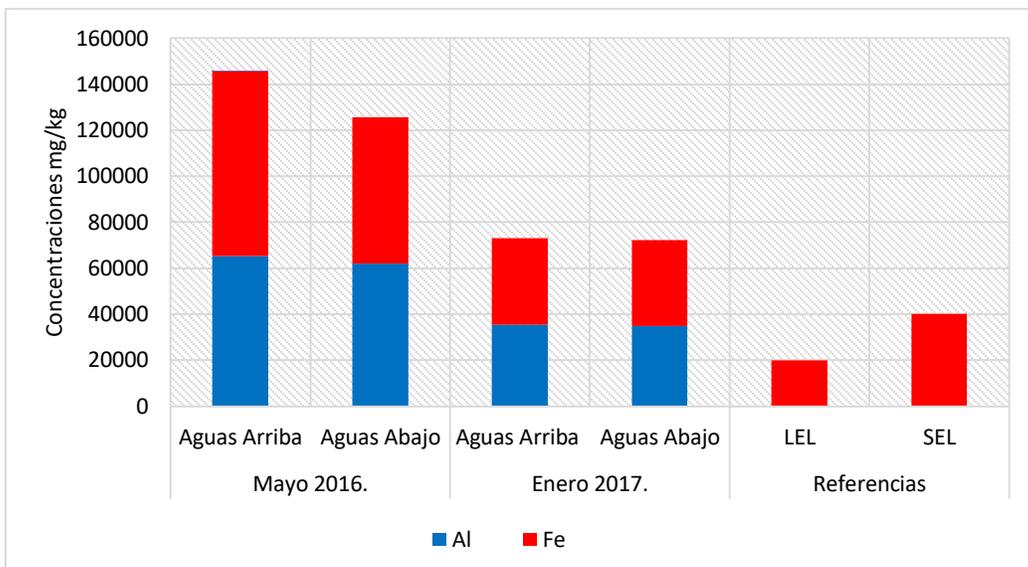


Gráfico 1. Concentraciones de Hierro y Aluminio (mg/kg) del sedimento en ambos sitios del Río Chiquito, mayo 2016-enero 2017.

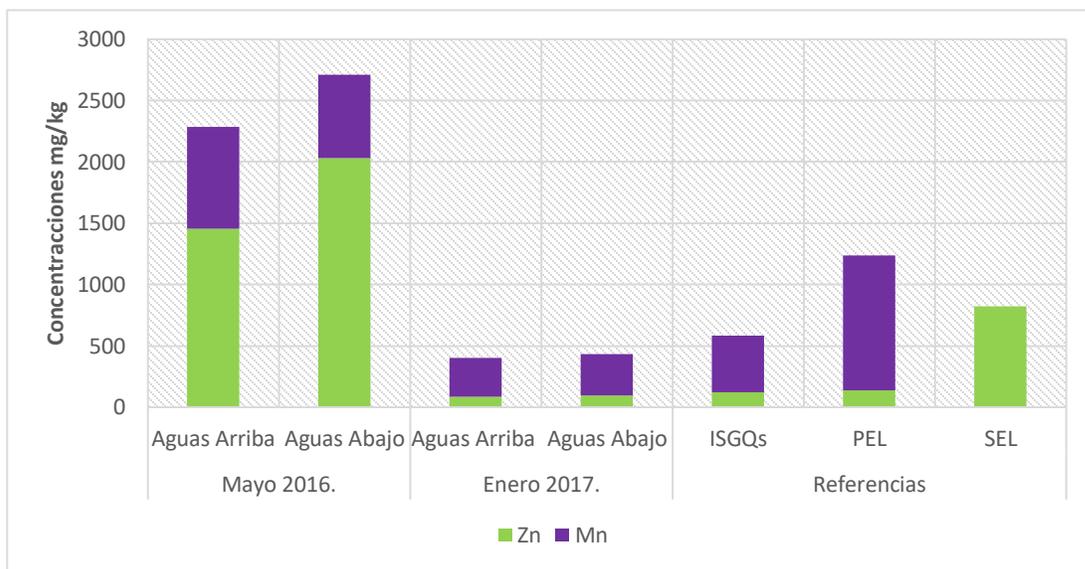


Gráfico 2. Concentraciones de Cinc y Manganeso (mg/kg) del sedimento en ambos sitios del Río Chiquito, mayo 2016-enero 2017.

El Hierro y el Níquel detectados en ambos muestreos sobrepasan entre < 1 y 2 veces y entre 1,06 y 2 veces a los criterios de nivel de efecto más bajo del Ministerio del Ambiente de Ontario, Canadá (LEL) (MOE, 2008) en ambos sitios y muestreos para el Hierro, y en el sitio Aguas arriba (Barrio Guadalupe), respectivamente. El aluminio es

uno de los elementos más abundantes de la corteza terrestre, por lo que es normal encontrar altas concentraciones además de uso para tratamiento de aguas (WHO, 2011). Por tal razón las diferentes agencias ambientales y de salud internacionales (CCME, MOE, USEPA, WHO), no establecen o recomiendan un valor guía de este metal.

El Cromo detectado en ambos muestreos en el sitio Aguas abajo (Barrio Sutiaba) (64 y 95 mg/kg) sobrepasa en 2 y 3 veces el criterio interino de CCME (ISQGs) en el mes de mayo 2016 y el PEL establecido por CCME y USEPA y 1,05 veces en el mes de enero 2017. La probabilidad de que estas concentraciones de Cromo produzcan efectos adversos en la biota estarían entre alta (49 %, >PEL) y moderada (19 %, >ISQG y < PEL) para el sitio Aguas abajo (CCME, 2012) en el período seco y lluvioso, respectivamente. En base a los resultados obtenidos para el sitio Aguas arriba podríamos sugerir de 8-10 mg/kg como valores de línea base para el Cromo en los suelos del área. En base a lo anterior, podríamos concluir que la actividad de tenería estaría aumentando los niveles de Cromo en el área entre 7 y 10 veces.

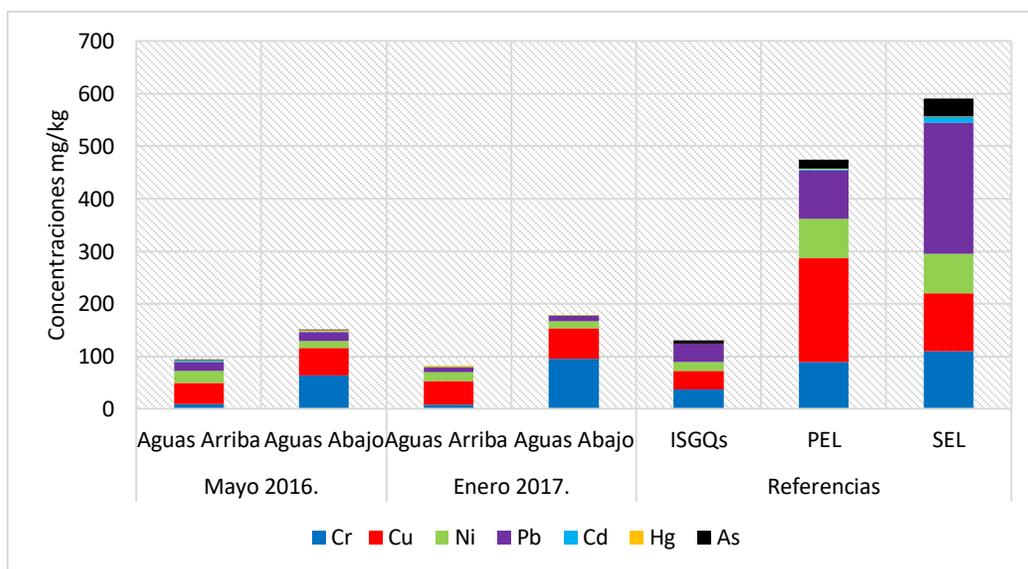


Gráfico 3. Concentraciones de elementos menores (mg/kg) del sedimento en ambos sitios y del Río Chiquito, mayo 2016-enero 2017.

El Cobre detectado en ambos muestreos y sitios sobrepasa el nivel interino de las Directrices Canadienses (ISQGs) entre 1 y 2 veces, pero no sobrepasó el nivel PEL. La probabilidad de que se produzcan efectos adversos por estas concentraciones en la biota sería moderada (38 %, >ISQG y < PEL) (CCME, 2012). El cobre puede ser tóxico a la biota en elevadas concentraciones ya que disminuye la abundancia y diversidad de los organismos, por lo que sus efectos adversos clasificados como moderados podría ser que aumenten la mortalidad y provoquen cambios en el comportamiento de estos organismos presentes en el sedimento (CCME, 1999).

El Cadmio detectado en ambos sitios sobrepasó entre 3 y 5 veces el nivel interino del CCME (ISQGs) en el primer muestreo realizado (Mayo 2016). La probabilidad de que ocurran efectos adversos a la biota es relativamente baja (12 % >ISQG y < PEL). Según la CCME, 199, la presencia de este metal en el sedimento puede ocasionar la disminución en la abundancia de invertebrados.

El Zinc detectado en el primer muestreo (Mayo 2016) sobrepasó los valores del nivel interino (ISQGs) en 12 y 17 veces en ambos sitios, los niveles del efecto probable (PEL) en 11 y 15 veces y los niveles de efecto severo en 2 y 3 veces los criterios establecidos por USEPA y CCME (Aguas arriba y abajo respectivamente). Por lo que la probabilidad de que se produzcan efectos adversos en la biota es alta (> 36 %). El Zinc, en altas concentraciones ocasiona una disminución en la abundancia, diversidad y un aumento de la mortalidad y cambio del comportamiento en los invertebrados bentónicos (CCME, 1999).

El Mercurio detectado en el segundo muestreo (Enero 2017) en ambos sitios sobrepasó los criterios del nivel interino (ISQGs) y del nivel de efecto probable (PEL) establecidos por la USEPA y el CCME desde 3 veces, (PEL) hasta más de 8 veces (ISQG); por lo que la probabilidad de que se produzcan efectos adversos en la biota es alta (> 36 %). Este resultado es considerado un hallazgo dado que no se tenía información de uso de mercurio en el área.

Las concentraciones de Plomo y Arsénico en ambos sitios y ambos muestreos, como el Cromo (Aguas arriba y ambos muestreos), Níquel (Aguas abajo y ambos muestreos) y el Zinc (en ambos sitios de segundo muestreo) no superaron el valor interino (ISQGs)

de CCME por lo que la probabilidad de que ocurran efectos adversos para la biota es baja (CCME, 2012).

Las concentraciones de los metales de interés detectadas en este estudio se compararon con dos estudios realizados en sedimentos del riachuelo La Estrella, que recibe el vertido del Plantel del mismo nombre donde se amalgama el material geológico de mineros artesanales en Santo Domingo, Chontales (Picado, 2008). El estudio reportó concentraciones de mercurio en estratos del sedimento del riachuelo entre 9,10 y 11,05 mg/kg. Estas concentraciones sobrepasan el nivel de efecto probable (PEL) de (CCME, 2002) entre 19 y 23 veces, por lo que la probabilidad de que estas concentraciones estuvieran ocasionando efectos adversos a la biota era altísima. (Garcías Gómez, 2015) determinó en el sedimento del mismo sitio concentraciones de mercurio entre 2,38 y 6,42 mg/kg, lo que todavía sobrepasa el nivel de efecto probable (PEL) pero menos veces que en el año 2008 (5 y 13 veces), reflejando que la probabilidad de que ocurran efectos adversos para la biota sigue siendo alta. En este sedimento también se encontró que las concentraciones de Cromo no sobrepasaron el valor interino (9,07 – 9,83 mg/kg) por lo que la probabilidad de que éstas produzcan efectos adversos es baja (< 2 %); las de Zinc (169,41 y 211,37 mg/kg) superaron el valor interino entre 28 y 42 % por lo que la probabilidad de que éstas produzcan efectos adversos es moderada (< 32 %); las de Cadmio lo sobrepasaron 5 veces con probabilidades moderadas de que ocurran efectos adversos (38 %, >ISQG y < PEL); y las de Plomo (577,76 y 741,36 mg/kg) si sobrepasaron el nivel de efecto probable (PEL) entre seis y ocho veces; por lo que la probabilidad de que se produjeran efectos adversos es alta (> 42 %). En general, las concentraciones de metales detectados en los sedimentos del Río Sucio son mayores y presentan altas probabilidades de que produzcan efectos adversos a la biota en comparación con las encontradas en el Río Chiquito, a excepción de las de Cromo y Zinc.

Al comparar las concentraciones de metales encontradas en este estudio con las del estudio “Contribución al establecimiento de la línea base ambiental del Río San Juan de Nicaragua – 2012” en el cual concluyeron que la presencia de metales en el sedimento del Río San Juan de Nicaragua obedece al arrastre de suelo erosionado proveniente

desde diferentes partes de su cuenca, asociada al componente geológico local en la misma (CIRA, 2013). En este estudio se reportaron como elementos mayores al Aluminio y Manganeso (1,2 % a 3,6 % y 402 a 1834 mg/kg, respectivamente). Las concentraciones del Cadmio, Cobre y Mercurio estuvieron en los rangos de 0,57 a 1,39, 30,73 a 80,36 y 0,06 a 0,41 mg/kg, respectivamente y solo sobrepasaron sus niveles interinos en 2; 2,25 y 2,41 veces por lo que la probabilidad de que ocurran efectos adversos debido a ellas es moderada. Las concentraciones del Cromo, Zinc y Plomo estuvieron en los rangos de 6,90 a 19,05, 47,81 a 69,66 y 11,17 a 16,73 mg/kg respectivamente, y no sobrepasaron ninguno de los valores recomendados en el muestreo de abril (CCME, 2002). Las probabilidades de que se produzcan efectos adversos se mantiene en septiembre del mismo año con la diferencia de que las concentraciones del Mercurio (0,02 a 0,11 mg/kg) no sobrepasó ninguno de los valores recomendados. Se mantienen las concentraciones altas del Aluminio (1,9% a 3,5 %) y Manganeso (536,53 a 2 619,24 mg/kg). El Cadmio (1,91 a 2,73 mg/kg) y Cobre (41,94 a 90,50 mg/kg) solo sobrepasaron el nivel interino. El Cromo, Zinc y Plomo no sobrepasaron ninguno de los valores recomendados (CCME, 2002). En conclusión, los resultados de los metales obtenidos del sedimento del río San Juan de Nicaragua, son menores y la probabilidad de que ocurran efectos adversos a la biota es baja en comparación con las concentraciones determinadas en el Río Chiquito.

El impacto generado por efluentes de las industrias de tenerías a ríos ocurre en distintas parte del mundo por ejemplo el río Sagana en Kenia. En donde Mwinyihija & Killham. (2006) realizaron un estudio en donde analizaron pentaclorofenoles en agua y Cromo Plomo, Hierro, Cadmio, Cobre, Níquel y Zinc en sedimento del río en el sitio en donde se vierte directamente el efluente (con concentraciones 1,31; 0,69; 1 010; 0,03; 0,40; 0,65; 1,15 mg/kg, respectivamente). Así como a 400, 200 y 100 m antes del efluente y a 100, 200, 400, 600 y 800 m después del efluente. En donde las menores concentraciones de estos metales fueron a 400 m antes del efluente para el Cr (0,89 mg/kg) y Pb (0,40 mg/kg), 200 m para Fe (772 mg/kg), Cu (0,16 mg/kg), Cd (0,02 mg/kg), Ni (0,43 mg/kg) y Zn (0,79 mg/kg) y las mayores a 600 m después del efluente Cr (1,78 mg/kg), Pb (0,71 mg/kg), Fe (1 359 mg/kg), Cu (0,04mg/kg), Ni (1,02 mg/kg),

Zn (2,43 mg/kg), y en 400 m para Cd (0,04 mg/kg), Concluyendo que el vertido de la curtiembre contienen una serie de contaminantes tóxicos que, cuando se descargan en los sistemas fluviales, causan condiciones ambientales severas (Mwinyihija & Killham, 2006). Aunque ninguna de las concentraciones sobrepasaron los valores recomendados por las distintas agencias ambientales (CCME, MOE y USEPA) muestra que los efluentes provenientes de la actividad de tenería contribuyen en la contaminación de los sistemas fluviales, así como las concentraciones determinadas en el Río Chiquito haciendo que la probabilidad de que ocurran efectos adversos para la biota sea mayor.

En la Tabla 7 se presentan las concentraciones de los metales de interés detectadas en las fracciones biodisponible/intercambiable o soluble en ácido (f1) y la reducible (2) obtenidas por extracciones secuenciales del sedimento del Río Chiquito (mg/kg peso seco) en el mes de mayo 2016 (primer muestreo, período lluvioso) y enero 2017 (segundo muestreo, período seco) en los dos sitios de estudio. Las concentraciones del Cadmio, Arsénico y Mercurio de la fracción intercambiable/biodisponible estuvieron entre ND a <LD por lo que no fueron incluidas en la tabla. La fracción reducible no se analizó en busca de ninguno de estos elementos.

Tabla 7. Concentraciones de metales de interés total recuperable y en las fracciones biodisponible/intercambiable (f1) y óxido reducible (f2) en muestras de sedimento de Río Chiquito (mg/kg, peso seco) durante mayo 2016 y enero 2017 en los sitios de interés.

| Elementos (mg/kg)/ Fracción | Mayo 2016 | | Enero 2017 | | |
|--------------------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------|
| | Aguas arriba | Aguas abajo | Aguas arriba | Aguas abajo | |
| Al | f1 | 1648 | 1036 | 377 | 286 |
| | f2 | 98 | 296 | 816 | 848 |
| | Suma | 1746 | 1332 | 1193 | 1134 |
| Total recuperable | 61986 | 65420 | 34791 | 35438 | |
| Fe | f1 | 1400 | 457 | 313 | 199 |
| | f2 | 168 | 428 | 1004 | 879 |
| | Suma | 1569 | 885 | 1316 | 1078 |
| Total recuperable | 80217 | 63664 | 37692 | 37408 | |
| Mn | f1 | 115 | 276 | 21 | 45 |
| | f2 | 2 | 10 | 11 | 16 |
| | Suma | 117 | 286 | 32 | 61 |
| Total recuperable | 829 | 680 | 316 | 339 | |
| Zn | f1 | 82 | 147 | 28 | 33 |
| | f2 | <LD | <LD | 10 | 14 |
| | Suma | 82 | 147 | 38 | 47 |
| Total recuperable | 1455 | 2031 | 85 | 94 | |
| Cr | f1 | <LD | 8,07 | <LD | 2,91 |
| | f2 | ND | 0,89 | ND | 4,22 |
| | Suma | - | 8,96 | - | 7,13 |
| Total recuperable | 9,78 | 64,76 | 7,88 | 94,54 | |
| Cu | f1 | 12,50 | 12,85 | 4,37 | 5,58 |
| | f2 | <LD | 2,02 | 4,38 | 7,05 |
| | Suma | 12,50 | 14,87 | 8,75 | 12,62 |
| Total recuperable | 39,45 | 52,15 | 44,57 | 59,23 | |
| Ni | f1 | <LD | <LD | <LD | <LD |
| | f2 | <LD | ND | 0,52 | 0,34 |
| | Suma | - | - | 0,52 | 0,34 |
| Total recuperable | 23,30 | 13,03 | 16,56 | 13,42 | |
| Pb | f1 | 4 | <LD | <LD | <LD |
| | f2 | NA | NA | NA | NA |
| | Suma | 4 | - | - | - |
| Total recuperable | 16 | 17 | 10 | 12 | |

<LD: por debajo del límite de detección; ND: no detectado; f1: concentraciones (mg/kg) de la fracción biodisponible; f2 concentraciones (mg/kg) de la fracción reducible; NA: No analizado

Los metales con los porcentajes más altos en las fracciones analizadas fueron el Manganeso en rango de 7 % a 41 % para la fracción biodisponible; 0,25 % a 5 % para la reducible y el Zinc en rango 6% a 35 % para la fracción biodisponible; <LD a 15 % para la reducible, el Cobre en rango de 9 % a 32 % para la fracción biodisponible; <LD a 12 % en ambos períodos del año. Seguidos del Cromo, Plomo, Níquel, Aluminio y Hierro en los rangos de <LD a 13 %;<LD a 27 %; 3 % a 6 %; 1 % a 3 %, 1 % a 2 % (respectivamente) para la fracción biodisponible. Y en los rangos de ND a 4 %, NA; 2 % a 16 %; 0,16 % a 2 %; 0,21 % a 3 % para la fracción reducible respectivamente.

Durante el período lluvioso los metales que presentan mayor porcentaje de biodisponibilidad en ambos sitios fueron Cobre con el 32 y 25 %, Manganeso con el 14 y 41 %, Zinc con el 6 y 7 %, Níquel con el 6 % (en cada sitio), Aluminio en 3 y 2 % y Hierro con 2 y 1 % Aguas arriba y abajo, respectivamente. En la fracción reducible los porcentaje estuvieron en los rangos de <LD a 16 % siendo en orden ascendente el Zinc con valores por debajo del límite de detección (7,392 mg/kg), Aluminio 0,16 y 0,45 %, Hierro con 0,21 y 1 %, Manganeso 0,25 y 2 %, Cobre <LD (1,031 mg/kg) y 4, y Níquel 2 y 16 % en cada sitio respectivamente. Esos resultados implican que el mayor contenido de estos metales está distribuido en las otras fracciones que no fueron analizadas (oxidable y residual).

En el caso del Plomo y el Cromo solo mostraron porcentaje de biodisponibilidad en uno de los sitio el Plomo en Aguas arriba, y el Cromo Aguas abajo para el período lluvioso en un 27 y 13 % respectivamente. El porcentaje de la fracción reducible para el Cromo fue del 1 % y el Plomo no se analizó. Indicando que alrededor del 73 y 87 % de las concentraciones están en las otras fracciones.

Para el período seco, los metales con mayor porcentaje fueron el Zinc con el 33 y 35 %, Cobre 10 y 9 %, Manganeso 7 y 13 % Aguas arriba y abajo respectivamente el Níquel con el 3 %, y 1 % para el Hierro e igual para el Aluminio en ambos sitios. Los metales con el mayor porcentaje en la fracción reducible fueron el Zinc con 12 y 15 %, y en orden descendente, Cobre con 10 y 12 %, Manganeso 3 y 5 %, Níquel 3 %, Hierro 3 y 2 % y el Aluminio 3 y 2 % Aguas arriba y abajo, respectivamente.

A diferencia del período lluvioso, en este período el porcentaje de la fracción biodisponible del Plomo estuvo por debajo del límite de detección (0,46 mg/kg) en los dos sitios seleccionados. De manera similar en el período lluvioso, el porcentaje de fracción biodisponible de cromo presentó un porcentaje menor siendo este del 3 %, en cambio el porcentaje en la fracción reducible fue del 4 % siendo ésta mayor que el período anterior, en el sitio aguas abajo.

No se detectó Cromo hexavalente en ninguno de los períodos del año muestreados en los sitios seleccionados, debido a las condiciones de estos, que favorecen a la reducción de este metal. Lo que indica que el Cromo presente en el sedimento del Río Chiquito se encuentra en los estados menos oxidados que son menos tóxicos, como por ejemplo como Cromo III que es el estado más estable (USEPA, U.S., 1996).

9.3. Macro-invertebrados bentónicos

9.3.1. Riqueza y taxonomía

En la Tabla 8 se presentan la densidad poblacional (ind/m²) y los grupos funcionales alimenticios de taxas de macro-invertebrados bentónicos identificados en el sedimento de Río Chiquito en los meses de mayo 2016 y enero 2017, en los sitios de interés. En total se identificaron cuatro *Phylum* (*Nematoda*, *Annelida*, *Nematomorpha*, *Arthropoda*), tres clases (*Oligochaeta*, *Insecta*, *Arachnida*), cinco órdenes (*Haplotaxida*, *Gordioidea*, *Coleopta*, *Diptera*, *Trombidiformes*), 11 familias (*Tubificidae*, *Chordodidae*, *Staphylinidae*, *Chironomidae*, *Ceratopogoridae*, *Dolichopodidae*, *Psychodidae*, *Limoniidae*, *Ceratopogonidae*, *Hydracarina*) y 17 géneros (*Tubifex*, *Neochordodes*, *Bledius*, *Chironomus*, *Goldichironimus*, *Probezzia*, *Stilobezzia*, *Aphrosylus*, *Maruina*, *Molophilus*, *Bezzia*, *Psychoda*, *Rhaphium* y cuatro G.n.i.). La mayoría de las familias identificadas corresponden a bioindicadores de aguas desde medianamente contaminadas hasta muy contaminadas, con excepción de *Chordodidae* (Roldán & Ramírez, 2008).

Tabla 8. Densidad poblacional (ind/m²) y grupo funcionales alimenticios (GFA) de las taxas de macro-invertebrados bentónicos identificadas en sedimentos del Río Chiquito, durante los meses de mayo 2016 y enero 2017 en los sitios de interés.

| Phylum | Clase | Orden | Familia | Género | GFA | Mayo 2016 ind/m ² | | Enero 2017 ind/m ² | |
|---------------------|-------------|----------------|-----------------|------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|
| | | | | | | Aguas arriba | Aguas abajo | Aguas arriba | Aguas abajo |
| Nematoda | | | | G.n.i | NI | 80 | 36545 | 66 | |
| Annelida | Oligochaeta | Haplotaxida | Tubificidae | <i>Tubifex</i> | Colector | 7 | 15 | | |
| Nematomorpha | | Gordioidea | Chordodidae | <i>Neochordodes</i> | Parásito | 15 | | | |
| | | Coleoptera | Curculionidae | G.n.i | Colector | 4 | | | |
| | | | Staphylinidae | <i>Bledius</i> | Raspador | 7 | 4 | | |
| | | | Chironomidae | G.n.i | Colector-Raspador | 33 | | | |
| | | | | <i>Chironomus</i> | Colector-Raspador | | 22 | | |
| | | | Ceratopogoridae | <i>Goldichironimus</i> | Colector-Raspador | | 4 | | |
| | | | | <i>Probezzia</i> | Colector | | 18 | | |
| Arthropoda | Insecta | | Dolichopodidae | <i>Stilobezzia</i> | Colector | | 4 | | |
| | | Diptera | | <i>Aphrosylus</i> | Depredador | 15 | 4 | | |
| | | | | | <i>Rhaphium</i> | Colector | | 7 | |
| | | | Psychodidae | <i>Psychoda</i> | Colector-Desmenuzador | | | 102 | 127 |
| | | | | <i>Maruina</i> | Colector-Raspador | 25 | 7 | | |
| | | | Limoniidae | <i>Molophilus</i> | Depredador | | | 102 | 7 |
| | | | Ceratopogonidae | <i>Bezzia</i> | Depredador | | | | 11 |
| | Arachnida | Trombidiformes | Hydracarina | G.n.i | Depredador | 25 | 4 | 18 | 26 |
| Total de individuos | | | | | | 211 | 36634 | 288 | 171 |

G.n.i: Género no identificado; GFA: Grupo Funcional Alimenticio; ind/m²: individuos por metros cuadrado; NI: No identificado

9.3.2. Densidad comunitaria y abundancia relativa

La densidad poblacional de los macro-invertebrados bentónicos identificados en el sedimento durante mayo (2016) y enero (2017) estuvo en el rango de 4 a 36 545 ind/m², siendo el *Phylum Nematoda* quien presentó el mayor número de individuos en mayo 2016 (período lluvioso) y el género *Psychoda* (Arthropoda) en el muestreo del período seco (gráficos 4 y 5). Un género no identificado de la familia Hydracarina (Clase Arachnida, Orden Tromidiformes) fue el único encontrado durante ambos períodos y en ambos sitios en los rangos de 4 a 26 ind/m².

En el gráfico 4 se muestra la abundancia relativa de géneros de macro-invertebrados bentónicos encontrados en los sedimentos del sitio Aguas arriba en el período lluvioso (Mayo 2016), en donde la incidencia de vertidos de la actividad doméstica de la ciudad de León es permanente. Un G.n.i. del *Phylum Nematoda* tuvo la mayor contribución (38 %), seguidos por otro G.n.i. de la Familia *Chironomidae* con 15,64%, *Maruina* y un G.n.i. de la familia *Hydracarina* que representaron 12 % cada uno. Los géneros *Aphrosylus* y *Neochordodes*, *Tubifex*, *Bledius* y un G.n.i. de la familia *Curculionidae* presentaron < 8 % individualmente.

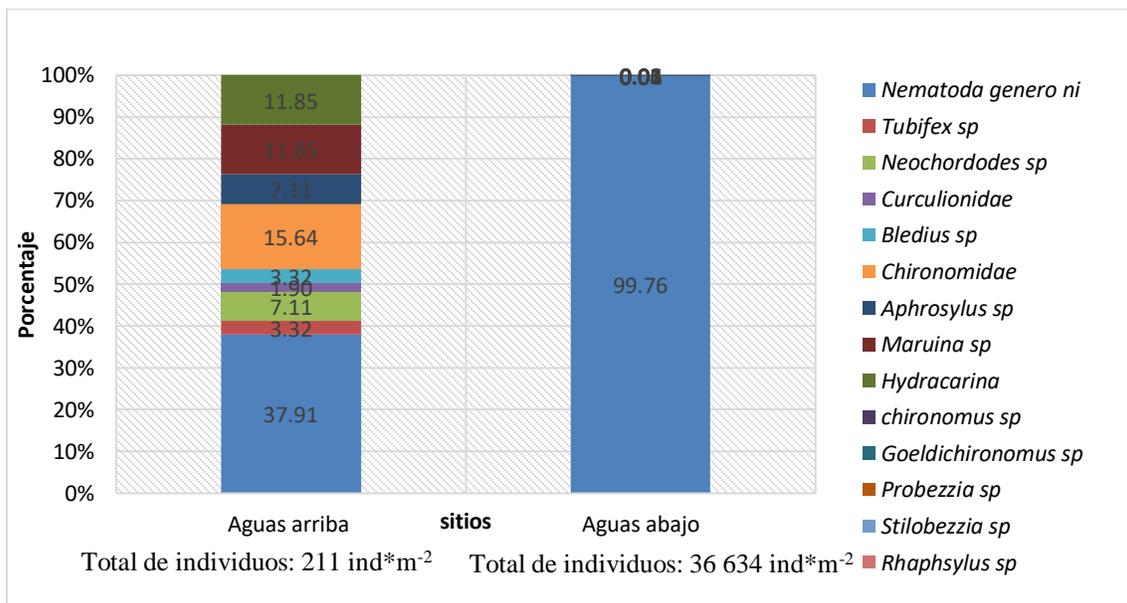


Gráfico 4. Abundancia relativa de macro invertebrados bentónicos en sedimento de ambos sitios, Río Chiquito, mayo 2016.

En el mismo período (mayo 2016) el sitio Aguas abajo donde hay incidencia de ambas actividades antropogénicas, la actividad doméstica y de la tenería semi-industrial y artesanal; estuvo dominado en 99,76 % por el mismo G.n.i del *phylum* Nematoda (figura 4) que se encontró en el sitio Aguas arriba. La diferencia entre la dominancia de Nematoda en ambos sitios consistió en el número de individuos en cada sitio, 80 individuos/m² en el Aguas arriba y 36 545 individuos/m² en el Aguas abajo. La gran diferencia en la abundancia podría explicarse por el diferente contenido de materia orgánica en los sedimentos de los sitios estudiados (0,9 % vs. 2,7 %), ya que ha sido reportado que ésta es la principal fuente de nutrientes para los nemátodos e influye grandemente en la importante función que estos realizan sobre los ciclos biogeoquímicos (Castilla, 2015).

En el gráfico 5 se muestra la abundancia relativa de géneros de macro-invertebrados bentónicos encontrados en los sedimentos de los sitios de interés en el período seco (Enero 2017). Se encontraron cuatro géneros en ambos sitios, tres de ellos en común (*Psychoda*, *Molophilus* e *Hydracarina*). En el sitio Aguas arriba en donde la incidencia de la actividad doméstica es permanente (Barrio Guadalupe) co-dominaron *Psychoda* y *Molophilus* en casi 71 %, el *phylum* Nematoda (figura 3) contribuyó con 23%; mientras que en el sitio Aguas abajo (Barrio Sutiaba), en donde la incidencia de las actividades antropogénicas es mayor al unirse la actividad de tenería a la doméstica dominó *Psychoda* con 75 % (figura 4) y no se encontró ningún individuo del *phylum* Nematoda. Los nemátodos y los dípteros psicódidos (*Psychoda*) son comúnmente encontrados en ambientes enriquecidos por nutrientes y materia orgánica, como en cuerpos receptores de la descarga de efluentes de plantas de tratamiento sanitarios (Capítulo, Ocon, & Tangorra, 2004; Giere, 2009). Los nemátodos han sido reportados como el grupo más frecuentemente encontrado en ambientes contaminados, sin embargo, debido a sus reacciones a contaminantes específicos, son considerados como indicadores muy útiles en estudios de contaminación, en especial cuando la macrofauna ha desaparecido (Giere, 2009). Ese sería el caso con el Cromo en los sedimentos del sitio Aguas abajo del Río Chiquito y su diferencia de concentración

entre la estaciones lluviosa y seca, ésta pasa de 64 a 95 mg/kg, de sobrepasar en 70 % el valor guía interino Canadiense (ISQG) de 37,3 mg/kg a sobrepasar levemente en 5 mg/kg el nivel de efecto probable (PEL) de 90 mg/kg. Esto demuestra la robustez de los valores guía establecidos por el Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME, 2002), que predicen que la probabilidad de que ocurran efectos adversos aumenta del 19 al 49 % cuando se sobrepasa el PEL.

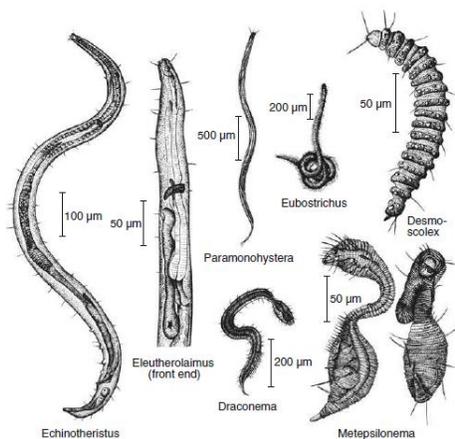


Fig. 5.16 Various Nematoda of different appearance. (Various authors)

Figura 3. Fuente: Giere (2009). Ilustración de varios nematodos

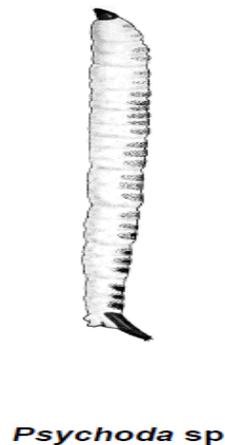


Figura 4. Fuente: Álvarez, L (2005). Ilustración de *Psychoda*

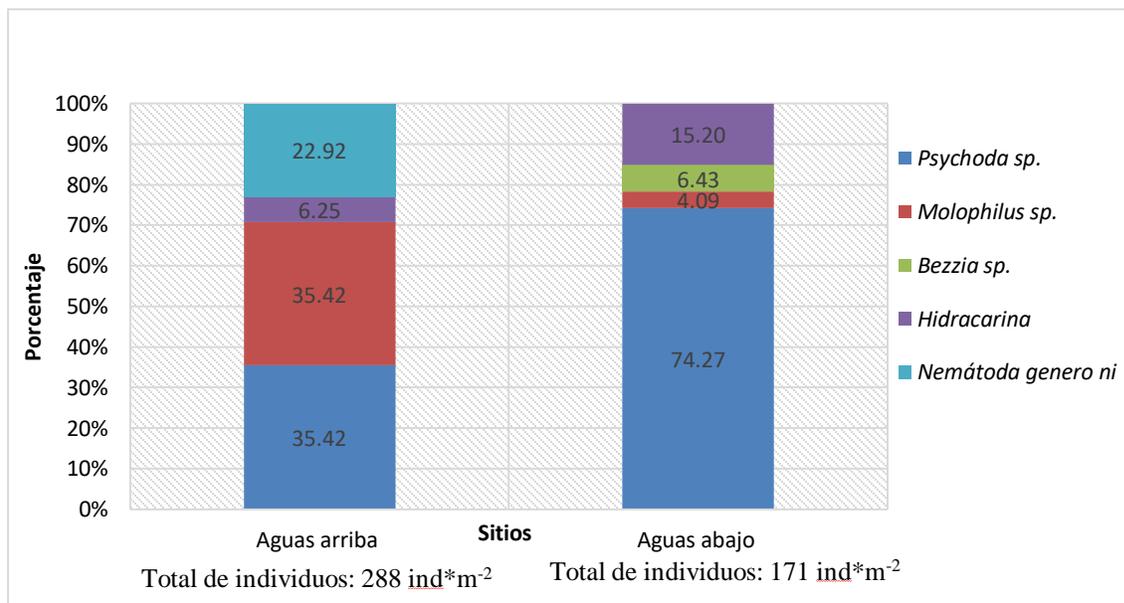


Gráfico 5. Abundancia relativa de macro invertebrados bentónicos en sedimento de ambos sitios, Río Chiquito, enero 2017.

9.3.3. Grupos funcionales alimenticios

En base a la clasificación por grupos funcionales alimenticios el sitio estuvo dominado por géneros que corresponden a colectores-raspadores (28 %), y depredadores (19 %); y con menor incidencia de parásitos (7 %), colectores (5 %) y raspadores (3 %). El género con la mayor contribución a la abundancia (38 %) en el sitio no fue identificado, aunque sí se determinó que pertenece al *phylum* Nematoda. Este *phylum* se distingue por tener géneros que pertenecen a múltiples grupos funcionales alimenticios ya que se alimentan de una amplia gama de organismos como fitoparásitos, hongos, bacterias, ingestión de sustratos, protozoos, rotíferos y otros nemátodos (Castilla, 2015; Giere, 2009).

En base a la clasificación por grupos funcionales alimenticios el sitio Aguas arriba estuvo dominado por géneros que corresponden a depredadores (42%) y colectores-desmezudadores (35 %). El género no identificado del *phylum* Nematoda contribuyó con 25 % pero debido a que los nemátodos se alimentan de una amplia gama de organismos no podemos clasificarlo al no conocer su identidad. En el caso del sitio Aguas abajo, los grupos funcionales alimenticios estuvieron dominados por colectores-desmenuzadores (70 %), seguidos por depredadores (25 %).

9.3.4. Índices de diversidad

En la tabla 9 se muestran los valores de los índices de diversidad calculados a partir de los parámetros estructurales (abundancia y riqueza) de las comunidades de macro-invertebrados bentónicos colectados en el sedimento del Río Chiquito durante los dos períodos lluvioso y seco (Mayo 2016 y Enero 2017). Los índices de diversidad mostraron resultados en el mes de mayo 2016 (período lluvioso) en el rango de 0,84 y 1,84 para el sitio Aguas arriba y entre 0,01 y 0,99 para el sitio Aguas abajo. Estos resultados implican que el sitio Aguas arriba es el sitio con mayor diversidad de géneros y con mayor equidad con respecto al sitio Aguas abajo donde dominó completamente el G.n.i de Nematoda (reflejado en el valor de 0,99 del índice de Simpson). Para el período seco (Enero 2017) los índices de diversidad disminuyeron en el sitio Aguas arriba que presentó valores desde 0,53

a 1,25 y aumentaron en el sitio Aguas abajo (0,58 a 0,81). Sin embargo, el sitio Aguas arriba continuó presentando la mayor diversidad y equidad que el sitio Aguas abajo.

El índice de Simpson mostró valores más altos en el sitio Aguas abajo en ambos períodos reflejando dominancia en el sitio, del G.n.i de Nematoda en el período lluvioso y del género *Psychoda* en el período seco. La presencia del género *Psychoda* en el sitio Aguas abajo durante el período seco posiblemente se debe al contenido de materia orgánica del sitio (Capítulo, Ocon, & Tangorra, 2004).

Tabla 9. Índices de diversidad (Shannon-Wiener, Margalef y Simpson) y equidad (Pielou) calculados a partir de los parámetros estructurales de las comunidades de macro-invertebrados bentónicos de sedimentos del Río Chiquito colectados en los períodos lluvioso y seco (Mayo 2016 y Enero 2017).

| Mayo 2016 | | | | |
|--------------|------|-------------|----------|---------|
| Sitio | H' | J (Equidad) | Margalef | Simpson |
| Aguas arriba | 1,84 | 0,84 | 1,49 | 0,21 |
| Aguas abajo | 0,02 | 0,01 | 0,95 | 0,99 |
| Enero 2017 | | | | |
| Sitio | H' | J (Equidad) | Margalef | Simpson |
| Aguas arriba | 1,25 | 0,90 | 0,53 | 0,31 |
| Aguas abajo | 0,81 | 0,59 | 0,58 | 0,58 |

H': Shannon-Wiener, J: Equidad de Pielou; Simpson: índice de Simpson

Al comparar los resultados obtenidos en este estudio con los reportados por el realizado por Blanco, Duarte y Espinoza (1985) cuyo objetivo fue conocer la distribución y abundancia de macroinvertebrados en 20 transeptos a lo largo del Río Chiquito, notamos que actualmente se encontraron más géneros (14 vs. 8), mayor abundancia total (36 545 vs. 386) pero similares diversidades de Shannon-Wiener (0,02 a 1,84 vs. 0 a 1,81). Los géneros reportados por ellos son diferentes a los encontrados en este estudio, con excepción de uno (Chironomidae), lo que podría indicar cambios importantes en la calidad ambiental del ecosistema. Estos autores también reportaron el impacto sobre la diversidad de los macro-invertebrados en los sectores del río que recibían vertidos de las tenerías

aledañas dado que disminuía hasta cero de un máximo de 1,82 en el nacimiento del río; coincidiendo con nuestros hallazgos.

Sin embargo, debido a que también se encontraron diferencias en diversidad entre los dos períodos muestreados para el sitio Aguas abajo, cuya topografía permite que el agua viaje a mayor velocidad que en el sitio Aguas arriba, hay que considerar además el impacto de la velocidad del agua, especialmente durante el período lluvioso cuando solo se encontraron altas densidades de individuos del *phylum* Nematoda. El desplazamiento o deriva pasiva de los macro-invertebrados puede ser producida por grandes perturbaciones abióticas como son un aumento del caudal, la sedimentación o el vertido de contaminantes y muchas veces su influencia puede ser más importante que la de factores bióticos (Wetzel, 2001; Svendsen, Quinn, & Kolbe, 2004). El *phylum* Nematoda fue reportado como poco o ligeramente afectado por un desplazamiento catastrófico provocado por la liberación de agua en un embalse ubicado en la cuenca del Río Adige en Italia (Bruno, Maiolini, Carolli, & Silveri, 2010).

En la tabla 10 se presentan los valores de los índices de similitud calculados para las comunidades de macro-invertebrados bentónicos de los dos sitios de interés (Aguas arriba vs. Aguas abajo) en el Río Chiquito durante los muestreos realizados en mayo 2016 y enero 2017.

Tabla 10. Índices de similitud (PSC y B²) entre las comunidades de macro-invertebrados del Río Chiquito en los sitios de interés (Aguas arriba vs. Aguas abajo) en los muestreos realizados en Mayo (2016) y Enero (2017).

| Similitud de comunidades | | |
|--------------------------|-------|----------------|
| Muestreo | %PSC | B ² |
| Mayo | 50,40 | 0,09 |
| Enero | 60,43 | 0,19 |

%PSC: índice porcentaje de similitud de comunidades; B²: índice Pinkham and Pearson's

Ambos índices de similitud coinciden en que la comunidad de macro-invertebrados del sitio Aguas arriba es más similar a la de Aguas abajo en el mes de enero

(período seco) que en el mes de mayo (período lluvioso). Sin embargo, el Porcentaje de similitud entre comunidades que dio valores entre 50 y 60 % implica que las comunidades son más similares que disímiles; comparado con los valores del Índice de Pinkham and Pearson que indican que las comunidades son disímiles. Ya ha sido reportado que el % PSC falla en detectar diferencias entre comunidades cuando las abundancias relativas de las taxas es parecida pero la abundancia total cambia aunque es capaz de detectar diferencias estructurales-funcionales entre comunidades (Brock, 1977) citado por (Washington, 1984). Mientras que el Índice de Pinkham and Pearson no solo examina las abundancias relativas sino también compara la composición de géneros o especies simultáneamente, lo que hace que el análisis de la información estructural sea más confiable en casos en que se esté monitoreando efectos de la contaminación (Brock, 1977) citado por (Washington, 1984).

9.4. Actividad enzimática de Deshidrogenasas

En la tabla 11 se muestran los resultados de la medición de la actividad enzimática de deshidrogenasas en el sedimento del Río Chiquito en los sitios de interés durante mayo 2016 y enero 2017. Las actividades determinadas fueron mayores (47 a 65 %) en mayo 2016 en ambas estaciones que en enero 2017; aunque las del sitio Aguas abajo siempre fueron mayores a las de Aguas arriba (entre 125-150 %).

Esta gran diferencia en actividad de deshidrogenasas podría explicarse en base a parámetros que ya han sido identificados en afectar positiva y negativamente la actividad enzimática como son: disponibilidad de oxígeno, potencial oxidación-reducción, pH, contenido de materia orgánica y contaminación por metales pesados (Wolińska & Stępniewska, 2012). El sitio Aguas abajo es el que presenta el mayor contenido de materia orgánica en ambos muestreos, el menor potencial redox y el mayor contenido de Cromo y Zinc de los dos sitios estudiados (Tabla 4); el pH no se diferencia grandemente en los sitios (Tabla 6). Por lo tanto, consideramos que el parámetro más importante en explicar la mayor actividad enzimática de deshidrogenasas en el sitio Aguas abajo es la materia orgánica,

seguido del potencial redox y que además ésta no parece ser inhibida por el alto contenido de Cromo y Zinc en el sitio. En general hay consenso en la relación positiva que hay entre el contenido de materia orgánica y la actividad de las deshidrogenasas; y en la relación negativa de ésta con el potencial redox (Wolińska & Stępniewska, 2012; Cerón & Melgarejo, 2005). Sin embargo, este hallazgo contradice lo reportado por (Mwinyihija, Meharg, Dawson, Strachan, & Killham, 2006) al evaluar el impacto del efluente de una industria de tenería sobre la calidad del sedimento del Río Sagana en Kenia (África) probablemente debido a que este también contenía pentaclorofenoles que son sustancias muy tóxicas. Las actividades determinadas en el sedimento del Río Chiquito son mucho mayores a las reportadas en este estudio hecho en el río africano probablemente por diferencias en aspectos de la metodología analítica, como el tiempo de incubación (6 h vs. 2 h). En la región centroamericana solo pudimos encontrar un artículo donde se analizó la actividad enzimática de deshidrogenasas en suelos bajo diferentes cultivos, en el que reportaron valores un poco menores a los encontrados en las muestras de sedimento del Río Chiquito (0,13 a 4,46 µg de INTF/ g × h), pero en rangos comparables (Henríquez, Uribe, Valenciano y Nogales, 2014).

Tabla 11. Actividad enzimática de deshidrogenasas (µg de INTF/ g de suelo × 2h) detectada en muestras de sedimento del Río Chiquito en los sitios de interés durante mayo 2016 y enero 2017.

| Actividad enzimática | Mayo 2016 | | Enero 2017 | |
|----------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | Aguas arriba | Aguas abajo | Aguas arriba | Aguas abajo |
| Deshidrogenasas | 11,096 | 28,117 | 7,544 | 16,991 |

µg de INTF/ g de suelo × 2 h): µg de iodo-nitro-tetrazolium-formazan liberado en dos horas de incubación por cada gramo de muestra de sedimento en peso seco.

10. Conclusiones

- Los parámetros físicos-químicos indican que el sedimento en los sitios de estudio del río Chiquito es de textura arenosa (mediana y fina), de pH casi neutral, potenciales redox ligeramente negativos y que solo se diferencian en su **conductividad eléctrica** probablemente debido al impacto negativo de las sales de los vertidos de la actividad de tenería.
- Las concentraciones de los 11 metales y metaloides de interés indican que existen altas probabilidades de que ocurran efectos adversos a la vida acuática debido a la contaminación por Hierro y Zinc en ambos sitios (Mayo 2016), Mercurio en ambos sitios (Enero 2017) y por **Cromo en Aguas abajo (Enero 2017)**; y probabilidades de bajas a moderadas por Cobre (ambos sitios, ambos períodos), por Níquel (Aguas arriba, ambos períodos), por Cadmio y Manganeseo (ambos sitios, mayo 2016) y **por Cromo (aguas abajo, mayo 2016)**.
- De los parámetros utilizados para evaluar la estructura de las comunidades de macro-invertebrados bentónicos (riqueza, composición de especies e índices de diversidad y similitud), la **diversidad** es la que detectó las mayores diferencias entre las comunidades del sitio Aguas arriba, con mayor diversidad de géneros y mayor equidad que la del sitio Aguas abajo en ambos períodos muestreados; así como el índice de Pinkham y Pearson que indica que éstas comunidades son disímiles, con menores diferencias en el mes de enero (período seco) que en el mes de mayo (período lluvioso).
- La mayoría de las 11 familias identificadas de macro-invertebrados bentónicos son bioindicadores de aguas desde medianamente hasta muy contaminadas, con excepción de Chordodidae (Aguas arriba, mayo 2016). No hay diferencias en la riqueza de géneros encontrada en los sitios estudiados en ambos muestreos, solo en el **número total de individuos**

(Aguas abajo, mayo 2016) probablemente debido al impacto positivo de la materia orgánica contenida en los vertidos de la actividad de tenería.

- La mayor contribución en abundancia relativa en ambos sitios la hizo un G.n.i. del *phylum* Nematoda en el muestreo de mayo 2016; mientras que en enero 2017 hubo co-dominancia de *Psychoda* y *Molophilus* en Aguas arriba y dominancia de *Psychoda* con desaparición del *phylum* Nematoda en Aguas abajo. Hay dominancia de grupos funcionales alimenticios depredadores (arriba, mayo 2016). y colectores-desmenuzadores (ambos sitios, enero 2017), con poca contribución de parásitos.
- La actividad enzimática de deshidrogenasas en el sedimento del sitio Aguas abajo es mayor a la del sitio Aguas arriba en ambos períodos de muestreo, posiblemente debido al enriquecimiento de materia orgánica por la actividad de tenería y sin aparente impacto negativo de la contaminación por Cromo y Zinc.
- La movilidad y potencial tóxico de los metales de interés en ambos sitios y períodos muestreados parecen ser bajos dadas las condiciones de pH y potencial redox predominantes; sin embargo esto podría cambiar si hay un aumento del potencial redox. No se detectó Cromo hexavalente en ninguno de los períodos del año muestreados en los sedimentos de los sitios seleccionados, lo que implica este metal está presente en estado reducido que tiene un menor potencial tóxico.

11. Recomendaciones

- A los técnicos responsables de medio ambiente de la Alcaldía de León y delegación de MARENA-León retomar los hallazgos de esta tesis como soporte técnico-científico para la toma de decisiones en la implementación de instrumentos que permitan regular los vertidos y mitigar los daños de las distintas actividades de la ciudad sobre el Río Chiquito. Dado que los hallazgos de este estudio implican que la ciudad de León vierte una mayor variedad de contaminantes metálicos (Hierro, Zinc, Mercurio, Níquel, Cadmio y Manganeso) comparada con la actividad de tenería (Cromo, Zinc y Cobre) y que la textura de los sedimentos limita la acumulación de contaminantes y favorece su transporte aguas abajo, se hace necesario un monitoreo a la reserva natural Isla Juan Venado que ha estado recibiendo estos vertidos durante mucho tiempo.
- A los teneros artesanales y semi-industriales, cooperativizados o individuales se les hace un llamado a tratar sus aguas residuales antes de verterlas al río o limitar su actividad a la época lluviosa para disminuir el impacto del Cromo y la salinidad así como a reducir la carga de materia orgánica.

12. Bibliografía

- Agilent. (2016). Inductively coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES). Agilent Technologies.
- Alcaldía de León. (2016). Estudio biofísico y Socioeconómico de las sub-cuencas y Microcuencas hídricas del Río Chiquito, Municipio de León. Centro para la investigación en recursos acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua).
- Álvarez, L. (2004). Mineralización in vitro de nitrógeno y fósforo y contenido de metales pesados en suelos acondicionados con lodo proveniente de una planta de tratamiento de aguas servidas. Facultad de ciencias agronómicas. Escuela de agronomía. Universidad de Chile. Obtenido de <http://www.fertilizando.com/articulos/MineralizacionInVitroNitrogenoyFosforo.pdf>
- ASTM. (1998). Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. Copyright © ASTM, 100 Barr Harbor Drive.
- Bengtsson, G., & Picado, P. (2008). Sedimentation and resuspension of particle bound mercury in a polluted river. Dissertation.
- Bethune, D., Jesse, S., Losilla, M., Rodríguez, H., & Schosinsky, G. (2001). Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central. Comisión Editorial de la Universidad de Costa Rica. Obtenido de <https://books.google.com.ni/books?id=utfSrI8xEIAC&pg=PA105&lpg=PA105&dq=Formación+Tamarindo&source=bl&ots=QbS9swwHnF&sig=rn58QR5CEpocvbAk6JvLI2RC-3Q&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj4x96I063aAhUI71MKHd6NAO0Q6AEIMzAC#v=onepage&q=Formación%20Tamarindo&f=false>
- Blanco, A., Duarte, O., & Espinoza, M. (1985). Distribución abundancia de macro invertebrado del Río Chiquito de la ciudad de León con énfasis en aquellos que puedan ser considerados como indicadores de contaminantes. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua- UNAN-León.
- Brock, D. (1977). Comparison of Community Similarity Indexes (Vol. 49). Journal (Water Pollution Control Federation).
- Bruno, M., Maiolini, B., Carolli, M., & Silveri, L. (2010). Short time-scale impacts of hydropeaking on benthic invertebrates in an Alpine stream. *Limnologia*, 281-290.

- Burbridge, D., Koch, I., Zhang, J., & Reimer, K. (2012). Chromium speciation in river sediment pore water contaminated by tannery effluent. *Chemosphere*, 838–843. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.05.005>
- Canales, F. H., Alvarado, E. L., & Pineda, E. B. (1996). Metodología de la investigación, Manual para el desarrollo de personal de salud. Organización Panamericana de la Salud.
- Capítulo, R., Ocon, C., & Tangorra, M. (2004). Una visión bentónica de arroyos y ríos Pampeanos. *Biología Acuática*.
- Castilla, E. E. (2015). Influencia de Factores edáficos sobre la diversidad y distribución espacial de nemátodos de vida libre. Universidad de Sucre facultad de educación y ciencia programa de biología y química sincelejo Sucre.
- CCME. (1993). Guidance manual on sampling, Analysis, and data management for contaminated sites. The national contaminated sites remediation program.
- CCME. (1995). Protocol for the Derivation of Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life.
- CCME. (1999). Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Arsenic, Cadmium, Chromium, Copper, Lead and Zinc. In: Canadian environmental quality guidelines. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- CCME. (2002). Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Summary tables. Updated. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- CCME. (2003). Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Aluminium. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- CCME. (2007). Criteria for the Assessment of Sediment Quality in Quebec and Application Frameworks: Prevention.
- CCME. (December de 2012). Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Obtenido de <http://probeinternational.org/library/wp-content/uploads/2013/03/CCME-Sediment-Quality-Guidelines-for-the-Protection-of-Aquatic-Life-Dec-2012.pdf>.

- CENMA-MMA. (2012). Programa de monitoreo y control para la elaboración y revisión de normas de emisión. Informe final versión 1. Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente. Obtenido de <http://www.cenma.cl/Pagina%20web-LQA/6-Apoyo%20a%20la%20dictaci%C3%B3n%20de%20normas%20ambientales/2011%20Muestreo%20y%20an%C3%A1lisis%20para%20Norma%20de%20emisi%C3%B3n%20DS-80.pdf>.
- Cerón, R. L., & Melgarejo, M. L. (2005). Enzimas del Suelo: Indicadores de salud y calidad. 10. Bogota: Acta Biológica colombiana.
- CIRA, C. p. (2013). contribución al establecimiento de la línea base ambiental del Río San Juan de Nicaragua. Managua: CIRA/UNAN-Managua.
- Corzo, C., Hansen, A., & Mahé, F. (2013). Metodología para determinar la Liberación de metales del sedimento al agua en lagos y embalses. Rev. Int. Contam. Ambie, 179-190.
- Custodio, E., & Llamas, M. (1976). Hidrología Subterrania. Barcelona: Ediciones Omega S.A.
- DGCRH, D. d. (2011). Protocolo de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos de Perú, Autoridad nacional del agua. Ministerio de Agricultura.
- Fuentes, F., & Massol, A. (2002). Manual de laboratorio ecología de microorganismos. Universidad de Puerto Rico. Obtenido de <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/>
- Gamarra, Y., Restrepo, R., & Cajigas, A. (2012). Guía de campo de los macroinvertebrados acuáticos de la quebrada Menzuly – Santander. Colombia. Primera edición. Ediciones Universidad Industrial de Santander.
- García Galán, R. E. (1997). Analisis comparativo de la integridad de la comunidad bentica en el Río San Juan, Nicaragua. Managua: Centro para la investigación en recursos acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Mnagua).
- García, L., Gómez, A., Jara, M. E., & Soto, M. S. (2004). Fracciones Geoquímicas de Cd, Cu y Pb en sedimentos costeros superficiales de zonas ostrícolas del estado de Sonora, México. Rev. Int. Contam. Ambient, 159-167. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/370/37020403.pdf>
- Garcías Gómez, J. H. (2015). Biolixiviación fúngica de metales y metaloides en sedimentos contaminados en la región minera de Santo Domingo, Chontales. Seminario Ecotecnología, Managua.

- Garcías, M., & Maza, J. (1995). Origen y propiedades de los sedimentos, Manual de ingeniería de Ríos. Instituto de Ingeniería de la UNAM.
- Giere, O. (2009). *Meiobenthology The Microscopic Motile Fauna*. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Gwiazda, E., Kotas, A., & Szalinka, E. (2011). Background Concentrations of Nickel in the Sediments of the Carpathian Dam Reservoirs (Southern Poland). *Clean – Soil, Air, Water* 2011, 39 (4), 368–375. doi:10.1002/clen.201000114.
- Heip, C. H., Herman, P. M., & Soetaert, K. (1998). Indices of diversity and evenness. *Oceanis*.
- Henríquez, C., Uribe, L., Valenciano, A., & Nogales, R. (2014). Actividad enzimática del suelo -deshidrogenasa, -glucosidasa, fosfatasa y ureasa- bajo diferentes cultivos. Centro de investigaciones agronómicas, Universidad de Costa Rica. Obtenido de <http://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v38n1/a03v38n1.pdf>
- Herrera, J., Rodríguez, J., Coto, J., Salgado, V., & Borbón, H. (2012). Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del Río Pirro. Pág 27-36.
- Hidalgo, R. T. (2013). La exposición del aluminio y su relación con el ambiente y la salud. *Revista tecnogestión*.
- Hill, B. H., Mccomick, F. H., Harvey, B. C., Johnson, S. L., Warren, M. L., & Elonen, C. M. (2010). Microbial enzyme activity, nutrient uptake and nutrient limitation in forested streams. *freshwater Biology*, 1005-1019.
- INEC. (2006). Instituto Nacional de Estadística y Censos. VIII Censo de Población y IV de Vivienda.
- INETER. (2007). Caracterización climática del departamento de León. Dirección de aplicaciones de meteorología.
- Jacome, M., & Llanos, L. (1990). Estudio la materia orgánica en los sedimento del Río Jubones en el área comprendida entre el puente Iberia hasta su desembocadura. *Acta oceanográfica del pacífico*, INOCAR. Obtenido de https://www.inocar.mil.ec/web/phocadownloadpap/actas_oceanograficas/acta6/OCE601_11.pdf

- Lacayo, J., & Sarria, K. (1993). Determinación de metales pesados en agua y sedimento del Río San Juan y sus principales tributarios, Nicaragua. Centro para la investigación en recursos acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua).
- Lacayo, M., López, A., Picado, F., Cuadra, J., Pitty, J., Montenegro, K., & Calero, S. (1997). Plaguicida organoclorados y organofosforados en agua y sedimento del Río San Juan y sus principales sub cuencas. Centro para la investigación en recursos acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua).
- Lee, A., & Lee, F. (2005). Role of Iron Chemistry in Controlling the Release of Pollutants from Resuspended Sediments. *Journ Remediation*.
- López, J. P., & Mandado, C. J. (2002). Extracciones químicas secuenciales de metales pesados. Aplicación en ciencias geológicas. *Estudios Geol*, 133-144.
- Margalef, R. (1958). Information theory in ecology. *Gen. Syste*.
- Margesin, R., & Schinner, F. (2005). *Manual for Soil Analysis -Monitoring and Assessing Soil Bioremediation*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Martínez, F. (2003). Identificación de contaminantes, prevención y aprovechamiento de desechos orgánicos en la producción de biogas y biodiesel, en curtidoras y mataderos de la ciudad de León, ubicados en la ladera del Río Chiquito, septiembre 2012-junio 2013. (Tesis de mae. León: Facultad de ciencias tecnológicas. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua).
- MIFIC, CPML, UNI. (2008). *Manual de Buenas Prácticas Ambientales del Sector MIPYME - Tenerife*. Centro de Producción más Limpia de Nicaragua.
- MOE, O. M. (2008). *Guidelines for Identifying, Assessing and Managing Contaminated Sediments in Ontario: An Integrated Approach*. Obtenido de <https://dr6j45jk9xcmk.cloudfront.net/documents/1170/93-contaminated-sediments-en.pdf>
- Moore, J., & Ramamoorthy, S. (1984). *Heavy Metals in Natural Waters. Applied Monitoring and Impact Assessment*. Ed. Robert S. DeSanto.
- Mora, A., Jumbo, D., González, M., & Bermeo, S. (2016). Niveles de metales pesados en sedimentos de la cuenca del río puyango-Ecuador. *Rev. Int. Contam. Ambie*. doi:10.20937/RICA.2016.32.04.02

- MTI. (2013). Valoración ambiental convenio de préstamo Banco Mundial proyectos de mejoramientos de infraestructura vial-rural. León: mti, ministerio de transporte e infraestructura.
- Mwinyihija , M., & Killham, K. (2006). Is the Kenyan tanning industry integral to prioritized environmental sustainability targets set in the quest to industrialization by 2020? *Environmental Sciences*, 113-134. doi:10.1080/15693430600735921
- Mwinyihija, M., Meharg, A., Dawson, J., Strachan, N., & Killham, K. (2006). An Ecotoxicological Approach to Assessing the Impact of Tanning Industry Effluent on River Health. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 316–324. doi:10.1007/s00244-005-1049-9
- NCEH. (2008). Toxicological Profile for Aluminum. Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- NMX-AA-014. (1980). Cuerpos receptores. - Muestreo-Muestreo. Secretaría de comercio y fomento industrial. México D.F.
- Palacio, P. H., & Zapata, V. J. (2011). Estimación del índice simplificada de la calidad del agua (ISCA) del Río Chiquito de la ciudad de León. León: Departamento de Química, UNAN LEÓN.
- Palmer, C., & Puls, R. (1994). Natural attenuation of hexavalent chromium in ground water and soils. EPA Ground Water Issue.
- Park, C., & Allaby, M. (2017). A Dictionary of Environment and Conservation. Oxford University Press.
- Pérez, I. (2015). Evaluación de la concentración de metales en sedimentos de la laguna de Chimaliapan, Lerma estado de México. Universidad Tecnológica del valle de Toluca.
- Picado, F. (2008). Fluvial Transport and risk of mercury in a gold mining area. Managua: Dissertation Lund.
- Picado, F. (2009). Mercurio en Río Sucio- un reflejo de la actividad minera en Santo Domingo, Chontales, Nicaragua. *Revuc-UNAN-Managua*. Obtenido de <http://repositorio.unan.edu.ni/2464/1/1001.pdf>
- Pinkham, C. F., & Pearson, J. G. (1979). Applications of new coefficient of similarity to pollution surveys. *J. Wat. Pollut. Control Fed.*
- Piura, L. J. (2006). Metodología de la investigación científica. Managua: 7ª edición.

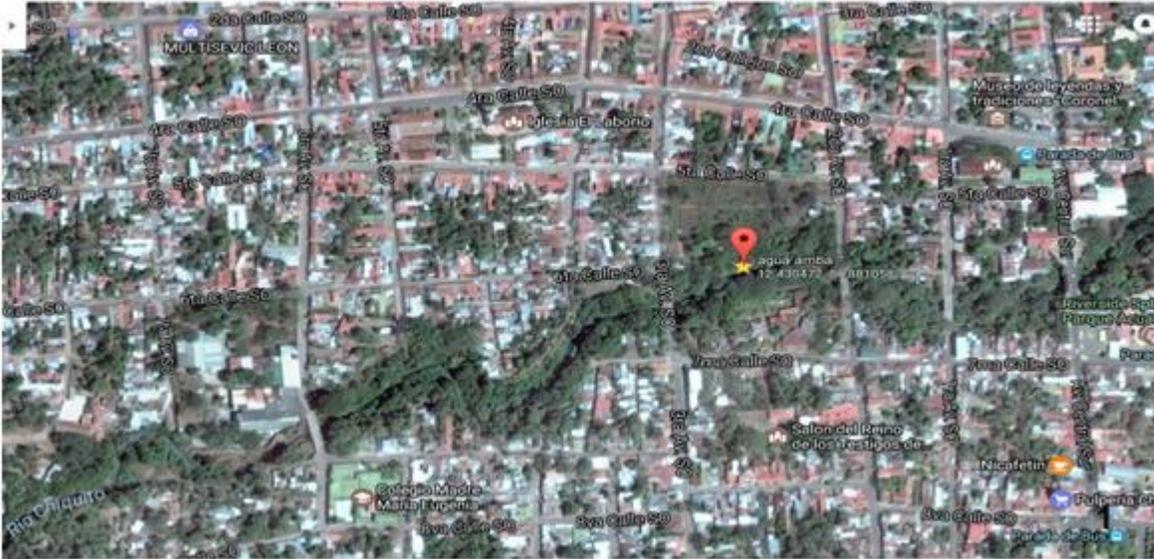
- Polyak, Y., Shigaeva, T., Gubelit, Y., Bakina, L., Kudryavtseva, V., & Polyak, M. (2016). Sediment microbial activity and its relation to environmental variables along the eastern Gulf of Finland coastline. *Journal of Marine Systems*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2016.11.017> 0924-7963/
- Porta, M. A., & Muños, L. (2003). Caso de estudio industria curtidora el sol (Sistema de Gestión para el medio Ambiente). Centro Guatemalteco de producción más limpia .
- Posada, G. L. (1994). *Transpote de sedimentos*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Rodríguez, J., Ospina, R., & Turizo, R. (2011). Grupos funcionales alimentarios de macroinvertebrados acuáticos en el río Gaira, Colombia. *Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)*, 1537-1552.
- Roig, M., Martínez, M. A., Segarra, V., Ferrer, J., Nieto, J. A., Garcías-Espantaleón, A., & Gandía, F. (2003). Recirculación de baños de curtición en las industrias de cutidos CURTIDOS. Instituto Tecnológico del Calzado y Conexas (INESCOP).
- Roldán, G. (2003). Biodinámica de la calidad de agua en Colombia. Propuesta para el uso del método BMWP/Col. Colombia: Universidad de Antioquia.
- Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical (Segunda ed.)*. Colombia: Universidad de Antioquia.
- Rosas, H. (2005). *Contaminación de sedimento del Río Anioia por metales pesados*. Barcelona: Universidad privada Boliviana. UPB-INVESTIGACION Y DESARROLLO.
- Salas, L., & Malandrini, J. (2001). Identificación de zoobentos en un Río de Montaña. *ciencia y Técnica VOL. VII. NO 10*. Obtenido de <http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/CIENCIA%20Y%20TECNOLOGIA/Rev.%20CyT%20PDF/RevCyT10/SALUD/SALAS%20-%20MALANDRINI.pdf>
- Shannon, E., & Wiener, W. (1964). *The mathematical theory of communication*. URBANA: THE UNIVERSITY OF ILLINOIS PRESS.
- Simpson, E. (1949). *Measurement of diversity*.
- Smith, T., & Smith, R. (2007). *Ecología (Sexta ed.)*. Madrid: Pearson educación.

- SMWW. (2012). Standard Methods for the examination of water and wastewater. APHA/AWWA/WEF.
- Springer, M. (2010). Capítulo 3, Biomonitorio acuático. Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744), 53-59.
- Springer, M. (2010). Capítulo 7, Trichoptera. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744), 151-198.
- Svendsen, C., Quinn, T., & Kolbe, D. (2004). Review of Macroinvertebrate Drift in Lotic Ecosystems. Washington: Wildlife Research Program Environmental and Safety Division Seattle City Light 700 5th Avenue Suite 3300 Seattle, WA 98104.
- Szákóvá, J., Tlustořs, P., Goessler, W., Frková, Z., & Najmanová, J. (2009). Mobility of arsenic and its compounds in soil and soil solution: The effect of soil. Journal of Hazardous Materials, 1244–1251. doi:10.1016/j.jhazmat.2009.07.143
- Thermo Scientific. (2007). User Guide Redox/ORP Electrodes. Thermo Fisher Scientific Inc.
- USEPA, U.S. (1996). Method 3050B Acid Digestion of sediments, sludges, and soils. Office of Science and Technology Standards and Health Protection Division. Obtenido de <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/epa-3050b.pdf>
- USEPA, U.S. (1997). Charles River Sediment/Water Quality Analysis Project Report. Office of Environmental Measurement and Evaluation Ecosystem Assessment.
- USEPA, U.S. (2001). Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses. Office of Water (4305).
- Vera, T. J., & Safra, P. C. (2014). El Impacto Ambiental Negativo y su Evaluación Antes, Durante y Después del Desarrollo de Actividades Productivas. Derecho & Sociedad.
- Viera, J. S., Botelho, C. M., & Boaventura, R. A. (2009). Trace Metal Fractionation by the Sequential Extraction Method in Sediments from the Lis River (Portugal). Taylor & Francis Group, 102–119. doi: 10.1080/15320380802304359
- Washington, H. (1984). Diversity, Biotic and Similarity Indices a Review with special relevance to aquatic ecosystems. Water, 653-694.

- Wetzel, R. (2001). *Limnology lake and river Ecosystems* (Third ed.). San Diego san Francisco New York Boston London Sydney Tokyo: Academic Press.
- Whittaker, R. H. (1952). A study of summer foliage insect communities in the Great Smoky Mountains.
- WHO. (2004). Manganese and its compounds: Environmental aspects. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data.
- WHO. (2011). *Guidelines for Drinking-Water Quality*. Fourth edition.
- Williams, M. (2012). River sediments. *Discipline of Geography, Environment and Population*. doi:10.1098/rsta.2011.0504.
- Wolińska, A., & Stępniewska, Z. (2012). Dehydrogenase Activity in the Soil Environment. INTECH. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.5772/48294>
- WTW. (2008). Operating manual, SenTix® ML ORP ORP combination electrode. ba75711e02.
- Xiao, W., Zhang, Y., Li, T., Chen, B., Wang, H., He, Z., & Yang, X. (2012). Reduction kinetics of hexavalent Chromium in soils and its correlation with soil properties. *Journal of Environmental Quality*. Heavy metals in the environment. doi:10.2134/jeq2012.0061.
- Yu, X., Meie, W., & Weiping, C. (2015). Quantitative assessment on soil enzyme activities of heavy metal contaminated soils with various soil properties. *Quemosfera*, 604-608.

13. Anexos

13.1. Sitios de interés



En las figuras 1, 2, 3 y 4 se presenta el sitio de muestreo denominado Aguas arriba, correspondiente al Barrio Guadalupe, que es afectado por las aguas provenientes de las lagunas de oxidación de San Isidro y los desechos de la actividad doméstica. En las figuras 4 y 5 se observa los desechos mayormente plásticos arrojados por los pobladores aledaños.



En las figuras 5, 6, 7 y 8 se presentan el sitio de muestreo denominado Aguas abajo, el cual está al suroeste de Sutiaba, en donde resalta la actividad de tenería. En la figura 7 se observa uno de los efluentes de tenerías perteneciente a la Cooperativa Carlos Alvarado que se mezcla con las aguas del río cercano al sitio de muestreo, este se observó durante las dos colectas de muestras. En la figura 8 se observan trozos de cuero, pellejos que desechan la tenerías durante todo el año.

13.2. Toma de muestra en los sitios de interés



En las figuras 9, 10, 11 y 12 se muestra el procedimiento de toma de muestra durante mayo 2016 y enero 2017 en los sitios seleccionados Aguas abajo y arriba (Barrio Sutiaba y Guadalupe respectivamente), siendo Agua abajo la primera en ser recolectada y por con siguiente Aguas arriba.

13.3. Preparación de muestra





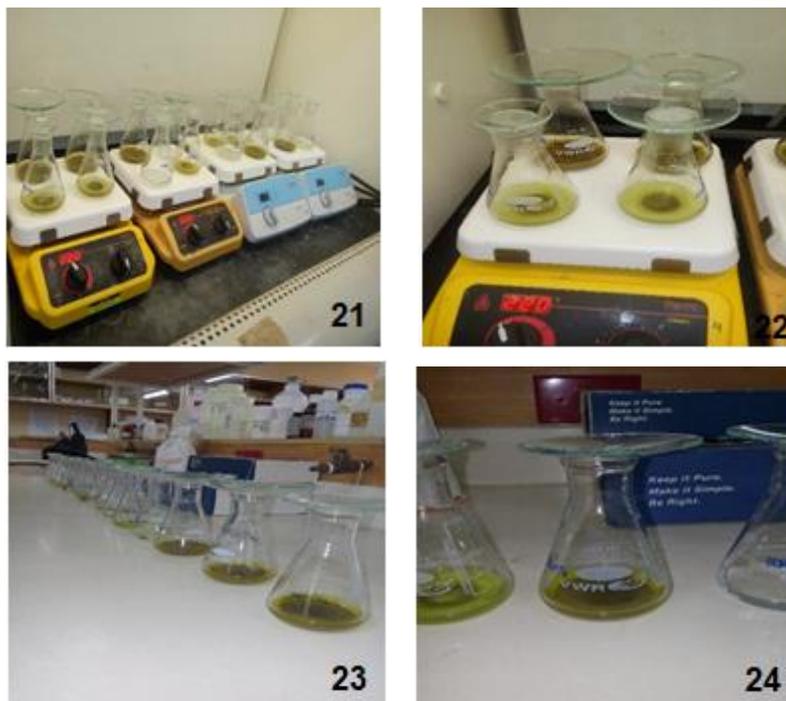
En la figura 13 se observa el secado de las muestras a temperatura ambiente, en la figura 14 y 15 se observa la extracción de material orgánico (pelo, madera, hoja) e inorgánico (vidrio, pedazos de metales) de las muestras después del secado a temperatura ambiente y en la figura 16 se observa la maceración de las muestras tamizadas en malla 149 μm para su posterior análisis.

13.4. Determinación del Cromo hexavalente



En las figuras 17 y 18 se muestra la digestión alcalina en baño maría a de 90 °C por una hora para la determinar del Cromo hexavalente. En las figuras 19 y 20 se observa las muestras listas para ser leída en espectrofotómetro ultravioleta.

13.5. Determinación de metales totales recuperables



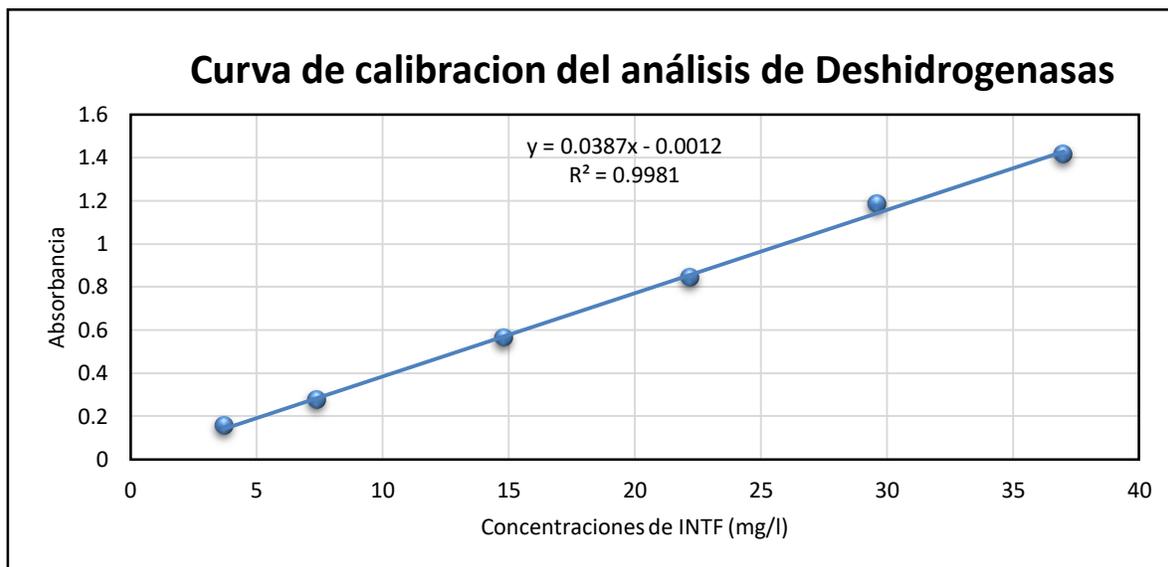
En las figuras 21 y 22 se observa la digestión ácida (con ácido nítrico y clorhídrico 1:1) de las muestras y sus controles para la determinación de metales totales recuperables de interés, en plato caliente a 85 ° C en campana extractora de gases. En las figuras 23 y 24 se observa las muestras y controles en enfriamiento para posterior filtrarse y aforarse antes de leerse en ICP-OES.

13.6. Valores de referencia de corrección de electrodo ORP

Table 1– ORP Standard ValuesAbsolute mV values may vary by ± 60 mV

| Temperature (°C) | E _H Value (mV) | Absolute Value with Cat. No. 900011 Filling Solution (mV) |
|------------------|---------------------------|---|
| 0 | 438 | 218 |
| 1 | 437 | 218 |
| 2 | 437 | 218 |
| 3 | 436 | 218 |
| 4 | 435 | 218 |
| 5 | 435 | 218 |
| 6 | 434 | 218 |
| 7 | 433 | 218 |
| 8 | 433 | 218 |
| 9 | 432 | 219 |
| 10 | 431 | 219 |
| 11 | 430 | 219 |
| 12 | 430 | 219 |
| 13 | 429 | 219 |
| 14 | 428 | 219 |
| 15 | 428 | 219 |
| 16 | 427 | 219 |
| 17 | 426 | 219 |
| 18 | 425 | 219 |
| 19 | 424 | 219 |
| 20 | 424 | 219 |
| 21 | 423 | 219 |
| 22 | 422 | 219 |
| 23 | 421 | 219 |
| 24 | 420 | 220 |
| 25 | 420 | 220 |
| 26 | 419 | 220 |
| 27 | 418 | 220 |
| 28 | 417 | 220 |
| 29 | 416 | 220 |
| 30 | 415 | 220 |
| 31 | 414 | 220 |

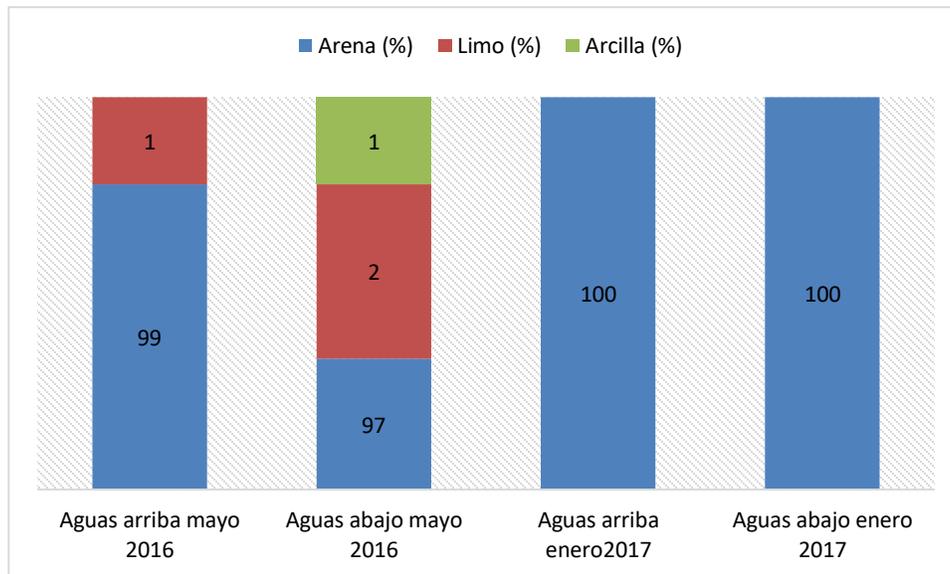
13.7. Curva de calibración



13.8. Concentraciones totales recuperable, intercambiables y reducible de los metales, metaloides y no metales analizados en este estudio.

| Concentraciones | Totales Recuperable | | | | Intercambiable | | | | Reducible | | | | |
|-----------------|---------------------|--------------|-------------|--------------|----------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| Elementos | Unidades | Mayo 2016 | | Enero 2017 | | Mayo 2016 | | Enero 2017 | | Mayo 2016 | | Enero 2017 | |
| | | Aguas arriba | Aguas abajo | Aguas arriba | Aguas abajo | Aguas arriba | Aguas abajo | Aguas arriba | Aguas abajo | Aguas arriba | Aguas abajo | Aguas arriba | Aguas abajo |
| Aluminio | g.kg ⁻¹ | 61,986 | 65,420 | 34,791 | 35,438 | 1,648 | 1,036 | 0,377 | 0,286 | 0,098 | 0,296 | 0,816 | 0,848 |
| Azufre | g.kg ⁻¹ | 0,499 | 0,828 | 1,812 | 2,674 | | | | | | | | |
| Bario | mg.kg ⁻¹ | 91,528 | 146,894 | 109,144 | 115,917 | 17,514 | 16,686 | 1378 | 1,541 | <LD | 26,372 | 35,609 | 34,995 |
| Berilio | mg.kg ⁻¹ | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | ND | ND |
| Boro | mg.kg ⁻¹ | 20,884 | 15,022 | 23,742 | 23,866 | <LD | <LD | 0,447 | 23,866 | | | | |
| Calcio | g.kg ⁻¹ | 38,918 | 39,433 | 24,112 | 25,577 | 3,616 | 7,508 | 1,380 | 2,385 | 0,067 | 0,363 | 0,662 | 0,984 |
| Cadmio | mg.kg ⁻¹ | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | ND | <LD | | | | |
| Cerio | mg.kg ⁻¹ | 10,991 | 11,393 | | | <LD | <LD | | | | | | |
| Zinc | mg.kg ⁻¹ | 1455 | 2031 | 84,661 | 93,997 | 81,741 | 147,346 | 27,697 | 33,201 | <LD | <LD | 10,029 | 14,080 |
| Cobalto | mg.kg ⁻¹ | 22,918 | 15,739 | 17,130 | 14,843 | 3,695 | 5,179 | 1,114 | 1,117 | <LD | <LD | 0,729 | 0,791 |
| Cobre | mg.kg ⁻¹ | 39,451 | 52,150 | 44,565 | 59,232 | 12,502 | 12,850 | 4,3704 | 5,5785 | <LD | 2,019 | 4,380 | 7,045 |
| Cromo | mg.kg ⁻¹ | 10 | 64 | 8 | 95 | <LD | 8,07 | <LD | 2,91 | ND | 0,891 | <LD | 4,215 |
| Estroncio | mg.kg ⁻¹ | 110,350 | 105,448 | 113,693 | 108,364 | 13,468 | 31,522 | 4,106 | 5,896 | | | | |
| Fósforo | g.kg ⁻¹ | 0,627 | 1,586 | 0,379 | 0,558 | 23,692 | 75,833 | 7,036 | 15,890 | | | | |
| Litio | mg.kg ⁻¹ | <LD | <LD | <LD | <LD | ND | ND | <LD | <LD | | | | |
| Hierro | g.kg ⁻¹ | 80217 | 63664 | 37692 | 37408 | 1400 | 457 | 313 | 199 | 0,168 | 0,428 | 1,004 | 0,879 |
| Magnesio | g.kg ⁻¹ | 29,971 | 14,637 | 11,232 | 7,937 | 1,371 | 0,879 | 0,275 | 0,230 | <LD | <LD | 0,429 | 0,266 |
| Manganeso | mg.kg ⁻¹ | 829 | 680 | 316 | 339 | 115 | 276 | 21 | 45 | <LD | 10,427 | 11,02 | 16,264 |
| Mercurio | mg.kg ⁻¹ | <LD | <LD | 1,599 | 1,213 | ND | ND | 1,599 | ND | | | | |
| Molibdeno | mg.kg ⁻¹ | ND | ND | <LD | <LD | ND | <LD | ND | <LD | | | | |
| Níquel | mg.kg ⁻¹ | 23,295 | 13,030 | 16,556 | 13,419 | <LD | <LD | <LD | <LD | <LD | ND | 0,521 | 0,341 |
| Plata | mg.kg ⁻¹ | ND | ND | <LD | 1,917 | <LD | <LD | <LD | <LD | ND | ND | ND | ND |
| Potasio | g.kg ⁻¹ | 0,933 | 1,127 | <LD | 0,269 | 0,134 | 0,157 | 0,121 | 0,120 | <LD | 26,429 | 59,797 | 0.0724 |
| Selenio | mg.kg ⁻¹ | <LD | ND | ND | ND | ND | <LD | <LD | ND | | | | |
| Sodio | mg.kg ⁻¹ | 6,033 | 5,220 | 3,737 | 2,928 | 0,339 | 0,4453 | 0,117 | 0,158 | ND | <LD | 30,473 | 32,775 |
| Talio | mg.kg ⁻¹ | ND | ND | ND | ND | <LD | <LD | ND | 1,006 | | | | |
| Titanio | g.kg ⁻¹ | 5,977 | 4,862 | 2,190 | 2,272 | <LD | <LD | 0,552 | 0,568 | | | | |
| Vanadio | mg.kg ⁻¹ | 158,003 | 106,629 | 125,925 | 114,670 | <LD | 2286 | 0,566 | 0,458 | <LD | <LD | 5,735 | 4,937 |

13.9. Distribución del tamaño de la partícula de sedimento del Río chiquito



13.10. Formato de resultados



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
UNAN - Managua
Laboratorio de Biotecnología



RESULTADOS ANALÍTICOS

BIOTECCR-2018-0584

CLIENTE: UNAN-Managua / FPI
Atención: Dra. Katia Montenegro
Teléfono de contacto: (505) 86712819
Correo electrónico: katiamontenegro@hotmail.com

Matriz / Tipo de muestra: Sedimento/Fluvial
Identificación de la muestra: Aguas Abajo / Río Chiquito
Localidad/Municipio/Departamento: Subtiava, León, León
Coordenadas: 1373352 N, 0511234 E

Fecha de muestreo: 2016-05-27
Hora de muestreo: 10 h 20
Fecha del reporte: 2018-10-10
Código de laboratorio: LQ-1605-0031

| No. | Parámetro | Método | Resultados | Límite de detección | Unidades |
|-----------------|---|-----------------------------------|------------|---------------------|---------------------|
| 1 | pH | USEPA 9045D | 7,328 | - | Unidades de pH |
| 2 | Conductividad eléctrica | USEPA 9045D | 1255,0 | - | µS/cm |
| 3 | Contenido de humedad* | Margesin & Schinner | 32,660 | 0,003 | % |
| 4 | Materia orgánica* | Margesin & Schinner | 2,729 | 0,003 | % |
| 5 | Arsénico** | USEPA 200.7 | <LD | 3,129 | mg.kg ⁻¹ |
| 6 | Cromo** | USEPA 200.7 | 63,757 | 5,144 | mg.kg ⁻¹ |
| 7 | Hierro** | USEPA 200.7 | 63,664 | 0,106 | g.kg ⁻¹ |
| 8 | Manganeso** | USEPA 200.7 | 0,680 | 0,130 | g.kg ⁻¹ |
| 9 | Plomo** | USEPA 200.7 | 17,397 | 6,710 | mg.kg ⁻¹ |
| 10 | Cromo hexavalente* | USEPA 3060A-1 | ND | 5,783 | mg.kg ⁻¹ |
| 11 | Arsénico [▲] | Vieira, J. & otros | ND | 2,123 | mg.kg ⁻¹ |
| 12 | Cromo [▲] | Vieira, J. & otros | 8,070 | 2,855 | mg.kg ⁻¹ |
| 13 | Hierro [▲] | Vieira, J. & otros | 0,457 | 0,003 | g.kg ⁻¹ |
| 14 | Fe ₂ O ₃ [▲] | Vieira, J. & otros | 0,0612 | 0,0006 | % |
| 15 | Manganeso [▲] | Vieira, J. & otros | 275,881 | 3,330 | mg.kg ⁻¹ |
| 16 | MnO [▲] | Vieira, J. & otros | 0,0013 | 0,0004 | % |
| 17 | Plomo [▲] | Vieira, J. & otros | <LD | 2,804 | mg.kg ⁻¹ |
| 18 | Cromo hexavalente [▲] | Vieira, J. & otros + 3500-Cr B | <LD | 0,246 | mg.kg ⁻¹ |
| Datos de campo: | | | | | |
| | Potencial Redox | | 172,2 | - | mV |

Claves:

ND: No Detectado **<LD:** El valor está por debajo del límite de detección
USEPA: United States Environmental Protection Agency

*Margesin R. and Schinner, F., 2005.: Manual of soil analysis —Monitoring and assessing soil bioremediation. Chapter 2. Determination of Chemical and Physical Soil Properties.

La muestra fue analizada por Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES)**previa digestión con agua regia. El resultado está en base seca. El método utilizado es el USEPA 200.7 Revisión 4.4, 1994. *previa extracción con hidróxido de sodio:carbonato de sodio (2:3). El resultado está en base húmeda. Alkaline Digestion for Hexavalent Chromium. El método utilizado es el USEPA 3060A Revisión 1, 1996. [▲]Vieira, J., Botelho, C., and Boaventura, R., Trace metal fractionation by the sequential extraction method in sediments from the Lis River (Portugal). Soil & Sediment Contamination, 18: 102-119, 2009.

La muestra fue colectada, preservada y analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición.



Dra. Martha Lacayo Romero
Directora

¡A la libertad por la Universidad!

Recinto Universitario Ricardo Morales Avilés (RURMA) Pabellón D, aula D-4
Apartado Postal: 663. Teléfono directo: 22701287
www.unan.edu.ni/lab_bio. Correo electrónico: biotecnologia@unan.edu.ni

1 de 2



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
UNAN - Managua
Laboratorio de Biotecnología



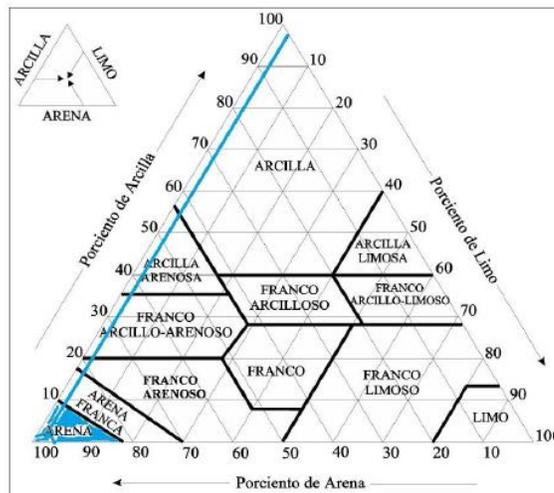
RESULTADOS ANALÍTICOS
BIOTECR-2018-0584

CLIENTE: UNAN-Managua / FPI
Atención: Dra. Katia Montenegro
Teléfono de contacto: (505) 86712819
Correo electrónico: katiamontenegro@hotmail.com

Matriz / Tipo de muestra: Sedimento/Fluvial
Identificación de la muestra: Aguas Abajo / Río Chiquito
Localidad/Municipio/Departamento: Subtiava, León, León
Coordenadas: 1373352 N, 0511234 E

Fecha de muestreo: 2016-05-27
Hora de muestreo: 10 h 20
Fecha del reporte: 2018-10-10
Código de laboratorio: LQ-1605-0031

| Arena: 97% | | | | | Limo | Arcilla |
|---|-------|--------|-------|------|------|---------|
| | Grava | Gruesa | Media | Fina | | |
| % | 0 | 0 | 29 | 68 | 2 | 1 |
| CLASE TEXTURAL: MATERIAL ARENOSO | | | | | | |



La clasificación textural fue determinada por medio del análisis del tamaño de partículas (Granulometría e Hidrometría ASTM 422-63) y la determinación de la gravedad específica (ASTM 854-02) siguiendo las recomendaciones y procedimientos de los métodos de la American Society for Testing and Materials (ASTM, 2002).

La muestra fue colectada, preservada y analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición.

Martha Lacayo Romero



Dra. Martha Lacayo Romero
Directora

¡A la libertad por la Universidad!



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
UNAN - Managua
Laboratorio de Biotecnología



RESULTADOS ANALÍTICOS

BIOTECR-2018-0585

CLIENTE: UNAN-Managua / FPI
Atención: Dra. Katia Montenegro
Teléfono de contacto: (505) 86712819
Correo electrónico: katiamontenegro@hotmail.com

Matriz / Tipo de muestra: Sedimento/Fluvial
Identificación de la muestra: Aguas Arriba / Río Chiquito
Localidad/Municipio/Departamento: Subtiava, León, León
Coordenadas: 1374152 N, 0512938 E

Fecha de muestreo: 2016-05-27
Hora de muestreo: 12 h 00
Fecha del reporte: 2018-10-10
Código de laboratorio: LQ-1605-0032

| No. | Parámetro | Método | Resultados | Límite de detección | Unidades |
|-----------------|---|-----------------------------------|------------|---------------------|---------------------|
| 1 | pH | USEPA 9045D | 7,087 | - | Unidades de pH |
| 2 | Conductividad eléctrica | USEPA 9045D | 1045,0 | - | µS/cm |
| 3 | Contenido de humedad* | Margesin & Schinner | 26,758 | 0,003 | % |
| 4 | Materia orgánica* | Margesin & Schinner | 0,922 | 0,003 | % |
| 5 | Arsénico** | USEPA 200.7 | <LD | 3,129 | mg.kg ⁻¹ |
| 6 | Cromo** | USEPA 200.7 | 9,784 | 5,144 | mg.kg ⁻¹ |
| 7 | Hierro** | USEPA 200.7 | 80,217 | 0,106 | g.kg ⁻¹ |
| 8 | Manganeso** | USEPA 200.7 | 0,829 | 0,130 | g.kg ⁻¹ |
| 9 | Plomo** | USEPA 200.7 | 16,243 | 6,710 | mg.kg ⁻¹ |
| 10 | Cromo hexavalente* | USEPA 3060A-1 | ND | 5,783 | mg.kg ⁻¹ |
| 11 | Arsénico [▲] | Vieira, J. & otros | ND | 2,123 | mg.kg ⁻¹ |
| 12 | Cromo [▲] | Vieira, J. & otros | <LD | 2,855 | mg.kg ⁻¹ |
| 13 | Hierro [▲] | Vieira, J. & otros | 1,400 | 0,003 | g.kg ⁻¹ |
| 14 | Fe ₂ O ₃ [▲] | Vieira, J. & otros | 0,0241 | 0,0006 | % |
| 15 | Manganeso [▲] | Vieira, J. & otros | 115,003 | 3,330 | mg.kg ⁻¹ |
| 16 | MnO [▲] | Vieira, J. & otros | <LD | 0,0004 | % |
| 17 | Plomo [▲] | Vieira, J. & otros | 4,396 | 2,804 | mg.kg ⁻¹ |
| 18 | Cromo hexavalente [▲] | Vieira, J. & otros + 3500-Cr B | <LD | 0,246 | mg.kg ⁻¹ |
| Datos de campo: | | | | | |
| | Potencial Redox | | 109,2 | | mV |

Claves:

ND: No Detectado **<LD:** El valor está por debajo del límite de detección

USEPA: United States Environmental Protection Agency

*Margesin R. and Schinner, F., 2005.: Manual of soil analysis —Monitoring and assessing soil bioremediation. Chapter 2. Determination of Chemical and Physical Soil Properties.

La muestra fue analizada por Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES)**previa digestión con agua regia. El resultado está en base seca. El método utilizado es el USEPA 200.7 Revisión 4.4, 1994. *previa extracción con hidróxido de sodio: carbonato de sodio (2:3). El resultado está en base húmeda. Alkaline Digestion for Hexavalent Chromium. El método utilizado es el USEPA 3060A Revisión 1, 1996. [▲]Vieira, J., Botelho, C., and Boaventura, R., Trace metal fractionation by the sequential extraction method in sediments from the Lis River (Portugal). Soil & Sediment Contamination, 18:102-119, 2009.

La muestra fue colectada, preservada y analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición.



Dra. Martha Lacayo Romero
Directora

¡A la libertad por la Universidad!



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
UNAN - Managua
Laboratorio de Biotecnología



RESULTADOS ANALÍTICOS
BIOTECR-2018-0585

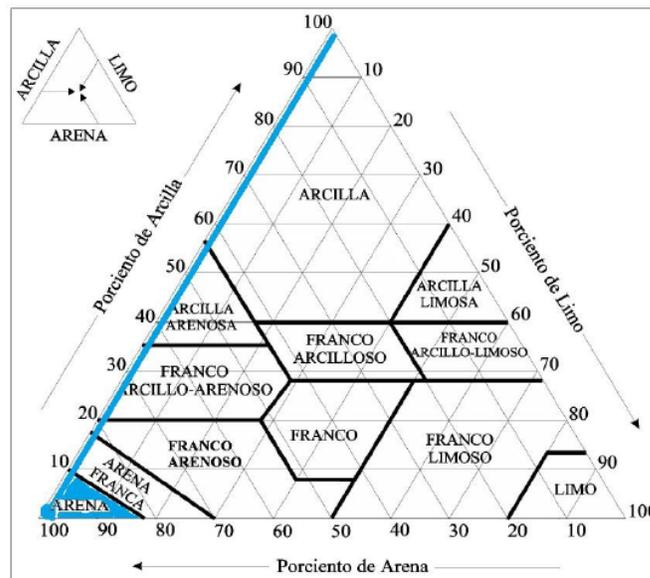
CLIENTE: UNAN-Managua / FPI
Atención: Dra. Katia Montenegro
Teléfono de contacto: (505) 86712819
Correo electrónico: katiamontenegro@hotmail.com

Matriz / Tipo de muestra: Sedimento/Fluvial
Identificación de la muestra: Aguas Arriba / Río Chiquito
Localidad/Municipio/Departamento: Subtiava, León, León
Coordenadas: 1374152 N, 0512938 E

Fecha de muestreo: 2016-05-27
Hora de muestreo: 12 h 00
Fecha del reporte: 2018-10-10
Código de laboratorio: LQ-1605-0032

| Arena: 99% | | | | | Limo | Arcilla |
|------------|-------|--------|-------|------|------|---------|
| | Grava | Gruesa | Media | Fina | | |
| % | 0 | 3 | 50 | 46 | 1 | 0 |

CLASE TEXTURAL: MATERIAL ARENOSO



La clasificación textural fue determinada por medio del análisis del tamaño de partículas (Granulometría e Hidrometría ASTM 422-63) y la determinación de la gravedad específica (ASTM 854-02) siguiendo las recomendaciones y procedimientos de los métodos de la American Society for Testing and Materials (ASTM, 2002).

La muestra fue colectada, preservada y analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición.

[Signature]



Dra. Martha Lacayo Romero
Directora

¡A la libertad por la Universidad!



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
UNAN - Managua
Laboratorio de Biotecnología



RESULTADOS ANALÍTICOS

BIOTECCR-2018-0586

Cliente/Proyecto: UNAN-Managua / FPI
Atención: Dra. Katia Montenegro
Teléfono de contacto: (505) 86712819
Correo electrónico: katiamontenegro@hotmail.com

Matriz / Fuente: Sedimento/Fluvial/Puntual
Identificación de la muestra: Aguas Abajo / Río Chiquito
Localidad/Departamento: Subtiava, León
Coordenadas: 1373334 N, 0511230 E

Fecha de muestreo: 2017-01-18
Hora de muestreo: 09 h 54
Fecha del reporte: 2018-07-10
Código de laboratorio: LQ-1701-0003

| No. | Parámetro | Método | Resultados | Límite de detección | Unidades |
|-----------------|---|-----------------------------------|------------|---------------------|---------------------|
| 1 | pH | USEPA 9045D | 6,922 | - | Unidades de pH |
| 2 | Conductividad eléctrica | USEPA 9045D | 1 912,5 | - | µS/cm |
| 3 | Contenido de humedad* | Margesin & Schinner | 29,724 | 0,003 | % |
| 4 | Materia orgánica* | Margesin & Schinner | 1,755 | 0,003 | % |
| 5 | Arsénico** | USEPA 200.7 | ND | 1,401 | mg.kg ⁻¹ |
| 6 | Cromo** | USEPA 200.7 | 94,542 | 1,348 | mg.kg ⁻¹ |
| 7 | Hierro** | USEPA 200.7 | 37,408 | 0,212 | g.kg ⁻¹ |
| 8 | Manganeso** | USEPA 200.7 | 0,339 | 0,049 | g.kg ⁻¹ |
| 9 | Plomo** | USEPA 200.7 | 11,454 | 0,752 | mg.kg ⁻¹ |
| 10 | Cromo hexavalente* | USEPA 3060A-1 | ND | 5,783 | mg.kg ⁻¹ |
| 11 | Arsénico [▲] | Vieira, J. & otros | <LD | 1,323 | mg.kg ⁻¹ |
| 12 | Cromo [▲] | Vieira, J. & otros | 2,908 | 0,529 | mg.kg ⁻¹ |
| 13 | Hierro [▲] | Vieira, J. & otros | 199,422 | 0,514 | mg.kg ⁻¹ |
| 14 | Fe ₂ O ₃ [▲] | Vieira, J. & otros | 0,126 | 0,0001 | % |
| 15 | Manganeso [▲] | Vieira, J. & otros | 44,973 | 0,746 | mg.kg ⁻¹ |
| 16 | MnO [▲] | Vieira, J. & otros | 0,002 | 0,00002 | % |
| 17 | Plomo [▲] | Vieira, J. & otros | <LD | 0,459 | mg.kg ⁻¹ |
| 18 | Cromo hexavalente | Vieira, J. & otros + 3500-Cr B | ND | 0,246 | mg.kg ⁻¹ |
| Datos de campo: | | | | | |
| | Potencial Redox | | 183,5 | - | mV |

Claves:

ND: No Detectado <LD: El valor está por debajo del límite de detección

USEPA: United States Environmental Protection Agency

*Margesin R. and Schinner, F., 2005.: Manual of soil analysis —Monitoring and assessing soil bioremediation. Chapter 2. Determination of Chemical and Physical Soil Properties.

La muestra fue analizada por Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES)**previa digestión con agua regia. El resultado está en base seca. El método utilizado es el USEPA 200.7 Revisión 4.4, 1994. *previa extracción con hidróxido de sodio: carbonato de sodio (2:3). El resultado está en base húmeda. Alkaline Digestion for Hexavalent Chromium. El método utilizado es el USEPA 3060A Revisión 1, 1996. [▲]Vieira, J., Botelho, C., and Boaventura, R., Trace metal fractionation by the sequential extraction method in sediments from the Lis River (Portugal). Soil & Sediment Contamination, 18:102-119, 2009.

La muestra fue colectada, preservada y analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición.

Dra. Martha Lacayo Romero
Directora



¡A la libertad por la Universidad!



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
UNAN - Managua
Laboratorio de Biotecnología



RESULTADOS ANALÍTICOS
 BIOTECR-2018-0586

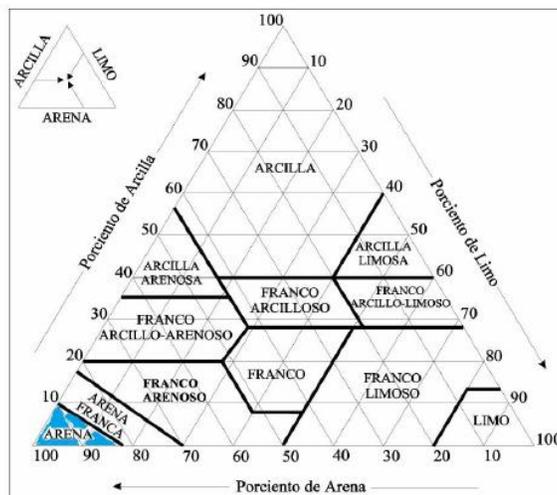
CLIENTE: UNAN-Managua / FPI
Atención: Dra. Katia Montenegro
Teléfono de contacto: (505) 86712819
Correo electrónico: katiamontenegro@hotmail.com

Matriz / Tipo de muestra: Sedimento/Fluvial
Identificación de la muestra: Aguas Abajo / Río Chiquito
Localidad/Municipio/Departamento: Subtiava, León, León
Coordenadas: 1373334 N, 0511230 E

Fecha de muestreo: 2017-01-18
Hora de muestreo: 09 h 54
Fecha del reporte: 2018-07-10
Código de laboratorio: LQ-1701-0003

| Arena: 100% | | | | | Limo | Arcilla |
|-------------|-------|--------|-------|------|------|---------|
| | Grava | Gruesa | Media | Fina | | |
| % | 0 | 10 | 77 | 13 | 0 | 0 |

CLASE TEXTURAL: MATERIAL ARENOSO



La clasificación textural fue determinada por medio del análisis del tamaño de partículas (Granulometría e Hidrometría ASTM 422-63) y la determinación de la gravedad específica (ASTM 854-02) siguiendo las recomendaciones y procedimientos de los métodos de la American Society for Testing and Materials (ASTM, 2002).

La muestra fue colectada, preservada y analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición.

(Handwritten signature)



Dra. Martha Lacayo Romero
Directora

¡A la libertad por la Universidad!



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
UNAN - Managua
Laboratorio de Biotecnología



RESULTADOS ANALÍTICOS

BIOTECR-2018-0587

Cliente/Proyecto: UNAN-Managua / FPI
Atención: Dra. Katia Montenegro
Teléfono de contacto: (505) 86712819
Correo electrónico: katiamontenegro@hotmail.com

Matriz / Tipo de muestra: Sedimento/Fluvial
Identificación de la muestra: Aguas Arriba / Río Chiquito
Localidad/Municipio/Departamento: Subtiava, León, León
Coordenadas: 1374152 N, 0512929 E

Fecha de muestreo: 2017-01-18
Hora de muestreo: 11 h 42
Fecha del reporte: 2018-07-10
Código de laboratorio: LQ-1701-0004

| No. | Parámetro | Método | Resultados | Límite de detección | Unidades |
|-----------------|---|-----------------------------------|------------|---------------------|---------------------|
| 1 | pH | USEPA 9045D | 7,049 | - | Unidades de pH |
| 2 | Conductividad eléctrica | USEPA 9045D | 1 650,0 | - | µS/cm |
| 3 | Contenido de humedad* | Margesin & Schinner | 25,050 | 0,003 | % |
| 4 | Materia orgánica* | Margesin & Schinner | 0,928 | 0,003 | % |
| 5 | Arsénico** | USEPA 200.7 | ND | 1,401 | mg.kg ⁻¹ |
| 6 | Cromo** | USEPA 200.7 | 7,880 | 1,348 | mg.kg ⁻¹ |
| 7 | Hierro** | USEPA 200.7 | 37,692 | 0,212 | g.kg ⁻¹ |
| 8 | Manganeso** | USEPA 200.7 | 0,316 | 0,049 | g.kg ⁻¹ |
| 9 | Plomo** | USEPA 200.7 | 10,141 | 0,752 | mg.kg ⁻¹ |
| 10 | Cromo hexavalente* | USEPA 3060A-1 | ND | 5,783 | mg.kg ⁻¹ |
| 11 | Arsénico [▲] | Vieira, J. & otros | <LD | 1,323 | mg.kg ⁻¹ |
| 12 | Cromo [▲] | Vieira, J. & otros | <LD | 0,529 | mg.kg ⁻¹ |
| 13 | Hierro [▲] | Vieira, J. & otros | 312,706 | 0,514 | mg.kg ⁻¹ |
| 14 | Fe ₂ O ₃ [▲] | Vieira, J. & otros | 0,144 | 0,0001 | % |
| 15 | Manganeso [▲] | Vieira, J. & otros | 20,786 | 0,746 | mg.kg ⁻¹ |
| 16 | MnO [▲] | Vieira, J. & otros | 0,001 | 0,00002 | % |
| 17 | Plomo [▲] | Vieira, J. & otros | <LD | 0,459 | mg.kg ⁻¹ |
| 18 | Cromo hexavalente | Vieira, J. & otros + 3500-Cr B | <LD | 0,246 | mg.kg ⁻¹ |
| Datos de campo: | | | | | |
| | Potencial Redox | | 181,9 | | mV |

Claves:

ND: No Detectado **<LD:** El valor está por debajo del límite de detección

USEPA: United States Environmental Protection Agency

*Margesin R. and Schinner, F., 2005.: Manual of soil analysis —Monitoring and assessing soil bioremediation. Chapter 2. Determination of Chemical and Physical Soil Properties.

La muestra fue analizada por Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES)previa digestión con agua regia. El resultado está en base seca. El método utilizado es el USEPA 200.7 Revisión 4.4, 1994. United States Environmental Protection Agency.*previa extracción con hidróxido de sodio:carbonato de sodio (2:3). El resultado está en base húmeda. Alkaline Digestion for Hexavalent Chromium. El método utilizado es el USEPA 3060A Revisión 1, 1996. [▲]Vieira, J., Botelho, C., and Boaventura, R., Trace metal fractionation by the sequential extraction method in sediments from the Lis River (Portugal). Soil & Sediment Contamination, 18:102-119, 2009.

La muestra fue colectada, preservada y analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición.



Dra. Martha Lacayo Romero
Directora



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
UNAN - Managua
Laboratorio de Biotecnología



RESULTADOS ANALÍTICOS
BIOTECR-2018-0587

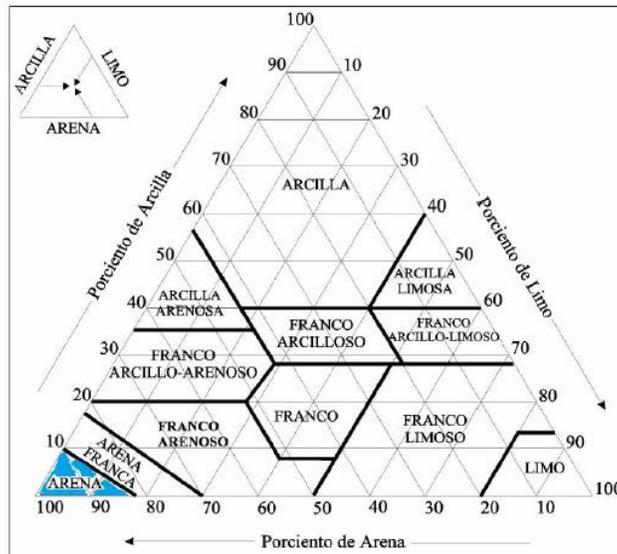
CLIENTE: UNAN-Managua / FPI
Atención: Dra. Katia Montenegro
Teléfono de contacto: (505) 86712819
Correo electrónico: katiamontenegro@hotmail.com

Matriz / Tipo de muestra: Sedimento/Fluvial
Identificación de la muestra: Aguas Arriba / Río Chiquito
Localidad/Municipio/Departamento: Subtiava, León, León
Coordenadas: 1374152 N, 0512929 E

Fecha de muestreo: 2017-01-18
Hora de muestreo: 11 h 42
Fecha del reporte: 2018-07-10
Código de laboratorio: LQ-1701-0004

| Arena: 100% | | | | | Limo | Arcilla |
|-------------|-------|--------|-------|------|------|---------|
| | Grava | Gruesa | Media | Fina | | |
| % | 0 | 7 | 66 | 26 | 0 | 0 |

CLASE TEXTURAL: MATERIAL ARENOSO



La clasificación textural fue determinada por medio del análisis del tamaño de partículas (Granulometría e Hidrometría ASTM 422-63) y la determinación de la gravedad específica (ASTM 854-02) siguiendo las recomendaciones y procedimientos de los métodos de la American Society for Testing and Materials (ASTM, 2002).

La muestra fue colectada, preservada y analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición.

Martha Lacayo Romero



Dra. Martha Lacayo Romero
Directora

¡A la libertad por la Universidad!



RESULTADOS ANALÍTICOS

CLIENTE: UNAN-Managua / FPI
Atención: Dra. Katia Montenegro
Teléfono de contacto: (505) 86712819
Correo electrónico: katiamontenegro@hotmail.com

Matriz / Tipo de muestra: Sedimento/Fluvial
Identificación de la muestra: Aguas Abajo / Río Chiquito
Localidad/Municipio/Departamento: Subtiava, León, León
Coordenadas: 1373352 N, 0511234 E

Fecha de muestreo: 2016-05-27
Hora de muestreo: 10 h 20

Código de laboratorio: LQ-1605-0031

| No. | Parámetro | Método | Resultados | Límite de detección | Unidades |
|-----|-----------|-------------|------------|---------------------|---------------------|
| 1 | Aluminio | USEPA 200.7 | 65,420 | 0,054 | g.kg ⁻¹ |
| 2 | Azufre | USEPA 200.7 | 0,828 | 0,123 | g.kg ⁻¹ |
| 3 | Bario | USEPA 200.7 | 146,894 | 5,075 | mg.kg ⁻¹ |
| 4 | Berilio | USEPA 200.7 | <LD | 15,172 | mg.kg ⁻¹ |
| 5 | Boro | USEPA 200.7 | 15,022 | 2,579 | mg.kg ⁻¹ |
| 6 | Calcio | USEPA 200.7 | 39,433 | 0,233 | g.kg ⁻¹ |
| 7 | Cadmio | USEPA 200.7 | <LD | 3,649 | mg.kg ⁻¹ |
| 8 | Cerio | USEPA 200.7 | 11,393 | 4,976 | mg.kg ⁻¹ |
| 9 | Cinc | USEPA 200.7 | 101,573 | 3,687 | mg.kg ⁻¹ |
| 10 | Cobalto | USEPA 200.7 | 15,739 | 3,684 | mg.kg ⁻¹ |
| 11 | Cobre | USEPA 200.7 | 52,150 | 3,429 | mg.kg ⁻¹ |
| 12 | Estroncio | USEPA 200.7 | 105,448 | 8,240 | mg.kg ⁻¹ |
| 13 | Fósforo | USEPA 200.7 | 1,586 | 0,373 | g.kg ⁻¹ |
| 14 | Litio | USEPA 200.7 | <LD | 7,982 | mg.kg ⁻¹ |
| 15 | Magnesio | USEPA 200.7 | 14.637 | 0,217 | g.kg ⁻¹ |
| 16 | Mercurio | USEPA 200.7 | <LD | 3,303 | mg.kg ⁻¹ |
| 17 | Molibdeno | USEPA 200.7 | ND | 4,776 | mg.kg ⁻¹ |
| 18 | Níquel | USEPA 200.7 | 13,030 | 3,830 | mg.kg ⁻¹ |
| 19 | Plata | USEPA 200.7 | ND | 2,801 | mg.kg ⁻¹ |
| 20 | Potasio | USEPA 200.7 | 1,127 | 0,491 | g.kg ⁻¹ |
| 21 | Selenio | USEPA 200.7 | ND | 7,734 | mg.kg ⁻¹ |
| 22 | Sodio | USEPA 200.7 | 5,220 | 0,186 | g.kg ⁻¹ |
| 23 | Talio | USEPA 200.7 | ND | 5,422 | mg.kg ⁻¹ |
| 24 | Titanio | USEPA 200.7 | 4,862 | 0,040 | g.kg ⁻¹ |
| 25 | Vanadio | USEPA 200.7 | 106,629 | 3,364 | mg.kg ⁻¹ |

Claves:

ND: No Detectado **<LD:** El valor está por debajo del límite de detección

La muestra fue analizada por Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) previa digestión con agua regia. El resultado está en base seca. El método utilizado es el USEPA 200.7 Revisión 4.4, 1994. United States Environmental Protection Agency.

La muestra fue colectada, preservada y analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición..



RESULTADOS ANALÍTICOS

CLIENTE: UNAN-Managua / FPI
Atención: Dra. Katia Montenegro
Teléfono de contacto: (505) 86712819
Correo electrónico: katiamontenegro@hotmail.com

Matriz / Tipo de muestra: Sedimento/Fluvial
Identificación de la muestra: Aguas Arriba / Río Chiquito
Localidad/Municipio/Departamento: Subtiava, León, León
Coordenadas: 1374152 N, 0512938 E

Fecha de muestreo: 2016-05-27

Hora de muestreo: 12 h 00

Código de laboratorio: LQ-1605-0032

| No. | Parámetro | Método | Resultados | Límite de detección | Unidades |
|-----|-----------|-------------|------------|---------------------|---------------------|
| 1 | Aluminio | USEPA 200.7 | 61,986 | 0,054 | g.kg ⁻¹ |
| 2 | Azufre | USEPA 200.7 | 0,499 | 0,123 | g.kg ⁻¹ |
| 3 | Bario | USEPA 200.7 | 91,528 | 5,075 | mg.kg ⁻¹ |
| 4 | Berilio | USEPA 200.7 | <LD | 15,172 | mg.kg ⁻¹ |
| 5 | Boro | USEPA 200.7 | 20,884 | 2,579 | mg.kg ⁻¹ |
| 6 | Calcio | USEPA 200.7 | 38,918 | 0,233 | g.kg ⁻¹ |
| 7 | Cadmio | USEPA 200.7 | <LD | 3,649 | mg.kg ⁻¹ |
| 8 | Cerio | USEPA 200.7 | 10,991 | 4,976 | mg.kg ⁻¹ |
| 9 | Cinc | USEPA 200.7 | 72,764 | 3,687 | mg.kg ⁻¹ |
| 10 | Cobalto | USEPA 200.7 | 22,918 | 3,684 | mg.kg ⁻¹ |
| 11 | Cobre | USEPA 200.7 | 39,451 | 3,429 | mg.kg ⁻¹ |
| 12 | Estroncio | USEPA 200.7 | 110,350 | 8,240 | mg.kg ⁻¹ |
| 13 | Fósforo | USEPA 200.7 | 0,627 | 0,373 | g.kg ⁻¹ |
| 14 | Litio | USEPA 200.7 | <LD | 7,982 | mg.kg ⁻¹ |
| 15 | Magnesio | USEPA 200.7 | 29,971 | 0,217 | g.kg ⁻¹ |
| 16 | Mercurio | USEPA 200.7 | <LD | 3,303 | mg.kg ⁻¹ |
| 17 | Molibdeno | USEPA 200.7 | ND | 4,776 | mg.kg ⁻¹ |
| 18 | Níquel | USEPA 200.7 | 23,295 | 3,830 | mg.kg ⁻¹ |
| 19 | Plata | USEPA 200.7 | ND | 2,801 | mg.kg ⁻¹ |
| 20 | Potasio | USEPA 200.7 | 0,933 | 0,491 | g.kg ⁻¹ |
| 21 | Selenio | USEPA 200.7 | <LD | 7,734 | mg.kg ⁻¹ |
| 22 | Sodio | USEPA 200.7 | 6,033 | 0,186 | mg.kg ⁻¹ |
| 23 | Talio | USEPA 200.7 | ND | 5,422 | mg.kg ⁻¹ |
| 24 | Titanio | USEPA 200.7 | 5,977 | 0,040 | g.kg ⁻¹ |
| 25 | Vanadio | USEPA 200.7 | 158,003 | 3,364 | mg.kg ⁻¹ |

Claves:

ND: No Detectado **<LD:** El valor está por debajo del límite de detección

La muestra fue analizada por Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) previa digestión con agua regia. El resultado está en base seca. El método utilizado es el USEPA 200.7 Revisión 4.4, 1994. United States Environmental Protection Agency.

La muestra fue colectada, preservada y analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición..



RESULTADOS ANALÍTICOS

CLIENTE: UNAN-Managua / FPI
Atención: Dra. Katia Montenegro
Teléfono de contacto: (505) 86712819
Correo electrónico: katiamontenegro@hotmail.com

Matriz / Tipo de muestra: Sedimento/Fluvial
Identificación de la muestra: Aguas Abajo / Río Chiquito
Localidad/Municipio/Departamento: Subtiava, León, León
Coordenadas: 1373352 N, 0511234 E

Fecha de muestreo: 2016-05-27
Hora de muestreo: 10 h 20

Código de laboratorio: LQ-1605-0031

| No. | Parámetro | Método | Resultados | Límite de detección | Unidades |
|-----|----------------|--------------------|------------|---------------------|---------------------|
| 1 | Aluminio | Vieira, J. & otros | 1,036 | 0,003 | g.kg ⁻¹ |
| 2 | Bario | Vieira, J. & otros | 16,686 | 3,373 | mg.kg ⁻¹ |
| 3 | Berilio | Vieira, J. & otros | <LD | 2,093 | mg.kg ⁻¹ |
| 4 | Boro | Vieira, J. & otros | <LD | 2,787 | mg.kg ⁻¹ |
| 5 | Calcio | Vieira, J. & otros | 7,508 | 0,01 | g.kg ⁻¹ |
| 6 | Cadmio | Vieira, J. & otros | <LD | 3,095 | mg.kg ⁻¹ |
| 7 | Cerio | Vieira, J. & otros | <LD | 2,545 | mg.kg ⁻¹ |
| 8 | Cinc | Vieira, J. & otros | 147,346 | 3,031 | mg.kg ⁻¹ |
| 9 | Cobalto | Vieira, J. & otros | 5,179 | 2,947 | mg.kg ⁻¹ |
| 10 | Cobre | Vieira, J. & otros | 12,850 | 3,335 | mg.kg ⁻¹ |
| 11 | Estroncio | Vieira, J. & otros | 31,522 | 2,681 | mg.kg ⁻¹ |
| 12 | Fósforo | Vieira, J. & otros | 75,833 | 11,138 | mg.kg ⁻¹ |
| 13 | Litio | Vieira, J. & otros | ND | 3,910 | mg.kg ⁻¹ |
| 14 | Magnesio | Vieira, J. & otros | 0,879 | 0,005 | g.kg ⁻¹ |
| 15 | Mercurio | Vieira, J. & otros | ND | 0,060 | mg.kg ⁻¹ |
| 16 | Molibdeno | Vieira, J. & otros | <LD | 1,310 | mg.kg ⁻¹ |
| 17 | Níquel | Vieira, J. & otros | <LD | 2,969 | mg.kg ⁻¹ |
| 18 | Plata | Vieira, J. & otros | <LD | 0,570 | mg.kg ⁻¹ |
| 19 | Potasio | Vieira, J. & otros | 0,157 | 0,0163 | g.kg ⁻¹ |
| 20 | Selenio | Vieira, J. & otros | <LD | 6,206 | mg.kg ⁻¹ |
| 21 | Sodio | Vieira, J. & otros | 0,4453 | 0,007 | g.kg ⁻¹ |
| 22 | Talio | Vieira, J. & otros | <LD | 14,418 | mg.kg ⁻¹ |
| 23 | Titanio | Vieira, J. & otros | <LD | 1,143 | mg.kg ⁻¹ |
| 24 | Vanadio | Vieira, J. & otros | 2286 | 2,193 | mg.kg ⁻¹ |

Claves:

ND: No Detectado <LD: El valor está por debajo del límite de detección

La muestra fue analizada por Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) previa digestión con agua regia. El resultado está en base seca. El método utilizado es el USEPA 200.7 Revisión 4.4, 1994. United States Environmental Protection Agency.

La muestra fue colectada, preservada y analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición..



RESULTADOS ANALÍTICOS

CLIENTE: UNAN-Managua / FPI
Atención: Dra. Katia Montenegro
Teléfono de contacto: (505) 86712819
Correo electrónico: katiamontenegro@hotmail.com

Matriz / Tipo de muestra: Sedimento/Fluvial
Identificación de la muestra: Aguas Arriba / Río Chiquito
Localidad/Municipio/Departamento: Subtiava, León, León
Coordenadas: 1374152 N, 0512938 E

Fecha de muestreo: 2016-05-27
Hora de muestreo: 12 h 00
Código de laboratorio: LQ-1605-0032

| No. | Parámetro | Método | Resultados | Límite de detección | Unidades |
|-----|----------------|--------------------|------------|---------------------|---------------------|
| 1 | Aluminio | Vieira, J. & otros | 1,648 | 0,003 | g.kg ⁻¹ |
| 2 | Bario | Vieira, J. & otros | 17,514 | 3,373 | mg.kg ⁻¹ |
| 3 | Berilio | Vieira, J. & otros | <LD | 2,093 | mg.kg ⁻¹ |
| 4 | Boro | Vieira, J. & otros | <LD | 2,787 | mg.kg ⁻¹ |
| 5 | Calcio | Vieira, J. & otros | 3,616 | 0,01 | g.kg ⁻¹ |
| 6 | Cadmio | Vieira, J. & otros | <LD | 3,095 | mg.kg ⁻¹ |
| 7 | Cerio | Vieira, J. & otros | <LD | 2,545 | mg.kg ⁻¹ |
| 8 | Cinc | Vieira, J. & otros | 81,741 | 3,031 | mg.kg ⁻¹ |
| 9 | Cobalto | Vieira, J. & otros | 3,695 | 2,947 | mg.kg ⁻¹ |
| 10 | Cobre | Vieira, J. & otros | 12,502 | 3,335 | mg.kg ⁻¹ |
| 11 | Estroncio | Vieira, J. & otros | 13,468 | 2,681 | mg.kg ⁻¹ |
| 12 | Fósforo | Vieira, J. & otros | 23,692 | 11,138 | mg.kg ⁻¹ |
| 13 | Litio | Vieira, J. & otros | ND | 3,910 | mg.kg ⁻¹ |
| 14 | Magnesio | Vieira, J. & otros | 1,371 | 0,005 | g.kg ⁻¹ |
| 15 | Mercurio | Vieira, J. & otros | ND | 0,060 | mg.kg ⁻¹ |
| 16 | Molibdeno | Vieira, J. & otros | ND | 1,310 | mg.kg ⁻¹ |
| 17 | Níquel | Vieira, J. & otros | <LD | 2,969 | mg.kg ⁻¹ |
| 18 | Plata | Vieira, J. & otros | <LD | 0,570 | mg.kg ⁻¹ |
| 19 | Potasio | Vieira, J. & otros | 0,134 | 0,0163 | g.kg ⁻¹ |
| 20 | Selenio | Vieira, J. & otros | ND | 6,206 | mg.kg ⁻¹ |
| 21 | Sodio | Vieira, J. & otros | 0,339 | 0,007 | g.kg ⁻¹ |
| 22 | Talio | Vieira, J. & otros | <LD | 14,418 | mg.kg ⁻¹ |
| 23 | Titanio | Vieira, J. & otros | <LD | 1,143 | mg.kg ⁻¹ |
| 24 | Vanadio | Vieira, J. & otros | <LD | 2,193 | mg.kg ⁻¹ |

Claves:

ND: No Detectado **<LD:** El valor está por debajo del límite de detección

La muestra fue analizada por Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) previa digestión con agua regia. El resultado está en base seca. El método utilizado es el USEPA 200.7 Revisión 4.4, 1994. United States Environmental Protection Agency.

La muestra fue colectada, preservada y analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición..

¡A la libertad por la Universidad!



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
UNAN - Managua
Laboratorio de Biotecnología



RESULTADOS ANALÍTICOS

CLIENTE: UNAN-Managua / FPI
Atención: Dra. Katia Montenegro
Teléfono de contacto: (505) 86712819
Correo electrónico: katiamentenegro@hotmail.com

Matriz / Tipo de muestra: Sedimento/Fluvial
Identificación de la muestra: Aguas Abajo / Río Chiquito
Localidad/Municipio/Departamento: Subtiava, León, León
Coordenadas:

Fecha de muestreo: 2016-05-27
Hora de muestreo: 10 h 20
Fecha del reporte:
Código de laboratorio: LQ-1605-0031

| No. | Parámetro | Método | Resultados | Límite de detección | Unidades |
|-----|--------------------------------|--------------------|------------|---------------------|---------------------|
| 1 | Aluminio | Vieira, J. & otros | 0,296 | 0,011 | g.kg ⁻¹ |
| | Al ₂ O ₃ | | 0,0559 | 0,0020 | % |
| 2 | Bario | Vieira, J. & otros | 26,372 | 6,094 | mg.kg ⁻¹ |
| | BaO | | 0,0029 | 0,0007 | % |
| 3 | Berilio | Vieira, J. & otros | <LD | 0,177 | mg.kg ⁻¹ |
| | BeO | | <LD | 0,0005 | % |
| 4 | Calcio | Vieira, J. & otros | 0,363 | 0,010 | g.kg ⁻¹ |
| | CaO | | 0,0508 | 0,0014 | % |
| 5 | Cinc | Vieira, J. & otros | <LD | 7,392 | mg.kg ⁻¹ |
| | ZnO | | <LD | 0,0092 | % |
| 6 | Cobalto | Vieira, J. & otros | <LD | 2,074 | mg.kg ⁻¹ |
| | CoO | | <LD | 0,0026 | % |
| 7 | Cobre | Vieira, J. & otros | 2,019 | 1,032 | mg.kg ⁻¹ |
| | CuO | | 0,0003 | 0,0001 | % |
| 8 | Cromo | Vieira, J. & otros | 0,891 | 0,865 | mg.kg ⁻¹ |
| | Cr ₂ O ₃ | | 0,00013 | 0,00012 | % |
| 9 | Hierro | Vieira, J. & otros | 0,428 | 0,004 | g.kg ⁻¹ |
| | Fe ₂ O ₃ | | 0,0612 | 0,0006 | % |
| 10 | Magnesio | Vieira, J. & otros | <LD | 0,066 | g.kg ⁻¹ |
| | MgO | | <LD | 0,1098 | % |
| 11 | Manganeso | Vieira, J. & otros | 10,427 | 3,091 | mg.kg ⁻¹ |
| | MnO | | 0,0013 | 0,0004 | % |
| 12 | Níquel | Vieira, J. & otros | ND | 2,450 | mg.kg ⁻¹ |
| | NiO | | ND | 0,0031 | % |
| 13 | Plata | Vieira, J. & otros | ND | 1,619 | mg.kg ⁻¹ |
| | Ag ₂ O | | ND | 0,0002 | % |
| 14 | Potasio | Vieira, J. & otros | 26,429 | 7,333 | mg.kg ⁻¹ |
| | K ₂ O | | 0,0032 | 0,0009 | % |
| 15 | Sodio | Vieira, J. & otros | <LD | 0,026 | g.kg ⁻¹ |
| | Na ₂ O | | <LD | 0,0347 | % |
| 16 | Vanadio | Vieira, J. & otros | <LD | 2,473 | mg.kg ⁻¹ |
| | V ₂ O ₅ | | <LD | 0,0044 | % |

Claves:

ND: No Detectado <LD: El valor está por debajo del límite de detección

Vieira, J., Botelho, C., and Boaventura, R. Trace metal fractionation by the sequential extraction method insediments from the Lis River (Portugal). Soil & Sediment Contamination, 18:102-119, 2009..

La muestra fue colectada, preservada y analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición..

¡A la libertad por la Universidad!



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
UNAN - Managua
Laboratorio de Biotecnología



RESULTADOS ANALÍTICOS

CLIENTE: UNAN-Managua / FPI
Atención: Dra. Katia Montenegro
Teléfono de contacto: (505) 86712819
Correo electrónico: katiamontenegro@hotmail.com

Matriz / Tipo de muestra: Sedimento/Fluvial
Identificación de la muestra: Aguas Arriba / Río Chiquito
Localidad/Municipio/Departamento: Subtiava, León, León
Coordenadas:

Fecha de muestreo: 2016-05-27
Hora de muestreo: 12 h 00
Fecha del reporte:
Código de laboratorio: LQ-1605-0032

| No. | Parámetro | Método | Resultados | Límite de detección | Unidades |
|-----|--------------------------------|--------------------|------------|---------------------|---------------------|
| 1 | Aluminio | Vieira, J. & otros | 0,098 | 0,011 | g.kg ⁻¹ |
| | Al ₂ O ₃ | | 0,0184 | 0,0020 | % |
| 2 | Bario | Vieira, J. & otros | <LD | 6,094 | mg.kg ⁻¹ |
| | BaO | | <LD | 0,0007 | % |
| 3 | Berilio | Vieira, J. & otros | <LD | 0,177 | mg.kg ⁻¹ |
| | BeO | | <LD | 0,0005 | % |
| 4 | Calcio | Vieira, J. & otros | 0,067 | 0,010 | g.kg ⁻¹ |
| | CaO | | 0,0093 | 0,0014 | % |
| 5 | Cinc | Vieira, J. & otros | <LD | 7,392 | mg.kg ⁻¹ |
| | ZnO | | <LD | 0,0092 | % |
| 6 | Cobalto | Vieira, J. & otros | <LD | 2,074 | mg.kg ⁻¹ |
| | CoO | | <LD | 0,0026 | % |
| 7 | Cobre | Vieira, J. & otros | <LD | 1,032 | mg.kg ⁻¹ |
| | CuO | | <LD | 0,0001 | % |
| 8 | Cromo | Vieira, J. & otros | ND | 0,865 | mg.kg ⁻¹ |
| | Cr ₂ O ₃ | | ND | 0,00012 | % |
| 9 | Hierro | Vieira, J. & otros | 0,168 | 0,004 | g.kg ⁻¹ |
| | Fe ₂ O ₃ | | 0,0241 | 0,0006 | % |
| 10 | Magnesio | Vieira, J. & otros | <LD | 0,066 | g.kg ⁻¹ |
| | MgO | | <LD | 0,1098 | % |
| 11 | Manganeso | Vieira, J. & otros | <LD | 3,091 | mg.kg ⁻¹ |
| | MnO | | <LD | 0,0004 | % |
| 12 | Níquel | Vieira, J. & otros | <LD | 2,450 | mg.kg ⁻¹ |
| | NiO | | <LD | 0,0031 | % |
| 13 | Plata | Vieira, J. & otros | ND | 1,619 | mg.kg ⁻¹ |
| | Ag ₂ O | | ND | 0,0002 | % |
| 14 | Potasio | Vieira, J. & otros | <LD | 7,333 | mg.kg ⁻¹ |
| | K ₂ O | | <LD | 0,0009 | % |
| 15 | Sodio | Vieira, J. & otros | ND | 0,026 | g.kg ⁻¹ |
| | Na ₂ O | | ND | 0,0347 | % |
| 16 | Vanadio | Vieira, J. & otros | <LD | 2,473 | mg.kg ⁻¹ |
| | V ₂ O ₅ | | <LD | 0,0044 | % |

Claves:

ND: No Detectado **<LD:** El valor está por debajo del límite de detección

Vieira, J., Botelho, C., and Boaventura, R. Trace metal fractionation by the sequential extraction method in sediments from the Lis River (Portugal). *Soil & Sediment Contamination*, 18:102-119, 2009.

La muestra fue colectada, preservada y analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición..

¡A la libertad por la Universidad!



RESULTADOS ANALÍTICOS

CLIENTE: UNAN-Managua / FPI
Atención: Dra. Katia Montenegro
Teléfono de contacto: (505) 86712819
Correo electrónico: katiamontenegro@hotmail.com

Matriz / Tipo de muestra: Sedimento/Fluvial
Identificación de la muestra: Aguas Abajo / Río Chiquito
Localidad/Municipio/Departamento: Subtiava, León, León
Coordenadas: 1373334 N, 0511230 E

Fecha de muestreo: 2017-01-18
Hora de muestreo: 09 h 54

Código de laboratorio: LQ-1701-0003

| No. | Parámetro | Método | Resultados | Límite de detección | Unidades |
|-----|----------------|-------------|------------|---------------------|---------------------|
| 1 | Aluminio | USEPA 200.7 | 35,438 | 0,126 | g.kg ⁻¹ |
| 2 | Azufre | USEPA 200.7 | 2,674 | 0,069 | g.kg ⁻¹ |
| 3 | Bario | USEPA 200.7 | 115,917 | 1,398 | mg.kg ⁻¹ |
| 4 | Berilio | USEPA 200.7 | <LD | 0,695 | mg.kg ⁻¹ |
| 5 | Boro | USEPA 200.7 | 23,866 | 0,629 | mg.kg ⁻¹ |
| 6 | Calcio | USEPA 200.7 | 25,577 | 0,219 | g.kg ⁻¹ |
| 7 | Cadmio | USEPA 200.7 | <LD | 0,601 | mg.kg ⁻¹ |
| 8 | Cinc | USEPA 200.7 | 93,997 | 0,896 | mg.kg ⁻¹ |
| 9 | Cobalto | USEPA 200.7 | 14,843 | 0,917 | mg.kg ⁻¹ |
| 10 | Cobre | USEPA 200.7 | 59,232 | 1,216 | mg.kg ⁻¹ |
| 11 | Estroncio | USEPA 200.7 | 108,364 | 0,870 | mg.kg ⁻¹ |
| 12 | Fósforo | USEPA 200.7 | 0,558 | 0,113 | g.kg ⁻¹ |
| 13 | Litio | USEPA 200.7 | <LD | 3,125 | mg.kg ⁻¹ |
| 14 | Magnesio | USEPA 200.7 | 7,937 | 0,089 | g.kg ⁻¹ |
| 15 | Mercurio | USEPA 200.7 | 1,213 | 0,810 | mg.kg ⁻¹ |
| 16 | Molibdeno | USEPA 200.7 | <LD | 1,391 | mg.kg ⁻¹ |
| 17 | Níquel | USEPA 200.7 | 13,419 | 0,494 | mg.kg ⁻¹ |
| 18 | Plata | USEPA 200.7 | 1,917 | 1,774 | mg.kg ⁻¹ |
| 19 | Potasio | USEPA 200.7 | 0,269 | 0,235 | g.kg ⁻¹ |
| 20 | Selenio | USEPA 200.7 | ND | 3,113 | mg.kg ⁻¹ |
| 21 | Sodio | USEPA 200.7 | 2,928 | 0,123 | g.kg ⁻¹ |
| 22 | Talio | USEPA 200.7 | ND | 5,690 | mg.kg ⁻¹ |
| 23 | Titanio | USEPA 200.7 | 2,272 | 0,029 | g.kg ⁻¹ |
| 24 | Vanadio | USEPA 200.7 | 114,670 | 1,053 | mg.kg ⁻¹ |

Claves:

ND: No Detectado <LD: El valor está por debajo del límite de detección

La muestra fue analizada por Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) previa digestión con agua regia. El resultado está en base seca. El método utilizado es el USEPA 200.7 Revisión 4.4, 1994. United States Environmental Protection Agency.

La muestra fue colectada, preservada y analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición..



RESULTADOS ANALÍTICOS

CLIENTE: UNAN-Managua / FPI
Atención: Dra. Katia Montenegro
Teléfono de contacto: (505) 86712819
Correo electrónico: katiamontenegro@hotmail.com

Matriz / Tipo de muestra: Sedimento/Fluvial
Identificación de la muestra: Aguas Arriba / Río Chiquito
Localidad/Municipio/Departamento: Subtiava, León, León
Coordenadas: 1374152 N, 0512929 E

Fecha de muestreo: 2017-01-18
Hora de muestreo: 11 h 42

Código de laboratorio: LQ-1701-0004

| No. | Parámetro | Método | Resultados | Límite de detección | Unidades |
|-----|-----------|-------------|------------|---------------------|---------------------|
| 1 | Aluminio | USEPA 200.7 | 34,791 | 0,126 | g.kg ⁻¹ |
| 2 | Azufre | USEPA 200.7 | 1,812 | 0,069 | g.kg ⁻¹ |
| 3 | Bario | USEPA 200.7 | 109,144 | 1,398 | mg.kg ⁻¹ |
| 4 | Berilio | USEPA 200.7 | <LD | 0,695 | mg.kg ⁻¹ |
| 5 | Boro | USEPA 200.7 | 23,742 | 0,629 | mg.kg ⁻¹ |
| 6 | Calcio | USEPA 200.7 | 24,112 | 0,219 | g.kg ⁻¹ |
| 7 | Cadmio | USEPA 200.7 | <LD | 0,601 | mg.kg ⁻¹ |
| 8 | Cinc | USEPA 200.7 | 84,661 | 0,896 | mg.kg ⁻¹ |
| 9 | Cobalto | USEPA 200.7 | 17,130 | 0,917 | mg.kg ⁻¹ |
| 10 | Cobre | USEPA 200.7 | 44,565 | 1,216 | mg.kg ⁻¹ |
| 11 | Estroncio | USEPA 200.7 | 113,693 | 0,870 | mg.kg ⁻¹ |
| 12 | Fósforo | USEPA 200.7 | 0,379 | 0,113 | g.kg ⁻¹ |
| 13 | Litio | USEPA 200.7 | <LD | 3,125 | mg.kg ⁻¹ |
| 14 | Magnesio | USEPA 200.7 | 11,232 | 0,089 | g.kg ⁻¹ |
| 15 | Mercurio | USEPA 200.7 | 1,599 | 0,810 | mg.kg ⁻¹ |
| 16 | Molibdeno | USEPA 200.7 | <LD | 1,391 | mg.kg ⁻¹ |
| 17 | Níquel | USEPA 200.7 | 16,556 | 0,494 | mg.kg ⁻¹ |
| 18 | Plata | USEPA 200.7 | <LD | 1,774 | mg.kg ⁻¹ |
| 19 | Potasio | USEPA 200.7 | <LD | 0,235 | g.kg ⁻¹ |
| 20 | Selenio | USEPA 200.7 | ND | 3,113 | mg.kg ⁻¹ |
| 21 | Sodio | USEPA 200.7 | 3,737 | 0,123 | mg.kg ⁻¹ |
| 22 | Talio | USEPA 200.7 | ND | 5,690 | mg.kg ⁻¹ |
| 23 | Titanio | USEPA 200.7 | 2,190 | 0,029 | g.kg ⁻¹ |
| 24 | Vanadio | USEPA 200.7 | 125,925 | 1,053 | mg.kg ⁻¹ |

Claves:

ND: No Detectado **<LD:** El valor está por debajo del límite de detección

La muestra fue analizada por Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) previa digestión con agua regia. El resultado está en base seca. El método utilizado es el USEPA 200.7 Revisión 4.4, 1994. United States Environmental Protection Agency.

La muestra fue colectada, preservada y analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición..



RESULTADOS ANALÍTICOS

CLIENTE: UNAN-Managua / FPI
Atención: Dra. Katia Montenegro
Teléfono de contacto: (505) 86712819
Correo electrónico: katiamontenegro@hotmail.com

Matriz / Tipo de muestra: Sedimento/Fluvial
Identificación de la muestra: Aguas Abajo / Río Chiquito
Localidad/Municipio/Departamento: Subtiava, León, León
Coordenadas: 1373334 N, 0511230 E

Fecha de muestreo: 2017-01-18
Hora de muestreo: 09 h 54

Código de laboratorio: LQ-1701-0003

| No. | Parámetro | Método | Resultados | Límite de detección | Unidades |
|-----|----------------|--------------------|------------|---------------------|---------------------|
| 1 | Aluminio | Vieira, J. & otros | 0,286 | 0,001 | g.kg ⁻¹ |
| 2 | Bario | Vieira, J. & otros | 1,541 | 0,960 | mg.kg ⁻¹ |
| 3 | Berilio | Vieira, J. & otros | <LD | 0,464 | mg.kg ⁻¹ |
| 4 | Boro | Vieira, J. & otros | 23,866 | 0,629 | mg.kg ⁻¹ |
| 5 | Calcio | Vieira, J. & otros | 2,385 | 0,002 | g.kg ⁻¹ |
| 6 | Cadmio | Vieira, J. & otros | <LD | 0,477 | mg.kg ⁻¹ |
| 7 | Cinc | Vieira, J. & otros | 33,201 | 0,575 | mg.kg ⁻¹ |
| 8 | Cobalto | Vieira, J. & otros | 1,117 | 0,507 | mg.kg ⁻¹ |
| 9 | Cobre | Vieira, J. & otros | 5,5785 | 0,6172 | mg.kg ⁻¹ |
| 10 | Estroncio | Vieira, J. & otros | 5,896 | 0,608 | mg.kg ⁻¹ |
| 11 | Fósforo | Vieira, J. & otros | 15,890 | 0,638 | mg.kg ⁻¹ |
| 12 | Litio | Vieira, J. & otros | <LD | 1,614 | mg.kg ⁻¹ |
| 13 | Magnesio | Vieira, J. & otros | 0,230 | 0,001 | g.kg ⁻¹ |
| 14 | Mercurio | Vieira, J. & otros | ND | 0,861 | mg.kg ⁻¹ |
| 15 | Molibdeno | Vieira, J. & otros | <LD | 0,364 | mg.kg ⁻¹ |
| 16 | Níquel | Vieira, J. & otros | <LD | 0,512 | mg.kg ⁻¹ |
| 17 | Plata | Vieira, J. & otros | <LD | 0,396 | mg.kg ⁻¹ |
| 18 | Potasio | Vieira, J. & otros | 0,120 | 0,005 | g.kg ⁻¹ |
| 19 | Selenio | Vieira, J. & otros | ND | 0,287 | mg.kg ⁻¹ |
| 20 | Sodio | Vieira, J. & otros | 0,158 | 0,003 | g.kg ⁻¹ |
| 21 | Talio | Vieira, J. & otros | 1,006 | 0,500 | mg.kg ⁻¹ |
| 22 | Titanio | Vieira, J. & otros | 0,568 | 0,252 | mg.kg ⁻¹ |
| 23 | Vanadio | Vieira, J. & otros | 0,458 | 0,209 | mg.kg ⁻¹ |

Claves:

ND: No Detectado **<LD:** El valor está por debajo del límite de detección

La muestra fue analizada por Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) previa digestión con agua regia. El resultado está en base seca. El método utilizado es el USEPA 200.7 Revisión 4.4, 1994. United States Environmental Protection Agency.

La muestra fue colectada, preservada y analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición..

¡A la libertad por la Universidad!



RESULTADOS ANALÍTICOS

CLIENTE: UNAN-Managua / FPI
Atención: Dra. Katia Montenegro
Teléfono de contacto: (505) 86712819
Correo electrónico: katiamonenegro@hotmail.com

Matriz / Tipo de muestra: Sedimento/Fluvial
Identificación de la muestra: Aguas Arriba / Río Chiquito
Localidad/Municipio/Departamento: Subtiava, León, León
Coordenadas: 1374152 N, 0512929 E

Fecha de muestreo: 2017-01-18
Hora de muestreo: 11 h 42
Código de laboratorio: LQ-1701-0004

| No. | Parámetro | Método | Resultados | Límite de detección | Unidades |
|-----|----------------|--------------------|------------|---------------------|---------------------|
| 1 | Aluminio | Vieira, J. & otros | 0,377 | 0,001 | g.kg ⁻¹ |
| 2 | Bario | Vieira, J. & otros | 1378 | 0,960 | mg.kg ⁻¹ |
| 3 | Berilio | Vieira, J. & otros | <LD | 0,464 | mg.kg ⁻¹ |
| 4 | Boro | Vieira, J. & otros | 0,447 | 0,629 | mg.kg ⁻¹ |
| 5 | Calcio | Vieira, J. & otros | 1,380 | 0,002 | g.kg ⁻¹ |
| 6 | Cadmio | Vieira, J. & otros | ND | 0,477 | mg.kg ⁻¹ |
| 7 | Cinc | Vieira, J. & otros | 27,697 | 0,575 | mg.kg ⁻¹ |
| 8 | Cobalto | Vieira, J. & otros | 1,114 | 0,507 | mg.kg ⁻¹ |
| 9 | Cobre | Vieira, J. & otros | 4,3704 | 0,6172 | mg.kg ⁻¹ |
| 10 | Estroncio | Vieira, J. & otros | 4,106 | 0,608 | mg.kg ⁻¹ |
| 11 | Fósforo | Vieira, J. & otros | 7,036 | 0,638 | mg.kg ⁻¹ |
| 12 | Litio | Vieira, J. & otros | <LD | 1,614 | mg.kg ⁻¹ |
| 13 | Magnesio | Vieira, J. & otros | 0,275 | 0,001 | g.kg ⁻¹ |
| 14 | Mercurio | Vieira, J. & otros | 1,599 | 0,861 | mg.kg ⁻¹ |
| 15 | Molibdeno | Vieira, J. & otros | ND | 0,364 | mg.kg ⁻¹ |
| 16 | Níquel | Vieira, J. & otros | <LD | 0,512 | mg.kg ⁻¹ |
| 17 | Plata | Vieira, J. & otros | <LD | 0,396 | mg.kg ⁻¹ |
| 18 | Potasio | Vieira, J. & otros | 0,121 | 0,005 | g.kg ⁻¹ |
| 19 | Selenio | Vieira, J. & otros | <LD | 0,287 | mg.kg ⁻¹ |
| 20 | Sodio | Vieira, J. & otros | 0,117 | 0,003 | g.kg ⁻¹ |
| 21 | Talio | Vieira, J. & otros | ND | 0,500 | mg.kg ⁻¹ |
| 22 | Titanio | Vieira, J. & otros | 0,552 | 0,252 | mg.kg ⁻¹ |
| 23 | Vanadio | Vieira, J. & otros | 0,566 | 0,209 | mg.kg ⁻¹ |

Claves:

ND: No Detectado <LD: El valor está por debajo del límite de detección

La muestra fue analizada por Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) previa digestión con agua regia. El resultado está en base seca. El método utilizado es el USEPA 200.7 Revisión 4.4, 1994. United States Environmental Protection Agency.

La muestra fue colectada, preservada y analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición..

¡A la libertad por la Universidad!



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
UNAN - Managua
Laboratorio de Biotecnología



RESULTADOS ANALÍTICOS

CLIENTE: UNAN-Managua / FPI
Atención: Dra. Katia Montenegro
Teléfono de contacto: (505) 86712819
Correo electrónico: katiamontenegro@hotmail.com

Matriz / Tipo de muestra: Sedimento/Fluvial
Identificación de la muestra: Aguas Abajo / Río Chiquito
Localidad/Municipio/Departamento: Subtiava, León, León
Coordenadas:

Fecha de muestreo: 2017-01-18
Hora de muestreo:
Fecha del reporte:
Código de laboratorio: LQ-1701-0003

| No. | Parámetro | Método | Resultados | Límite de detección | Unidades |
|-----|--------------------------------|--------------------|------------|---------------------|---------------------|
| 1 | Aluminio | Vieira, J. & otros | 0,848 | 0,002 | g.kg ⁻¹ |
| | Al ₂ O ₃ | | 0,1603 | 0,0004 | % |
| 2 | Bario | Vieira, J. & otros | 34,995 | 0,698 | mg.kg ⁻¹ |
| | BaO | | 0,0039 | 0,0001 | % |
| 3 | Berilio | Vieira, J. & otros | ND | 0,523 | mg.kg ⁻¹ |
| | BeO | | ND | 0,00015 | % |
| 4 | Calcio | Vieira, J. & otros | 0,984 | 0,002 | g.kg ⁻¹ |
| | CaO | | 0,1377 | 0,0003 | % |
| 5 | Cinc | Vieira, J. & otros | 14,080 | 0,351 | mg.kg ⁻¹ |
| | ZnO | | 0,00175 | 0,00004 | % |
| 6 | Cobalto | Vieira, J. & otros | 0,791 | 0,246 | mg.kg ⁻¹ |
| | CoO | | 0,0001 | 0,00003 | % |
| 7 | Cobre | Vieira, J. & otros | 7,045 | 0,097 | mg.kg ⁻¹ |
| | CuO | | 0,0009 | 0,00001 | % |
| 8 | Cromo | Vieira, J. & otros | 4,215 | 0,320 | mg.kg ⁻¹ |
| | Cr ₂ O ₃ | | 0,0006 | 0,00005 | % |
| 9 | Hierro | Vieira, J. & otros | 0,879 | 0,0004 | g.kg ⁻¹ |
| | Fe ₂ O ₃ | | 0,1256 | 0,0001 | % |
| 10 | Magnesio | Vieira, J. & otros | 0,266 | 0,002 | g.kg ⁻¹ |
| | MgO | | 0,0442 | 0,0003 | % |
| 11 | Manganeso | Vieira, J. & otros | 16,264 | 0,126 | mg.kg ⁻¹ |
| | MnO | | 0,0021 | 0,00002 | % |
| 12 | Níquel | Vieira, J. & otros | 0,341 | 0,261 | mg.kg ⁻¹ |
| | NiO | | 0,00004 | 0,00003 | % |
| 13 | Plata | Vieira, J. & otros | ND | 0,340 | mg.kg ⁻¹ |
| | Ag ₂ O | | ND | 0,00004 | % |
| 14 | Potasio | Vieira, J. & otros | 72,494 | 5,277 | mg.kg ⁻¹ |
| | K ₂ O | | 0,0087 | 0,0006 | % |
| 15 | Sodio | Vieira, J. & otros | 32,775 | 8,781 | mg.kg ⁻¹ |
| | Na ₂ O | | 0,0044 | 0,0012 | % |
| 16 | Vanadio | Vieira, J. & otros | 4,937 | 0,727 | mg.kg ⁻¹ |
| | V ₂ O ₅ | | 0,00088 | 0,00013 | % |

Claves:
ND: No Detectado

Vieira, J., Botelho, C., and Boaventura, R. Trace metal fractionation by the sequential extraction method insediments from the Lis River (Portugal). Soil & Sediment Contamination, 18:102-119, 2009..

La muestra fue colectada, preservada y analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición..

¡A la libertad por la Universidad!



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
UNAN - Managua
Laboratorio de Biotecnología



RESULTADOS ANALÍTICOS

CLIENTE: UNAN-Managua / FPI
Atención: Dra. Katia Montenegro
Teléfono de contacto: (505) 86712819
Correo electrónico: katiamontenegro@hotmail.com

Matriz / Tipo de muestra: Sedimento/Fluvial
Identificación de la muestra: Aguas Arriba / Río Chiquito
Localidad/Municipio/Departamento: Subtiava, León, León
Coordenadas:

Fecha de muestreo: 2017-01-18
Hora de muestreo:
Fecha del reporte:
Código de laboratorio: LQ-1701-0004

| No. | Parámetro | Método | Resultados | Límite de detección | Unidades |
|-----|--------------------------------|--------------------|------------|---------------------|---------------------|
| 1 | Aluminio | Vieira, J. & otros | 0,816 | 0,002 | g.kg ⁻¹ |
| | Al ₂ O ₃ | | 0,1542 | 0,0004 | % |
| 2 | Bario | Vieira, J. & otros | 35,609 | 0,698 | mg.kg ⁻¹ |
| | BaO | | 0,0040 | 0,0001 | % |
| 3 | Berilio | Vieira, J. & otros | ND | 0,523 | mg.kg ⁻¹ |
| | BeO | | ND | 0,00015 | % |
| 4 | Calcio | Vieira, J. & otros | 0,662 | 0,002 | g.kg ⁻¹ |
| | CaO | | 0,0926 | 0,0003 | % |
| 5 | Cinc | Vieira, J. & otros | 10,029 | 0,351 | mg.kg ⁻¹ |
| | ZnO | | 0,0012 | 0,00004 | % |
| 6 | Cobalto | Vieira, J. & otros | 0,729 | 0,246 | mg.kg ⁻¹ |
| | CoO | | 0,0001 | 0,00003 | % |
| 7 | Cobre | Vieira, J. & otros | 4,380 | 0,097 | mg.kg ⁻¹ |
| | CuO | | 0,00055 | 0,00001 | % |
| 8 | Cromo | Vieira, J. & otros | <LD | 0,320 | mg.kg ⁻¹ |
| | Cr ₂ O ₃ | | <LD | 0,00005 | % |
| 9 | Hierro | Vieira, J. & otros | 1,004 | 0,0004 | g.kg ⁻¹ |
| | Fe ₂ O ₃ | | 0,1435 | 0,0001 | % |
| 10 | Magnesio | Vieira, J. & otros | 0,429 | 0,002 | g.kg ⁻¹ |
| | MgO | | 0,0712 | 0,0003 | % |
| 11 | Manganeso | Vieira, J. & otros | 11,020 | 0,126 | mg.kg ⁻¹ |
| | MnO | | 0,0014 | 0,00002 | % |
| 12 | Níquel | Vieira, J. & otros | 0,521 | 0,261 | mg.kg ⁻¹ |
| | NiO | | 0,0001 | 0,00003 | % |
| 13 | Plata | Vieira, J. & otros | ND | 0,340 | mg.kg ⁻¹ |
| | Ag ₂ O | | ND | 0,00004 | % |
| 14 | Potasio | Vieira, J. & otros | 59,797 | 5,277 | mg.kg ⁻¹ |
| | K ₂ O | | 0,0072 | 0,0006 | % |
| 15 | Sodio | Vieira, J. & otros | 30,473 | 8,781 | mg.kg ⁻¹ |
| | Na ₂ O | | 0,0041 | 0,0012 | % |
| 16 | Vanadio | Vieira, J. & otros | 5,735 | 0,727 | mg.kg ⁻¹ |
| | V ₂ O ₅ | | 0,0010 | 0,00013 | % |

Claves:

ND: No Detectado **<LD:** El valor está por debajo del límite de detección

Vieira, J., Botelho, C., and Boaventura, R. Trace metal fractionation by the sequential extraction method insediments from the Lis River (Portugal). Soil & Sediment Contamination, 18:102-119, 2009..

La muestra fue colectada, preservada y analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición..

¡A la libertad por la Universidad!



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
UNAN - Managua
Laboratorio de Biotecnología



RESULTADOS ANALÍTICOS
BIOTECR - 2017-0508

CLIENTE/PROYECTO: UNAN-Managua/FPI
Atención: Dra. Katia Montenegro
Correo electrónico: kmontenegro@unan.edu.ni
Teléfono de contacto: (505) 86712819

Matriz / Fuente: Sedimento/Fluvial
Identificación de la muestra: Agua abajo/ Río Chiquito
Lugar de muestreo: Subtiava, León
Coordenadas: 13733502N, 0511234E

Fecha de muestreo: 2016-05-27
Hora de muestreo: 10 h 20
Fecha del reporte: 2017-12-01
Código de laboratorio: LM-1605-0112

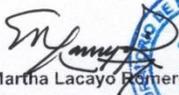
| No. | Parámetro | Método | Resultados | Límite de detección | Unidades |
|-----|--------------------------|---------------------|------------|---------------------|-------------------------------------|
| 1 | Actividad Deshidrogenasa | Margeson & Schinner | 28,117 | 0,292 | µg de INTF/(g de suelo seco * 2 h) |

Claves:

µg de INTF/(g * 2 horas): Microgramos de Iodonitrotetrazolium formazan liberado por gramo de suelo seco después de 2 horas de incubación.

Margeson, R. and Schinner, F., 2005.: Manual of soil analysis - Monitoring and assessing soil bioremediation. Chapter 17. Determination of enzyme activities in contaminated soil, 17.4 Deshidrogenase activity.

La muestra fue colectada, preservada y analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Manual of Soil Analysis. 2005


Dra. Martha Lacayo Romero
Directora



¡A la libertad, por la Universidad!

Recinto Universitario Ricardo Morales Avilés (RURMA) Pabellón D, aula D-4
Apartado Postal: 663 .Teléfono directo: 22786769 ext. 6023, 6239; 22701287
www.unan.edu.ni/lab_bio. Correo electrónico: biotecnologia@unan.edu.ni

1 de 2



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
UNAN - Managua
Laboratorio de Biotecnología



RESULTADOS ANALÍTICOS
 BIOTECR-2017-0509

CLIENTE/PROYECTO: UNAN-Managua/FPI
Atención: Dra. Katia Montenegro
Correo electrónico: kmontenegro@unan.edu.ni
Teléfono de contacto: (505) 86712819

Matriz / Fuente: Sedimento /Fluvial
Identificación de la muestra: Aguas arriba/ Río Chiquito
Localidad, Municipio, Departamento: Guadalupe, León
Coordenadas: 1374152N, 0512938E

Fecha de muestreo: 2016-05-27
Hora de muestreo: 12 h 00
Fecha del reporte: 2017-12-01
Código de laboratorio:LM-1605-0113

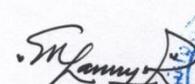
| No. | Parámetro | Método SMWW | Resultados | Límite de detección | Unidades |
|-----|--------------------------|---------------------|------------|---------------------|-------------------------------------|
| 1 | Actividad Deshidrogenasa | Margasin & Schinner | 11,096 | 0,292 | µg de INTF/(g de suelo seco * 2 h) |

Claves:

µg de INTF/(g * 2 horas): Microgramos de Iodonitrotetrazolium formazan liberado por gramo de suelo seco después de 2 horas de incubación.

Margasin, R. and Schinner, F., 2005.: Manual of soil analysis - Monitoring and assessing soil bioremediation. Chapter 17. Determination of enzyme activities in contaminated soil, 17.4 Deshidrogenase activity.

La muestra fue colectada, preservada y analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Manual of Soil Analysis. 2005


Dra. Martha Lacayo Romero
 Directora



¡A la libertad por la Universidad!

Recinto Universitario Ricardo Morales Avilés (RURMA) Pabellón D, aula D-4
 Apartado Postal: 663 .Teléfono directo: 22786769 ext. 6023, 6239; 22701287
 www.unan.edu.ni/lab_bio. Correo electrónico: biotecnologia@unan.edu.ni



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
UNAN - Managua
Laboratorio de Biotecnología



RESULTADOS ANALÍTICOS
BIOTECR - 2017-0431

Cliente/Proyecto: UNAN- Managua/ FPI
Atención: Dra. Katia Montenegro Rayo
Correo electrónico: katiamontenegro@hotmail.com
Teléfono de contacto: (505) 86712819

Matriz / Fuente: Sedimento/Fluvial
Identificación de la muestra: Río Chiquito/ aguas abajo
Localidad/Departamento: Barrio Subtiava, León
Coordenadas: 1373334 N, 0511230 E

Fecha de muestreo: 2017-01-18
Hora de muestreo: 09 h 54
Fecha del reporte: 2017-11-01
Código de laboratorio: LM-1701-0022

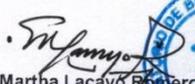
| No. | Parámetro | Método | Resultados | Límite de detección | Unidades |
|-----|--------------------------|---------------------|------------|---------------------|-------------------------------------|
| 1 | Actividad Deshidrogenasa | Margesin & Schinner | 16,991 | 1,369 | µg de INTF/(g de suelo seco * 2 h) |

Claves:

µg de INTF/(g * 2 horas): Microgramos de Iodonitrotetrazolium formazan liberado por gramo de suelo seco después de 2 horas de incubación.

Margesin, R. and Schinner, F., 2005.: Manual of soil analysis - Monitoring and assessing soil bioremediation. Chapter 17. Determination of enzyme activities in contaminated soil, 17.4 Deshidrogenase activity.

La muestra fue colectada, preservada y analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Manual of Soil Analysis. 2005


Dra. Martha Lacayo Romero
Directora



¡A la libertad por la Universidad!



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
UNAN - Managua
Laboratorio de Biotecnología



RESULTADOS ANALÍTICOS
BIOTECR-2017-0432

Cliente/Proyecto: UNAN- Managua/ FPI
Atención: Dra. Katia Montenegro Rayo
Correo electrónico: katiamontenegro@hotmail.com
Teléfono de contacto: (505) 86712819

Matriz / Fuente: Sedimento/Fluvial
Identificación de la muestra: Río Chiquito/ aguas arriba
Localidad, Municipio, Departamento: Guadalupe, León
Coordenadas: 1374152 N, 0512929 E

Fecha de muestreo: 2017-01-18
Hora de muestreo: 11 h 42
Fecha del reporte: 2017-11-01
Código de laboratorio: LM-1701-0023

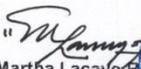
| No. | Parámetro | Método SMWW | Resultados | Límite de detección | Unidades |
|-----|--------------------------|---------------------|------------|---------------------|-------------------------------------|
| 1 | Actividad Deshidrogenasa | Margesin & Schinner | 7,544 | 1,369 | µg de INTF/(g de suelo seco * 2 h) |

Claves:

µg de INTF/(g * 2 horas): Microgramos de Iodonitrotetrazolium liberado por gramo de suelo seco después de 2 horas de incubación.

Margesin, R. and Schinner, F., 2005.: Manual of soil analysis - Monitoring and assessing soil bioremediation. Chapter 17. Determination of enzyme activities in contaminated soil, 17.4 Deshidrogenase activity.

La muestra fue colectada, preservada y analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Manual of Soil Analysis, 2005


Dra. Martha Lacayo Romero
Directora



¡A la libertad por la Universidad!

Recinto Universitario Ricardo Morales Avilés (RURMA) Pabellón D, aula D-4
Apartado Postal: 663 .Teléfono directo: 22786769 ext. 6023, 6239; 22701287
www.unan.edu.ni/lab_bio. Correo electrónico: biotecnologia@unan.edu.ni

2 de 2

2016-HB-149



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua
 Hospital Mena España, 300m al norte, Telefonos: (505) 2278 6981, 2278 6987, 2278 6980
 Teléfono: (505) 2287 8169, apartado postal: 6598, correo: ventas.servicios@crn.unan.edu.ni



Resultados Analíticos Cualitativos y Cuantitativos del Macrozoobentos

CLIENTE
UNAN-MANAGUA
 Recinto Universitario Ricardo Montiel Adán,
 Pabellón D, de la Zona Universitaria 1, c. al Norte,
 Managua, Managua
 Dn. Katia Montenegro
 Tel.: 2270 1287

MATER DE LA MUESTRA
FUENTE
 IDENTIFICACION POR CORRESPONDENCIA POR EL CLIENTE
LUGAR Y/O COLECTADO
 MARIPOSA, DESARROLLO
COORDENADAS
ESTACION
 HOLA DE MESTIZO
HORA DE MUESTREO
 10:10
TIPO DE MUESTREO
 Puntal

SEMUESTRO
FINAL
 Agua Abajo/ Rio Chiquito
 Sólidos
 Lodo, Lodo
 No Reportada
 16 horas
 2016-04-27
 10:10
 Puntal

CÓDIGO DEL LABORATORIO
 HB-149
FECHA DE RECEPCIÓN
 2016-04-27
FECHA DE EMPO DEL ANALISIS
 2016-04-30
FECHA DEL REPORTE
 2016-04-30

RESULTADOS

| Clasificación Taxonómica ¹⁾ | Densidad Polidorsal ²⁾ | Unidades | Métodos |
|--|-----------------------------------|--------------------|--|
| Phylum Vertebrata | 109 535 | Ind/m ² | Observación: 1) Muestreo: abarcar: 10m ² (0,65 x 5 m ²) 2) Clasificación taxonómica de los organismos: Observación Directa y uso de claves actualizadas contenidas en las referencias 1, 2, 3, 4 y 5 3) Métodos: Referencias contenidas en el inciso 6 |
| Class. Araneida | | | |
| Class. Chilopoda | | | |
| Class. Diplopoda | | | |
| Class. Insecta | | | |
| Order Coleoptera | | | |
| Family Chironomidae | 66 | Ind/m ² | |
| Chironomus sp | 11 | Ind/m ² | |
| Geddesiomyia sp | 55 | Ind/m ² | |
| Family Ceratopogonidae | 11 | Ind/m ² | |
| Procladius sp | 11 | Ind/m ² | |
| Sitona sp | 11 | Ind/m ² | |
| Family Dolichopodidae | 22 | Ind/m ² | |
| Aptenodytes sp | 22 | Ind/m ² | |
| Reptilium sp | | | |
| Family Peripodidae | | | |
| Mastira sp | | | |

Rosabel Véliz Barrantes
 Lic. Rosabel Véliz Barrantes
 MSc. Sinaí Hernández Domínguez
 MSc. José Roberto de la Torre
 MSc. Sinaí Hernández Domínguez
 MSc. José Roberto de la Torre

DECLARACIÓN DEL ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD ANALÍTICA EN ESTE REPORTE DE RESULTADOS

En función de las previsiones contenidas en la Norma Técnica Nicaragüense (NTN 04 001-05), el Laboratorio de Hidrobiología hace constar que la muestra codificada como HB-149 ha sido captada, preservada y transportada por el cliente. Ha sido procesada de acuerdo a los Procedimientos Operativos Normalizados establecidos por el Laboratorio para el Aseguramiento de la Calidad de la información presentada en este reporte. Los Procedimientos en mención son los descritos en el "Manual de Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Hidrobiología".

Conseguimos los resultados cualitativos y cuantitativos relevantes al procesamiento de la muestra que se encuentran en el tomo correspondiente al análisis solicitado en la bitácora general del laboratorio. Asimismo copia de estos registros los mantendrá la institución por un tiempo de 5 años.


AREA ANALITICA
CIRA/UNAN
Rosabel Véliz Barrantes
AREA ANALITICA

Los resultados emitidos en este informe se refieren únicamente al objeto ensayado. El Cliente está en libertad de reproducir total o parcialmente los resultados aquí anotados, bajo su propio nombre y responsabilidad. Podrá citar al Centro bajo expresa y formal autorización de la Dirección. Por su parte, el CIRA/UNAN-Managua se compromete a mantener confidencialidad del contenido de este informe de resultados, salvo expreso y formal consentimiento del Cliente.

Managua, a los veinte días del mes de junio del año dos mil dieciséis.


AREA TÉCNICA ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua

Hospital Monte Esmeralda 5001 en la zona, (Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982)
 (Teléfono (505) 2267 0769, alquilado postal 4594, Correo electrónico: cira@unan.edu.ni)

Resultados Análisis Cualitativos y Cuantitativos de Microorganismos



2016-HB-149

DECLARACION DEL ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD
ANALITICA EN ESTE REPORTE DE RESULTADOS

En función de las previsiones contenidas en la Norma Técnica Nicaragüense (NTN 04-001-05), el Laboratorio de Hidrobiología hace constar que la muestra codificada como HB-149 fue recibida, preservada y transportada por el cliente. Ha sido procesada de acuerdo a los Procedimientos Operativos Normalizados establecidos por el Laboratorio para el Aseguramiento de la Calidad de la información presentada en este reporte. Los Procedimientos en mención son los descritos en el "Manual de Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Hidrobiología".

Conservaremos los resultados cualitativos y cuantitativos relevantes al procesamiento de la muestra que se encuentran en el libro correspondiente al análisis solicitado en la bitácora general del laboratorio. Asimismo copia de estos registros los mantendremos a disposición por un tiempo de 5 años.

AREA ANALITICA
CIRA/UNAN

AREA ANALITICA
CIRA/UNAN

Los resultados emitidos en este informe se refieren únicamente al objeto ensayado. El Cliente está en libertad de reproducir total o parcialmente los resultados aquí analizados, bajo su propio nombre y responsabilidad. Podrá dar al Centro bajo expresa y formal autorización de la Dirección. Por su parte, el CIRA/UNAN-Matagua se compromete a mantener confidencialidad del contenido de esta misma de resultados salvo expreso y formal consentimiento del Cliente.

Matagua, a los veinte días del mes de junio del año de mil novecientos sesenta y seis.

AREA TECNICA, ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD
CIRA/UNAN

CLIENTE
UNAN-MATAGUA
 Facultad Universidad Ricardo Montes Alejo
 Pabellón 1, de la Facultad Universidad I. a. Norte,
 Matagua, Matagua
 Dra. Karla Montenegro
 Tel: 2270 1287

| MUESTRA DE LA MUESTRA | SEMENENTO |
|--|------------------------|
| FECHES | Final |
| IDENTIFICACION/DESCRIPCION/USO DE LA MUESTRA | Agua Majo/ Rio Chucelo |
| LUGAR DE ORIGEN | Salina |
| MUESTRO, EMPAQUE | Lata Lata |
| CONSERVACION | No congelada |
| FECHA DE MUESTRO | 29/06/2017 |
| FECHA DE MUESTRO | 29/06/2017 |
| TIPO DE MUESTRO | Final |
| CODIGO DE LABORATORIO | HB-149 |
| FECHA DE RECEPCION | 2016-06-27 |
| FECHA DE EMISION | 2016-06-30 |
| FECHA DE ENVIO | 2016-06-30 |

RESULTADOS

| Clasificación taxonómica ¹⁾ | Densidad Probable ²⁾ | Unidades | Métodos |
|--|---------------------------------|--------------------|---|
| Categoría: Clase: Translocados | | | |
| Higienización | 11 | U/ml ³⁾ | 1) Método: dilución (aprox. 10 ⁵ CFU/ml) 2) Clasificación taxonómica de las especies: Observación Directa y uso de claves actualizadas contenidas en las referencias 1, 2, 3 y 4 5 3) Método: Diferencial contada en el medio 8 |
| Total | 10188 | U/ml ³⁾ | Observación: Usar el de mayor |

CLIENTE:
 Muestro: **Final**
 Muestro: **Final**

Observaciones:
 Muestro: **Final**

Referencias:
 1) Norkko, G. 1996. Guía para el estudio de microorganismos acuáticos: el agua dulce o salada. Cereales, 27 pp. Libros de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, 1996, 308 pp. ISBN 9978-23-044
 2) "Guía" de 2003. Microorganismos de agua dulce y salada. Editorial: Biología Biología Tropical, 106 pp. ISBN 9978-23-044
 3) "Cartilla" de 1981. An introduction to the aquatic biology of freshwater. 72 pp. Second Edition. ISBN 0-540-31844-1 USA
 4) "Cartilla" de 1981. Biology of the freshwater. 240 pp. Second Edition. ISBN 0-540-31844-1 USA
 5) "Cartilla" de 1981. Biology of the freshwater. 240 pp. Second Edition. ISBN 0-540-31844-1 USA
 6) "Cartilla" de 1981. Biology of the freshwater. 240 pp. Second Edition. ISBN 0-540-31844-1 USA

Referencias del Método:
 1) "Manual de Métodos de la Comisión de Agua de las Naciones Unidas. American Public Health Association. Washington 2000. (Revisión 1995). Vol. 8 a 10 (1996)

Rafael Virella Uchire
 MSc. Silvia Hernández González
 Área de Microorganismos Acuáticos



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua
 Hospital Monte España 3007 m al norte, Teléfono (505) 2278 8981, 2278 6767 / 2278 8982
 Teléfono (505) 2257 8193, correo: venta.servicios@ccra-uanl.edu.ni



2016-HB-150

**DECLARACION DEL ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD
 ANALITICA EN ESTE REPORTE DE RESULTADOS**

En función de las previsiones contenidas en la Norma Técnica Nicaragüense (NTN 04 001-05), el Laboratorio de Hidrobiología hace constar que la muestra codificada como HB-150 fue captada, preservada y transportada por el cliente. Ha sido procesada de acuerdo a los Procedimientos Operativos Normalizados establecidos por el Laboratorio para el Aseguramiento de la Calidad de la información presentada en este reporte. Los Procedimientos en mención son los descritos en el "Manual de Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Hidrobiología".

Conservamos los resultados cualitativos y cuantitativos relevantes al procesamiento de la muestra que se encuentran en el tomo correspondiente al análisis sociado en la bitácora general del laboratorio. Asimismo copia de estos registros los mantendrá la institución por un tiempo de 5 años.



AREA ANALITICA
 AREA ANALITICA



ASEGURAMIENTO
 Y CONTROL DE LA CALIDAD

CLIENTE

UAN-MANAGUA
 Recinto Universitario Ricardo Montiel Añel
 Pabellón D, de la Segunda Universidad I. C. al Norte,
 Managua, Managua
 Dra. Estela Montenegro
 Tel.: 2270 1287

MATERIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACION PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
 LUJANO COMUNITARIO
 MASCUNA, DEPARTAMENTO
 COCONGUILA
 ELIMACION
 FECHA DE MUESTREO
 HORA DE MUESTREO
 TIPO DE MUESTREO

SECTOR

Agua Abierta / No Chirato
 Cuaque
 León León
 No Reportada
 56 meses
 2016-06-27
 12:10:00
 Paralelo

CÓDIGO DEL LABORATORIO

FECHA DE RECEPCION
 FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS
 FECHA DEL REPORTE

HB_150
 2016-06-27
 2016-06-31
 2016-06-29

RESULTADOS

Métodos

- 1) Muestreador (añelado) (Diámetro interno 105.5 cm²)
- 2) Calibración gravimétrica de los organismos.
- Observación: Dicho uso de datos estadísticos contenidos en las referencias 1, 2, 3, 4 y 5
- 3) Método: Identificar coincidencia en el modo B

| Clasificación Taxonomica ⁽¹⁾ | Densidad Poblacional ⁽²⁾ | Unidades | Resultados |
|---|-------------------------------------|--------------------|------------|
| Phylum Nematoea | 240 | Ind/m ³ | |
| Class Opisthokonta | | | |
| Phylum Rotatoria | 22 | Ind/m ³ | |
| Class Insecta | 44 | Ind/m ³ | |
| Phylum Arthropoda | | | |
| Class Insecta | | | |
| Phylum Coleoptera | | | |
| Class Insecta | | | |
| Phylum Siphonophora | 11 | Ind/m ³ | |
| Class Siphonophora | | | |
| Phylum Siphonophora | 22 | Ind/m ³ | |
| Class Siphonophora | | | |
| Phylum Siphonophora | 80 | Ind/m ³ | |
| Class Siphonophora | | | |
| Phylum Siphonophora | 44 | Ind/m ³ | |
| Class Siphonophora | | | |
| Phylum Siphonophora | 76 | Ind/m ³ | |
| Class Siphonophora | | | |

[Signature]
 Jefe de Laboratorio de Hidrobiología



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua

Hospital Monte España, 300m al norte, Teléfono: (505) 2278 6891, 2278 6197, 2278 6892
 Teléfono: (505) 2257 8169, correo: ventas.servicios@crn.unan.edu.ni

Resultados Analíticos Cualitativos y Cuantitativos del Microorganismo



CLIENTE

UNAN-MANAGUA
 Recinto Universitario Ricardo Montes Amín,
 Pabellón D, de la Zona Universitaria 1, c. al Norte,
 Managua, Managua
 Dra. Yelis Montenegro
 Tel: 2210 1287

MATRIZ DE LA MUESTRA

ORIGEN: REFINERÍA DE AZÚCAR
 IDENTIFICACIÓN: REPRODUCIDA POR EL CLIENTE
 LUJANO: LUJANO
 MANEJO: MANEJO
 COORDENADAS: COORDENADAS
 ELUCIEN: ELUCIEN
 FECHA DE MUESTREO: 2016-06-27
 TIPO DE MUESTREO: MUESTREO
 CÓDIGO DEL LABORATORIO: 2016-06-27
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2016-06-27
 FECHA DE EMISIÓN DEL REPORTE: 2016-06-30

SEGUIMIENTO

Final
 Agua dulce / río, Chuapio
 Guadalupe
 La U, La U
 No Reportada
 15 meses
 2016-06-27
 12.100
 Paralelo

Clasificación Taxonomica (1) **Densidad Probable(2)** **RESULTADOS**

| Clase Acarías | Unidades | Métodos |
|-------------------|----------|---|
| Orden Tardigrados | 76 | 1) Muestreo: método (Ogata) ver veni (005-5-07) 2) Clasificación taxonómica de los organismos: Observación Directa y uso de claves actualizadas contenidas en las referencias 1, 2, 3, 4 y 5 |
| Hydracarina | 633 | 3) Método: Referencias contenidas en el ítem 6 |
| Gelii | | |
| Tardii | | |

Observaciones: Usar el de autor

Clave:
 "nd" = Individuo por metro cuadrado
Data de Campo:
 Personal: Rivas, S&S et al

Referencias:

- 1) Ogata, G. 1968. Clave para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del departamento de Arica, Chile. 27 pp. Libro negro. ISBN 99 70 21304 4
- 2) Ogata, M. 2010. Macroinvertebrados de aguas dulces de Costa Rica. Borrador de estudio. Programa de Maestría en Ciencias Ambientales. Universidad Tecnológica de Costa Rica. 100 pp. ISBN 99 70 21304 4
- 3) Curran, K. 1994. An introduction to the aquatic insects of North America. 722 pp. Second Edition. ISBN 0-486-21180-0 USA
- 4) Paine, R. 1980. Zoología de los Invertebrados. Cuarta Edición. 877 pp. ISBN 969-25-5486-0. Interamericana. México - HI - México
- 5) Paine, R. W. 1973. Freshwater invertebrates of the United States. Edson, John Wiley and Sons, New York.

Referencia del Método:

"Guía de Métodos de Trabajo de Laboratorio de agua dulce de Costa Rica" Borrador de estudio. Programa de Maestría en Ciencias Ambientales. Universidad Tecnológica de Costa Rica. 100 pp. ISBN 99 70 21304 4

Yelis Montenegro
 Lic. Yelis Montenegro
 Jefe de Laboratorio de Hidrobiología

DECLARACIÓN DEL ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD ANALÍTICA EN ESTE REPORTE DE RESULTADOS

2016-HB-150

En función de las previsiones contenidas en la Norma Técnica Nicaragüense (NTN 04 001-05), el Laboratorio de Hidrobiología hace constar que la muestra codificada como HB-150 fue captada, preservada y transportada por el cliente. Ha sido procesada de acuerdo a los Procedimientos Operativos Normalizados establecidos por el Laboratorio para el Aseguramiento de la Calidad de la información presentada en este reporte. Los Procedimientos en mención son los descritos en el "Manual de Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Hidrobiología".

Conservamos los resultados cualitativos y cuantitativos relevantes al procesamiento de la muestra que se encuentran en el tomo correspondiente al análisis solicitado en la bitácora general del laboratorio. Asimismo copia de estos registros los mantendrá la institución por un tiempo de 5 años.



ÁREA ANALÍTICA
 CIRAJUANAN

Yelis Montenegro
 ÁREA ANALÍTICA

Los resultados emitidos en este informe se refieren únicamente al objeto ensayado. El Cliente está en libertad de reproducir total o parcialmente los resultados aquí anotados, bajo su propio nombre y responsabilidad. Podrá otorgar el consentimiento para la publicación de los resultados en la prensa, en el Internet o en cualquier otro medio de comunicación, siempre y cuando se mencione el nombre del Centro bajo expresa y formal autorización de la Dirección. Por su parte, el CIRAJUANAN-Managua se compromete a mantener confidencialidad del contenido de este informe de resultados, salvo expreso y formal consentimiento del Cliente.

Managua, a los veinte días del mes de junio del año dos mil dieciséis.

ÁREA TÉCNICA, ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD
 CIRAJUANAN



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
 Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua
 Prologar (Calle España 350) en el sector, Teléfono: (505) 2278 9591, 2278 9169, 2278 6982
 Telefax: (505) 2280 0369, Correo Electrónico: info@icra.unan.edu.ni
 Resultados Analíticos, Cualitativos y Cuantitativos del Microcosmos



2017-4B-003

**DECLARACION DEL ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD
 ANALITICA EN ESTE REPORTE DE RESULTADOS**

En función de las previsiones contenidas en la Norma Técnica Nicaragüense (NTN 04-001-05), el Laboratorio de Hidrobiología hace constar que la muestra codificada como HB-003 fue captada, preservada y transportada por el Cliente. Ha sido procesada de acuerdo a los Procedimientos Operativos Normalizados establecidos por el Laboratorio para el Aseguramiento de la Calidad de la información presentada en este reporte. Los Procedimientos en mención son los descritos en el "Manual de Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Hidrobiología".

Conservamos los resultados cualitativos y cuantitativos referentes al procesamiento de la muestra que se encuentran en el tomo correspondiente al análisis solicitado en la libreta general del laboratorio. Asimismo copia de estos registros los mantendremos a la disposición por un tiempo de 5 años.



Los resultados emitidos en este informe se refieren únicamente al objeto ensayado. El Cliente está en libertad de reproducir total o parcialmente los resultados aquí arrojados, bajo su propio nombre y responsabilidad. Podrá dar al Centro bajo expresa y formal autorización de la Dirección. Por su parte, el CIRAJUMANI-Matagua se compromete a mantener confidencialidad del contenido de este informe de resultados, salvo expreso y formal consentimiento del Cliente.



CLIENTE

UNAN-MATAGUA
 Recinto Universitario Ricardo Montes Améz Pineda 10,
 de la Rodada Universidad La C. el Norte
 Matagua, Matagua
 Teléfono: (505) 22770287

MATERIA DE LA MUESTRA

FRONTE
 IDENTIFICACION RESPOSICIONADA POR EL CLIENTE
 USADA Y/O COMANDO
 MUESTRA, ENTAMBIENTO
 COMERCIAL
 ELECTIVA
 FICHA DE MUESTRO
 HOJA DE MUESTRO
 TIPO DE MUESTRO
 PROCEDIMIENTO
 CODIGO DE LABORATORIO
 FICHA DE RECEPCION
 FICHA DE MODO DE ANALISIS
 FICHA DEL REPORTE

SEGUIMIENTO

Paralel
 Agua entera
 Guadalupe
 León
 No Reporta
 No Reporta
 2017-01-18
 11-1-42
 Paralel
 No Reporta
 HB-003
 2017-01-18
 2017-01-23
 2017-02-29

RESULTADOS

| Clasificación taxonómica ⁽¹⁾ | Densidad poblacional ⁽²⁾ | Unidades | Métodos |
|---|-------------------------------------|--------------------------|--|
| Phylum Arthropoda | | | Observaciones: 1) Material afilado (7 días) (Ver veen (30x2.5x cm) 2) Clasificación taxonómica de las especies: Observación: Dirección y uso de datos actualizados contenidos en las versiones 1, 2, 3 y 4 3) Método: referencias contenidas en el inciso 5 |
| Clase Insecta | | | |
| Orden Diptera | | | |
| Familia Phoridae | 102 | Ind.m ³ | |
| Phoridae sp | | | |
| Familia Limoniidae | 102 | Ind.m ³ | |
| Limoniidae sp | | | |
| Orden Tracheoptera | | | |
| Orden Tracheoptera | 18 | Ind.m ³ | |
| Phylum Vermida | 68 | Ind.m ³ | |
| Gel | | | |
| TOTAL | 288 | Ind.m³ | |

CEL: Celular no disponible
 Mail: e-mail por correo electrónico

Referencias:

Compton, K. 1987. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. 702 pages. Second Edition. ISBN: 0-402-13903-0, U.S.A.

Phoridae, K. 1918. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1920. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1921. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1922. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1923. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1924. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1925. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1926. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1927. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1928. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1929. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1930. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1931. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1932. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1933. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1934. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1935. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1936. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1937. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1938. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1939. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1940. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1941. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1942. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1943. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1944. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1945. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1946. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1947. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1948. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1949. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1950. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1951. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1952. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1953. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1954. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1955. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1956. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1957. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1958. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1959. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1960. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1961. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1962. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1963. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1964. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1965. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1966. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1967. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1968. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1969. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1970. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1971. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1972. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1973. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1974. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1975. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1976. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1977. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1978. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1979. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1980. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1981. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1982. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1983. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1984. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1985. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1986. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1987. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1988. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1989. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1990. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1991. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1992. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1993. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1994. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1995. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1996. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1997. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1998. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 1999. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 2000. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 2001. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 2002. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 2003. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 2004. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 2005. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 2006. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 2007. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 2008. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 2009. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 2010. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 2011. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 2012. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 2013. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 2014. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 2015. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 2016. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Phoridae, K. 2017. The Phoridae of the United States. Cornell University Press, Ithaca, New York.