



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA  
UNAN - MANAGUA

CENTRO PARA LA INVESTIGACIÓN  
EN RECURSOS ACUÁTICOS  
DE NICARAGUA

CIRA/UNAN-MANAGUA



---

Trabajo de Tesis

Para optar al grado de

Máster en Ciencias del Agua

**Título del Trabajo**

**“Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación  
que recibe el lago Cocibolca, de la cuenca del río Sapoá”**

**Autor**

Lic. Yuri Vargas Delgado

**Tutor:** MSc. Yader Caballero Arbizu.

**Asesor:** MSc. Junette Molina Marcia.

**Managua, 17 de abril del 2020**

Financiado por: Proyecto Manejo de Agua en Nicaragua y Centroamérica; y el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, CIRA/UNAN-Managua.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

## **Dedicatoria**

A mis padres Guillermo Vargas y a mi madre Azucena Delgado por el apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de mi vida y principalmente en mis estudios para superarme y tener éxitos en la vida.

A mi esposa por apoyarme y brindarme el cariño y apoyo moral para concluir con este proyecto de tesis.

A mis hermanos por el apoyo y el cariño que me han ofrecido en todas las etapas de mi vida.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer a nuestra institución, el CIRA/UNAN-Managua que me dio la oportunidad de cursar y culminar mis estudios, así como de financiar mi tesis, al equipo de coordinación del Programa, en especial a la MSc. Valeria Delgado Quezada.

A mi tutor MSc. Yader Caballero Arbizú, mi asesora Juniette Molina Marcia Universidad de Calgary, quienes con fondos de ACDI, hicieron posible la beca que me permitió estudiar. De igual manera, a los técnicos del INETER (Oscar Pérez, Ulises Gomez y Ricardo Gonzales), a mi núcleo familiar, mis padres y hermanos.

Contenido

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Área de Estudio.....	2
1.1.1 Ubicación.....	3
1.1.2 Clima .....	3
1.1.2 Temperatura .....	4
1.1.3 Precipitación .....	4
1.1.4 Geología .....	5
1.1.5 Geomorfología .....	6
1.1.6 Suelos.....	7
1.1.6.1 Tipos de suelos .....	7
1.1.6.2 Usos del suelo.....	8
1.2 Antecedentes .....	10
1.3 OBJETIVOS .....	12
1.3.1 Objetivo general.....	12
1.3.2 Objetivos específicos.....	12
1.4 Planteamiento del problema.....	13
1.5 Justificación.....	15
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 Sedimentos .....	17
2.1.1 Fuentes de los sedimentos .....	17
2.2 Clasificación de los sedimentos .....	18
2.2.1 Según su origen .....	18

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

2.2.2 Según su tamaño .....	18
2.3 Transporte de los sedimentos .....	19
2.4 Propiedades de los sedimentos .....	20
2.4.1 Color .....	20
2.4.2 Tamaño .....	20
2.4.3 Textura .....	20
2.5. Radiocronología .....	22
2.5.1 Núcleos sedimentarios .....	22
2.5.2 Técnica de fechado con $^{210}\text{Pb}$ en núcleos sedimentarios.....	23
2.5.2.1 Propiedades físicas del $^{210}\text{Pb}$ .....	23
2.5.2.2 Fuentes de $^{210}\text{Pb}$ .....	24
2.5.2.3 Fundamento del fechado con $^{210}\text{Pb}$ .....	26
2.5.2.4 Consideraciones del fechado .....	27
2.5.2.5 Modelo de fechado por $^{210}\text{Pb}$ .....	27
2.6. Contaminación provocada por los sedimentos a las aguas superficiales. ....	31
2.6.1 Dimensiones provocadas por la contaminación por sedimentos .....	31
2.6.1.1 Dimensión física.....	31
2.6.1.2. Dimensión química.....	31
2.6.2 Sedimentos como contaminantes físicos.....	32
2.6.2.1 Altos niveles de turbidez .....	32
2.6.2.2 Sedimentación.....	33
2.6.3. Sedimentos como contaminantes químicos .....	33
CAPÍTULO 3. DISEÑO METODOLÓGICO.....	36
3.1 Tipo de estudio.....	36
3.2 Recolección de información .....	36

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

3.2.1 Selección de los sitios de aforo .....	37
3.2.2 Selección de los sitios de muestreo para sedimentos superficiales. ....	38
3.2.3 Selección de los sitios de muestreo para perfil de sedimentos .....	39
3.2.4 Selección de los sitios de muestreo para agua superficial .....	39
3.3 Trabajo de campo .....	40
3.3.1 Aforos líquido y sólido.....	40
3.3.2 Muestreo.....	41
3.3.2.1 Sedimentos .....	41
3.3.2.2 Muestreo de aguas superficiales.....	42
3.4 Metodología .....	43
3.4.1 Metodología de aforos .....	43
3.4.1.1 Aforo líquido .....	43
3.4.2 Granulometría.....	48
3.4.3 Materia orgánica .....	48
3.4.4 Análisis de <sup>210</sup> Pb.....	48
3.4.5 Análisis físico químico .....	49
CAPÍTULO 4 RESULTADOS .....	51
4.1 ESTIMAR EL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN DEL RIO SAPOÀ HACIA EL LAGO COCIBOLCA .....	51
4.1.2 Caudal líquido.....	51
4.1.3 Carga de sedimentos en suspensión .....	52
4.2 CARACTERIZACIÓN GRANULOMÉTRICA Y CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA.....	54
4.2.1 Granulometría en el río Sapoá y el lago Cocibolca .....	55
4.2.1.1 Tamaño de partícula y textura.....	55

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

4.3.1.2 Materia Orgánica en los sedimentos del río Sapoá y el lago Cocibolca....	57
4.3 FECHAMIENTO DE LOS SEDIMENTOS .....	58
4.3.1 Actividad de $^{210}\text{Pb}$ .....	58
4.3.2 $^{210}\text{Pb}$ Soportado ( $^{210}\text{Pb}_{\text{sop}}$ ) .....	59
4.3.3 $^{210}\text{Pb}$ en exceso ( $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ).....	60
4.3.4 Fechado con $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ .....	60
4.3.4.1 Selección del modelo .....	60
4.3.5 Geocronología de los sedimentos del área de estudio .....	61
4.3.6 Tasas de acumulación y sedimentación de los sedimentos .....	62
4.4 CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL POR LOS SEDIMENTOS.....	64
4.4.1 Contaminantes físicos .....	64
4.4.1.1 Turbidez y Sólidos Totales Suspensos .....	64
4.4.1.2 Conductividad y Sólidos Disueltos .....	66
4.5.1 Contaminantes Químicos .....	69
4.5.1.1 Nitrógeno.....	69
4.5.1.2 Fósforo .....	71
4.5.1.3. Concentraciones de DBO y DQO .....	76
4.5.1.4. Relación DBO/DQO .....	79
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....	81
CAPÍTULO 6. RECOMENDACIONES .....	82
CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA. ....	84
7.1. Bibliografía Web.....	91
CAPÍTULO 8. ANEXO.....	93

## **Índice de figuras**

Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Sapoá.....	3
Figura 2. Registro histórico de precipitaciones en la cuenca del río Sapoá.....	5
Figura 3. Geológica de la cuenca del río Sapoá.....	6
Figura 4. Tipo de suelos en la cuenca del río Sapoá.....	8
Figura 5. Uso del suelo en la cuenca del río Sapoá.....	9
Figura 6. Triángulo textural de USDA.....	21
Figura 7. Cadena de desintegración del $^{238}\text{U}$ (Sánchez-Cabezas et al, 2012).....	24
Figura 8. Esquema simplificado del decaimiento radiactivo del $^{238}\text{U}$ que muestra la acumulación en sedimentos subacuáticos de $^{210}\text{Pb}$ exceso (no soportado) transportado por vía atmosférica y de $^{210}\text{Pb}$ formado in situ (soportado), como fuente en los sedimentos (Flores M., 2014).....	25
Figura 9. Ubicación de los sitios de muestreo y aforo en el área de estudio.....	38
Figura 10. Nucleador de gravedad tipo Uwitec, utilizado para la extracción de perfil de sedimentos.....	42
Figura 11. Sitio de muestreo y aforo en el río Sapoá.....	44
Figura 12. Sección transversal de la corriente que ilustra el método de sección media para determinar el caudal.....	44
Figura 13. Molinete Gurly de eje vertical o cazoletas: Tipo Price, de origen norteamericano.....	46
Figura 14. Muestreador integrado de profundidad tipo U.S.D. – 49.....	47
Figura 15. Aforo Líquido en el río Sapoá en octubre 2013 y marzo 2014.....	52
Figura 16. Aforo Sólidos en el río Sapoá en octubre 2013 y marzo 2014.....	54
Figura 17. Composición granulométrica de los sedimentos del río Sapoá y el lago Cocibolca en octubre de 2013 y marzo 2014.....	55
Figura 18. Variación espacial de concentración de $^{210}\text{Pb}$ vs Profundidad del perfil de sedimento ubicado frente a la desembocadura del río Sapoá en el lago Cocibolca.....	59



*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

Figura 19. Variaciones de la tasa de acumulación (a) y de sedimentación (b) a través del tiempo frente a la desembocadura del río Sapoá en el lago Cocibolca.....	63
Figura 20. Turbidez y Sólidos Totales Suspensos.....	66
Figura 21. Conductividad y sólidos disueltos en el río Sapoá y lago Cocibolca en octubre 2013 y marzo 2014.....	68
Figura 24. Relación Fósforo Total/Nitrógeno Total en las aguas del río Sapoá y lago Cocibolca en octubre 2013 y marzo 2014.....	76
Figura 25. Demanda Bioquímica de Oxígeno octubre 2013 y marzo 2014.....	77
Figura 26. Demanda Química de Oxígeno octubre 2013 y marzo 2014.....	78
Figura 27. Relación DBO/DQO octubre 2013 y marzo 2014.....	80

## **Índice de tablas**

Tabla 1. Tamaño de las partículas de sedimentos.....	19
Tabla 2. Ubicación de los sitios de Aforo. ....	37
Tabla 3. Ubicación del sitio de muestreo de perfil de sedimentos.....	39
Tabla 4. Ubicación de los sitios de muestreo de aguas superficiales. ....	40
Tabla 5. Métodos utilizados en el análisis físico químico del agua. ....	50
Tabla 6. Resultados del Aforo Líquido en el río Sapoá. ....	51
Tabla 7. Resultados de aforos sólidos en el río Sapoá. ....	53
Tabla 8. Composición de la granulometría y materia orgánica del río Sapoá y el lago Cocibolca en octubre 2013 y marzo 2014. ....	56
Tabla 9. Geocronología de sedimentos de <sup>210</sup> Pb en el lago Cocibolca frente a la desembocadura del río Sapoá. ....	61
Tabla 10. Turbidez, río Sapoá y lago Cocibolca.....	65
Tabla 11. Conductividad y concentraciones de Sólidos Totales Disueltos, río Sapoá y lago Cocibolca.....	67
Tabla 12. Concentraciones de Nitrógeno, río Sapoá y lago Cocibolca. ....	70
Tabla 13. Concentraciones Fósforo total en el río Sapoá y lago Cocibolca. ....	72
Tabla 14. Estado trófico según concentraciones de Fósforo. ....	74
Tabla 15. Relación Nitrógeno Total y Fósforo Total.....	75
Tabla 16. Relación entre parámetro DBO/DQO.....	79
Tabla 17. Relación DBO/DQO (mg. l <sup>-1</sup> ). ....	80

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

## **Índice de Anexos**

Tabla 1. Concentraciones de DBO.

Tabla 2. Concentraciones de DQO.

Tabla 3. Concentraciones del Nitrógeno y sus especies en el río Sapoá y lago Cocibolca octubre 2013.

Tabla 4. Concentraciones del Nitrógeno y sus especies en el río Sapoá y lago Cocibolca marzo 2014.

Tabla 5. Decaimiento Radioactivo según profundidad del perfil de sedimento del lago Cocibolca.

Figura 1. Perfil transversal del río Sapoá, Zona fronteriza (a) y Desembocadura (b)

Figura 2. Río Sapoá

Figura 3. Margen derecha del río Sapoá.

Figura 4. Muestreo en el río Sapoá.

Figura 5. Granulometría en el río Sapoá y lago Cocibolca, octubre 2013.

Figura 6. Granulometría en el río Sapoá y lago Cocibolca, marzo 2014.

Figura 7. Ubicación de la cuenca del río Sapoá.

Figura 8. Registro histórico de precipitaciones en la cuenca del río Sapoá

Figura 9. Geológica de la cuenca del río Sapoá.

Figura 10. Tipo de suelos en la cuenca del río Sapoá.

Figura 11. Uso del suelo en la cuenca del río Sapoá.

Figura 12. Ubicación de los sitios de muestreo y aforo en el área de estudio.

Figura 13 Aforo Líquido en el río Sapoá en octubre 2013 y marzo 2014.

Figura 14. Aforo Sólidos en el río Sapoá en octubre 2013 y marzo 2014.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

Figura 15. Concentraciones de Fósforo

Figura 16. Relación Fósforo Total/Nitrógeno Total en las aguas del río Sapoá y lago Cocibolca en octubre 2013 y marzo 2014.

Figura 17. Demanda Bioquímica de Oxígeno octubre 2013 y marzo 2014.

Figura 18. Demanda Química de Oxígeno octubre 2013 y marzo 2014.

Figura 19. Relación DBO/DQO octubre 2013 y marzo 2014.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

## **Abreviaciones**

**ARCAL** Cooperación Regional para la Promoción de la Ciencia y Tecnologías Nucleares en América Latina y el Caribe.

**CAPRE** Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana.

**CIRA** Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos,

**COSUDE** Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.

**CWQG** Canadian Water Quality Guidelines.

**DBO** Demanda Bioquímica de Oxígeno

**DQO** Demanda Química de Oxígeno

**FAO** Food and Agriculture Organization of the United Nation.

**INETER** Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales.

**MAGFOR** Ministerio Agropecuario y Forestal

**MARENA** Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales.

**MIVAH** Ministerio de la Vivienda y Asentamientos Humanos (Costa Rica).

**NTON** Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense para Agua potable

**OIEA** Organismo Internacional de Energía Atómica.

**PROATAS** Programa de Asistencia Técnica en Agua y Saneamiento

**PROCUENCA SAN JUAN** Proyecto de la cuenca del Río San Juan

**UNA** Universidad Nacional Agraria.

**UNAN** Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.

**DAEU** Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, por sus siglas en inglés

**USDA.**

## **Resumen**

El arrastre de sedimentos en las cuencas constituye un problema que afecta los ecosistemas acuáticos; los ríos constituyen el principal agente de transporte de los sedimentos. La cuenca del río Sapoá es una de gran importancia porque sus aguas drenan hacia el lago Cocibolca. Tiene una extensión de 377.3 km<sup>2</sup>, pertenece a la cuenca del Río San Juan de Nicaragua y geográficamente se encuentra ubicado entre el cantón La Cruz (Costa Rica) y el municipio de Cárdenas (Nicaragua). Las principales actividades económicas en el área de la cuenca son la agricultura y la ganadería las cuales tienen gran dependencia del agua superficial. Esta investigación se llevó a cabo para estimar el arrastre de sedimentos desde la cuenca y su impacto en los sedimentos del río Sapoá y el lago Cocibolca. En este estudio se caracterizó la granulometría y el contenido de materia orgánica en los sedimentos del río Sapoá y frente a su desembocadura en el lago Cocibolca. Además, se estimaron la tasa de sedimentación y acumulación de sedimentos en el fondo del lago Cocibolca.

Para estimar la carga de sedimentos en suspensión se utilizó un muestreo integrado de profundidad; para la caracterización de la granulometría se utilizó pipeta Kohn y para la materia orgánica Walkley y Black; para estimar la tasa de sedimentación y acumulación de sedimentos en el Cocibolca se utilizó la técnica nuclear de <sup>210</sup>Pb en un perfil de sedimentos.

La mayor carga de sedimentos en suspensión encontrada en el río fue de 99,9 t. día<sup>-1</sup> en octubre 2013; la fracción dominante en el río en octubre 2013 y marzo 2014 fue la de limo, mientras en el lago Cocibolca predominaron las arenas. Por otro lado, el fechado del perfil de sedimento registró la edad de 118 años, la mayor sedimentación se registró en 1981 con 0.43 cm año<sup>-1</sup> y la mayor acumulación de sedimentos en 2005 con 0.06 g cm<sup>2</sup> año. Las variaciones en los sedimentos del fondo en el lago Cocibolca son debido al uso inadecuado de los suelos, aumento en la población y fenómenos meteorológicos.

Palabras clave: Arrastre de sedimentos, tasa de sedimentación y acumulación de sedimentos, impacto.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

La cuenca del Río San Juan de Nicaragua 952 de nivel 3 (PROATAS, 2014), está formada por los grandes lagos (Xolotlán y Cocibolca) y el Río San Juan de Nicaragua con una extensión de 42 035,58 km<sup>2</sup>. En esta cuenca se encuentra la cuenca del río Sapoá 69-952572 de nivel 6 (PROATAS, 2014), la cual tiene una extensión de 377,3 km<sup>2</sup> y nace en Costa Rica (Cantón La Cruz) terminando su recorrido en territorio nicaragüense (Municipio de Cárdenas), cuyo drenaje principal desemboca en el lago Cocibolca. Los suelos de la cuenca del río Sapoá están siendo utilizados para cultivos de naranja, piña, arroz, cultivos de teca y pastizales localizados al sur de la frontera y más próximas al lago.

Las practicas agrícolas en conjunto con la geología y la topografía en la cuenca provocan grandes cantidades de sedimentos, siendo arrastrados por el río y depositados en el lago Cocibolca, aumentando la sedimentación y posiblemente provocando el deterioro de la calidad del agua de este valioso cuerpo de agua. Desde la cuenca de drenaje por el material erosionado están llegando nutrientes en cantidades considerables de fósforo y nitrógeno al lago Cocibolca. Es relevante mencionar que el agua del lago Cocibolca es utilizada para riego de los cultivos agrícolas (caña de azúcar) y abastecimiento de agua potable en los poblados de Juigalpa, San Carlos, Morrito, Cárdenas, San Juan del Sur y próximamente en la ciudad de Rivas.

Esta investigación se llevó a cabo para conocer el aporte de sedimentos desde la cuenca del río Sapoá al lago Cocibolca, así como la influencia de la sedimentación y su impacto en la calidad de agua del río y del lago y proponer medidas para un mejor manejo y conservación de los suelos en la cuenca.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

El caudal del río Sapoá aportó  $941\,500\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$  en octubre 2013 y  $607\,910\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$  en marzo 2014 al lago Cocibolca. El aporte de la carga de sólidos coincide con los caudales medidos encontrándose de  $98,949\text{ Ton}\cdot\text{d}^{-1}$  en octubre 2013 y  $0,637\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$  en marzo 2014.

El perfil de sedimento frente a la desembocadura del río Sapoá en el lago Cocibolca registró la historia de los cambios ambientales de los últimos 118 años. Se evidenció cambios en la tasa de sedimentación a partir de 1979 hasta 1985 y de 2009 a 2013 con  $0.30, 0.43, 0.32, 0.34$  a  $0.58\text{ cm}\cdot\text{año}^{-1}$  respectivamente. En lo que respecta a la tasa de acumulación de sedimentos se obtuvieron valores entre  $0.05$  a  $0.06\text{ g cm}^2\cdot\text{año}^{-1}$  a partir de 1979 siendo mayor en el año de 2005.

También se evaluó la calidad del agua del río Sapoá y el lago Cocibolca utilizando algunos indicadores físicos y químicos y no presentan problemas en relación a su composición física y química a excepción de la turbidez y el hierro que sobrepasan los límites establecidos por las Normas CAPRE (1994) y canadiense (2008).

De acuerdo a los resultados de la granulometría en los sedimentos muestreados en el río Sapoá predomina la fracción de limo, mientras en los sedimentos muestreados en el lago Cocibolca predomina la fracción de arena. El contenido de materia orgánica está estrechamente relacionado con las partículas finas especialmente las arcillas en los sedimentos muestreados en el río Sapoá y el lago Cocibolca.

## **1.1 Área de estudio**



*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

### 1.1.1 Ubicación

La cuenca del río Sapoá tiene una extensión de 377,3 km<sup>2</sup> (figura 1), y geográficamente pertenece a Cantón La Cruz, provincia de Guanacaste (Costa Rica - 338,7 km<sup>2</sup>) y el municipio de Cárdenas, Rivas (Nicaragua - 38,6 km<sup>2</sup>). El río Sapoá, tiene una longitud de 57,62 km, nace en territorio de Costa Rica y desemboca en territorio nicaragüense en el lago Cocibolca, corresponden a Costa Rica 52,82 km y a Nicaragua 4,8 km.

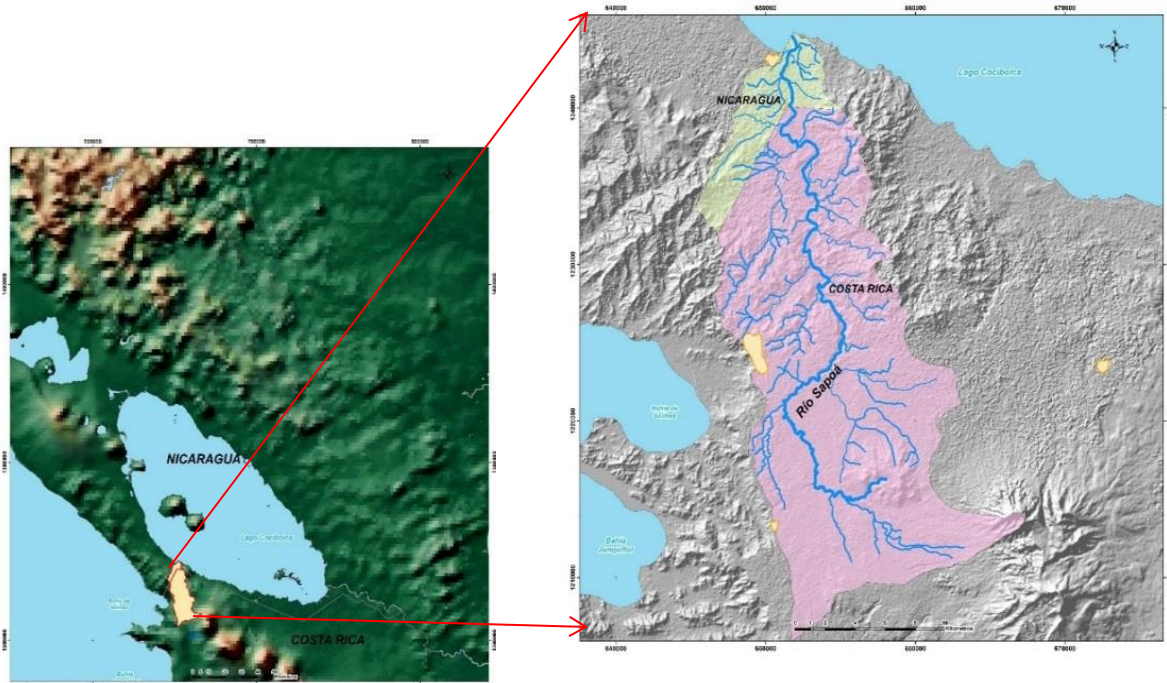


Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Sapoá.

### 1.1.2 Clima

La cuenca tiene un clima desde el tropical húmedo a tropical seco, influenciado por la cordillera de Guanacaste, el océano Pacífico y el lago de Nicaragua (PROCUENCA, 2004).

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

### **1.1.2 Temperatura**

La temperatura media anual registrada en la cuenca presenta valores entre 26 °C a 28 °C en la parte norte y entre 22 °C a 24 °C en las cercanías del volcán Orosí (Rojas, 2011). Este dato es comparable a los registros existentes para el municipio de Cárdenas, con un registro de temperatura media anual de 27 °C (INETER-COSUDE, 2005).

### **1.1.3 Precipitación**

De acuerdo a la figura 2, las precipitaciones registradas en la cuenca del río Sapoá se encuentran en el rango de 1400-1600 mm, en la parte nicaragüense, y de 1600 mm a 3200 mm (volcán Orosí) en Costa Rica siendo mayor entre los meses de Julio a Octubre (Rojas, 2011).

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

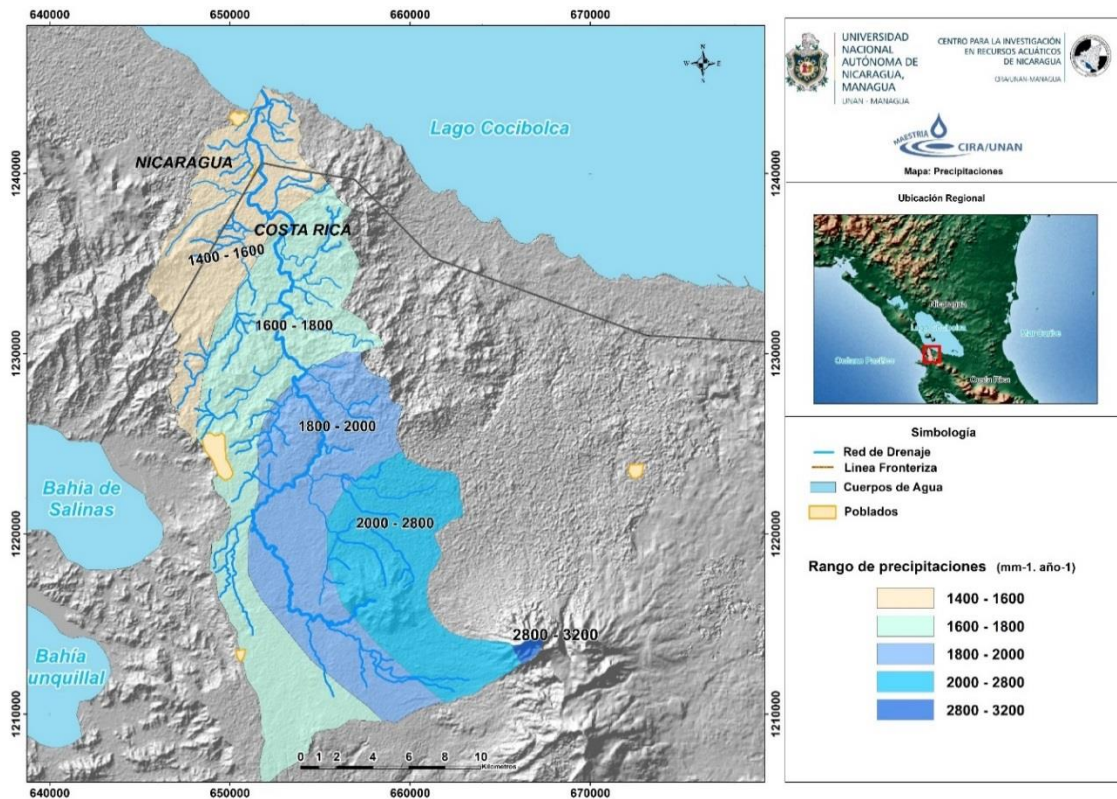


Figura 2. Registro histórico de precipitaciones en la cuenca del río Sapoá

Fuente: CIRA-UNAN, (2007)

### 1.1.4 Geología

El Cantón de La Cruz está constituido geológicamente, por materiales de los períodos cretácico, terciario y cuaternario, siendo las rocas volcánicas del cuaternario las que predominan en la región. Del período cretácico, se encuentran rocas de origen volcánico, intrusivo y sedimentario. Entre los materiales del período Terciario, se hallan rocas de origen sedimentario y volcánico. Las sedimentarias, de la época eoceno paleoceno, corresponden a las formaciones Brito y Barra Honda. De los materiales del período cuaternario, se localizan rocas de origen volcánico y sedimentario. Las volcánicas son de las épocas Pleistoceno y Holoceno; que a la primera corresponden las formaciones Bagaces y Liberia, así como Lahares sin

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

diferenciar (MIVAH, 2012). En la parte baja de la cuenca se identifican rocas del cretácico representada por la formación Rivas y Brito predominan las areniscas arcosas, areniscas calcáreas, calizas, margas, dolomitas, arcillas y lutitas (CIRA-UNAN, 2007).

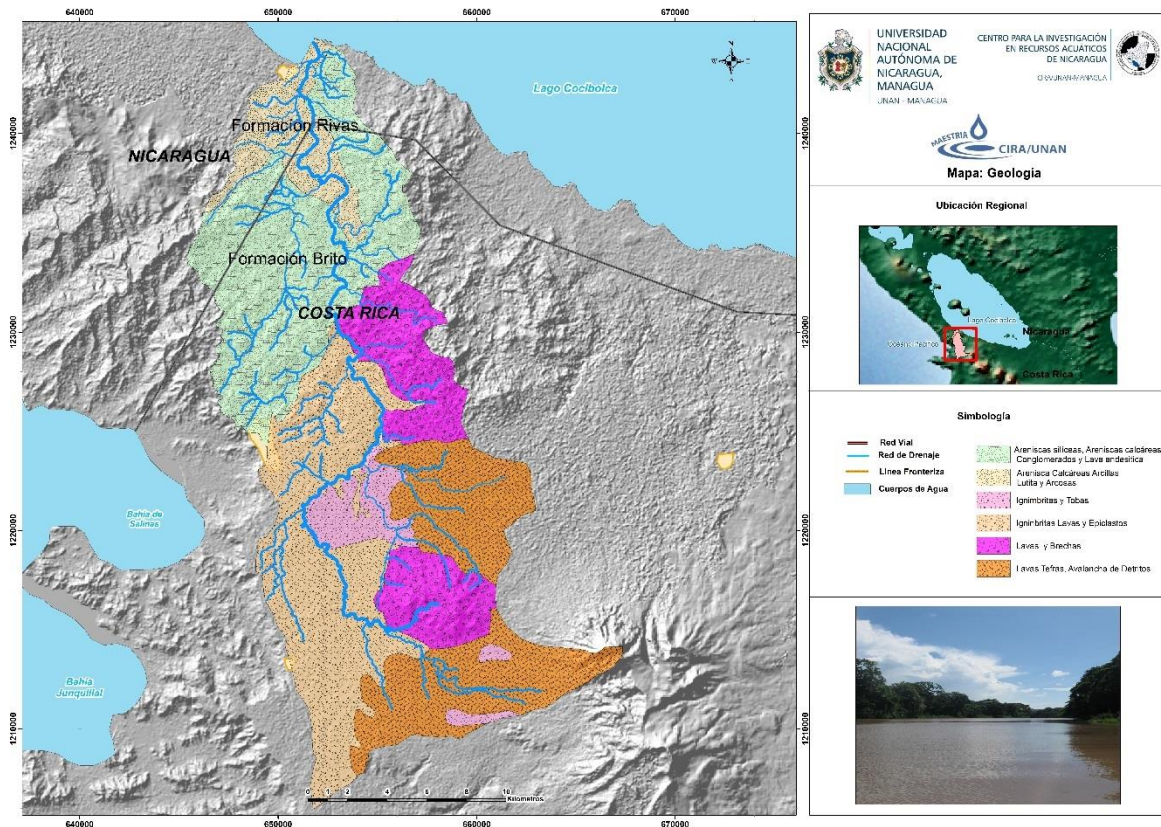


Figura 3. Geológica de la cuenca del río Sapoá.

Fuente: Propia a partir de CIRA-UNAN, (2007) y Rojas, N. (2011).

### 1.1.5 Geomorfología

La geomorfología de la cuenca del río Sapoá está compuesta por una planicie de origen volcánico en la parte baja de la cuenca los cuales se formaron a partir de

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

materiales piroclásticos (cenizas y arenas), provenientes de erupciones del volcán Orosí y que fueron depositados en las áreas planas a onduladas paralelas al lago de Nicaragua, y zonas muy escarpadas localizadas en la parte alta de la cuenca, en la cordillera de Guanacaste con alturas que superan los 1400 msnm.

La parte de la cuenca perteneciente a Nicaragua está localizada en la unidad geomorfológica definida por Marín (2007) como Planicies de Rivas, se caracterizan por constituir una planicie costanera emergente de relieve bajo, formada en su mayor por deposición de materiales lacustres y aluviales sobre yacida por piroclastos del cuaternario. En el sector sur, ésta se encuentra sobre la formación del cretáceo Rivas ligeramente inclinada. El límite con la Cordillera de Brito, es una divisoria de drenaje marcada por una falla escarpada (Marín, 2007).

### **1.1.6 Suelos**

#### 1.1.6.1 Tipos de suelos

La clasificación taxonómica de los suelos en el área de la cuenca perteneciente a Costa Rica está definida como: Inceptisoles, molisoles y entisoles, (CIRA-UNAN, 2007), los cuales según con datos obtenidos coinciden en algunas áreas con la taxonomía realizada por el MARENA (2010), que clasifica los suelos en la parte baja de la cuenca (Nicaragua) como: Alfisoles, molisoles, vertisoles y entisoles (figura 4).

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

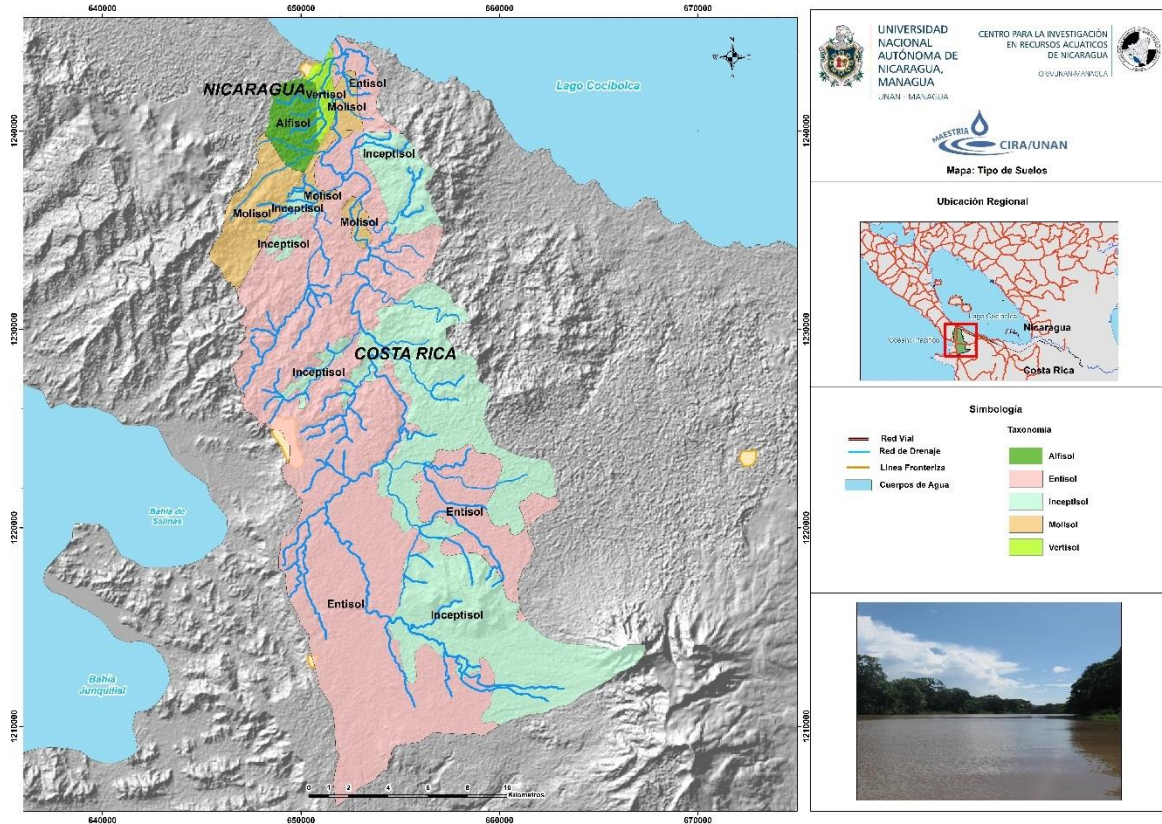


Figura 4. Tipo de suelos en la cuenca del río Sapoá.

Fuente: UNA, MAGFOR, INETER (2015) y Rojas, N. (2011).

### 1.1.6.2 Usos del suelo

En la parte costarricense de la cuenca los suelos son utilizados para el cultivo de Teca en la margen fronteriza en dirección sur y adentrándose más a la cuenca se utilizan para cultivos de maíz, frijoles y plátanos en las comunidades de Guapinol, Las Brisas, San Fernando, Las Vueltas, Peñas Blancas, San Dimas y Florida, mientras que los suelos en Jaragua y Bisonte predominan los pastizales para la ganadería. En territorio nicaragüense de la cuenca los suelos son utilizados para cultivos de plátano, arroz y para pasto utilizado para la actividad ganadera, en la comarca Sapoá (Espinoza, 2013). El uso de los suelos en la cuenca del río Sapoá se muestra en la figura 5.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

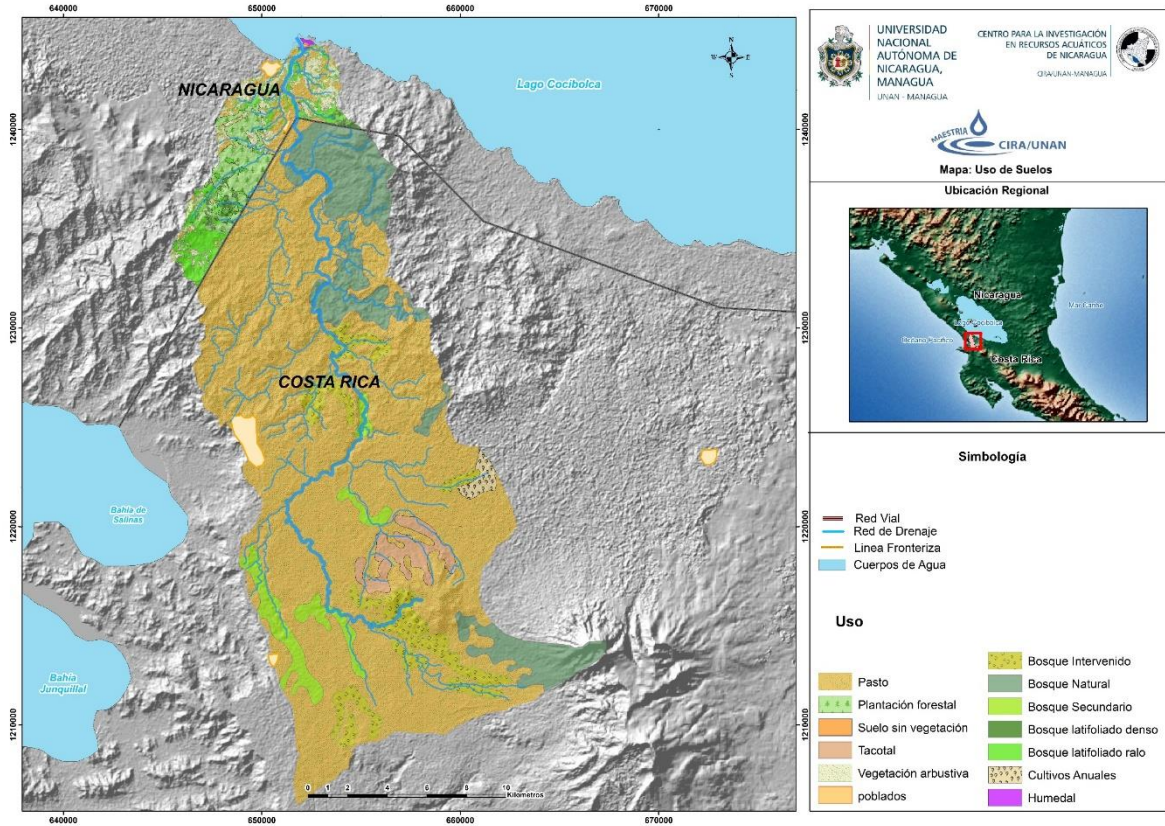


Figura 5. Uso del suelo en la cuenca del río Sapoá.

Fuente: UNA, MAGFOR, INETER (2015) y Rojas, N. (2011).

## **1.2 Antecedentes**

Uno de los principales problemas ambientales en el lago Cocibolca es la sedimentación porque recibe una gran cantidad de sedimentos que son transportados por los ríos desde sus cuencas de drenaje hacia el lago. El lago Cocibolca es el depósito de los sedimentos aportados por sus afluentes; además, recibe los escurrimientos laminares y subsuperficiales (PROCUENCA, 2004). En un período de 9 años, desde 1994 hasta 2003 se ha encontrado, deterioro de la calidad del agua, como producto del exceso de la carga de nutrientes en las aguas superficiales, lo que provoca un desequilibrio en la biota acuática que ha sido principalmente causado por actividades de origen antrópico que se desarrollan en el área de la cuenca, las cuales han propiciado un aumento en la sedimentación y en el aporte de nutrientes; esto ha provocado afectaciones para el aprovechamiento del lago como reserva natural de agua potable (Vammen et al, 2008). La biomasa del fitoplancton se ve directamente afectada por el exceso de nutrientes y esta puede interferir en el uso del agua por el ser humano (Vammen et al, 2008).

De acuerdo a un estudio publicado por el Banco Mundial en el 2013, se determinó que el 74-84 % de la sedimentación es originada en la zona sur de la cuenca del lago, la cual proviene de Costa Rica. Las altas precipitaciones (2000 – 2400 mm, de julio a octubre), actividades agropecuarias y la pendiente (topografía) más inclinada en el área de estudio de Costa Rica aceleran más el proceso de sedimentación en la cuenca. Es relevante mencionar que en este estudio se estimó la carga de sedimentos provenientes del río Sapoá encontrándose entre 360 - 1237 (t/año); nitrógeno total entre 195 – 351 (t/año) y fósforo total 13 – 32 (t/año) mediante simulación con SWAT (Soil and Water Assessment Toll). Los criterios tomados en cuenta para la conceptualización del simulador fueron la topografía, hidrografía, tipos y uso del suelo, precipitación y descargas de sólidos, fósforo y nitrógeno. Según los resultados obtenidos, el aporte del río Sapoá al lago Cocibolca con



*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

respecto a la carga de sedimentos ocupa el lugar número 5, en carga de nitrógeno y el 9 en carga de fósforo, de un total de 16 cuencas.

En términos generales se estableció que Costa Rica Quintuplica el aporte de sedimentos al lago proveniente de los cantones de Upala, La Cruz y Los Chiles producto de las características geológicas, topográficas y las actividades agropecuarias.

Nicaragua aporta más Nitrógeno y Fósforo al lago, el cual proviene principalmente de las ciudades de Rivas, Granada, Moyogalpa producto de la actividad agropecuaria, de descarga de aguas residuales domésticas e industriales (lecherías, tenerías) sin tratamiento o con un tratamiento deficiente contribuye a las cargas de nutrientes, y de contaminación bacteriológica puntual y cultivo de tilapias (Banco Mundial, 2013).

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Estimar el aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca proveniente de la cuenca del río Sapoá.

#### **1.3.2 Objetivos específicos:**

- Estimar el aporte de sedimentos como carga en suspensión del río Sapoá al lago Cocibolca.
- Determinar la tasa de sedimentación en el lago Cocibolca en el área de influencia del río Sapoá utilizando la técnica nuclear de  $^{210}\text{Pb}$ .
- Caracterizar la afectación al agua del río Sapoá y el lago Cocibolca por los sedimentos que drenan desde la cuenca del río Sapoá.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

#### **1.4 Planteamiento del problema**

Durante los últimos 20 años muchos estudios han determinado que los suelos de la cuenca del lago Cocibolca está sufriendo una degradación de por el mal uso y manejo, provocado por actividades antrópicas como la ganadería y la agricultura. Esta problemática ha provocado la pérdida de suelo por erosión en algunas de las cuencas del lago Cocibolca, aumentando el arrastre de sedimentos por escorrentía hacia el lago, incrementando la tasa de sedimentación y la carga de nutrientes, contribuyendo a la degradación de la calidad de las aguas del lago, disminuyendo el aprovechamiento y múltiples usos que pueda tener este recurso (CIRA-UNAN, 2011). La mayor sedimentación es originada en la zona sur de la cuenca del lago Cocibolca, siendo el río Sapoá uno de los que mayor aporte de sedimentos descarga hacia el cuerpo de agua. Por otro lado, se ha determinado que este es uno de los ríos que nace en Costa Rica que más aporta carga de nutrientes al lago Cocibolca (Banco Mundial, 2013).

Es importante mencionar que los suelos de la zona norte de Costa Rica, en la zona aledaña al lago y la zona este de la cuenca del Cocibolca son suelos mal drenados en las partes bajas; el drenaje mejora a medida que la topografía asciende. Las características volcánicas de la región han provisto los suelos de buena cantidad de cenizas, lo cual los enriquece. Sin embargo, los procesos erosivos naturales y pérdida de suelo, agravados por prácticas agrícolas inadecuadas (no sostenible), técnicas inapropiadas de aprovechamiento forestal y la falta de conservación de suelos y aguas ocasionan grandes pérdidas de la capa fértil en diferentes zonas de la cuenca (PROCUENCA, 2004).

Esta situación ha provocado un aceleramiento del proceso de eutrofización en el lago y entre los principales efectos producidos por este fenómeno, encontramos un

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

aumento de la producción y biomasa de fitoplancton, algas asociadas y macrófitas, modificación de las características del hábitat, debido a la transformación del conjunto de plantas acuáticas, sustitución de especies ícticas deseables por otras menos cotizadas, producción de toxinas por determinadas algas, aumento de los gastos de operación de los sistemas públicos de abastecimiento de agua, además de problemas de gusto y olor, especialmente durante los períodos de proliferación de algas, desoxigenación del agua, especialmente, colmatación y obstrucción de los canales de riego, reducción de la posibilidad de utilización del agua para fines recreativos debido al lodo, infestación de malas hierbas y olores molestos producidos por la descomposición de las algas, impedimentos a la navegación debido al crecimiento de densas masas de malas hierbas, pérdidas económicas debido a la modificación de las especies ícticas y mortandad de peces (FAO, 1997).

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

## **1.5 Justificación**

La preservación del lago Cocibolca actualmente toma más relevancia porque sus aguas están abasteciendo las poblaciones de Juigalpa, San Juan del Sur, San Carlos, Morrito, Cárdenas y próximamente la ciudad de Rivas. Además, del anuncio del proyecto del Gran Canal de Nicaragua, lo cual vale la pena considerarlo una prioridad en lo que refiere a estudios científicos, para conocer cada uno de los procesos que intervienen en la dinámica de este cuerpo de agua, y principalmente la carga de sedimentos y nutrientes.

Es relevante medir el impacto de la sedimentación en las obras de dragado del proyecto, y por considerarse como reserva natural de agua potable, siendo del más elevado interés y prioridad nacional para la seguridad nacional (Ley 620, 2010). Este contexto ha provocado el interés de estudiar algunas cuencas del lago Cocibolca debido al deterioro que sufren por las actividades antropogénicas.

El arrastre de sedimentos es uno de los principales factores que está afectando la calidad de las aguas del lago Cocibolca, como producto del manejo inadecuado de los suelos en la cuenca. Por tal motivo, se eligió la cuenca del río Sapoá, porque tiene uno de los ríos más largos y caudalosos, la que en su mayor extensión se encuentra en territorio costarricense, donde se presenta una mayor pendiente.

El río Sapoá es parte de las unidades hidrográficas que conforman la cuenca del río San Juan y es uno de los que mayor aporta carga de sedimento y nutrientes al lago (Banco Mundial, 2013).

Este estudio está orientado a estimar el aporte de sedimentos del río Sapoá y su impacto en la contaminación física y química de las aguas del lago Cocibolca frente

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

a la desembocadura del río, así como recomendar algunas estrategias que protejan los suelos en la parte baja de la subcuenca.

Todo lo anterior pueden ser insumos para la elaboración de estrategias dirigidas al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles del PENUT (2015), de los cuales Nicaragua es firmante, entre los objetivos podemos mencionar

- Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento
- Objetivo 12: Producción y consumo responsable
- Objetivo 13: Acción por el clima
- Objetivo 15: Vida de ecosistemas terrestres
- Objetivo 14: Vida submarina

## **CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Sedimentos**

Los sedimentos son una mezcla de partículas orgánicas e inorgánicas producidas por la acción del intemperismo y erosión de las rocas y son transportadas por el viento, el agua (fluvial o marino) o el hielo, llegan a un sitio de depósito, donde se mezclan con el material generado in situ (Ruiz, 2012). Estos materiales, después de cierto acarreo, finalmente son depositados a lo largo de los propios cauces, en lagos o lagunas, en el mar y en las partes bajas de las cuencas, principalmente en la planicie, lo que da origen a la formación de ésta y a su levantamiento (García F. y Maza J., 1995).

Los sedimentos están compuestos por arena, arcilla, limo y otras partículas sueltas del suelo que se depositan en el fondo de una masa de agua (minerales (mayor densidad) o de materia orgánica (más heterogéneas). Los minerales pueden provenir de los materiales circundantes que en su mayoría proceden de la erosión del suelo o de la descomposición de plantas y animales (materia orgánica), mientras que la materia orgánica se halla asociadas a sedimentos principalmente de grano fino como asociaciones de arcillas y limos, (Igarza C. 2012).

#### **2.1.1 Fuentes de los sedimentos**

La fuente principal la constituyen los suelos y rocas que se encuentran en la cuenca, y el agua y el viento son los principales agentes de erosión y de transporte. Producto de la actividad humana que genera influencia sobre su medio, las fuentes del sedimento pueden clasificarse en naturales y artificiales (García M. y Maza J., 1995).

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

Las fuentes naturales de los sedimentos son la erosión de la superficie del terreno, la erosión del cauce principal y sus tributarios y los movimientos naturales del terreno, mientras que las fuentes artificiales son la destrucción de la vegetación, obras de ingeniería, explotación de minas y canteras, desechos urbanos e industriales (García M. y Maza J., 1995).

## **2.2 Clasificación de los sedimentos**

### **2.2.1 Según su origen**

Según su origen los sedimentos pueden ser autóctonos o alóctonos. Los sedimentos autóctonos son aquellos que se generan por la degradación de rocas locales o que consisten en granos derivados de partes del cuerpo de organismos que habitan en las zonas costeras (carbonato biogénico y sílica). Los sedimentos alóctonos se derivan de la meteorización física y química de rocas continentales que forman granos compuestos por un mineral o una mezcla de minerales, los más comunes en zonas costeras son el cuarzo y la arcilla (Velásquez, 2013).

### **2.2.2 Según su tamaño**

Según el tamaño del grano los sedimentos se pueden clasificar en sedimentos gruesos y finos. Las arenas, materiales no cohesivos o friccionantes, están compuestas por partículas sueltas cuyo tamaño varía entre 60 y 2000  $\mu\text{m}$ , mientras las partículas limos varían de 2 a 60  $\mu\text{m}$  y las arcillas son menores a  $<2 \mu\text{m}$  ambos caracterizados por experimentar fuerzas cohesivas y por la plasticidad de los suelos que conforman (Velásquez, 2013). En la tabla 1 se describen las características de cada una de las partículas.



*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

Tabla 1. Tamaño de las partículas de sedimentos

Partícula	Tamaño
Arcillas	<0.002 mm
Limos	0.002 - 0.06 mm
Arenas	0.06 – 2 mm
Gravas	2 – 60 mm
Cantos rodados	60 – 250 mm
Bloques	250 mm

### **2.3 Transporte de los sedimentos**

Es un fenómeno complejo que responde a dos funciones, una que responde a las características de la hoya y otra las del río; una de las funciones indica la cantidad, naturaleza y propiedades físicas de los materiales disponibles para el transporte y la otra, la capacidad del sistema hidráulico para hacerlo. Cuando el sedimento es transportado por el flujo de agua se diferencian dos grandes grupos de sedimentos conocidos como sedimento de lavado y de fondo.

El transporte del material sólido en los ríos puede realizarse por el fondo y en suspensión. En el primero, las partículas mayores a 0.062 mm se desplazan rodando por el fondo o avanzan a saltos. Este movimiento se lleva a cabo en una capa cercana al fondo, con un espesor del orden de dos veces el valor del diámetro de las partículas y depende de las características hidráulicas de la corriente (hidráulica fluvial). El material que se transporta en suspensión corresponde a aquellas partículas relativamente más finas como limos y arcillas, que están en suspensión por la acción de la turbulencia y que se mueven mezcladas con el fluido (Flórez, 2006). El río puede transportar material en suspensión independientemente de sus características hidráulicas porque depende del material que llegue al cuerpo de agua.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

## **2.4 Propiedades de los sedimentos**

### **2.4.1 Color**

Es afectado principalmente por las condiciones oxidantes o reductoras y por la escasez o abundancia de materia orgánica. Tonos rojizos indican la presencia de óxidos de hierro, tonos negros indican ausencia de oxígeno y abundante la materia orgánica, grises y levemente amarillentos indica la presencia de esqueletos calcáreos y silícicos o dominados por el cuarzo). Por otro lado, la sucesión de láminas o estratos de tonos claros y oscuros indica alternancia de condiciones de sedimentación. El grosor de cada lámina de color diferente permite estudiar los cambios ambientales y la velocidad de sedimentación (Flores M., 2014).

### **2.4.2 Tamaño**

Determina la textura del sedimento y aporta información sobre la porosidad de un sedimento. El tamaño de los poros determina la permeabilidad de un sedimento y depende de la naturaleza de la roca madre y de la evolución del suelo. Normalmente las arenas se miden por su diámetro de tamizado y los limos y arcillas por su diámetro de sedimentación.

### **2.4.3 Textura**

El conjunto de arenas, limos y arcillas del suelo es el componente sólido y es lo que se denomina textura. (INTA EEA, 2016). Existen dos escalas de clasificación de

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

texturas: la internacional y la americana, de las cuales esta última es la más utilizada (figura. 6). Son conocidas como triángulo de texturas. Las líneas trazadas en el triángulo (paralelas a los lados), fijan los límites porcentuales de cada componente (Arcilla, limo y arena). Por ejemplo, si un suelo contiene 60 % de arena, 30 % de limo y 10 % de arcilla corresponde a una textura franca arenosa. En cambio, si el porcentaje de arcilla se incrementa, 30 %, el limo al 40 % y la arena también 40 %, la textura es Franco arcillosa (INTA EEA, 2016).

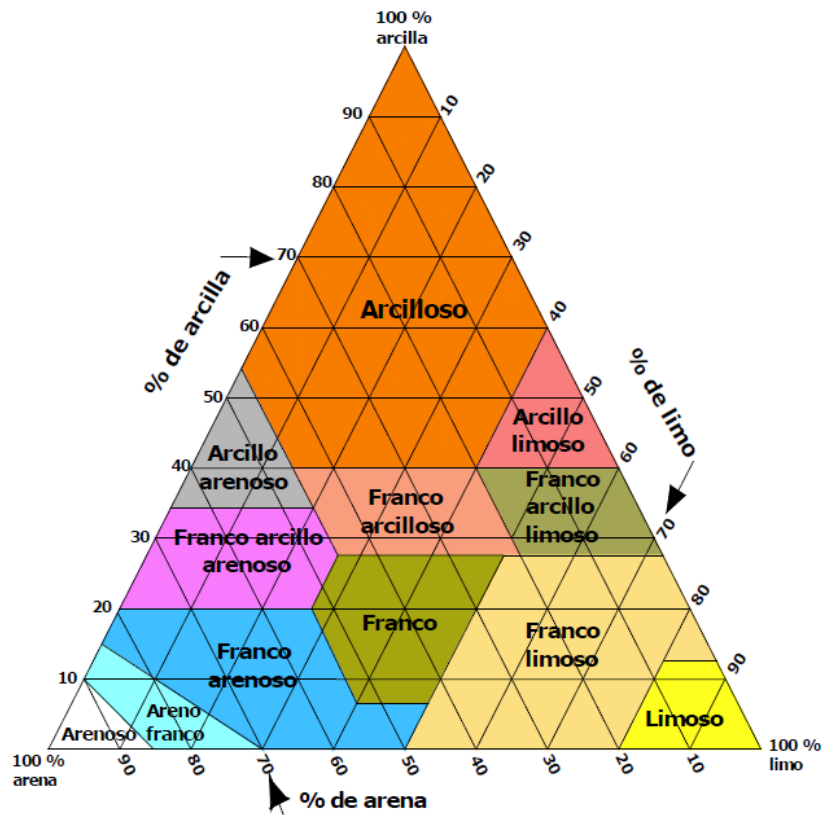


Figura 6. Triángulo textural de USDA

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

## **2.5. Radiocronología**

La radiocronología mide la actividad de radionúclidos en la columna sedimentaria y es útil para asignar fechas en núcleos sedimentarios debido a que la columna sedimentaria puede retener un registro interpretable de cambios en suministro antropogénico y/o diagénesis (OIEA, 2012).

La radiocronología usa los datos de los radionúclidos para calcular las tasas de acumulación sedimentaria reciente y de mezclado para establecer si las capas del fondo de los núcleos fueron depositadas en periodos preindustriales. También puede determinar la tasa de acumulación masiva sedimentaria con lo cual se identifican cambios en el flujo de contaminantes a los sedimentos con el tiempo (OIEA, 2012).

### **2.5.1 Núcleos sedimentarios**

Los núcleos sedimentarios pueden ser utilizados para evaluar la historia de la contaminación de un sistema dado, para diferenciar el enriquecimiento natural por metales de aquel ocasionado por actividades antropogénicas (minería y fundición). Los núcleos sedimentarios son un archivo histórico de la acumulación de componentes naturales y antropogénicos por lo tanto podemos realizar estudios ambientales altamente informativos de los cambios que han ocurrido en un sistema (OIEA, 2012).

Materiales antropogénicos (metales pesados, radionúclidos y compuestos orgánicos) pueden ser usados para interpretar la historia del ambiente en que los

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

sedimentos se han acumulados. También se puede conocer los flujos de contaminantes a través del tiempo a los ecosistemas acuáticos.

El registro completo de un núcleo sedimentario y detallado sólo puede encontrarse en las áreas siguientes:

Acumulación partícula por partícula de sedimentos.

Sin bioalteración

Sin mezclado físico

Sin episodios de erosión

El efecto de estos procesos es análogo a retirar páginas de la historia grabada (erosión) o mezclar el orden de estas páginas (bioalteración, mezclado físico). La columna puede ser empleadas exitosamente si se cuenta con una técnica para asignar edad a los estratos (edad y la tasa de sedimentación), identificación del material recientemente depositado, calcular los flujos de metales antropogénicos y las concentraciones relativas de los materiales derivados a partir de las fuentes naturales (OIEA, 2012).

## **2.5.2 Técnica de fechado con $^{210}\text{Pb}$ en núcleos sedimentarios**

### **2.5.2.1 Propiedades físicas del $^{210}\text{Pb}$**

El  $^{210}\text{Pb}$  es un radionúclido de origen natural perteneciente a la cadena radiactiva del  $^{238}\text{U}$  (figura 7). Su periodo de semidesintegración es de  $T_{1/2} = 22.23 \pm 0.12$  año. El  $^{210}\text{Pb}$  puede ser detectado hasta unas 5 veces su período de semidesintegración, por lo tanto, el  $^{210}\text{Pb}$  puede proporcionar información útil durante los últimos 100 años aproximadamente (OIEA, 2012).

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

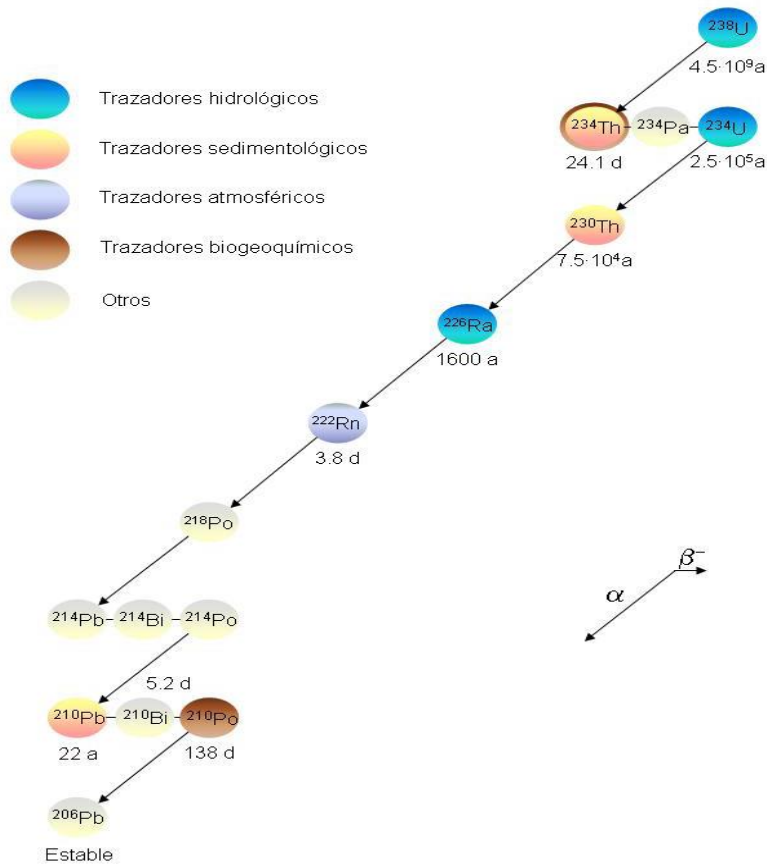


Figura 7. Cadena de desintegración del  $^{238}\text{U}$  (Sánchez-Cabezas et al, 2012).

2.5.2.2 Fuentes de  $^{210}\text{Pb}$

La fuente de  $^{210}\text{Pb}$  es el  $^{222}\text{Rn}$ , formado por el decaimiento de  $^{226}\text{Ra}$ , que escapa de los intersticios de los suelos a la atmósfera, que es emitido al aire en cantidades de  $2 \times 10^3$  a  $2 \times 10^4$  átomos por  $\text{m}^2$  por segundo, donde decae a través de una secuencia de radionúclidos de vida corta a  $^{210}\text{Pb}$  (Lieser, 2001) (figura 8).

Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.

➤ **Ciclo del  $^{210}\text{Pb}$  en ecosistemas costeros.**

El  $^{210}\text{Pb}$  procede de la desintegración del  $^{226}\text{Ra}$  ( $T_{1/2}=1600$  años) y en sistemas cerrados (roca) ambos radionúclidos se encuentran en equilibrio debido a que estos se encuentran confinados dentro de la matriz ambiental. Sin embargo, en sistemas abiertos (suelos) el  $^{222}\text{Rn}$  (gas noble,  $T_{1/2}= 3.8$  d) procedente de la desintegración del  $^{226}\text{Ra}$  puede exhalar a la atmósfera, desintegrándose finalmente en  $^{210}\text{Pb}$ . Una vez en la atmósfera, dado que el Pb es un elemento que presenta una alta reactividad, el  $^{210}\text{Pb}$  se asocia con los aerosoles y se deposita sobre la superficie terrestre. El  $^{210}\text{Pb}$  se deposita básicamente por vía húmeda, aunque existe una pequeña fracción (~10%) que se deposita por vía seca. Los flujos de  $^{210}\text{Pb}$  varían estacionalmente y dependen de la región considerada, siendo mayores sobre los continentes que sobre los océanos. Localmente y considerando períodos de tiempo de varios años, los flujos de  $^{210}\text{Pb}$  son aproximadamente constantes estando, normalmente, correlacionados con la precipitación (OIEA, 2012).

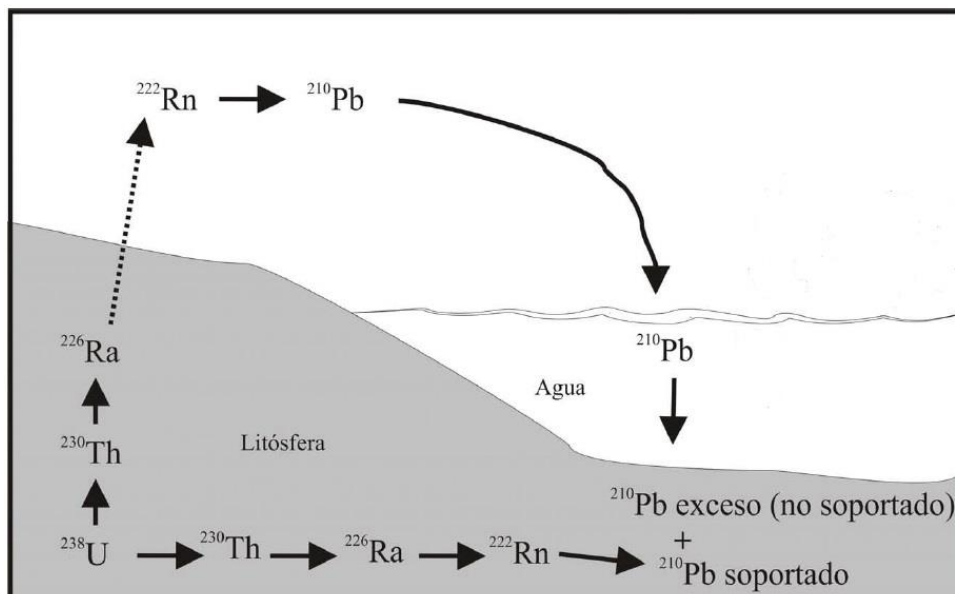


Figura 8. Esquema simplificado del decaimiento radiactivo del  $^{238}\text{U}$  que muestra la acumulación en sedimentos subacuáticos de  $^{210}\text{Pb}$  exceso (no soportado) transportado por vía atmosférica y de  $^{210}\text{Pb}$  formado in situ (soportado), como fuente en los sedimentos (Flores M., 2014).

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

El método de fechado de sedimentos con  $^{210}\text{Pb}$  se fundamenta en la determinación de la actividad del  $^{210}\text{Pb}$  atmosférico ( $^{210}\text{Pb}$  no soportado o en exceso) presente en los sedimentos marinos y lacustres. Éste debe ser distinguido del  $^{210}\text{Pb}$  formado por el decaimiento del  $^{222}\text{Rn}$  que no logró escapar hacia la atmósfera y que se encuentra en equilibrio con el  $^{226}\text{Ra}$ . Este  $^{210}\text{Pb}$  se asocia a los valores de fondo del sistema litosférico y se denomina  $^{210}\text{Pb}$  soportado. Su actividad en el sedimento está controlada principalmente por la mineralogía del substrato y se considera constante a lo largo de una columna determinada de sedimento. La subsecuente incorporación del  $^{210}\text{Pb}$  atmosférico al sedimento provoca un 'exceso' de este isótopo en relación a los valores constantes del  $^{210}\text{Pb}$  soportados. A este exceso se le denomina  $^{210}\text{Pb}$  no soportado ( $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ) y se distingue del  $^{210}\text{Pb}$  soportado al restar la concentración del  $^{226}\text{Ra}$  (en equilibrio con el  $^{210}\text{Pb}$  soportado) del  $^{210}\text{Pb}$  total:

$$^{210}\text{Pb}_{\text{exceso}} = ^{210}\text{Pb}_{\text{total}} - ^{226}\text{Ra}$$

### 2.5.2.3 Fundamento del Fechado con $^{210}\text{Pb}$ .

La técnica más utilizada para establecer un marco geocronológico en los sedimentos recientes lacustres y marinos de aproximadamente 150 años, es la aplicación del radioisótopo  $^{210}\text{Pb}$  y el  $^{137}\text{Cs}$ , debido a que sus periodos de semidesintegración son de 22 y 30 años respectivamente. La medición de la actividad del  $^{210}\text{Pb}$  puede llevarse a cabo mediante espectrometría alfa de dilución isotópica a través de su nieto  $^{210}\text{Po}$ , o directamente mediante espectrometría gamma (Flores M., 2014).

El  $^{210}\text{Pb}$  juega un papel preponderante en el estudio y fechado de los impactos ambientales durante los últimos 150 años, que cubre el mayor crecimiento industrial y demográfico experimentado por la mayor parte de los países del mundo. Esto ha



*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

permitido estudiar las tasas de sedimentación y acumulación en perfiles de sedimentos proporcionando información útil sobre el estudio de los procesos sedimentarios (OIEA, 2012).

#### 2.5.2.4 Consideraciones del fechado

El muestreo debe realizarse en función de los objetivos del trabajo, que deben ser identificados a priori. Es muy recomendable realizar este trabajo en colaboración con un equipo multidisciplinario, que permita escoger los lugares de muestreo más representativos de la zona de estudio y provean de información útil para la interpretación de los resultados. El objetivo de una radiocronología es describir la evolución temporal de los fenómenos registrados con la máxima precisión posible, y no describir el sistema como tal. La información contenida en los cores es intrínsecamente válida, pues representa la evolución de esta parte del ecosistema con el tiempo. La elección de las áreas de muestreo está íntimamente relacionada a los procesos de sedimentación del ambiente acuático estudiado (erosión, geomorfología, batimetría y corrientes) del ambiente acuático a estudiar. Conoce la información necesaria de las zonas de muestreo (OIEA, 2012).

#### 2.5.2.5 Modelo de fechado por $^{210}\text{Pb}$

Los modelos de fechado por  $^{210}\text{Pb}$  descritos permiten obtener fechados válidos, los cuales deben ser entendidos como herramientas de interpretación y las fechas obtenidas como estimaciones que deben ser corroboradas mediante observaciones alternativas. En todo fechado se debe cumplir la hipótesis de sistema cerrado. En el caso del fechado de sedimentos el radionúclido utilizado debe estar integrado en la matriz analizada sin ser afectado por procesos de redistribución.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

Los modelos más ampliamente utilizados, se basan en hipótesis sobre el flujo de  $^{210}\text{Pb}$  a la superficie del sedimento, la tasa de acumulación y la concentración inicial de  $^{210}\text{Pb}$  en los sedimentos superficiales. El modelo más comúnmente utilizado para fechar sedimentos es el CF (Constant Flux – Flujo Constante), comúnmente conocido como CRS (Constant Rate of Supply), el modelo a utilizar depende del perfil de  $^{210}\text{Pb}$  observado y de la validez de las hipótesis de cada modelo en el área de estudio.

### ➤ **Modelo de Flujo Constante (CF)**

Para este estudio se utilizó el modelo de Flujo Constante (Constant Flux - CF) es mucho más conocido como modelo de tasa constante de suministro (Constant Rate of Supply - CRS). En este modelo, la hipótesis fundamental es que el flujo de  $^{210}\text{Pb}$  a la superficie del sedimento es constante (ARCAL, 2011).

El modelo de Flujo Constante (Constant Flux - CF) es mucho más conocido como modelo de tasa constante de suministro (Constant Rate of Supply - CRS). En este modelo, la hipótesis fundamental es que el flujo de  $^{210}\text{Pb}$  a la superficie del sedimento es constante, o sea  $f_i = f(i) = k$ . Utilizando la ecuación para la capa ( $i$ ): es decir,

$$C(i, t) = \frac{f}{r(i)}$$

$$f = C(i, t = 0) r(i)$$

En la capa ( $i$ ) la concentración inicial y la tasa de acumulación másica pueden ser variables, pero deben ser inversamente proporcionales. En efecto, en una determinada zona de estudio un mayor aporte de sedimentos (por ejemplo, debido a inundaciones) no va necesariamente acompañado de flujos mayores de  $^{210}\text{Pb}$ ,

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

por lo cual la concentración de  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  observada es menor (efecto de dilución). Si bien esta situación es común, puede no presentarse cuando existe una fuente variable de  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ .

El inventario total de  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  en un core es el balance entre el flujo de  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  y su desintegración radiactiva. Si el flujo es constante se establece un equilibrio entre la cantidad de  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  aportada y la que se pierde por desintegración radiactiva, por lo que el inventario total  $I \equiv A(0)$  del core es constante. Con un razonamiento similar podemos concluir que la actividad acumulada por unidad de área por debajo de una capa ( $i$ ) en el momento de su formación, es decir cuando esta capa era la superficie del core, también es constante ( $A(i, t = 0) = A(0)$ ). Por lo tanto, la ecuación se puede escribir como:

$$A(i) = (0)e^{-\lambda t}$$

y la edad de la capa ( $i$ ) se obtiene como:

$$r(i) = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{A(0)}{A(i)}$$

para lo cual es imprescindible conocer el inventario total  $A(0)$ . En los casos en que esto no es posible (normalmente cuando el perfil de  $^{210}\text{Pb}$  no llega al valor de base), existen algunas estrategias para calcular el inventario complementario. También es imprescindible que se haya recolectado la capa superficial.

Asumiendo que el perfil de concentraciones  $C(i)$  es una función continua, podemos obtener la actividad acumulada por unidad de área mediante integración:

$$A(m) = \int_m^{\infty} C(m) dm$$

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

Se puede escribir:

$$A = \int_m^{\infty} \frac{f}{r(m)} e^{-\lambda t} dm = \int_t^{\infty} f e^{-\lambda t} dt = \frac{f}{\lambda} e^{-\lambda t}$$

El flujo de  $^{210}\text{Pb}$  al sedimento es:

$$f = \lambda A(0)$$

Podemos calcular la tasa de acumulación másica en la capa ( $i$ ) como:

$$r(i) = \frac{f}{c(i, t = 0)}$$

Utilizando las ecuaciones:

$$r(i) = \frac{\lambda A(0)}{c(i) e^{\lambda t}} = \frac{\lambda A(0) e^{-\lambda t}}{c(i)}$$

la ecuación queda como:

$$r(i) = \frac{\lambda A(i)}{C(i)}$$

donde  $C(i)$  no puede ser determinado experimentalmente. Con un razonamiento similar al anterior llegamos a la expresión para una sección  $i$ :

$$r_i = \frac{\lambda A(i)}{C_i}$$

en la cual  $A(i)$  y  $C_i$  pueden ser determinados experimentalmente.

Para este estudio se utilizó el modelo de Flujo Constante (Constant Flux - CF) el cual es mucho más conocido como modelo de tasa constante de suministro (Constant Rate of Supply - CRS). En este modelo, la hipótesis fundamental es que el flujo de  $^{210}\text{Pb}$  a la superficie del sedimento es constante (ARCAL, 2011).

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

## **2.6. Contaminación provocada por los sedimentos a las aguas superficiales.**

Los sedimentos están integrados por diferentes tipos de partículas las cuales están compuestas por una gran variedad de sustancias orgánicas e inorgánicas que generan contaminación tanto física provocando turbidez, como química, la cual ocurre cuando las arcillas absorben contaminantes orgánicos como los plaguicidas, y biológica con excretas animales y humanas que contienen bacterias dañinas para la salud en las aguas de lagos y ríos, (Caballero 2007). Desde el punto de vista general, Albert, (1997), define contaminación, como: "la introducción o presencia de sustancias, organismos o formas de energía en ambientes o sustratos a los que no pertenece o en cantidades superiores a las propias de dichos sustratos, por tiempo suficiente, y bajo condiciones tales, que esas sustancias interfieren con la salud y la comodidad de las personas, dañan los recursos naturales o alteran el equilibrio ecológico de la zona".

### **2.6.1 Dimensiones provocadas por la contaminación por sedimentos**

#### 2.6.1.1 Dimensión física

Pérdida de la capa arable del suelo y la degradación de la tierra como consecuencia de la erosión laminar y por cárcavas, que dan lugar a niveles excesivos de turbidez en las aguas receptoras y a repercusiones ecológicas y físicas en lugares alejados, de los lechos de ríos y lagos, en donde se produjo la deposición.

#### 2.6.1.2. Dimensión química

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

La parte de los sedimentos constituida por limo y arcilla (< 63 µm) es transmisora primaria de productos químicos adsorbidos, especialmente fósforo, plaguicidas clorados y la mayor parte de los metales, que son transportados por los sedimentos al sistema acuático (FAO, 1997).

## **2.6.2 Sedimentos como contaminantes físicos**

Estos contaminantes producen en las aguas receptoras los siguientes efectos principales:

### **2.6.2.1 Altos niveles de turbidez**

Limitan la penetración de la luz solar en la columna de agua, lo que limita o impide el crecimiento de las algas y de las plantas acuáticas enraizadas. Los lechos de grava son cubiertos por sedimentos finos que impiden o dificultan el desove de los peces en el lecho del río. En ambos casos, el resultado es la perturbación del ecosistema acuático debido a la destrucción del hábitat (FAO, 1987).

La turbidez puede ser "beneficiosa" en los lagos muy eutróficos; no obstante, esta situación es perjudicial por razones estéticas y económicas y están buscando los medios de reducir la turbidez y los niveles de nutrientes.

Altos niveles de sedimentación: Dan lugar a la perturbación física de las características hidráulicas del cauce. Ello puede tener graves efectos en la navegación, por la reducción de la profundidad, y favorecer las inundaciones, por la reducción de la capacidad del flujo de agua en la cuenca de drenaje (FAO, 1987).

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

#### 2.6.2.2 Sedimentación

Según Pérez F. (2005) define como "sedimentación" al proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en suspensión, son removidas por la acción de la gravedad. Por tanto, el proceso de sedimentación es producto del transporte de materiales por las corrientes que transportan, principalmente Sólidos disueltos y Sólidos suspensos. Los primeros se refieren a la materia inorgánica en forma iónica, y los segundos, a la materia orgánica como detritus, o de origen aluvial, restos de roca, arcilla arena y similares; el agua también puede transportar material aluvial de tamaños más grandes o pesados, pero solo ocurre a intervalos de tiempo, dependiendo de su velocidad fuerza y descarga (Roldan, 2008).

La sedimentación tiene como efecto: que en los cuerpos de agua se disminuya la luz solar y el oxígeno, lo que pone en riesgo la biota en estos ecosistemas. Estos sedimentos transportan sustancias toxicas originadas por la agricultura y las industria (Dumailo, 2003). Los altos niveles de sedimentación en los ríos dan lugar a la perturbación física de las características hidráulicas del cauce. Ello puede tener graves efectos en la navegación, por la reducción de la profundidad, y favorecer las inundaciones, por la reducción de la capacidad del flujo de agua en la cuenca de drenaje.

#### **2.6.3. Sedimentos como contaminantes químicos**

La contribución de los sedimentos a la contaminación química está vinculada al tamaño de las partículas de los sedimentos y al volumen del carbono orgánico en partículas asociado con los sedimentos. Se suele considerar que la fracción químicamente activa de un sedimento es la que mide menos de 63  $\mu\text{m}$  (limo +

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

arcilla). En el caso del fósforo y los metales, el tamaño de las partículas es de importancia decisiva, debido a la gran superficie externa de las partículas muy pequeñas.

Otra variable importante es la concentración de sedimentos, en particular la parte de  $< 63 \mu\text{m}$ , en la columna de agua. Los sedimentos están formados por partículas sólidas de distintos tamaños (granulometría), esta es una de las variables más importantes para caracterizar los sedimentos. Se distinguen cuatro tipos principales de partículas según su tamaño: grava ( $>2.000 \mu\text{m}$ ), arena ( $63-2.000 \mu\text{m}$ ), limo ( $4-63 \mu\text{m}$ ) y arcilla ( $<4 \mu\text{m}$ ) (Usero, 2015). Las partículas de sedimento pueden estar compuestas de minerales (mayor densidad) o de materia orgánica (más heterogéneas). Las partículas compuestas de minerales dependen de los materiales circundantes, que en su mayoría proceden de la erosión. Estos poseen minerales de la arcilla, aluminosilicatos, cuarzo, carbonato cálcico y minerales del hierro.

Las partículas compuestas de materia orgánica incluyen una gran variedad de sustancias, destacándose las originadas de los distintos estados de descomposición de las hojas, ácidos húmicos, fúlvicos y microorganismos sujetos a degradación biológica o química dando lugar a otros compuestos (Usero, 2015).

Los productos químicos que son altamente hidrofóbicos, se encontraran en niveles residuales en forma soluble. Aun cuando la carga en suspensión es muy pequeña (por ejemplo, menos de  $25 \text{ mg/l}$ ), la cantidad de agua es tan grande en relación con el volumen de sedimentos que el grueso de la carga del producto químico puede estar en la parte soluble. A diferencia del fósforo y los metales, el transporte y destino de los productos químicos orgánicos asociados con los sedimentos se complican por la degradación microbiana que tiene lugar durante el transporte de los sedimentos en los ríos y en los sedimentos depositados. No obstante, el papel



*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

de los sedimentos en el transporte y destino de los productos químicos agrícolas, tanto en lo que se refiere a los nutrientes como a los metales y los plaguicidas, se conoce bien y se debe tener en cuenta al supervisar esos productos químicos y al aplicar modelos con el fin de determinar las estrategias óptimas de ordenación en los campos de cultivo y en las cuencas hidrográficas (FAO, 1987).

El papel del sedimento en cuanto contaminante químico está en función de la carga química que es transportada por los sedimentos. Los productos químicos orgánicos asociados con los sedimentos ingresan en la cadena alimentaria de diversas maneras. Los sedimentos son ingeridos directamente por los peces; no obstante, más normalmente, los sedimentos finos (en particular, la parte de carbono) constituyen el suministro alimentario de los organismos bénticos (que habitan en el fondo), que, a su vez, sirven de alimento para organismos superiores. En último término, los compuestos tóxicos se acumulan biológicamente en el pescado y otros depredadores superiores. Así pues, los plaguicidas transportados desde la tierra como parte del proceso de escorrentía y erosión se concentran en los depredadores superiores, incluido el hombre (FAO, 1997).

## **CAPÍTULO 3 DISEÑO METODOLÓGICO**

### **3.1 Tipo de estudio**

De acuerdo al Dr. Piura (2006), según tipo de diseño metodológico el tipo de estudio es analítico y según el método de estudio es no experimental. De acuerdo a Canales, Alvarado y Pineda (1996), según el tiempo de ocurrencia de los hechos y registro de la información, el estudio es prospectivo y según el período y secuencia del estudio, transversal. De acuerdo a la clasificación de Hernández, Fernández y Baptista, 2006, el tipo de estudio es correlacional.

El universo es la cuenca 952 (Río San Juan), la población es la cuenca 69-952572 del río Sapoá y la muestra son los puntos localizados sobre el río Sapoá en la frontera con Costa Rica, la desembocadura del río y un punto en el lago Cocibolca frente a la desembocadura del río Sapoá en el municipio de Cárdenas.

### **3.2 Recolección de información**

Información primaria y secundaria fue utilizada para el estudio, también se realizaron giras de campo para reconocimiento del área de estudio que permitió la ubicación de los sitios de muestreo de perfil de sedimentos, sedimentos superficiales, agua superficial, aforos líquidos y aforos sólidos. La recolección de la

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

información permitió la obtención de datos climatológicos, geológicos, hidrológicos y uso del suelo en la cuenca.

### **3.2.1 Selección de los sitios de aforo**

Para escoger los sitios de aforo se utilizaron los siguientes criterios: fácil acceso, cauce del río bien definido e impermeabilidad del lecho, tramo recto para evitar las sobre elevaciones y cambios en la profundidad producidos por curvas, y libre de efectos de controles aguas abajo, que puedan producir remansos que afecten las mediciones. En la tabla 2 se describen los sitios seleccionados para los aforos en el río Sapoá.

Tabla 2. Ubicación de los sitios de Aforo.

<b>Sitios de Muestreo</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Descripción</b>
Zona Fronteriza (Z F)	651911 N 1240565 E	Localizado en la parte baja de la cuenca sobre el curso principal del río Sapoá, en la zona fronteriza con Costa Rica.
Desembocadura (DSR)	651846 N 1244511E	Se ubica en la desembocadura del río Sapoá hacia el Cocibolca.

## Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.

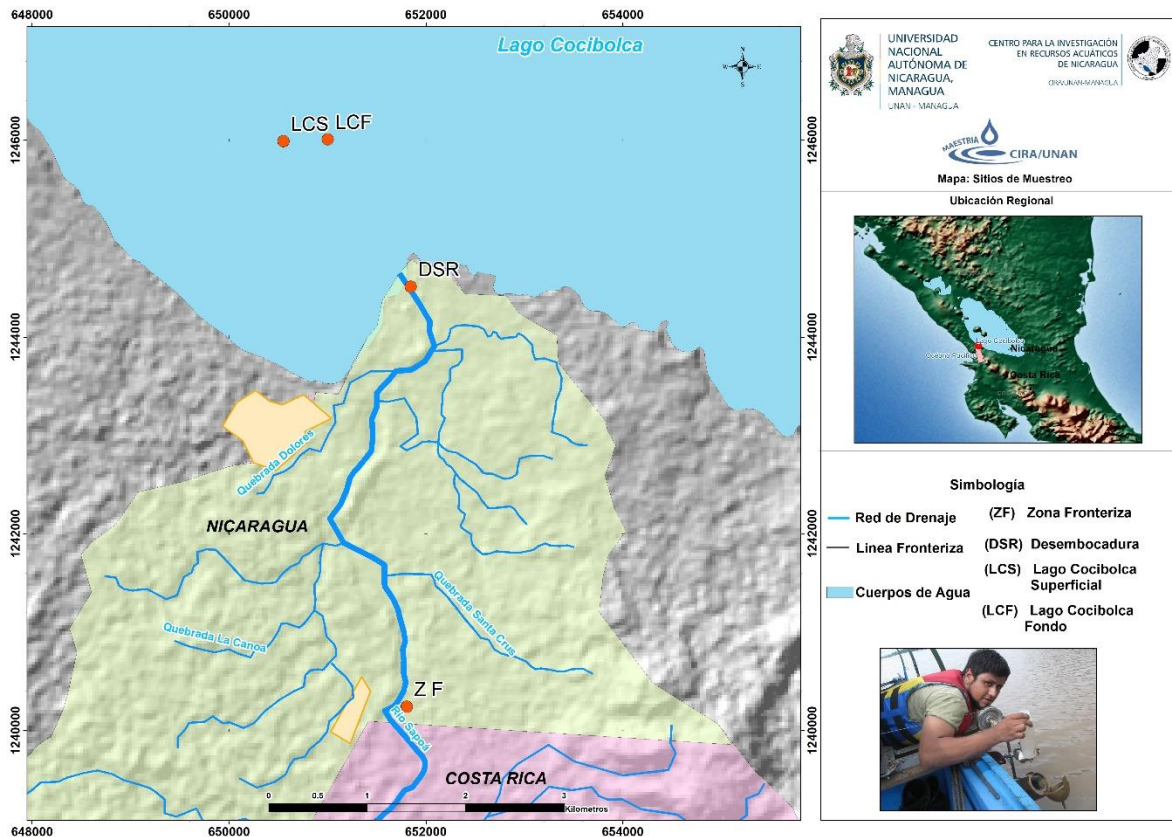


Figura 9. Ubicación de los sitios de muestreo y aforo en el área de estudio.

### 3.2.2 Selección de los sitios de muestreo para sedimentos superficiales.

Los sitios de muestreo de sedimentos superficiales fueron definidos en los mismos sitios donde se realizaron los aforos (río Sapoá) y por la existencia de sedimento fino en el río y el lago, cabe señalar que aunque los puntos LCF y LCS tienen las mismas coordenadas, se presentan en el mapa con cierta distancia uno del otro para que el lector tenga una mejor apreciación de cada sitio.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

### **3.2.3 Selección de los sitios de muestreo para perfil de sedimentos**

El sitio para la recolección del perfil de sedimento fue seleccionado tomando en cuenta los siguientes criterios:

Existencia de sedimentos finos, ya que las partículas finas, especialmente las arcillas, acumulan la mayor parte de los contaminantes debido a su mayor superficie de adsorción.

Evitar zonas con posibilidad de mezcla por actividades de dragado y pesca de arrastre y tránsito de embarcaciones impulsadas con varas en el fondo.

El punto de muestreo se realizó en el lago Cocibolca a 1 km frente a la desembocadura del río Sapoá. (tabla 3).

Tabla 3. Ubicación del sitio de muestreo de perfil de sedimentos.

<b>Sitios de Muestreo</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Descripción</b>
Lago Cocibolca	650714 N 1246995 E	Ubicado en la superficie del Lago Cocibolca 1 km aguas adentro.

### **3.2.4 Selección de los sitios de muestreo para agua superficial**

Se seleccionaron 2 sitios de muestreo en el río Sapoá y dos en el lago Cocibolca frente a la desembocadura del río Sapoá (ver tabla 4). El mapa No.6 permite visualizar con mayor facilidad la ubicación y descripción de los sitios de muestreo del agua superficial del río y el lago Cocibolca, los cuales se describen en la tabla 5.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

Tabla 4. Ubicación de los sitios de muestreo de aguas superficiales.

Sitios de Muestreo	Coordenadas	Descripción
Zona Fronteriza (ZF)	651911 N 1240565 E	Localizado en la parte baja de la cuenca sobre el curso principal del río Sapoá, en la zona fronteriza con Costa Rica.
Desembocadura (DSR)	651846 N 1244511E	Se ubica en la desembocadura del río Sapoá hacia el Cocibolca.
Lago Cocibolca Superficial (LCS)	650714 N 1246995 E	Ubicado en la superficie del Lago Cocibolca 1 km aguas adentro.
Lago Cocibolca Fondo (LCF)	650714 N 1246995 E	Ubicado en el fondo de la columna de agua del mismo punto de muestreo en el lago.

### 3.3 Trabajo de campo

Este tipo de trabajo estuvo comprendido en realizar aforos, muestreo de un perfil de sedimentos para análisis de  $^{210}\text{Pb}$ , sedimentos superficiales para granulometría y agua superficial para análisis físico-químicos y microbiológicos en la época seca y lluviosa los cuales se describen a continuación:

#### 3.3.1 Aforos líquido y sólido

Se realizaron dos mediciones de aforo líquido y sólido en lancha en la época lluviosa (octubre, 2013) y época seca (marzo, 2014), en los sitios seleccionados en el río Sapoá (ZF), frontera con Costa Rica, y (DSR), en la desembocadura al Lago de Nicaragua. El recorrido de las mediciones se hizo desde aguas arriba (ZF) hacia aguas abajo (DSR). El aforo líquido se realizó con un molinete, mientras que el aforo sólido con un muestreador integrado de profundidad tipo U.S.D. – 49.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

### **3.3.2 Muestreo**

Se realizó un muestreo en perfil de sedimentos y dos muestreos en sedimentos superficiales y aguas del río Sapoá y lago Cocibolca en la época seca (marzo 2014) y en la época lluviosa (octubre 2013), las muestras se recolectaron entre las 08h00 y 16h40 en los dos periodos de muestreo.

#### **3.3.2.1 Sedimentos**

##### **Perfil de sedimentos**

El perfil de sedimento fue recolectado frente a la desembocadura del río Sapoá en el Lago Cocibolca en el mes de junio de 2013, utilizando un core gravimétrico de gravedad tipo Uwitec (figura. 10), de un diámetro interior de 8 cm. El perfil de sedimento se colectó a 8 m de profundidad y su longitud fue de 28 cm. Las muestras fueron tomadas en un tubo de PVC previamente etiquetado para posteriormente ser transportado para realizar el análisis  $^{210}\text{Pb}$  de acuerdo a lo establecido en los Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Radioquímica Ambiental del CIRA / UNAN.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*



Figura 10. Nucleador de gravedad tipo Uwitec, utilizado para la extracción de perfil de sedimentos

## **Sedimentos superficiales**

Se recolectaron 3 muestras de sedimentos para realizar análisis de granulometría y materia orgánica en octubre 2013 y marzo 2014. Las muestras fueron tomadas con una draga Van Veen y depositadas en unas bolsas plásticas previamente etiquetada para posteriormente ser transportadas para realizar los análisis de acuerdo a lo establecido en los Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Radioquímica Ambiental del CIRA / UNAN.

### **3.3.2.2 Muestreo de aguas superficiales**



*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

## **Río Sapoá**

Las muestras de agua del río, fueron tomadas en contra de la corriente, en el centro del cauce del río y a 50 cm de profundidad. Se recolectaron 2 muestras de agua en cada muestreo, para realizar análisis físico químico, nitritos, nitratos y amonio, fósforo total. Las muestras fueron depositadas en una botella previamente etiquetada para posteriormente ser transportadas para realizar los análisis de acuerdo a lo establecido en los Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Aguas Naturales y Residuales del CIRA / UNAN.

- **Lago Cocibolca**

Las muestras de agua en el lago Cocibolca fueron colectadas a 0.5 cm y en el fondo del lago. Se recolectaron 2 muestras de agua en cada muestreo para realizar análisis físico químico, nitritos, nitratos y amonio, fósforo total. Las muestras fueron tomadas directamente a 0.5 cm de profundidad y con la botella Vandor en el fondo del lago y depositadas en una botella previamente etiquetada para posteriormente ser transportadas para realizar los análisis de acuerdo a lo establecido en los Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Aguas Naturales y Residuales del CIRA / UNAN.

## **3.4 Metodología**

### **3.4.1 Metodología de Aforos**

#### **3.4.1.1 Aforo Líquido**

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

La medición del caudal fue realizada por técnicos del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) (figura. 11).



Figura 11. Sitio de muestreo y aforo en el río Sapoá.

El método empleado fue el de Medición de Velocidad en el Centroide del Flujo (figura. 12) que consistió en:

- a) Seleccionar una sección transversal de la corriente uniforme (un tramo recto, lecho sin rocas y crecimiento acuático);
- b) Determinar el ancho de la corriente de orilla a orilla en ángulos rectos a la dirección de la corriente para espaciar las verticales;
- c) Registrar la profundidad de cada vertical y medir la velocidad del agua con el molinete a dos niveles (0.8 y 0.2) de su profundidad, las que luego fueron promediadas.

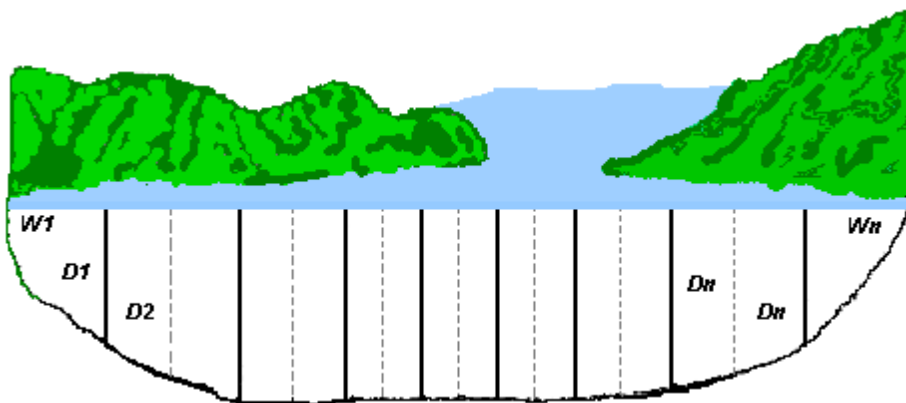


Figura 12. Sección transversal de la corriente que ilustra el método de sección media para determinar el caudal.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

Fuente: Rantz y colegas, 1982; modificado

Los aforos líquidos se realizaron con el método directo de Molinete Hidrométrico, midiendo el ancho del río, la profundidad del cauce y determinando la velocidad de la corriente con un molinete Gurly (figura. 13).

- **CÁLCULOS**

- Una vez conocido el tirante inicial  $y_i$ , y el final  $y_{i+1}$  del área de influencia  $A_i$ , se determina el tirante promedio:

$$\bar{y} = \frac{y_i + y_{i+1}}{2}$$

- Luego calculamos el área de influencia  $A_i$  mediante la siguiente fórmula:

$$A_i = \bar{y}_i \cdot b$$

Dónde:

$b$  = ancho del área de influencia

Las verticales deben tener las siguientes características:

- El ancho entre ellas ( $b$ ), no debe ser mayor que 1/15 a 1/20 del ancho total de la sección.
- El caudal  $Q_i$  que pasa por cada área de influencia  $A_i$ , no debe ser mayor que el 10% del caudal total.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

- La diferencia de velocidades entre verticales no debe sobrepasar un 20%.
- La velocidad media en cada vertical se determina como:

$$\bar{V} = \frac{V_{0.2} + 2 \cdot V_{0.6} + V_{0.8}}{4}$$

Y el caudal  $Q_i$  correspondiente a la respectiva área de influencia,  $A_i$ , es:

$$Q_i = \bar{V}_i \cdot A_i$$

Y el caudal total,  $Q_T$ , será entonces:

$$Q_T = \sum_{i=1}^n Q_i$$

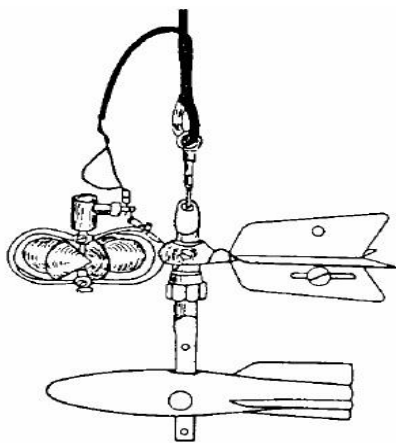


Figura 13. Molinete Gurlly de eje vertical o cazoletas: Tipo Price, de origen norteamericano.

Fuente: IDEAM (2011).

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

### 3.4.1.2 Aforo Sólido

El aforo sólido fue realizado con el método de muestreo integrado de profundidad, el cual consiste en tomar muestras de agua en diferentes puntos de la sección de aforo, a lo ancho y en profundidad. Con base en el aforo líquido se determinaron el número de verticales donde se tomaron tres muestras integradas, además de las tres muestras superficiales a  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{4}$  del ancho de la corriente.

Se realizó aforo Integrado, en este tipo de aforo el muestreador recorre la vertical en ambas direcciones (superficie - fondo -superficie), de tal manera que durante el doble desplazamiento en la vertical se tome una muestra que representa la concentración media en la vertical. El equipo utilizado para este tipo de muestreo fue el USDH – 49 (figura. 14), el cual se acopló con el molinete para obtener un número suficiente de muestras superficiales e integradas en profundidad para conocer la concentración de los sedimentos suspendidos en la columna de agua (IDEAM, 1999).

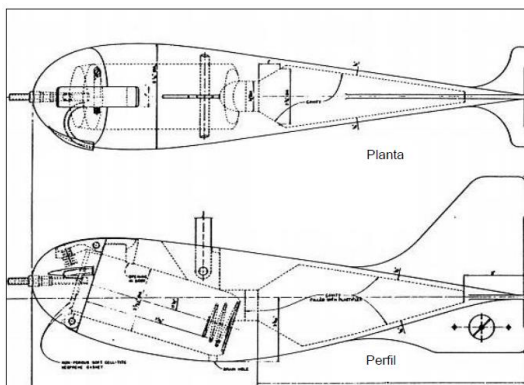


Figura 14. Muestreador integrado de profundidad tipo U.S.D. – 49.

Fuente: IDEAM (2011).

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

### **3.4.2 Granulometría**

El análisis se realizó por el Método de la Pipeta de Kohn y la clasifican, de acuerdo a la Norma Austriaca 1-1083-88 utilizado en el laboratorio de Radioquímica Ambiental del CIRA/UNAN-Managua.

### **3.4.3 Materia orgánica**

El análisis de materia orgánica total fue realizado por el método de materia oxidable mediante el ácido crómico con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> conocido como Walkley – Black, utilizado en el laboratorio de Radioquímica Ambiental del CIRA/UNAN-Managua.

### **3.4.4 Análisis de <sup>210</sup>Pb**

El análisis de <sup>210</sup>Pb para la datación de los perfiles de sedimentos se realizó por espectrometría alfa. El perfil de sedimento fue cortado en secciones de 1 cm. Las muestras del sedimento fueron secadas a 45 °C y tamizadas en una maya de 0.2 mm. Se pesaron 0.5 g de sedimento por muestra en un beaker de 250 ml; se añadió 20 ml de agua destilada, 20 ml de ácido clorhídrico concentrado, 20 ml de ácido nítrico concentrado, 200 µl del trazador <sup>209</sup>Po (Polonio) con una actividad de 0.30 Bq.ml<sup>-1</sup> conocida y luego se agitó la muestra durante 15 minutos. Posteriormente se realizó la digestión con calentamiento entre (65 y 75 °C) y agitación magnética durante 8 horas. La muestra se evaporó al día siguiente, entre 65 y 75 °C con un agitador magnético hasta llegar a sequedad, luego se agregó 3 ml de ácido clorhídrico concentrado antes que alcanzara la evaporación total procurando humedad en la muestra, repitiendo el paso dos veces más; se redisolvió la muestra

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

resultante añadiendo 75 ml de ácido clorhídrico 1 N, se calentó entre (65 y 75 °C) 15 minutos, se filtró en caliente hasta que se obtuvo 150 ml, luego se calentó al día siguiente entre (65 y 75 °C) durante 8 horas, se le añadió ácido ascórbico para acomplejar el hierro y se sumergió un disco de plata previamente limpio y lacado una de sus caras y sujetándolo con un trozo de nylon. Por último, se sacó el disco de la solución se enjuagó con suficiente agua destilada, se secó a temperatura ambiente, se etiquetó y se guardó en una bolsa plástica previamente etiquetada.

La actividad del  $^{210}\text{Pb}$  se determinó de forma indirecta mediante su descendiente el  $^{210}\text{Po}$  asumiendo que ambos se encuentran en equilibrio secular o igual comportamiento químico, utilizando un espectrómetro alfa Camberra Packerd (modelo: 7200 – 04) y el tiempo de conteo fue de aproximadamente  $40\,000\text{ s}^{-1}$  para muestras poco activas. El modelo utilizado para obtener la edad de cada capa, el año, las tasas de acumulación y sedimentación fue el modelo de Flujo Constante (Constant Flux) conocido como CRS (Constant Rate of Supply), el cual se basa en la hipótesis que el flujo de  $^{210}\text{Pb}$  en exceso a la superficie del sedimento es constante.

### **3.4.5 Análisis físico químico**

Las muestras para los análisis físico – químicos fueron captadas, preservadas, transportadas y analizadas siguiendo los Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Aguas Residuales y Aguas Naturales del CIRA / UNAN, que obedecen a los procedimientos descritos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 2005, 21th edition.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

Tabla 5. Métodos utilizados en el análisis físico químico del agua.

Variable	Método <sup>1</sup>	Rango/Límite de detección	Unidades
Turbidez	Nefelométrico <sup>1</sup>	0,00 a 999	UNT
Conductividad a 25,0 °C	Método de laboratorio <sup>1</sup>	1,0 a 10 000	µS.cm <sup>-1</sup>
Sólidos totales disueltos	Gravimétrico <sup>1</sup>	Hasta 20 000,00	mg.l <sup>-1</sup>
Sólidos suspensos	Gravimétrico <sup>1</sup>	Hasta 20 000,00	mg.l <sup>-1</sup>
Nitratos		0,05	mg.l <sup>-1</sup>
Nitritos	Espectrofotométrico - Sulfanilamida <sup>1</sup>	0,003	mg.l <sup>-1</sup>
Amonio	Espectrofotométrico - Fenato <sup>1</sup>	0,0003	mg.l <sup>-1</sup>
Nitrógeno total	Segunda derivada de Espectroscopia <sup>3</sup>	0,10	mg.l <sup>-1</sup>
Fósforo Total	Espectrofotométrico–Vanado molíbdofosforico <sup>1</sup>	0,01	mg.l <sup>-1</sup>
DBO <sub>5</sub>	Modificación de Azida <sup>1</sup>	1,00	mg.l <sup>-1</sup>
DQO	Volumétrico - reflujo cerrado, titulación con FAS <sup>1</sup>	10,00	mg. l <sup>-1</sup>

<sup>1</sup> American Public Health Association (APHA). (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th.* Washington: Washington: APHA.

<sup>2</sup>Thermo Orion. (2008). *ROSS Sodium Electrodes Instruction Manual.* Model 8611BN. USA: Thermo Orion.

<sup>3</sup> Crumpton, W. G., T.M. Isenhardt & P.D. Mitchell. (1992). *Nitrate and organic N analysis with second derivate spectroscopy.* *Limnology and geography* 37: 907-913.

<sup>4</sup> CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamiento Ambiental). (1977). *Análisis físico químico para Controle de Estacoes de Esgotos.* CETESB: Brasil.

<sup>5</sup>CIRA/UNAN, 2005

<sup>6</sup> Rothery, E. (1984). *Operation Manual VGA-76.* VARIAN.

<sup>7</sup> Rothery, E. (1988). *Operation Manual GTA-96.* VARIAN.

<sup>8</sup>Constant Rate Supply of 210 Pb (Appleby 1994; Krishnaswami& Lal 1978)



*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

## **CAPÍTULO 4 RESULTADOS**

### **4.1 ESTIMAR EL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN DEL RÍO SAPOÁ HACIA EL LAGO COCIBOLCA**

#### **4.1.2 Caudal líquido**

En la tabla 7 se presentan las mediciones de caudales del río Sapoá en los sitios ubicados en la zona fronteriza entre Nicaragua y Costa Rica y en la desembocadura del río Sapoá en octubre 2013, y marzo 2014. El caudal máximo se registró en el punto DSR con 941 500,8 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup> en la época lluviosa y un mínimo de 226 454,4 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>, en el punto ZF en la época seca.

Tabla 6. Resultados del Aforo Líquido en el Río Sapoá.

Sitios de Muestreo	Época octubre 2013	Época marzo 2014
Zona Fronteriza <b>(ZF)</b> m <sup>3</sup> . d <sup>-1</sup>	799 200	226 454,4
Desembocadura <b>(DSR)</b> m <sup>3</sup> . d <sup>-1</sup>	941 500,8	607 910,4

De acuerdo a los resultados de aforos obtenidos en ambos sitios estudiados, se observa una disminución drástica del flujo de agua en la época seca ocasionado por la reducción de las precipitaciones en el área de estudio (figura 15). En octubre 2013 se observó un aumento en el caudal del sitio ubicado en la desembocadura del río Sapoá posiblemente por caudales subterráneos aportados y por las escorrentías superficiales desde la parte baja en la cuenca.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

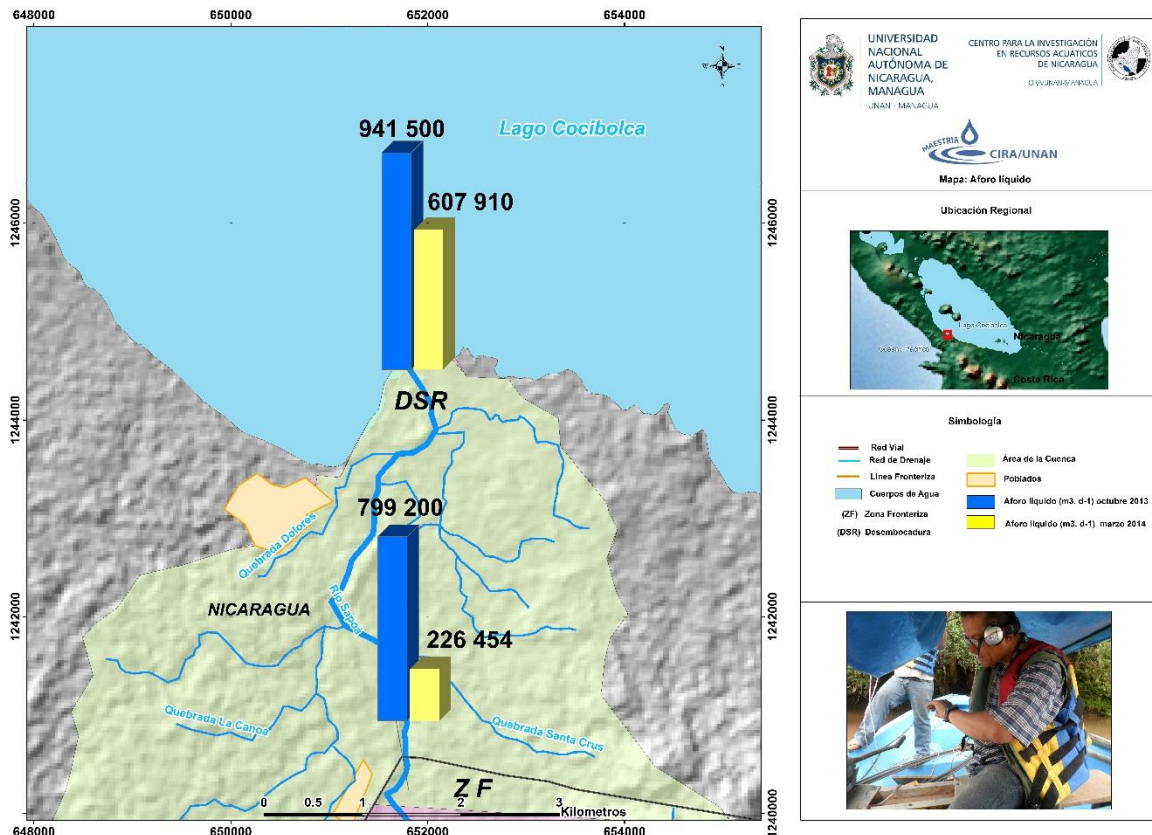


Figura 15. Aforo Líquido en el río Sapoá en octubre 2013 y marzo 2014.

### 4.1.3 Carga de sedimentos en suspensión

En la tabla 7 se muestran las mediciones de la carga de sedimentos en suspensión en los sitios ubicados en la zona fronteriza entre Nicaragua y Costa Rica y en la desembocadura del río Sapoá en octubre 2013 y en marzo 2014. En octubre 2013 fue encontrada la mayor carga de sedimentos en suspensión con 99,949 t. d<sup>-1</sup> en el punto DSR y la menor carga en octubre 2013 con 0,637 t. d<sup>-1</sup> en el mismo punto. Esto indica que del área de la cuenca perteneciente a Nicaragua aporta 42,21 t. d<sup>-1</sup>, en octubre 2013, lo que representa el 42,2 % del total aportado al lago por la cuenca en esa misma fecha (ver tabla 7).

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

Tabla 7. Resultados de aforos sólidos en el río Sapoá.

Sitios de Muestreo	Época octubre 2013	Época marzo 2014
Zona Fronteriza ( <b>ZF</b> ) t. d <sup>-1</sup>	57.733	1.951
Desembocadura ( <b>DSR</b> ) t. d <sup>-1</sup>	99.949	0.637

La carga de sedimentos en suspensión es transportada por la corriente en suspensión en la columna de agua y ambos sitios muestreados reflejaron a través del río la erosión provocada en la cuenca aguas arriba y que la mayoría de los sedimentos erosionados en la parte alta son transportados por escorrentías superficiales dentro de la cuenca de drenaje hacia la parte más baja de la cuenca. De acuerdo a CVC (2007), a mayor intensidad de la corriente mayor es el material de fondo que es puesto en suspensión y transportado por el río; por lo que el aumento del arrastre de sólidos en suspensión desde el sitio ubicado en la zona fronteriza con Costa Rica hacia el sitio ubicado en la desembocadura del río Sapoá se debe al aumento del caudal, el cual permite la suspensión de las partículas del fondo, incrementando la carga en suspensión en el sitio estudiado.

Las variaciones en la producción de sedimentos en la cuenca del río Sapoá en ambos sitios de estudio reflejan la erosión que se genera en la cuenca. En lo que respecta al aumento del transporte de la carga en suspensión en octubre 2013 en el sitio ubicado en la desembocadura del río Sapoá esta favorecido por las características del lecho del río, la topografía, la configuración del cauce, distancia entre laderas y profundidad en ambos sitios de muestreo, (figura 1 y 3 en anexos), como producto del caudal líquido, el cual provoca desprendimiento de laderas. Con respecto a los resultados obtenidos en marzo 2014, se observa una drástica reducción de la carga de sedimentos en suspensión en ambos sitios de muestreo del río Sapoá, lo que es congruente con el caudal líquido registrado en marzo 2014 (figura 15). El descenso está ligado al caudal y a las características hidráulicas del cauce del río en la cuenca como granulometría, pendiente y el caudal provocado

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

por la reducción de las precipitaciones en los sitios estudiados. En la siguiente figura se muestran el comportamiento de las mediciones de caudales y la carga de sedimentos en suspensión en los sitios ubicados en la zona fronteriza entre Nicaragua y Costa Rica y en la desembocadura del río Sapoá en octubre de 2013 y marzo 2014.

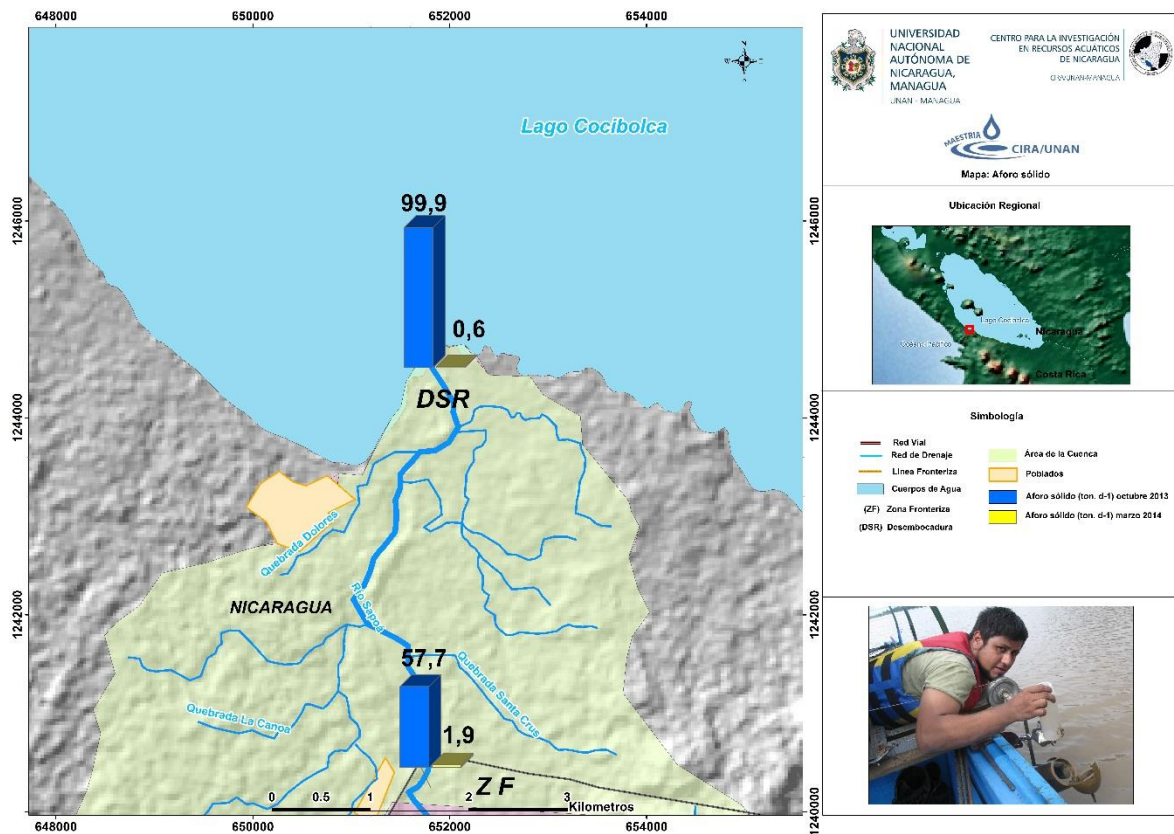


Figura 16. Aforo Sólidos en el río Sapoá en octubre 2013 y marzo 2014.

## 4.2 CARACTERIZACIÓN GRANULOMÉTRICA Y CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

#### 4.2.1 Granulometría en el río Sapoá y el lago Cocibolca

##### 4.2.1.1 Tamaño de partícula y textura

Los sedimentos del río Sapoá mostraron una fracción dominante de limo en la Zona Fronteriza y desembocadura al lago en octubre 2013 y marzo 2014 (figura 17). Estas superan el 60 % de las partículas que forman el sedimento, los cuales están compuesto de materiales finos (limo y arcilla) a diferencia del sitio ubicado en la desembocadura que presentó una reducción de las partículas de limo (54 %) en marzo 2014. En el lago Cocibolca se produjo una variación debido al aumento de las partículas de arena en la época lluviosa con un porcentaje de 87 % y disminuye en la época seca (68 %).

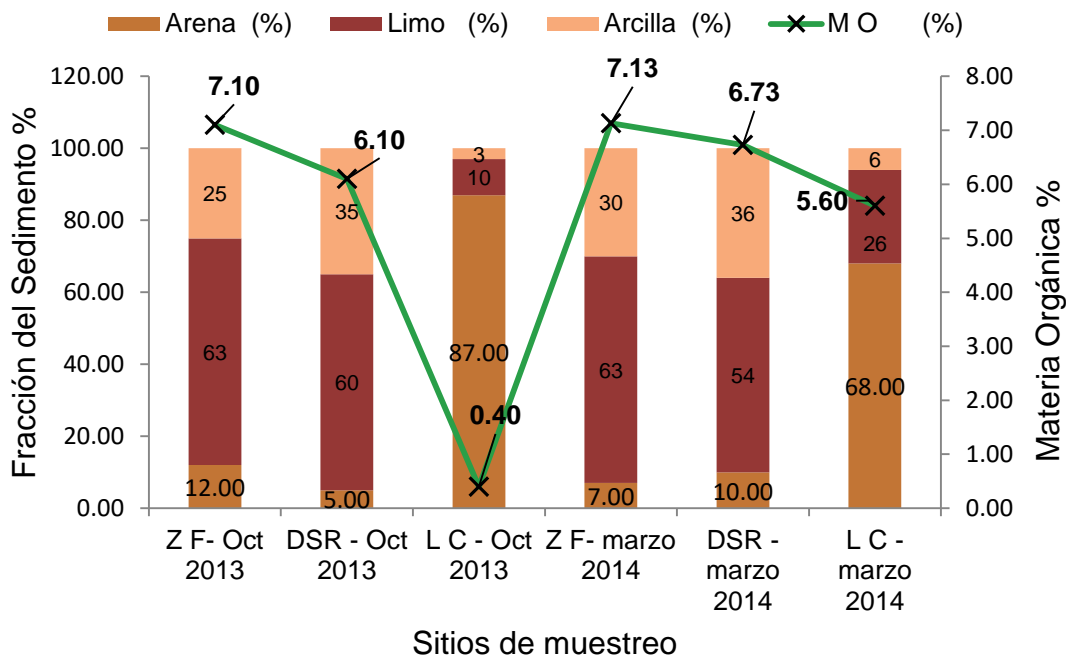


Figura 17. Composición granulométrica de los sedimentos del río Sapoá y el lago Cocibolca en octubre de 2013 y marzo 2014.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

De acuerdo a los resultados de la granulometría la distribución del tamaño del grano en el río Sapoá presentó 3 tipos de textura: Una textura de tipo franco limosa en Zona Fronteriza en octubre 2013 (ZF LI), otra textura Franco limosa arcillosa en la Zona Fronteriza en marzo de 2014 (ZF S) y la desembocadura en ambas fechas. Por otro lado, el punto que corresponde al lago Cocibolca presentó dos tipos de textura: Una textura Arenosa en octubre 2013 y Areno Franco en marzo 2014. La distribución del tamaño de las partículas y la textura de los sedimentos del río Sapoá y el lago Cocibolca se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Composición de la granulometría y materia orgánica del río Sapoá y el lago Cocibolca en octubre 2013 y marzo 2014.

<b>Fracción de Sedimento y Materia Orgánica</b>						
Sitios de Muestreo	<b>ZF octubre 2013</b>	<b>ZF marzo 2014</b>	<b>DSR octubre 2013</b>	<b>DSR marzo 2014</b>	<b>LC octubre 2013</b>	<b>LC marzo 2014</b>
Arena (%)	12,00	7,00	5,00	10,00	87,00	68,00
Limo (%)	63,00	63,00	60,00	54,00	10,00	26,00
Arcilla (%)	25,00	30,00	35,00	36,00	3,00	6,00
Textura	Franco Limoso	Franco Limoso Arcilloso	Franco Limosa Arcilloso	Franco Arcilloso Limosa	Arenoso	Areno Franco
MO (%)	7,10	7,13	6,10	6,73	0,40	5,60

Fuente; Tomado del gráfico de textura USDA.

Estos cambios de la granulometría en los sedimentos de los sitios antes mencionados entre una fecha del año y la otra son debido al desprendimiento de las partículas del suelo por la lluvia las cuales son transportadas por las escorrentías superficiales en octubre de 2013 y por el manejo inadecuado de los suelos en la cuenca del río Sapoá. En el caso del sitio ubicado en el lago Cocibolca posiblemente se debe a materiales procedentes de la erosión que llega por escorrentía superficial a través de los tributarios desde sus cuencas hacia el cuerpo de agua, además las características hidráulicas del flujo varían a lo largo del cauce, ocasionado que la capacidad de transporte de los sedimentos sea variable temporal y espacialmente.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

#### 4.3.1.2 Materia Orgánica en los sedimentos del río Sapoá y el lago Cocibolca.

Los porcentajes de materia orgánica ubicados en la Zona Fronteriza del río Sapoá no presentan muchas variaciones en ambas fechas de muestreo (ver tabla 8). Sin embargo, a medida que el flujo de agua avanza hacia la desembocadura del río los porcentajes de materia orgánica disminuyen y variaron entre 6,10 % en octubre 2013 y 6,73 % en marzo 2014. El comportamiento del contenido de la materia orgánica en el tramo del río Sapoá posiblemente se debe al tamaño del grano porque los sedimentos en los sitios muestreados presentaron porcentajes altos de limo y arcilla (ver tabla 8). Según Velásquez y Meserendino (2003), la hidrología del río y el régimen de descarga son factores determinantes de la distribución y depósito de los detritos orgánicos en los lechos de los ríos.

El contenido de materia orgánica en los sedimentos del río Sapoá puede ser atribuido al uso del suelo en la cuenca y al lavado de materiales orgánicos depositados en el suelo los cuales son transportados por las escorrentías superficiales en octubre 2013 incorporándolos al río. El mecanismo de transporte de esta materia orgánica va ligado a una acción de lavado de las materias orgánicas depositadas en el suelo por la acción de la lluvia. Las arcillas y otros minerales del suelo son también movilizados por agua de lluvia y se incorporan a los ríos (Campos y Moreira, 1985).

Por otro lado, los porcentajes de materia orgánica obtenidos en los sedimentos ubicados frente a la desembocadura del río Sapoá en el lago Cocibolca variaron entre 0,40 % en octubre 2013 y 5,60 en marzo 2014. La materia orgánica fue mayor en marzo 2014 en comparación con los registrados en octubre 2013, siendo favorecido este resultado por el depósito de materiales finos. Llama la atención que en el lago Cocibolca el valor más bajo de 0,40 % de materia orgánica se encontró

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

en octubre 2013, lo que podría ser explicada por la dominancia de la fracción más gruesa de arena (87%) que no favorece la acumulación de materia orgánica.

### **4.3 FECHAMIENTO DE LOS SEDIMENTOS**

#### **4.3.1 Actividad de $^{210}\text{Pb}$**

El intervalo de la actividad de  $^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$  fue de 11.53 a 58.31 Bq.kg<sup>-1</sup>, este perfil de sedimento presentó una caída gradual hasta los 5 cm de profundidad; posteriormente muestra un comportamiento irregular de  $^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$  hasta los 15 cm de profundidad, para disminuir progresivamente hasta los 26 cm de profundidad. El comportamiento irregular se le atribuye a la bioturbación causada por macroinvertebrados bentónicos bivalvos, poliquetos, entre otros (OIEA, 2012).

Los valores de  $^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$  son comparables con otros estudios similares realizados en Nicaragua en la Bahía de Bluefields donde los valores encontrados de  $^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$  fueron entre 35.00 a 58.00 Bq.kg<sup>-1</sup>.

El contenido de  $^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$  en el perfil de sedimento ilustra que la mayor actividad específica de este radioisótopo natural en el sitio estudiado es de 58.31 Bq. Kg<sup>-1</sup>. Esta actividad en el perfil de sedimento se puede deber a aportes locales desde la cuenca y a la presencia de mayor cantidad de material fino en la zona de estudio, lo que aumenta la remoción de  $^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$  desde la columna de agua. El comportamiento del  $^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$  en el perfil de sedimento se ilustra en la figura 18.



*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

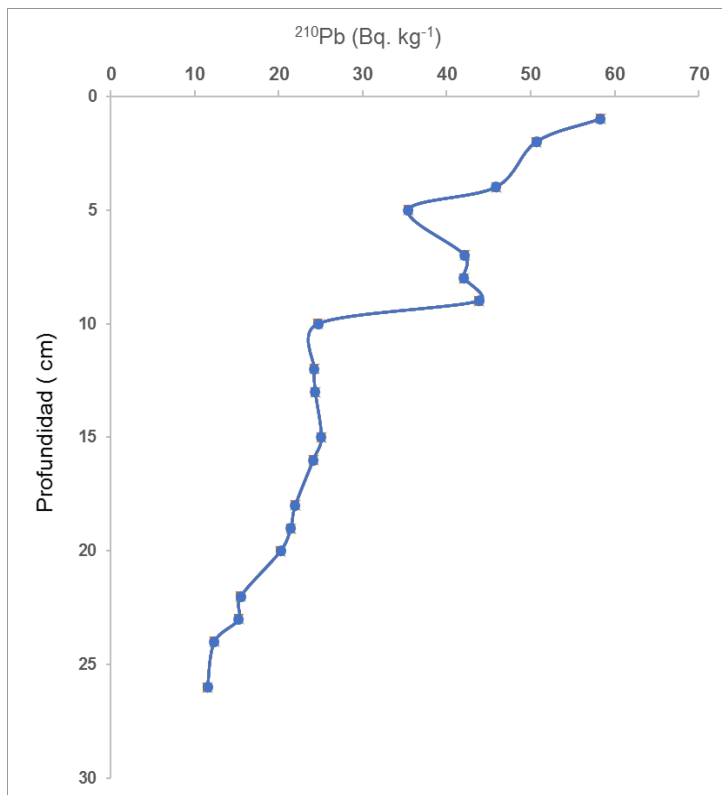


Figura 18. Variación espacial de concentración de  $^{210}\text{Pb}$  vs Profundidad del perfil de sedimento ubicado frente a la desembocadura del río Sapoá en el lago Cocibolca.

#### 4.3.2 $^{210}\text{Pb}$ Soportado ( $^{210}\text{Pb}_{\text{sop}}$ )

El valor de la concentración de  $^{210}\text{Pb}_{\text{sop}}$  en el perfil de sedimentos se calculó con el promedio de las concentraciones de  $^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$  en el fondo del lago Cocibolca frente a la desembocadura del río Sapoá en las dos secciones de 28-29 cm y 29-30 cm determinando así el valor de  $11.54 \text{ Bq.kg}^{-1}$ .

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

### **4.3.3 $^{210}\text{Pb}$ en exceso ( $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ )**

El  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  es el valor necesario para realizar el fechado de un perfil de sedimentos, así como los cálculos de las tasas de sedimentación y acumulación y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$^{210}\text{Pb}_{\text{ex}} = ^{210}\text{Pb}_{\text{tot}} - ^{210}\text{Pb}_{\text{Sop}}$$

En el perfil de sedimentos frente a la desembocadura del río Sapoá en el lago Cocibolca el intervalo de las concentraciones de la actividad de  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  fue de 0.6 a 46.8 Bq kg<sup>-1</sup>. Estos valores son comparables con los valores de  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  de otras regiones y están dentro de los valores típicos de  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  de estuarios tropicales y subtropicales en el mundo.

### **4.3.4 Fechado con $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$**

#### **4.3.4.1 Selección del modelo**

Para llevar a cabo el fechado en el perfil de sedimento se seleccionó el modelo CRS (Constant Rate Sediment) basado en que el flujo de  $^{210}\text{Pb}$  es constante independientemente de las condiciones atmosféricas (Sanches et al., 2012). Este modelo permitió estimar los cambios de las tasas de acumulación de sedimentos y sedimentación del sitio de estudio.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

#### 4.3.5 Geocronología de los sedimentos del área de estudio

La geocronología de los sedimentos del perfil ubicado frente a la desembocadura del río Sapoá en el lago Cocibolca se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Geocronología de sedimentos de  $^{210}\text{Pb}$  en el lago Cocibolca frente a la desembocadura del río Sapoá.

Profundidad (cm)	Edad ( $\text{a}^{-1}$ )	Año	Tasa de acumulación $\text{g cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$	Tasa de sedimentación $\text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$
1.5	1.77	2012	0.04	0.34
3.5	4.84	2009	0.04	0.32
5.5	8.12	2005	0.06	0.30
7.5	11.66	2002	0.04	0.18
8.5	17.71	1996	0.03	0.20
9.5	23.02	1990	0.03	0.19
10.5	28.68	1985	0.05	0.32
12.5	31.98	1981	0.05	0.43
13.5	34.37	1979	0.05	0.30
14.5	37.93	1976	0.04	0.19
16.5	43.84	1970	0.03	0.13
18.5	52.98	1961	0.03	0.14
19.5	61.15	1952	0.03	0.14
20.5	69.15	1944	0.02	0.12
22.5	78.87	1935	0.04	0.11
23.5	89.31	1924	0.03	0.06

De acuerdo a los resultados obtenidos en el fechado del perfil de sedimentos se evidenció que las capas inferiores de sedimentos tienen mayor edad que las capas superiores; confirmándose la hipótesis de que las capas antiguas están a mayor profundidad que las capas nuevas. La edad del perfil varió entre 2 a 89 años; por lo tanto, los sedimentos registran la historia de los últimos 89 años en la cuenca del río Sapoá.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

En el perfil de sedimentos se observó un incremento entre los 10.5 a 13.5 cm de profundidad de la columna sedimentaria los incrementos en la tasa de acumulación y es relevante mencionar que la tasa de sedimentación no solamente aumento entre los 10.5 a 13.5 cm, sino que también registró un aumento en los primeros 6 cm de profundidad del perfil. Estos cambios en los sedimentos podrían estar atribuidos a procesos de erosión y escorrentías superficiales que aumentaron la cantidad de sedimentos transportados desde la cuenca hacia el lago. Otros factores que podrían estar relacionados con el transporte de sedimentos desde la cuenca del río Sapoá al lago Cocibolca es el aumento de la población, cambios en el uso del suelo (agricultura y ganadería) y fenómenos meteorológicos como huracanes y tormentas tropicales.

#### **4.3.6 Tasas de acumulación y sedimentación de los sedimentos**

Los resultados obtenidos en la tasa de acumulación (19 a) de sedimentos variaron entre 0.02 a 0.06 g cm<sup>2</sup> año<sup>-1</sup> entre el año 1924 y 2012. Se evidencian altas tasa de acumulación de sedimentos entre 0.05 a 0.06 g cm<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> en los años correspondientes a 1979, 1981, 1985, y 2005. La tasa de sedimentación varió en un rango entre 0.06 a 0.34 cm año<sup>-1</sup> registrándose el mayor valor en el año 1981 (figura 19, b). Es notorio el incremento en las tasas de sedimentación a partir del año de 1979 hasta 1985 y disminuye hasta el año 2002 e incrementando nuevamente a partir del año 2005 hasta 2012. La tasa de acumulación de sedimentos en el perfil de sedimentos presentó muchas variaciones entre las capas mientras la tasa de sedimentación presentó incrementos hacia las capas más recientes.

En la siguiente figura se muestra las variaciones de la tasa de acumulación y sedimentación del perfil ubicado frente a la desembocadura del río Sapoá en el lago Cocibolca.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

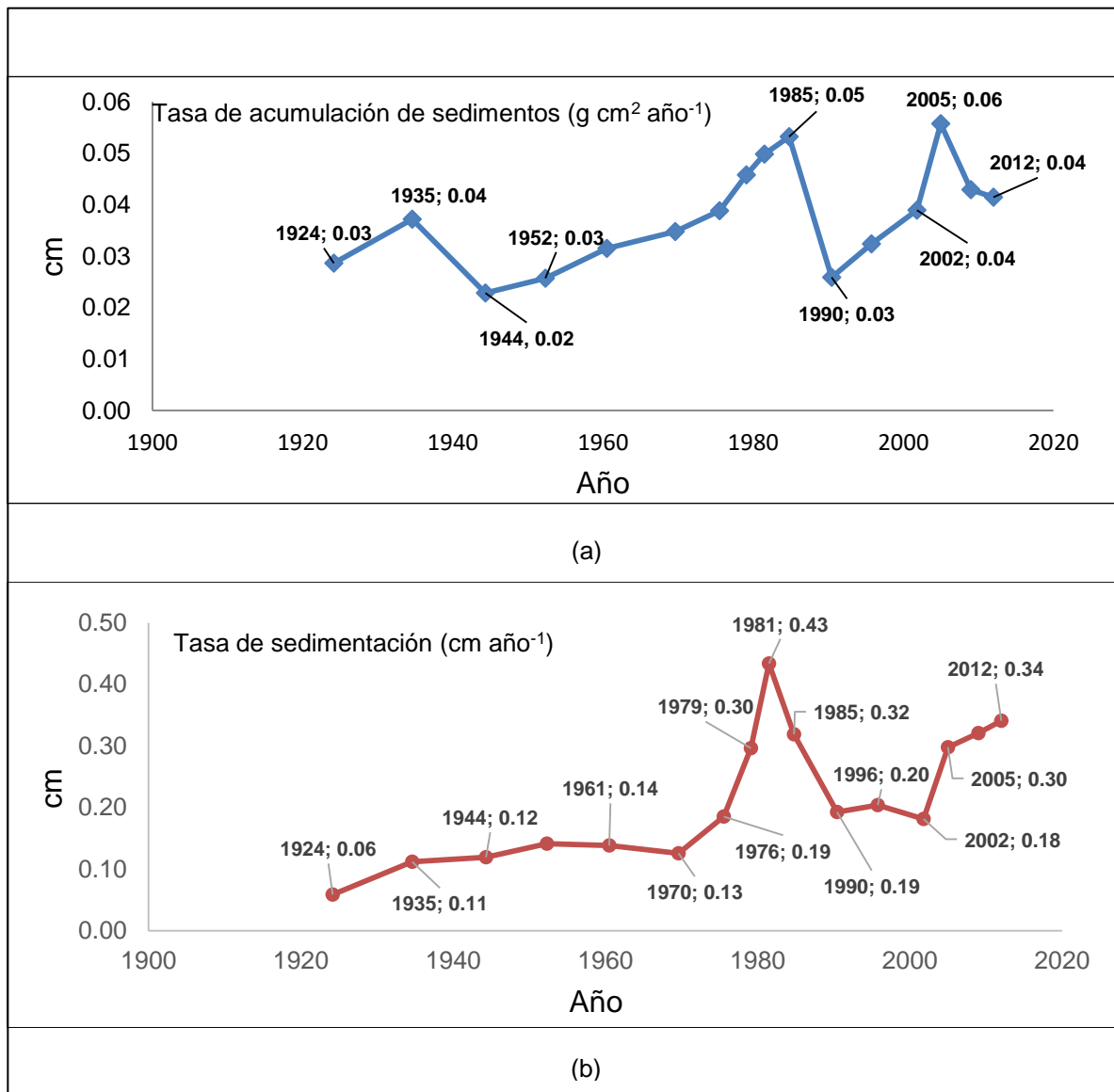


Figura 19. Variaciones de la tasa de acumulación (a) y de sedimentación (b) a través del tiempo frente a la desembocadura del río Sapoá en el lago Cocibolca.

En la figura 19 (a), se observa que la mayor tasa de acumulación de sedimentos no registró muchas variaciones en el perfil, sin embargo, se registró un pequeño incremento hasta  $0.05 \text{ g cm}^2 \text{ año}^{-1}$  entre 1979 – 1985 y disminuyendo nuevamente ente 1990 -1996 para presentar variaciones en incrementos hasta el año 2005. Por otro lado, las tasas de sedimentación no muestran muchas variaciones entre 1924 - 1961; a partir de 1979 se produce un leve incremento en la tasa de sedimentación

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

con 0,30 cm año<sup>-1</sup> hasta el año 1981 con 0,43 cm año<sup>-1</sup> y 1985 con 0,32 cm año<sup>-1</sup>, disminuyendo hasta 0.18 cm. año<sup>-1</sup> en el año 2002 y para incrementar hasta 0.58 cm. año<sup>-1</sup> en el año 2012. La tasa de sedimentación muestra incrementos desde el año de 1979 posiblemente sean ocasionados por una serie de eventos meteorológicos en las últimas 3 décadas y el aumento de la población lo que ha provocado aumento en el uso del suelo para la agricultura y la ganadería.

#### **4.4 AFECTACIONES AL AGUA SUPERFICIAL POR LOS SEDIMENTOS**

##### **4.4.1 Afectaciones físicas**

###### **4.4.1.1 Turbidez y Sólidos Totales Suspensos**

Los valores de sólidos suspensos totales (SST) en octubre 2013 presentaron valores muy similares al compararlo con los obtenidos en marzo 2014. El sitio ubicado en la desembocadura del río Sapoá presentó el valor más alto con 117,14 mg. l<sup>-1</sup>. Lo contrario sucede en marzo 2014 porque el sitio ubicado en la zona fronteriza con Costa Rica presentó el mayor valor de sólidos suspensos totales (ver tabla 10). En lo que respecta a los valores de SST en el lago Cocibolca se registró un valor máximo de 11.00 mg. l<sup>-1</sup> en la superficie (LCS) y 7.89 mg. l<sup>-1</sup> en el fondo (LCF) en octubre 2013, mientras en marzo 2014 se obtuvieron valores menores en ambos sitios estudiados (ver tabla 10).

La turbidez fue mayor en el sitio ubicado en la zona fronteriza con Costa Rica (ZF) en octubre 2013 en el río Sapoá (ver tabla 8), mientras que en el lago Cocibolca se registraron valores muy similares en ambas fechas de muestreo en los sitios muestreados en la superficie y fondo del lago Cocibolca, siendo ligeramente mayor

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

en la superficie (ver tabla 10). El comportamiento de la turbidez y los sólidos suspensos en los sitios de estudio se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Turbidez, río Sapoá y lago Cocibolca

<b>Sitios de Muestreo</b>	<b>(ZF)</b>	<b>(DSR)</b>	<b>(LCS)</b>	<b>(LCF)</b>
Turbidez UTN octubre 2013	219	192	16,9	15,55
Sólidos Susp, Totales (mg. l <sup>-1</sup> ) octubre 2013	115,33	117,14	11	17,2
Turbidez UTN marzo 2014	7,4	20,3	20	19,6
Sólidos Susp, Totales (mg. l <sup>-1</sup> ) marzo 2014	13,05	9,43	7,89	5,33

Los sólidos suspendidos totales y la turbidez en ambos sitios muestreados presentaron grandes variaciones espaciales y temporales en octubre 2013 y marzo 2014. En este estudio los SST están relacionados con la turbidez porque los valores obtenidos presentaron alta dependencia de la precipitación ya que la cantidad de sólidos en suspensión que son transportados por el río aumentó en octubre 2013 provocando mayor turbidez en las aguas del río.

En ambas fechas de muestreo las concentraciones de materia suspendida son altamente dependiente de la lluvia porque aumenta el transporte de partículas de suelo por escorrentía hacia la cuenca. Según Allan (1995), el tipo y la cantidad de materia suspendida controla la turbidez de los ecosistemas y en especial de los sistemas loticos por las características de los ríos. La turbidez registrada en todos los sitios muestreados se debe principalmente a la cantidad de sólidos en suspensión, producto del arrastre de materia que contienen los suelos en el área de la cuenca (figura 20).

Todos los valores registrados en el parámetro de Turbidez superan los valores máximos admisibles por las normas CAPRE (1993), el cual es de 5 UTN, para consumo humano, pero solo en octubre 2013 supera la turbidez para aguas recreacionales según las normas canadienses (CWQG, 2008) en los puntos ZF y

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

DSR, cuyo valor admisible es < 50 UTN. El comportamiento de la turbidez y los sólidos suspensos en los sitios de estudio se ilustra en la figura 20.

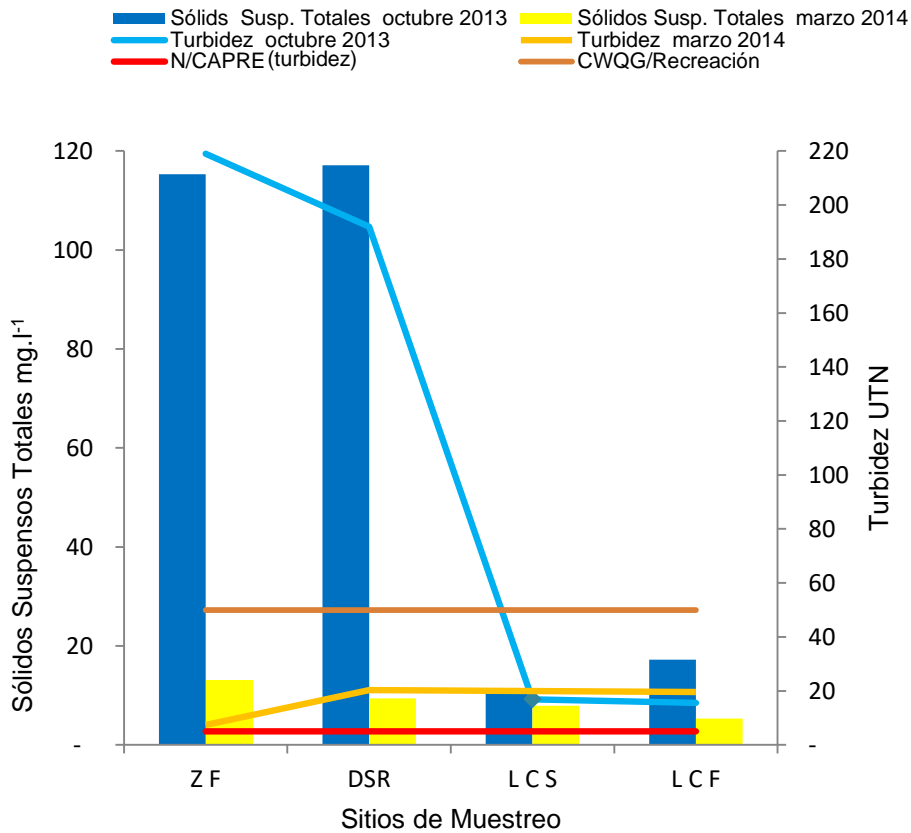


Figura 20. Turbidez y Sólidos Totales Suspensos.

#### 4.4.1.2 Conductividad y Sólidos Disueltos

La conductividad del agua encontrada en los sitios ubicados en el río Sapoá presentó valores más altos desde el sitio la Zona Fronteriza hacia la desembocadura, siguiendo la dirección del flujo hasta llegar a su salida en el lago Cocibolca (ver tabla 11). Es importante señalar que los sólidos disueltos mostraron un comportamiento similar a la conductividad paralelo a la dirección del flujo del río hasta su desembocadura (tabla 11), así mismo ambos parámetros presentaron los



*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

valores más altos en marzo 2014. De acuerdo a Custodio & Llamas (2001), la conductividad está relacionada con la concentración total de sólidos disueltos y los iones mayores y es muy sensible a la variación de los sólidos disueltos especialmente las sales minerales (Ramírez y Viña 1998). El promedio de sólidos disueltos totales para los ríos de todo el mundo ha sido estimado en alrededor de 120 ppm (Livingston, 1963). En el caso de los lagos, los valores de sólidos totales disueltos presentan una gran variación. El comportamiento de la conductividad y sólidos disueltos en los sitios de estudio se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Conductividad y Concentraciones de Sólidos Totales Disueltos, río Sapoá y lago Cocibolca.

Sitios de Muestreo	Octubre 2013		Marzo 2014	
	Conductividad ( $\mu\text{S. cm}^{-1}$ )	Sólidos Totales Disueltos ( $\text{mg. l}^{-1}$ )	Conductividad ( $\mu\text{S. cm}^{-1}$ )	Sólidos Totales Disueltos ( $\text{mg. l}^{-1}$ )
Zona Fronteriza <b>(ZF)</b>	98,70	92,13	207	168,69
Desembocadura <b>(DSR)</b>	110,10	94,27	215	206,68
Lago Cocibolca Superficial <b>(LCS)</b>	187,30	132,32	239	149,04
Lago Cocibolca Fondo <b>(LCF)</b>	185,10	129,75	242	153,38

Los descensos en la conductividad y los sólidos disueltos en las aguas del río Sapoá en octubre 2013 se deben al fenómeno de dilución provocado por las aguas de precipitación y por el descenso de los valores de la alcalinidad y la dureza. Según Ramírez y Viña (1998), los sólidos disueltos guardan una estrecha relación con la conductividad, la alcalinidad y la dureza y esto podría ser la explicación de los valores encontrados.

La conductividad y los sólidos disueltos obtenidos en el lago Cocibolca presentaron valores similares en ambas fechas de muestreo siendo mayores los valores en la marzo 2014 (tabla 11). El descenso en la concentración de sólidos disueltos en octubre 2013 se debe a constante renovación de las aguas que desplazan los sólidos en suspensión, así como en el río, en la superficie del lago Cocibolca (LCF) se registra la mayor concentración de sólidos disueltos en la marzo 2014. Esta

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

situación se debe al incremento de la velocidad de los vientos que generan un mayor oleaje provocando una mayor remoción del sedimento del fondo, liberando el material sedimentado y atrapado en el lecho del lago, el cual se disuelve por la acción mecánica (figura 21).

Los valores obtenidos en las aguas del lago Cocibolca presentaron una relación directa entre la concentración de sólidos disueltos y la Conductividad (figura 21). Estas concentraciones de sólidos disueltos no superan las normas CAPRE la cual es de 1000 mg. l<sup>-1</sup> como valor máximo admisible. En la figura 21 se muestra el comportamiento de los sólidos disueltos y la conductividad en el lago Cocibolca.

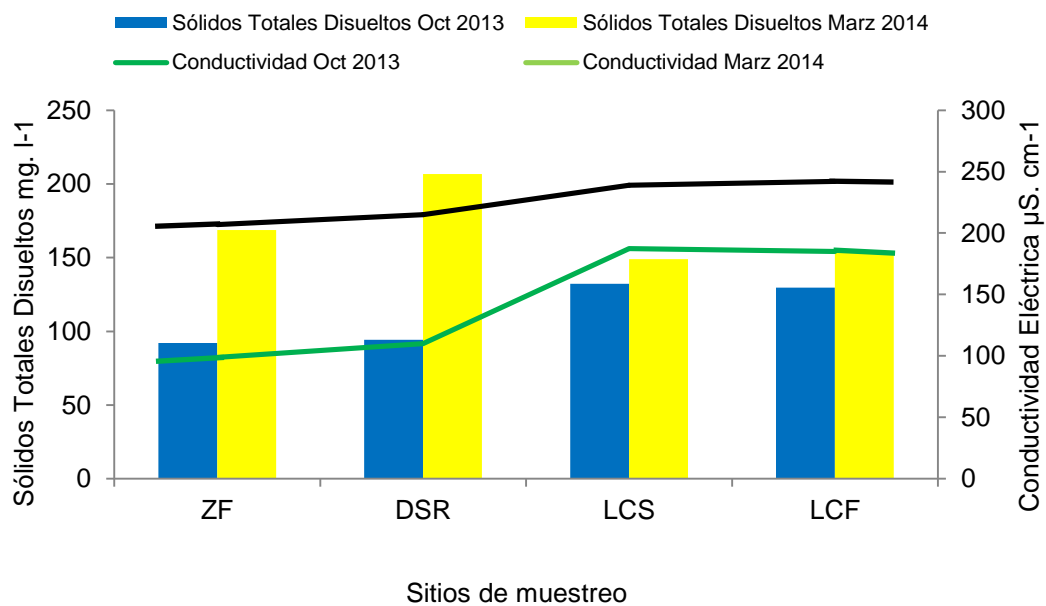


Figura 221. Conductividad y sólidos disueltos en el río Sapoá y lago Cocibolca en octubre 2013 y marzo 2014.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

#### **4.5.1 Afectaciones Químicas**

##### **4.5.1.1 Nitrógeno**

###### **Concentraciones de Nitrógeno en el río Sapoá y lago Cocibolca**

Los Nitratos presentaron una variación entre las dos campañas de muestreo, donde las aguas del río Sapoá registraron valores de 2,18 mg. l<sup>-1</sup> (ZF) y 2,49 mg. l<sup>-1</sup> (DSR) en octubre 2013, mientras que en marzo 2014 los valores fueron inferiores al límite de detección, lo que indica que el aporte de Nitratos es producto de la escorrentía que arrastra los residuos de las excretas animales. Los residuos de animales tienen un alto contenido en nitrógeno, fósforo y materia consumidora de oxígeno, y a menudo albergan organismos patógenos (Custodio & Llamas, 2001). En lo que respecta a las aguas del Lago Cocibolca la variación fue mínima de una fecha a otra (ver tabla 12).

Los Nitritos registraron una ligera variación en las aguas del Sapoá entre ambas campañas, mientras que las aguas del Cocibolca registraron una diferencia menor (ver tabla 12). Las concentraciones de Nitratos y Nitritos son inferiores al límite máximo de la Norma Nacional NTON la cual es de 10 mg. l<sup>-1</sup>.

Los valores de amonio en el río Sapoá y lago Cocibolca no presentaron una variación importante de una fecha a otra, la única variante relevante la presentó el punto ubicado en el punto LCF, donde se obtuvo un valor de 0,53 mg. l<sup>-1</sup> en marzo, sobrepasando el valor máximo recomendado por las normas CAPRE (0.5 mg. l<sup>-1</sup>), mientras que en marzo 2014 se obtuvo una concentración de 0,036 mg. l<sup>-1</sup> (ver tabla 12). En la tabla 12 se presentan las concentraciones de nitratos, nitritos, amonio y nitrógeno total.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

Tabla 12. Concentraciones del Nitrógeno, río Sapoá y lago Cocibolca.

Sitios de Muestreo	N-Nitrato (mg. l <sup>-1</sup> )		N-Nitrito (mg. l <sup>-1</sup> )		N-Amonio (mg. l <sup>-1</sup> )		N-Nitrógeno Total (mg. l <sup>-1</sup> )	
	Octubre 2013	Marzo 2014	Octubre 2013	Marzo 2014	Octubre 2013	Marzo 2014	Octubre 2013	Marzo 2014
Zona Fronteriza (ZF)	2.18	<ld	0,011	0,001	0.024	0.034	3,37	0,201
Desembocadura (DSR)	2.49	<ld	0,012	0,001	0.066	0.034	3,64	0,568
Lago Cocibolca Superficial (LCS)	0.020	<ld	0,003	0,001	0.032	0.036	0,544	0,475
Lago Cocibolca Fondo (LCF)	0.016	0.051	0,003	0,001	0.020	0.053	0,63	1,607

El Nitrógeno Total registró valores más altos en octubre 2013 al compararlo con marzo 2014 en las aguas del río Sapoá, presentando el mayor valor el punto DSR, disminuyendo al ingresar a las aguas del lago (tabla 12). La misma tendencia presentó el lago en las aguas de la superficie en octubre 2013 con valores de 0,544 a 0,047 mg. l<sup>-1</sup> en la Zona Fronteriza y Desembocadura respectivamente, a excepción de las aguas del fondo donde se observó un incremento del nitrógeno en marzo 2014 (ver tabla 12).

La principal fuente de nitrógeno en la cuenca del río Sapoá es la ganadería y la agricultura, la utilización de fertilizantes durante la época seca (marzo 2014) provocan el aumento de los compuestos nitrogenados que llegan al río por escorrentía superficial. Sin embargo, en octubre 2013 la mayor cantidad de nitrógeno se detectó en la desembocadura al lago (DSR) debido a que es transportado por las escorrentías desde las áreas de cultivos y pastoreo de la parte alta y central de la cuenca. De acuerdo con Rodier (1981), el nitrógeno se mueve con facilidad y puede ser lavado del suelo llegando a los ríos a través de las escorrentías. En la figura 22 se presentan las concentraciones de nitratos, nitritos, amonio y nitrógeno total.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

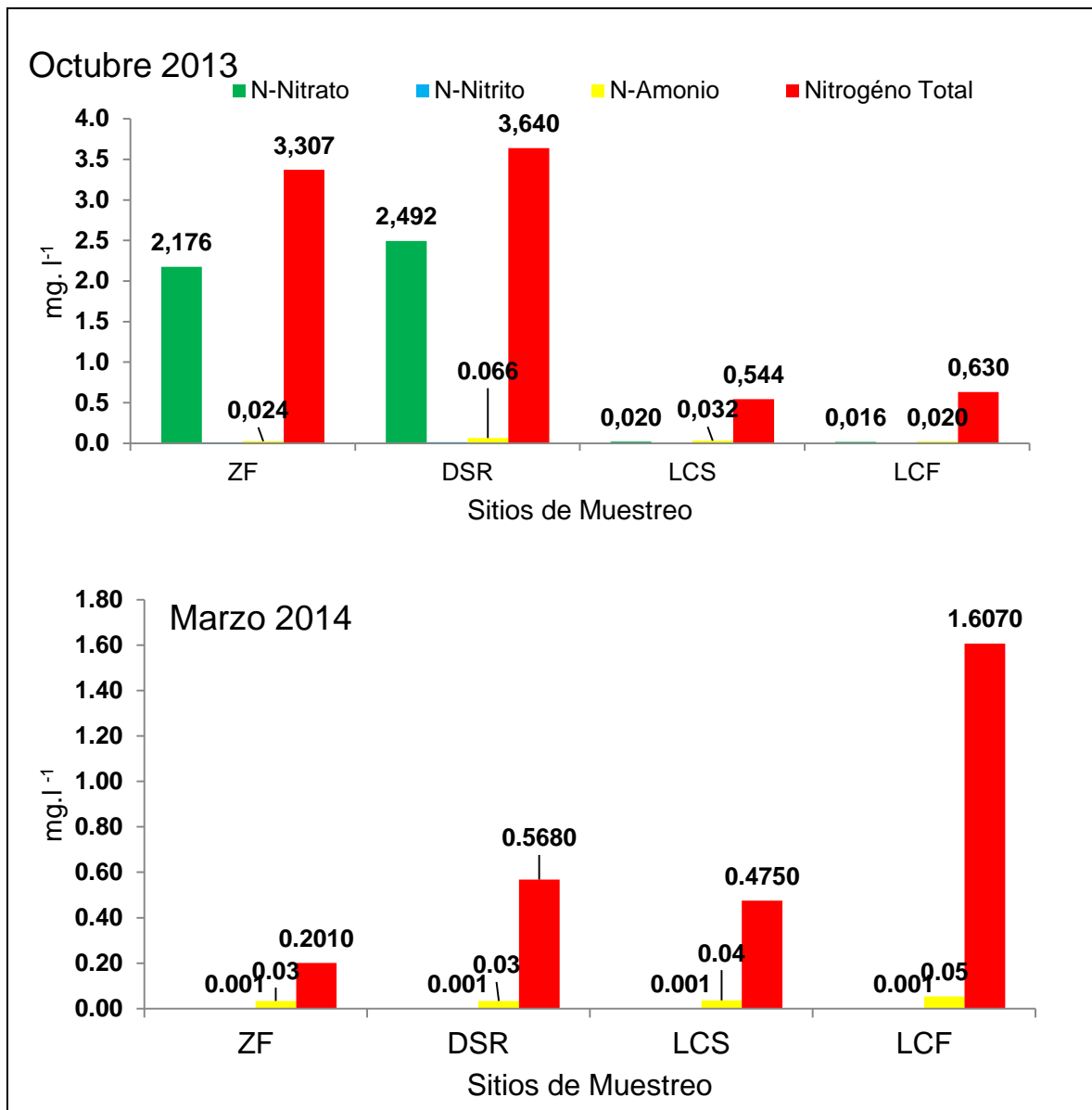


Figura 22. Concentraciones del Nitrógeno y sus especies en el río Sapoá y lago Cocibolca.

#### 4.5.1.2 Fósforo

En el río Sapoá las concentraciones de fósforo total, son más altos en octubre 2013 con respecto a los obtenidos en marzo 2014, presentando la desembocadura del

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

río (DSR) los valores más altos para ambas campañas de muestreo con 226  $\mu\text{g. l}^{-1}$  y 169  $\mu\text{g. l}^{-1}$  respectivamente. En la tabla 13 se presentan las concentraciones de fósforo total en las aguas del río Sapoá y el lago Cocibolca.

Para estimar el estado trófico de los sitios muestreados se convirtieron las unidades de  $\text{mg. l}^{-1}$  a  $\mu\text{g. l}^{-1}$ , donde  $1 \text{ mg. l}^{-1} = 1,000 \mu\text{g. l}^{-1}$ , siendo el límite de detección  $<10 \mu\text{g. l}^{-1}$ . Entonces como resultado tenemos la siguiente tabla.

Tabla 13. Concentraciones Fósforo total en el río Sapoá y lago Cocibolca.

Sitios de Muestreo	Época octubre 2013	Época marzo 2014
	Fósforo Total. ( $\mu\text{g. l}^{-1}$ )	Fósforo Total. ( $\mu\text{g. l}^{-1}$ )
Zona Fronteriza (ZF)	169	< 10
Desembocadura (DSR)	226	27
Lago Cocibolca Superficial (LCS)	46	< 10
Lago Cocibolca Fondo (LCF)	42	42

Los valores obtenidos de fósforo total en octubre 2014 indican que se encuentra disponible para la productividad biológica del río, donde se generan los aportes de fósforo a través de la escorrentía superficial, que arrastra los nutrientes que se encuentran en los suelos, y a su vez esto aumenta la turbulencia en el cauce del río provocando la liberación del fósforo atrapado en los sedimentos, esto indica que en el Sapoá, los aportes de fósforo dependen principalmente de la escorrentía superficial (figura 23).

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

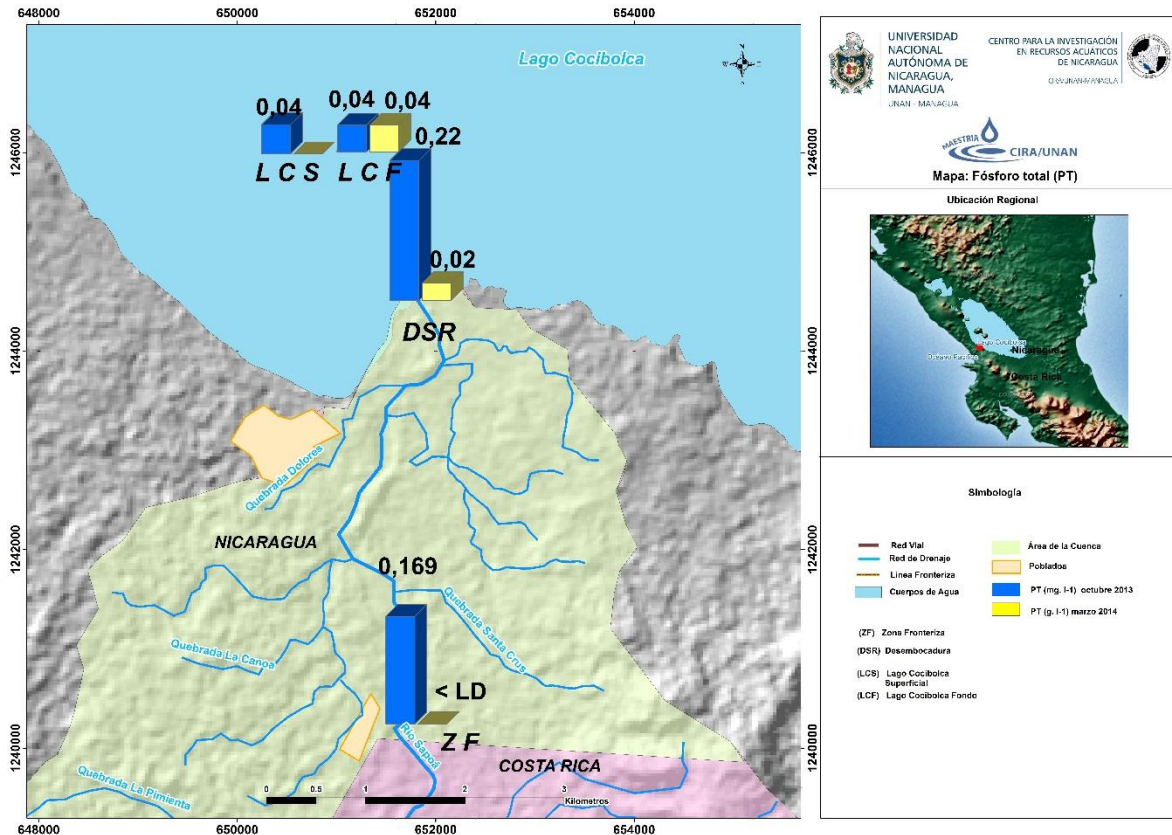


Figura 23. Concentraciones de Fósforo

De acuerdo la clasificación del estado trófico de las aguas superficiales que cita Roldan (2008) a partir de Esteves (1998), en la zona fronteriza el estado trófico del río Sapoá oscila entre politrófico en octubre 2013 a Ultraoligotrófico en marzo 2014, en tanto en la desembocadura del río varían de politrófico en octubre 2013 a mesotrófico en marzo 2014 (ver tabla 14)

Las aguas de la superficie del lago presentaron un comportamiento similar a las aguas del río Sapoá registrándose el mayor valor en octubre 2013 (tabla 14), mientras que las aguas del fondo mostraron un comportamiento similar en ambos muestreos. Estos valores indican que el incremento de las concentraciones de fósforo en la superficie, se registra en octubre, donde se generan los aportes de fosforo a través de la escorrentía superficial, que arrastra los nutrientes que se encuentran en los suelos, mientras que en el fondo el valor registrado en marzo

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

2014 en el punto LCF, indica que el fósforo se encuentra atrapado en el sedimento ha sido liberado a la columna de agua (Wetzel, 1981).

De acuerdo con la clasificación citada por Roldan (2008), en la superficie del lago (LCS), el estado trófico de las aguas oscila entre eutrófico en octubre 2013 a ultraoligotrófica en marzo 2014, en tanto en el fondo del lago (LCF) las aguas no varían su estado trófico, el cual se mantiene eupolitrófico en ambas campañas de muestreo (Ver tabla 14)

Tabla 14. Estado Trófico según concentraciones de Fósforo.

<b>Estado Trófico</b>	<b>Fósforo total (<math>\mu\text{g l}^{-1}</math>)</b>
Ultraoligotrófico	<5
Oligomesotrófico	5,0 – 10,0
Mesotrófico	10,0 – 30
Eupolitrófico	30 – 100
Politrófico	>100

Fuente: Roldan (2008) a partir de Esteves (1998)

#### 4.5.1.3 Relación Nitrógeno Fósforo en el río Sapoá y lago Cocibolca

El Nitrógeno (N) y el Fósforo (P) constituyen los dos elementos más importantes para la productividad primaria en los ecosistemas acuáticos. Su concentración varía desde microgramos ( $\mu\text{g. l}^{-1}$ ) en medios oligotróficos, hasta varios miligramos por litro ( $\text{mg. l}^{-1}$ ) en medios eutrofizados (Roldan, 2008).

Se considera que cuando la relación molar N/P es  $>16$ , el Fósforo (P) es el factor limitante. Cuando  $\text{N/P} = 16$  ninguno de los nutrientes es limitante, esto indica que ambos elementos constituyen la proporción atómica en el fitoplancton, y cuando  $\text{N/P} < 16$ , el nutriente limitante es el Nitrógeno N, esto indica que el N es menos



*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

abundante que el P con respecto a la demanda metabólica del fitoplancton (Rivas et al. 2009).

En el punto ZF se observa que el factor limitante no varía de una fecha a otra, donde en ambas épocas el Fósforo es el factor limitante, lo mismo se observa en el punto DSR en marzo 2014, donde Fósforo es el factor limitante (ver tabla 15). Esto se debe al aporte de la escorrentía la cual en época lluviosa (octubre 2013) arrastra las excretas animales, que son ricas en ureas y otros compuestos Nitrogenados.

En este caso los valores de Fósforo total se mantuvieron en  $\text{mg. l}^{-1}$ , para realizar la correlación con el Nitrógeno total.

Tabla 15. Relación Nitrógeno Total y Fósforo Total.

Sitios de Muestreo	Relación NT – FT ( $\text{mg. l}^{-1}$ )	
	Octubre 2013	Marzo 2014
Zona Fronteriza (ZF)	19,94	20,10
Desembocadura (DSR)	16,11	21,04
Lago Cocibolca Superficial (LCS)	11,83	23,75
Lago Cocibolca Fondo (LCF)	15,00	38,26

En las aguas del lago Cocibolca, en el punto LCS en octubre 2013 el factor limitante es el Nitrógeno con una drástica disminución en marzo 2014, pero en el punto LCF en marzo 2014 el factor limitante es el Fósforo, se observa una destacada variabilidad donde en marzo 2014 el factor limitante pasa a ser el Fósforo con más del doble que se registró en octubre 2013 (figura 24). Esto es producto de la reducción de las precipitaciones y la escorrentía que alimentan de materia orgánica estas aguas.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

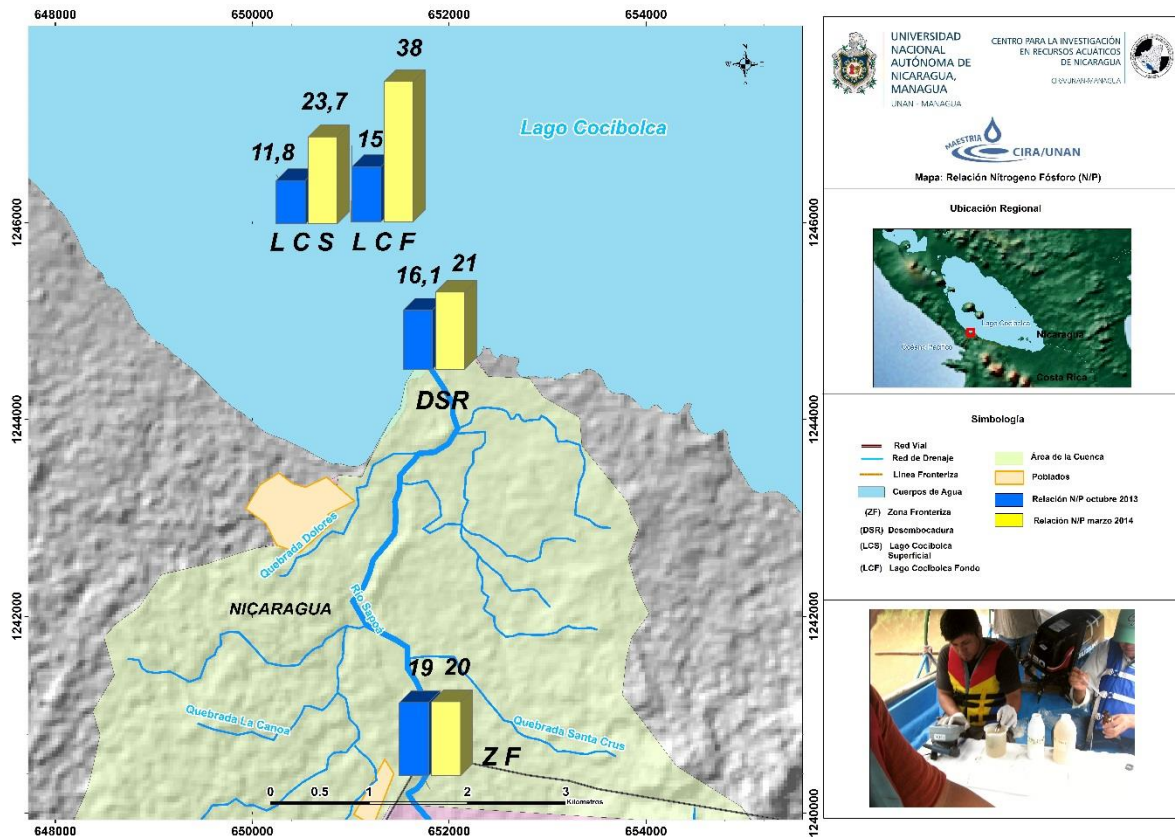


Figura 23. Relación Fósforo Total/Nitrógeno Total en las aguas del río Sapoá y lago Cocibolca en octubre 2013 y marzo 2014.

#### 4.5.1.4. Concentraciones de DBO y DQO

Durante la campaña de muestreo en octubre 2013 y marzo 2014, los valores de DBO oscilaron entre 2,03 a 4,52 mg l<sup>-1</sup> en el río, siendo el valor más alto registrado en el punto ZF en marzo 2014, mientras que el valor más bajo se registró en el punto DSR en marzo 2014. En el lago Cocibolca se registró el mismo valor en los dos puntos de muestreo LCS y LCF con 2,54 mg l<sup>-1</sup> en octubre, variando a 4,02 en el punto LCS en marzo 2014 y 19,6 mg l<sup>-1</sup> en el sitio LCF en esa misma fecha (figura 25).

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

En los cuatro puntos de muestreo en la época lluviosa, los valores de DQO son mucho mayores que la DBO lo que indica cantidades significativas de materia orgánica resistente o refractaria contenida en las aguas del río Sapoá y Lago Cocibolca (figura 25).

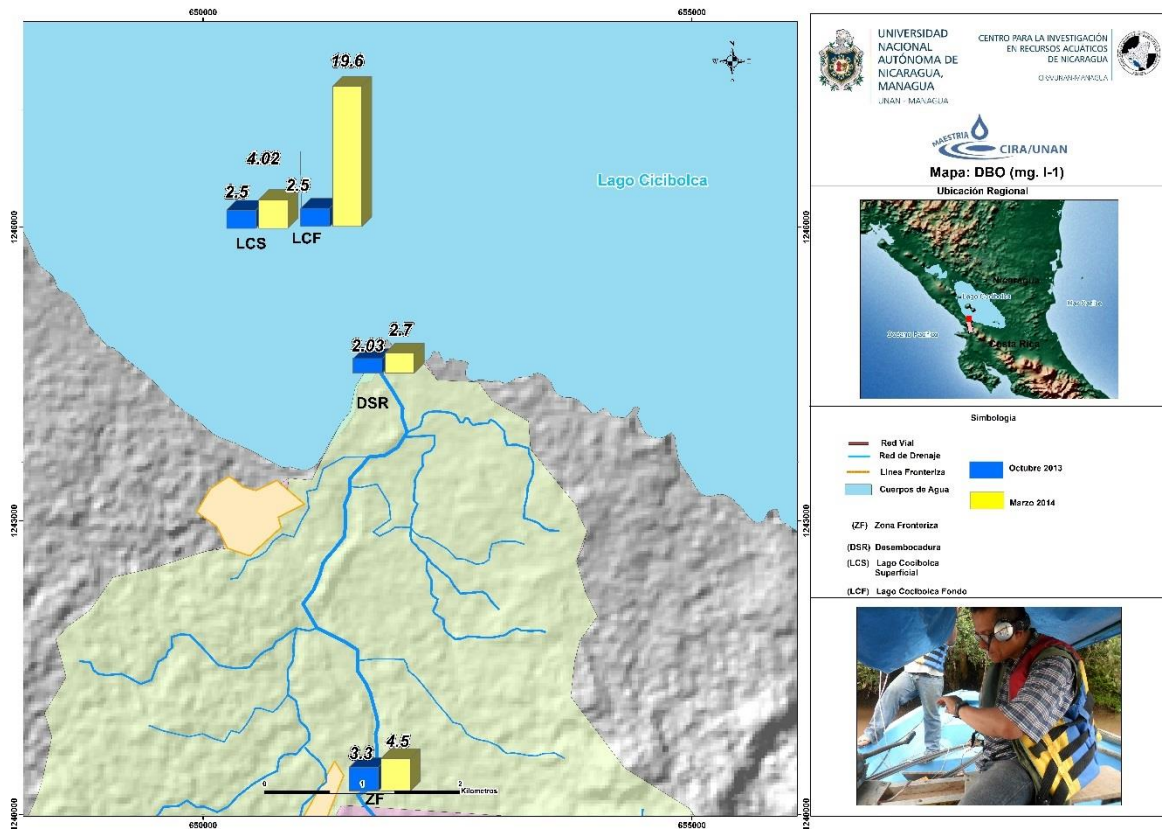


Figura 24. Demanda Bioquímica de Oxígeno octubre 2013 y marzo 2014.

En marzo 2014 se registró una disminución de DBO (0 mg. l<sup>-1</sup>) y DQO (4,5 mg. l<sup>-1</sup>) en el punto ZF en comparación con octubre 2013, mientras que en el punto DSR existe un ligero aumento pasando de 21 a 25 mg. l<sup>-1</sup>. En los puntos LCS y LCF en marzo 2014, se registró un aumento de más del doble pasando de 15, 5 mg. l<sup>-1</sup> en octubre 2013 hasta 34,8 mg. l<sup>-1</sup> en marzo 2014 (figura 26).

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

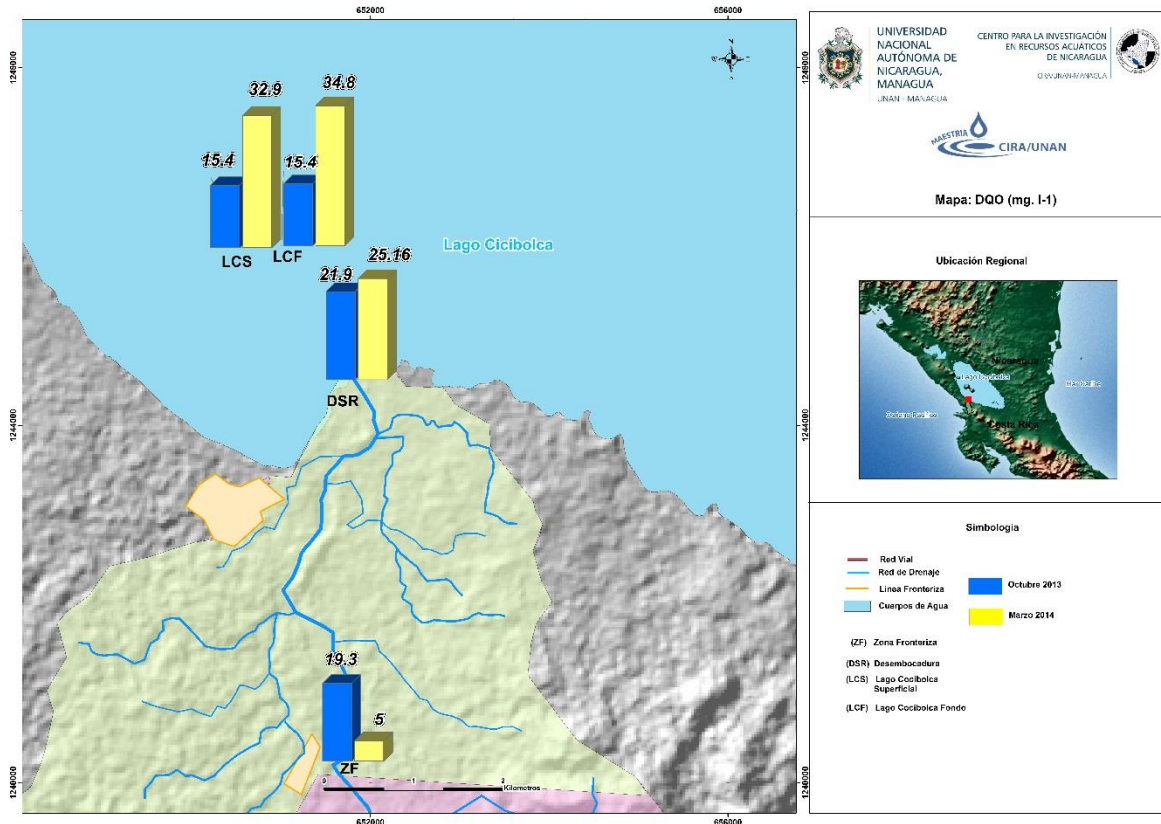


Figura 25. Demanda Química de Oxígeno octubre 2013 y marzo 2014.

Los valores DQO sufrieron una variación muy significativa en la zona fronteriza donde tuvo de 19,35 mg. l<sup>-1</sup> superando los otros puntos muestreados en octubre 2013 en comparación con marzo 2014 donde presentó un valor menor al límite detectable (figura 26). Los valores registrados en los dos puntos en el lago marzo 2014 superaron los registros de octubre 2013 y marzo 2014 del resto de los puntos muestreados con 32,90 mg. l<sup>-1</sup> en la superficie y 32,84 mg. l<sup>-1</sup> en el fondo.

Las concentraciones de DQO se mantuvieron muy por encima de la DBO indicando presencia de materia orgánica resistente o refractaria en los cuatro puntos de muestreo, y solo en el punto ZF en época seca la DBO no superó la norma nacional NTON (2 mg. l<sup>-1</sup>), en el resto de los sitios en ambos meses supera la norma la cual clasifica estas aguas como categoría A1 (Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes).

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

#### 4.5.1.5 Relación DBO/DQO

Cuando el valor de la DBO5 y/o de la DQO reportó resultados por debajo del límite de detección del método, para fines de cálculo de la relación DBO5/DQO, se procedió tomando el valor del límite de detección del método respectivamente y se dividió entre 2 para las dos variables analizadas.

Los valores observados en el mapa de la relación DBO/DQO (0,09 a 0,9) revelaron que en ambas campañas de muestreo (octubre 2013 y marzo 2014), las aguas del río Sapoá y el lago Cocibolca, exceptuando el punto ZF y LSF en marzo 2014, contenían cantidades significativas de materia orgánica resistente o refractaria como ocurre en el caso de los desechos de pulpa de madera, a causa de su alto contenido de lignina (Roldan, G 2008), Indicando la dominancia de materia orgánica en el rango de poco biodegradable (Hernández M., Hernández L., & Galán, 2004). Esto indica que las aguas tanto del río Sapoá como del lago Cocibolca tienen poca capacidad de biodegradación de la materia orgánica (ver tabla 17).

Tabla 16. Relación entre parámetro DBO/DQO.

Relación	Poco Biodegradable	Biodegradable	Muy biodegradable
$\frac{DBO\ 5}{DQO}$	<0,2	0,2-0,4	>0,4

Parámetro DBO/DQO

Fuente: Tomado de (Hernández M., Hernández L., & Galán, 2004)

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoaá.*

Tabla 17. Relación DBO/DQO (mg. l<sup>-1</sup>).

Sitios de muestreo	octubre 2013	marzo 2014
Zona Fronteriza (ZF)	0,17	0,90
Desembocadura (DSR)	0,09	0,15
Lago Cocibolca Superficial (LCS)	0,16	0,12
Lago Cocibolca Fondo (LCF)	0,16	0,56

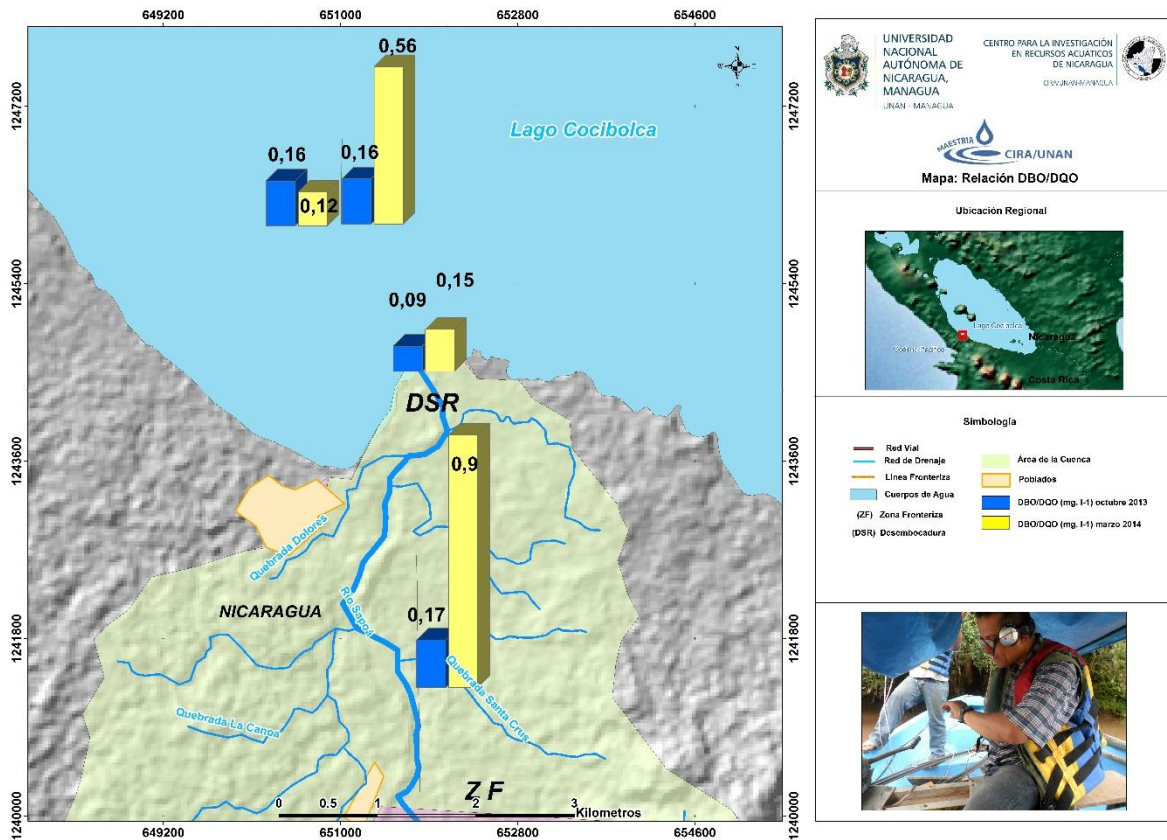


Figura 26. Relación DBO/DQO octubre 2013 y marzo 2014.

## **CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES**

- El río Sapoá aporta una considerable carga de sedimentos en suspensión ( $99.949 \text{ ton d}^{-1}$ ) al lago Cocibolca.
- La variación en la tasa de sedimentación en el lago Cocibolca es amplia ( $0.06$  a  $0.34 \text{ g cm}^{-2}, \text{ año}^{-1}$ ), atribuida a procesos de erosión y escorrentías superficiales, aumento de la población, cambios en el uso del suelo y fenómenos meteorológicos.
- Las aguas del río Sapoá no presentan problemas en relación a su composición física y química a excepción de la turbidez producto de las escorrentías y al mayor arrastre de sedimentos suspendidos desde la cuenca.

## **CAPÍTULO 6. RECOMENDACIONES**

- Planificar y ejecutar campañas de parte de las instituciones competentes e involucrando a los diferentes actores, organizaciones sociales, agricultores y población en general que viven en la cuenca del río Sapoá con la finalidad de sensibilizar a la población sobre la problemática del aporte de sedimentos a este cuerpo de agua.
- Recomendar al MAGFOR y al INTA realización de campañas de capacitación y entrenamiento en el uso e implementación de técnicas de siembra y cultivos que disminuyan la erosión de los suelos en la cuenca del río Sapoá.
- Trabajar en conjunto con el MAGFOR y el INTA la disminución de la deforestación y quema no controlada en la parte baja de la cuenca del río Sapoá para evitar la degradación de los suelos.
- Planificar y ejecutar campañas de parte de las instituciones competentes e involucrando a los diferentes actores, organizaciones sociales, agricultores y población en general que viven en la cuenca del río Sapoá con la finalidad de sensibilizar a la población sobre la problemática del aporte de sedimentos a este cuerpo de agua.
- Recomendar al MAGFOR y al INTA realización de campañas de capacitación y entrenamiento en el uso e implementación de técnicas de siembra y cultivos que disminuyan la erosión de los suelos en la cuenca del río Sapoá.



*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

- Trabajar en la disminución de la deforestación y quema no controlada en la parte baja de la cuenca del río Sapoá para evitar la degradación de los suelos.
- Que INAFOR, MAGFOR y MARENA implementen programas de silvicultura, agroforestería, agrosilvicultura en la cuenca, así como las laderas empinadas y las orillas del río y quebradas para controlar la acción de desprendimiento y transporte de las partículas del suelo.
- Realizar estudios similares en otras cuencas tributarias para la protección del lago Cocibolca, así como estudios binacionales.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

## **CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA.**

**Albert Lilia A (.1997).** *Contaminación Ambiental. Origen, Clases, Fuentes y efectos.* México.

**Allan Castillo M, (2007),** *Stream Ecology, Structure and function of Running Water, Second Edition.* USA.

**Allan, D., (1995),** *Stream ecology. Structure and function of running waters.* Chapman & Hall, New York.

**ARCAL, (2011),** *Acuerdo Regional de Cooperación para Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe, Informe Anual 2010 República Bolivariana de Venezuela.*

**Banco Mundial (2013),** *Prioridades de Política e Inversión Para Reducir la Degradación Ambiental de la Cuenca del Lago de Nicaragua (Cocibolca).*

**Caballero Y. (2007).** *Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales en la Subcuenca del Rio Ochomogo.* Nicaragua.

**Campos, E. y Moreira. D., (1985).** *Origen y distribución de la materia orgánica en la ría de Villaviciosa, Asturias, España. Trabajo de Geología.* Universidad de Oviedo, 15 339-342 ISSN 0474-9588. <http://www.geol.uniovi.es/TDG/Volumen15/TG15-34.PDF>; 2019-01-18

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

**Canadian Water Quality Guidelines (2008)**, Canadá.

**CAPRE (1993)**. *Normas de Calidad del Agua para Consumo Humano*. Primera edición. San José, Costa Rica.

**Carrasco J, Jorge, Riquelme S. Jorge, (2003)**. *Métodos y prácticas de Conservación de Suelo y Aguas*. Boletín INIA, Chile.

**Cervetto M., (2012)**, *Caracterización Hidrogeológica e Hidro geoquímica de las Cuencas: Salar de Aguas Calientes 2, Puntas Negras, Laguna Tuyajto, Pampa Colorada, Pampa las Tecas y Salar el Laco, II Región de Chile*.

**CIRA-UNAN, (2004)**. *Informe Final: Estudios Básicos Monitoreo Hidrometeorológico y de la calidad del Agua en la Cuenca del Río San Juan del Proyecto: Formulación de un Plan Estratégico de Acción para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y el Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Río San Juan y su Zona Costera*.

**CIRA-UNAN, (2007)**. *Informe Técnico análisis de la Relación entre las Presiones Antropogénicas y el Estado de la Contaminación del lago Cocibolca de Nicaragua*. Fundación Ciudad del Saber.

**Custodio, E. y Llamas, M. (2001)**. *Hidrología Subterránea. Segunda Edición*. Tomo I y II. Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España.

**Dumailo Svetlana (2003)**. *Evaluación de la Problemática Ambiental por Medio del Estudio de Algunos Aspectos de Sedimentación y Contaminación en la Laguna de Bluefields, RAAS, Nicaragua*.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

**Espinoza Marvin (2013).** Productor, Comarca Sapoá.

**Flores M. (2014).** *Fechado de Sedimentos Marinos para Determinar Tasas de Sedimentación en el Golfo de Fonseca, La Unión, El Salvador.*

**García F Maza J., (1995),** *Origen y Propiedades de los Sedimentos, Capitulo 7 del Manual de Ingeniería de los Ríos Facultad de Ingeniería UNAM, México.*

**Igarza M. (2012).** *Materia Orgánica Sedimentaria Reciente del Margen Continental Peruano (tumbes 03°45.01's - 81°07.29'w – San Juan 15°04.75's - 75°44.00'w): su Origen y su Preservación. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.*

**IICA, (2007).** *Dinámica Territorial en la Zona Norte de Costa Rica, Instituto Interamericano de Cooperación Para la Agricultura. Costa Rica*

**INETER, (2004).** *Estudio Hidrogeológico e Isotópico del Lago de Nicaragua.*

**INETER-COSUDE, (2005).** *Erosión Hídrica Mapas de Amenazas, Recomendaciones técnicas para su elaboración. Proyecto MET-ALARN.*

**Instituto Nacional Agropecuario INTA Estación Experimental Agropecuaria EEA, San Juan (2016).** *Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico. Argentina*

**Klein, L., (1962).** *River Pollution II, Causes and Effects. Butterworths., p.22-126.*

**La Gaceta Diario Oficial, (2010).** *Ley No. 620, Ley General de Aguas Nacionales. Nicaragua, Año CXIV, No. 150.*

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

**Livingstone D., (1963).** *Data of Geochemistry Chapter G. Chemical Composition of Rivers and Lakes. Geological Survey Professional Paper 440-G. U.S.*

**Loreto S. Alejandra, (2007).** *Uso de Radionucleidos Ambientales Para Cuantificar el Cambio en la Redistribución de loa Suelos debido a Sistemas de Labranza Contrastante en un Suelo Agrícola, Tesis Doctoral, Varas Valdivia, Chile.*

**Luisa F. Posada, Sandra Mosquera, (2007).** *Biodegradación de la Materia Orgánica Presente en las Aguas Residuales de una Empresa de Pinturas. Universidad EAFIT, Escuela de Ingeniería Departamento de Ingeniería de Procesos. Colombia.*

**Madigan, M., Martinko, J. y Parker, J., (2000).** *Biology of Microorganisms.9a Edición. Prentice-Hall, Inc. New Jersey.*

**Manual Sediment Transport Measurements. (2006).** USA

**MARENA, (2010).** *Caracterización de la Cuenca No. 69, Rio San Juan.*

**Margalef, R., (1983).** *Limnología.* Editorial Omega, S.A. Barcelona España.

**Martinez L., Garcia O., (1997).** *Contaminacion radioactiva en los Ecosistemas, Ciencia.*

**MUNN CB.** *Marine Microbiology: ecology and applications.* New York: BIOS

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

**Norma Regional CAPRE (1994).** *Normas de Calidad del Agua para Consumo Humano, Centroamérica, Panamá y República Dominicana.*

**Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense (2000),** *Norma para la Clasificación de los Recursos Hídricos NTON.*

**OIEA., (2012).** *Radiocronología de sedimentos costeros utilizando 210 Pb: Modelación, Validación y aplicaciones.* OIEA, Austria.

**OMS, (1987).** *Guías Para La Calidad del Agua Potable Volumen 2 Criterios Relativos a la Salud y Otra Información de base, Publicación Científica No 506, Washington, DC, 20037, EUA.*

**OPS, (1987).** *Guías para la calidad del agua potable. Vol. 2. Criterios relativos a la salud y otra información de base.* Publicación Científica No. 506. Washington, D, C. 343 pp.

**Orozco, C., Serrano, A. Gonzáles, M. Rodríguez, F y Alfayate, J., (2004).** *Contaminación ambiental. Una visión desde la química.* Segunda edición. Impreso en Madrid. España.

**Pedro Cisterna, Daisy Peña (2002).** *Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región.* Chile.

**Pérez L., (2005).** *Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Teoría de la Sedimentación,* Bolivia.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

**Pérez L., (2005).** *Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Área de Hidráulica Cátedra de Hidráulica Aplicada a la Ingeniería Sanitaria, Teoría de la Sedimentación.* Argentina

**PROATAS, INETER, ANA, UNI y GIZ, (2014).** *Cuencas Hidrográficas de Nicaragua bajo la metodología Pfafstetter.*

**PROCUENCA, (2004).** *Formulación de un programa de acciones estratégicas para la gestión integrada de los recursos hídricos y el desarrollo sostenible de la cuenca del río San Juan y su zona costera.*

**Ramírez, A. Viña. G., (1998).** *Limnología Colombiana Aportes a su Conocimiento y Estadística de Análisis. Primera edición. Fundación universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.* Colombia.

**Rodier, J., (1981).** *Análisis de las aguas naturales, Aguas residuales y aguas de mar. Química, Física-Química, Bacteriológica y Biología* Ediciones Omega S. A. Barcelona, España.

**Rojas, N. (2011).** *Cuenca Río Zapote.* PNUD.

**Roldan G, Ramírez R., (2008).** *Fundamentos de Limnología Neotropical Segunda Edición, Academia Colombiana de la Ciencias Exactas, física y Naturaleza.* Colombia.

**Sanchez J., Díaz M., Ruiz C., (2012).** *Radio cronología de sedimentos costeros utilizando  $^{210}\text{Pb}$ : modelos, Validación y Aplicaciones.*

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

Scientific Publisher, (2004).

**USDA, (1954).** *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soil United States Salinity Laboratory Staff.*

**Usero J., (2015).** *Estudio de la Calidad Ambiental de los Sedimentos de las Bahía de Cádiz y Algeciras mediante un Método Integrado,* Universidad de Sevilla. España.

**Vammen K, Tercero P., Montenegro S., (2008).** *Evaluación del Proceso de Eutrofización del lago Cocibolca, Nicaragua y sus Causas en la Cuenca.*

**Velásquez L., (2013).** *Modelación del Transporte de Sedimentos en el Golfo de Urabá, Colombia. -Medellín Universidad Eafit Escuela de Ingeniería Departamento de Geología*

**Velásquez, S. y Miserendino, L., (2003).** Análisis de la materia orgánica alóctona y organización funcional de macroinvertebrados en relación con el tipo de hábitat en ríos de montaña de Patagonia. Laboratorio de Ecología Acuática. UNPAT. Sede Esquel. Sarmiento 849. (9200) Esquel. Chubut. Argentina. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1667782X2003000100007&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1667782X2003000100007&script=sci_arttext); 2019-01-18.

**Wetzel, R., (2000).** *Limnología.* Ediciones Omega, S, A. Barcelona, España.



*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

## **7.1. Bibliografía Web**

<http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s04.htm#los%20sedimentos,%20en%20cuanto%20contaminantes%20qu%C3%ADMICOS>. Fecha de consulta 2014-06-14

**FAO (1997).** *Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos*, Canadá. Fecha de consulta: 2019-08-30

**Flórez, I. y Aguirre, J., (2006).** *Hidráulica Fluvial*. Mérida, Venezuela: Publicaciones Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. 215p. Fecha de consulta: 2016-03-20

<http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v21n3/rcta05312.pdf>

**García Y., Balmaseda C., Vargas H., (2012).** *Caracterización Hidroquímica de las Aguas de Riego de la Cuenca del Río Naranjo, municipio Majibacoa, provincia Las Tunas, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Fecha de consulta: 2014-07-25

[http://guiasbus.us.es/ld.php?content\\_id=20512221](http://guiasbus.us.es/ld.php?content_id=20512221).

**Marín E., (2007).** *Geología de la Región Pacífica de Nicaragua. Recursos Naturales. Revista Temas Nicaragüenses*, 109, 305-318. Fecha de consulta: 2013-05-25

[https://www.mivah.go.cr/Documentos/investigaciones\\_diagnostics/diagnostics\\_planes\\_intervencion/2012/LA\\_CRUZ\\_GUANACASTE/DIAGNOSTICO\\_LA\\_CRUZ\\_FRONTERA.pdf](https://www.mivah.go.cr/Documentos/investigaciones_diagnostics/diagnostics_planes_intervencion/2012/LA_CRUZ_GUANACASTE/DIAGNOSTICO_LA_CRUZ_FRONTERA.pdf).

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

**MIVAH, (2012).** *Diagnostico Socio Cultural y Físico Espacial de las Comunidades Ubicadas en el Corredor Fronterizo. Cantón de La Cruz, Guanacaste. Costa Rica.*

Fecha de consulta: 2013-11-12

<http://archivo.elnuevodiario.com.ni/2006/04/06/opinion/>.

**Montenegro S., (06 de abril de 2006).** *Gran Lago Cocibolca ¿reserva nacional de agua potable para Nicaragua?*, El Nuevo Diario. Fecha de consulta: 2015-09-13

<http://www.snet.gob.sv/ver/snet>

**PENUD (2015).** *Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS.*

<https://www.ni.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>:

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

## CAPÍTULO 8. ANEXO

Tabla 1. Concentraciones de DBO.

DBO				
	ZF	DSR	LCS	LCF
DBO octubre 2013	3,30	2,03	2,54	2,54
DBO marzo 2014	4,52	3,77	4,02	3,27
NTON	2,00	2,00	2,00	2,00

Tabla 2. Concentraciones de DQO.

DQO		
	DQO octubre 2013	DQO marzo 2014.
ZF	19,4	<LD
DSR	21,9	25,2
LCS	15,5	32,9
LCF	15,5	34,8

Tabla 3. Concentraciones del Nitrógeno y sus especies en el río Sapoá y lago Cocibolca octubre 2013.

Octubre 2014					
	N-Nitrato	N-Nitrito	N-Amonio	Nitrógeno Total	CAPRE/Amonio
ZF	2,2	0,0	0,0	3,4	0,5
DSR	2,5	0,0	0,1	3,6	0,5
LCS	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5
LCF	0,0	0,0	0,0	0,6	0,5

Tabla 4. Concentraciones del Nitrógeno y sus especies en el río Sapoá y lago Cocibolca marzo 2014.

Marzo 2014					
	N-Nitrato	N-Nitrito	N-Amonio	Nitrógeno Total	CAPRE/Amonio
ZF	0,000	0,001	0,034	0,201	0,5
DSR	0,000	0,001	0,034	0,568	0,5
LCS	0,000	0,001	0,036	0,048	0,5
LCF	0,000	0,001	0,053	1,607	0,5

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

<b>Actividad de <math>^{210}\text{Pb}</math> (Bq. Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Profundidad (cm)</b>
58,31	0,5
50,69	1,5
45,82	3,5
35,41	5,5
42,13	7,5
42,04	8,5
43,84	9,5
24,72	10,5
24,24	12,5
24,36	13,5
25,07	15,5
24,11	16,5
21,97	18,5
21,44	19,5
20,22	20,5
15,48	22,5
15,24	23,5
12,33	24,5
12,16	26,5
11,54	28,5
11,54	29,5

Tabla 5. Decaimiento Radioactivo según profundidad del perfil de sedimento del lago Cocibolca

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

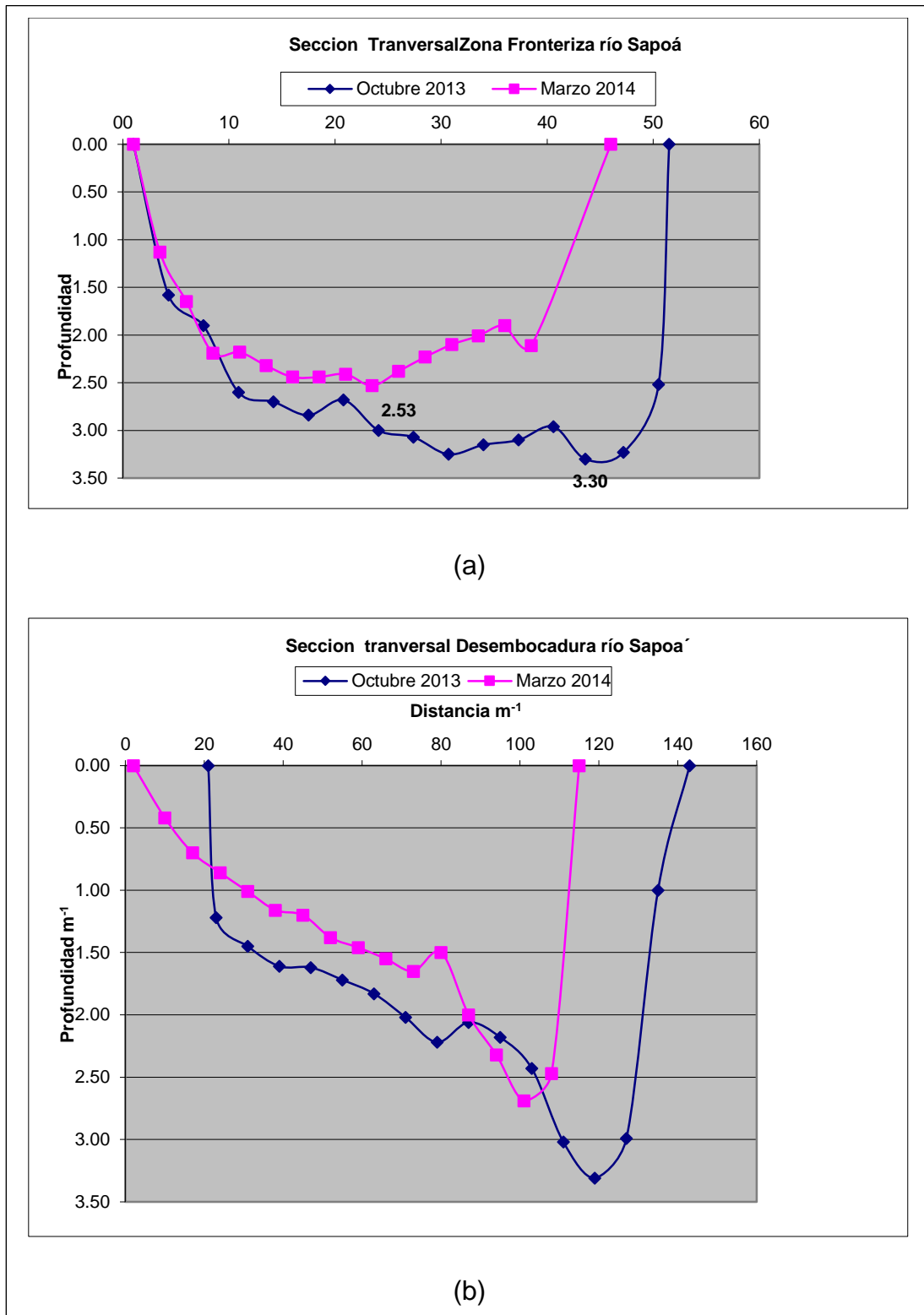


Figura 1. Perfil transversal del río Sapoá, Zona fronteriza (a) y Desembocadura (b)

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*



Figura 2. Río Sapoá



Figura 3. Margen derecha del río Sapoá.



Figura 4. Muestreo en el río Sapoá.

Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoa.

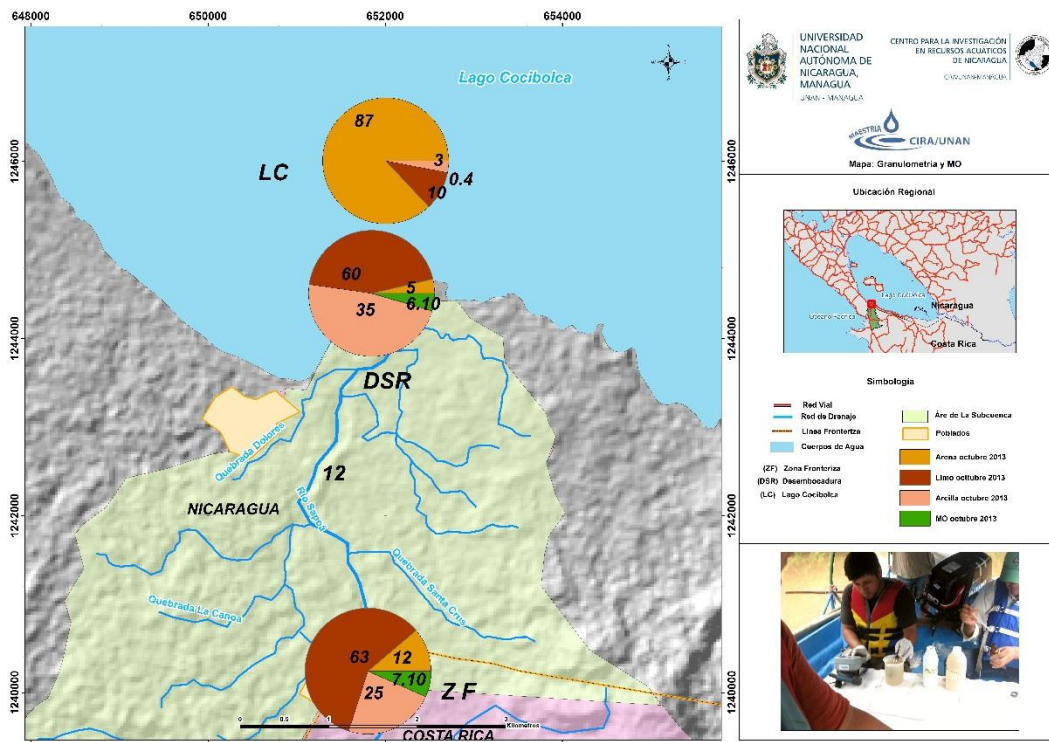


Figura 5. Granulometría en el río Sapoa y lago Cocibolca, octubre 2013.

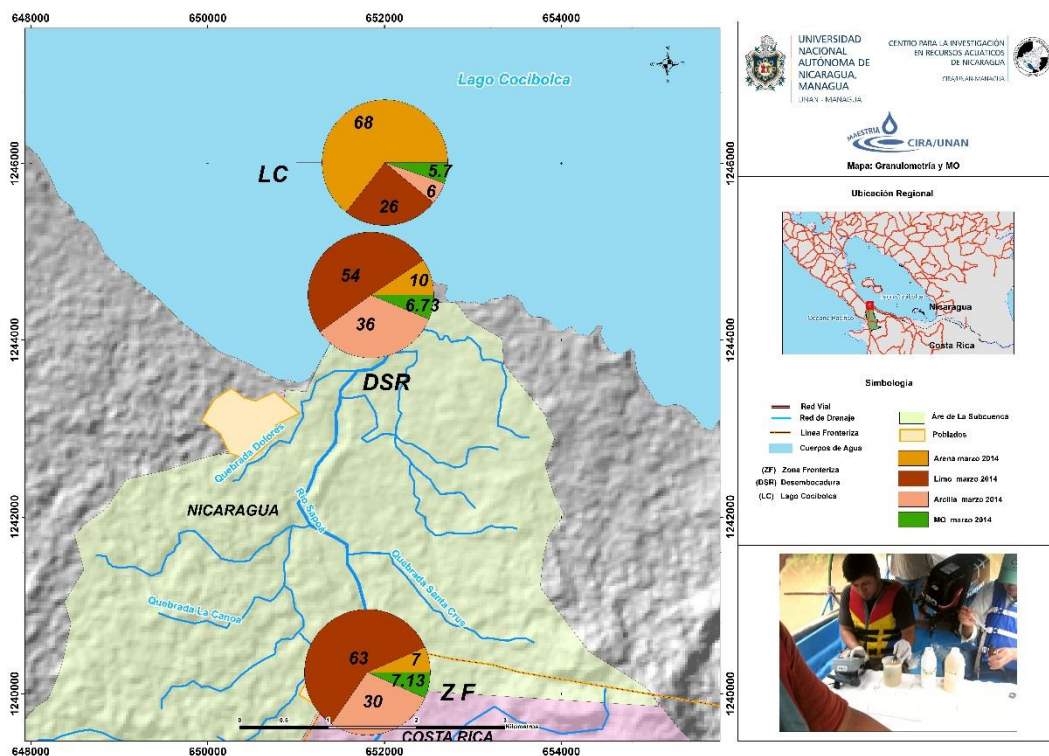


Figura 6. Granulometría en el río Sapoa y lago Cocibolca, marzo 2014

Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.

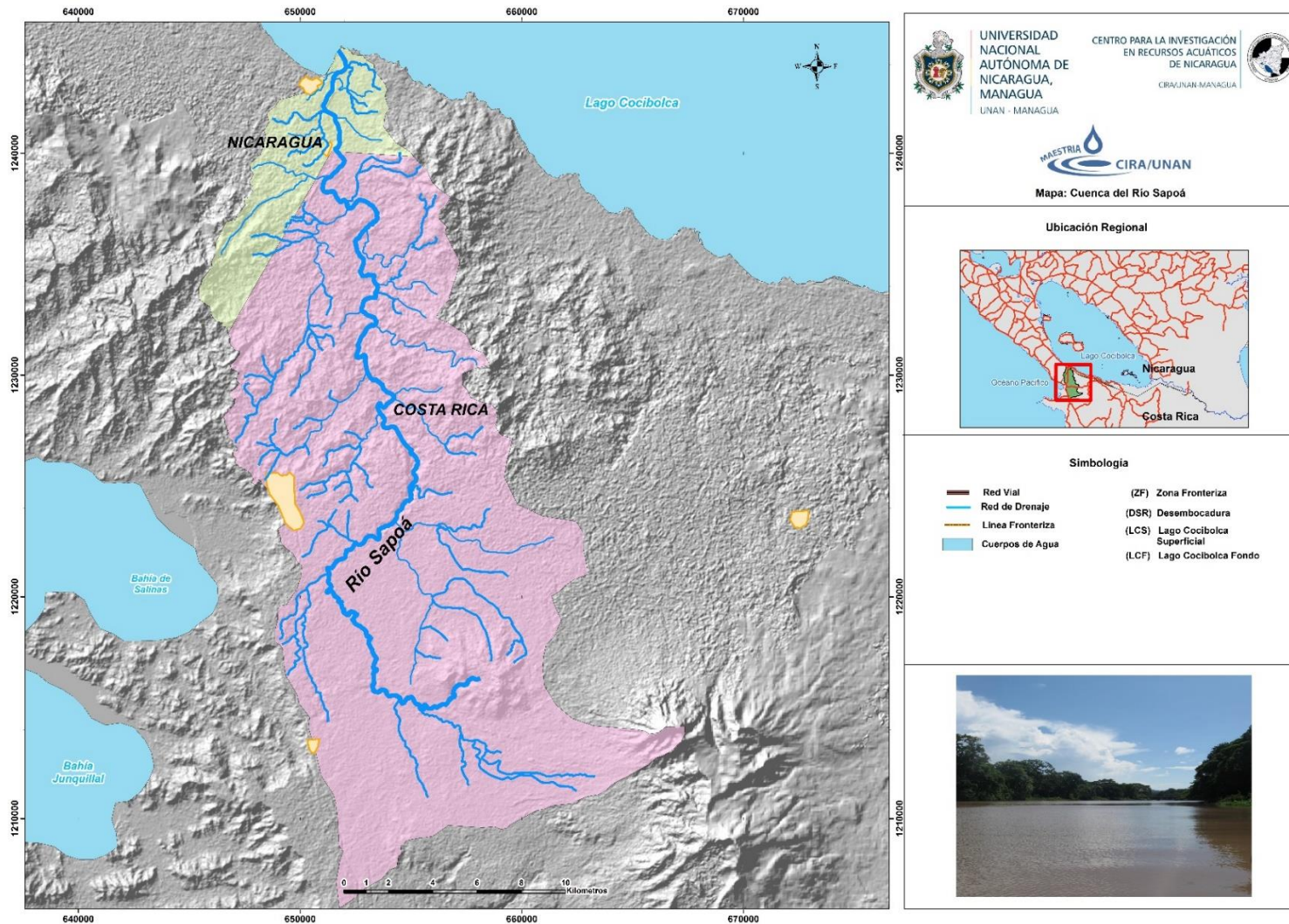


Figura 7. Ubicación de la cuenca del río Sapoá.



*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.*

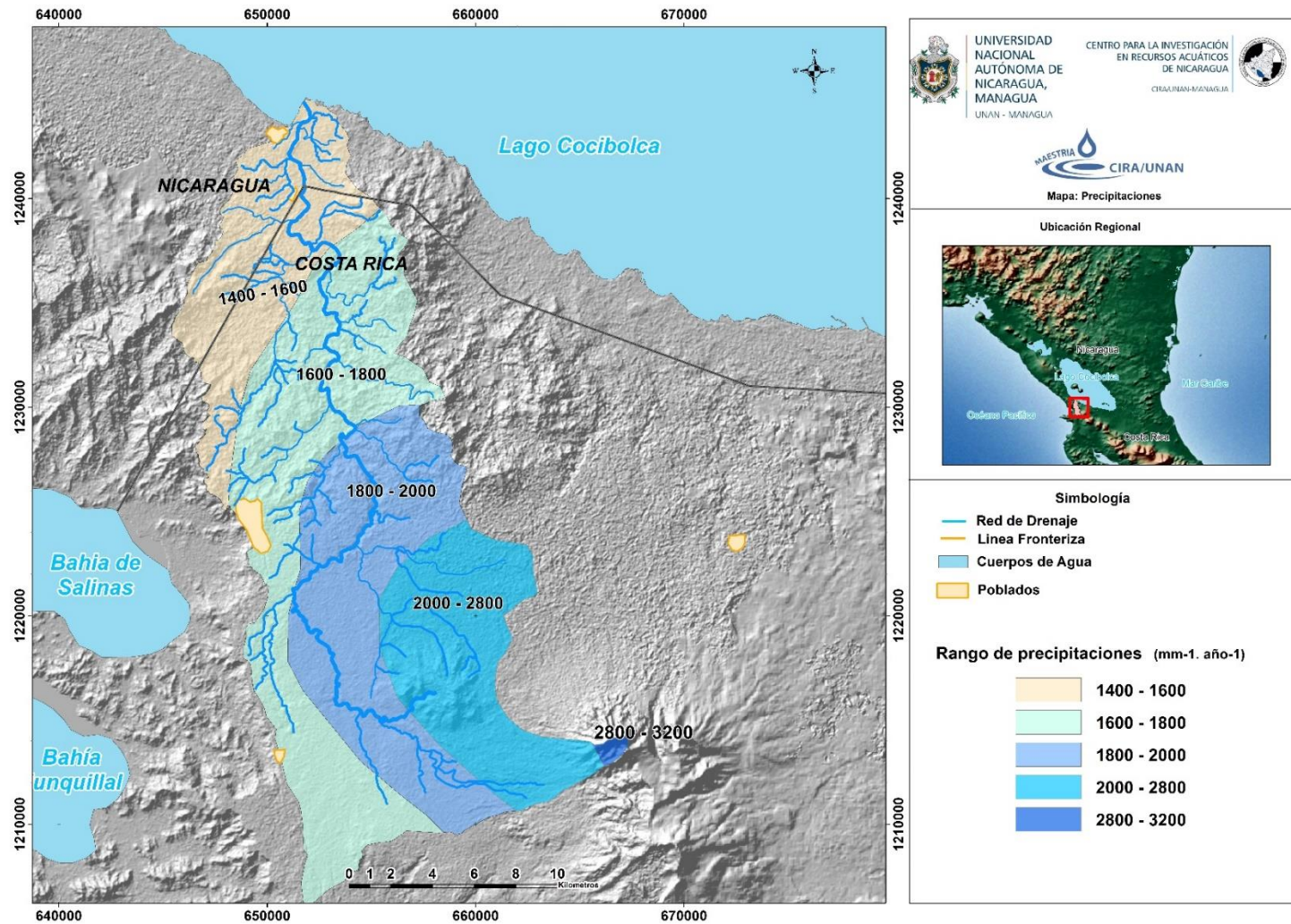


Figura 8. Registro histórico de precipitaciones en la cuenca del río Sapoá

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapóá.*

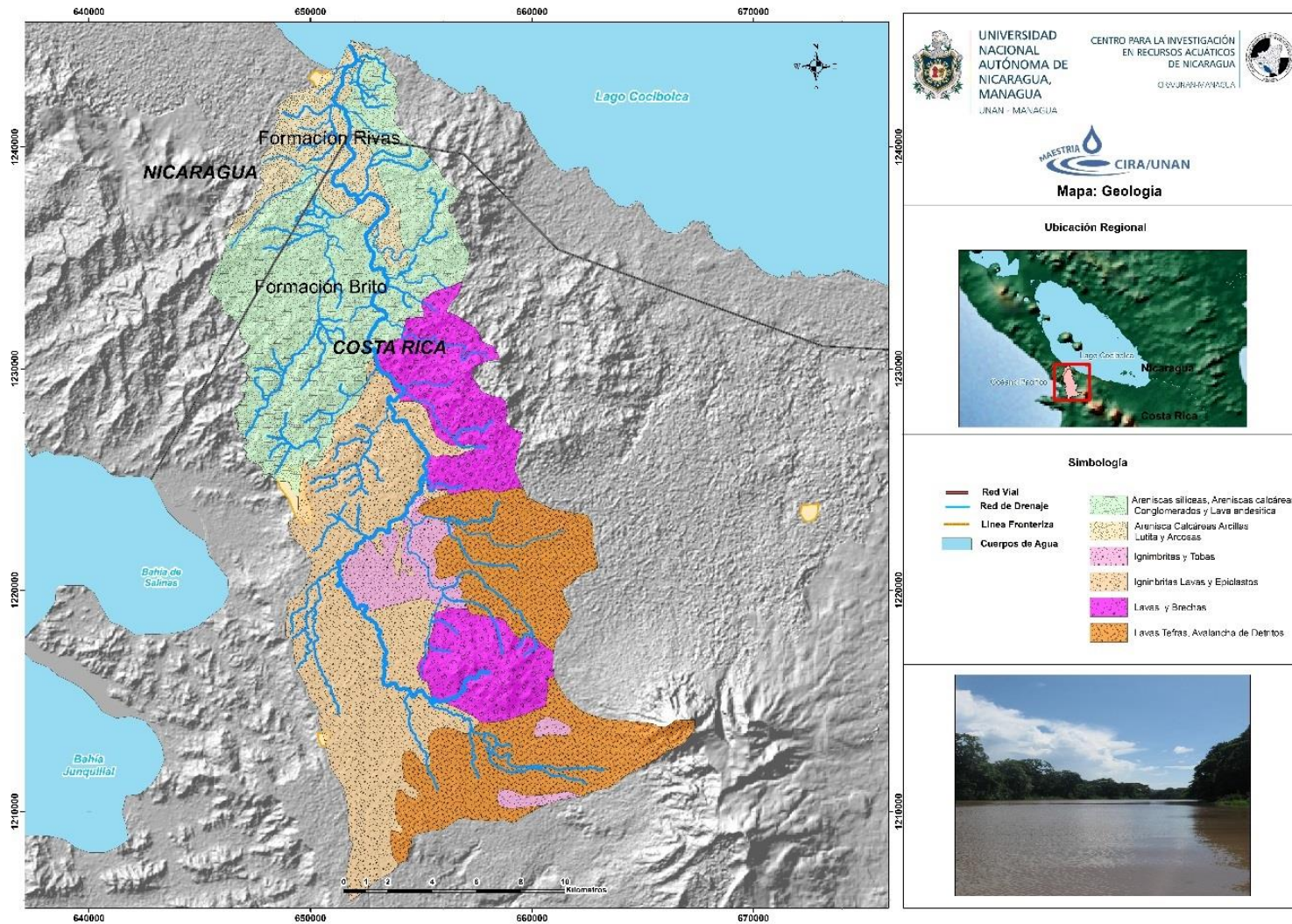


Figura 9. Geológica de la cuenca del río Sapóá.

*Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapóá.*

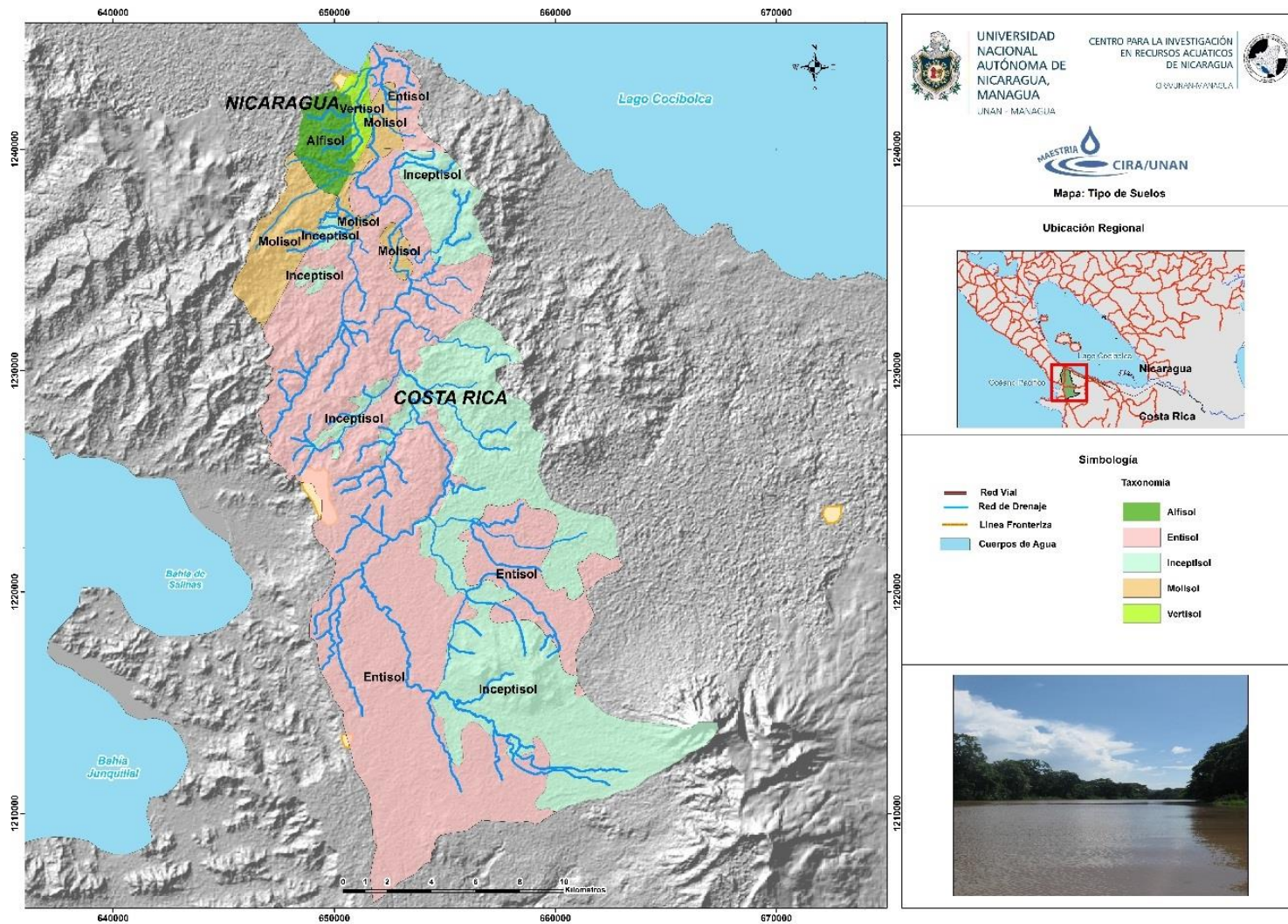


Figura 10. Tipo de suelos en la cuenca del río Sapóá.

Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.

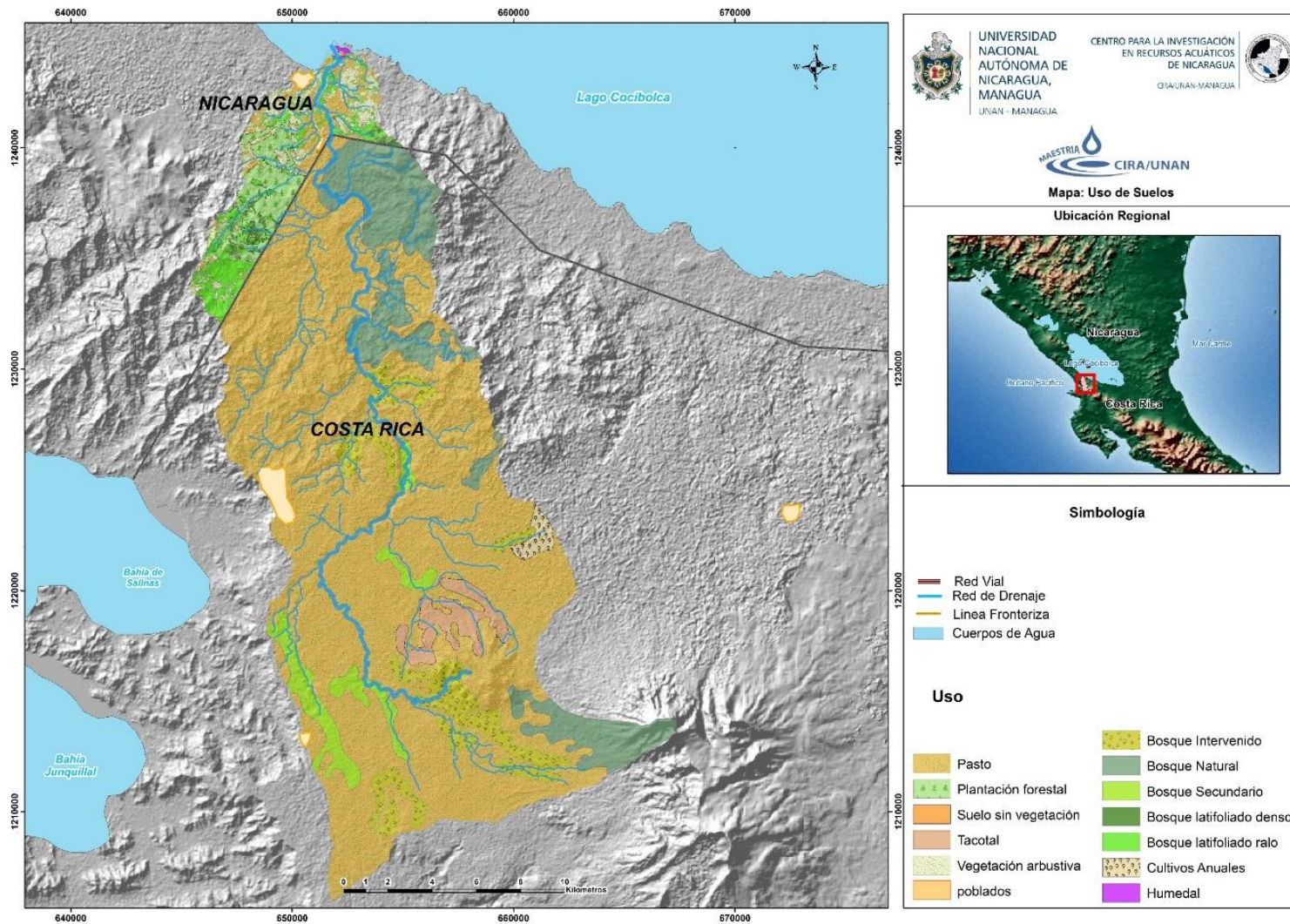


Figura 11. Uso del suelo en la cuenca del río Sapoá.

Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.

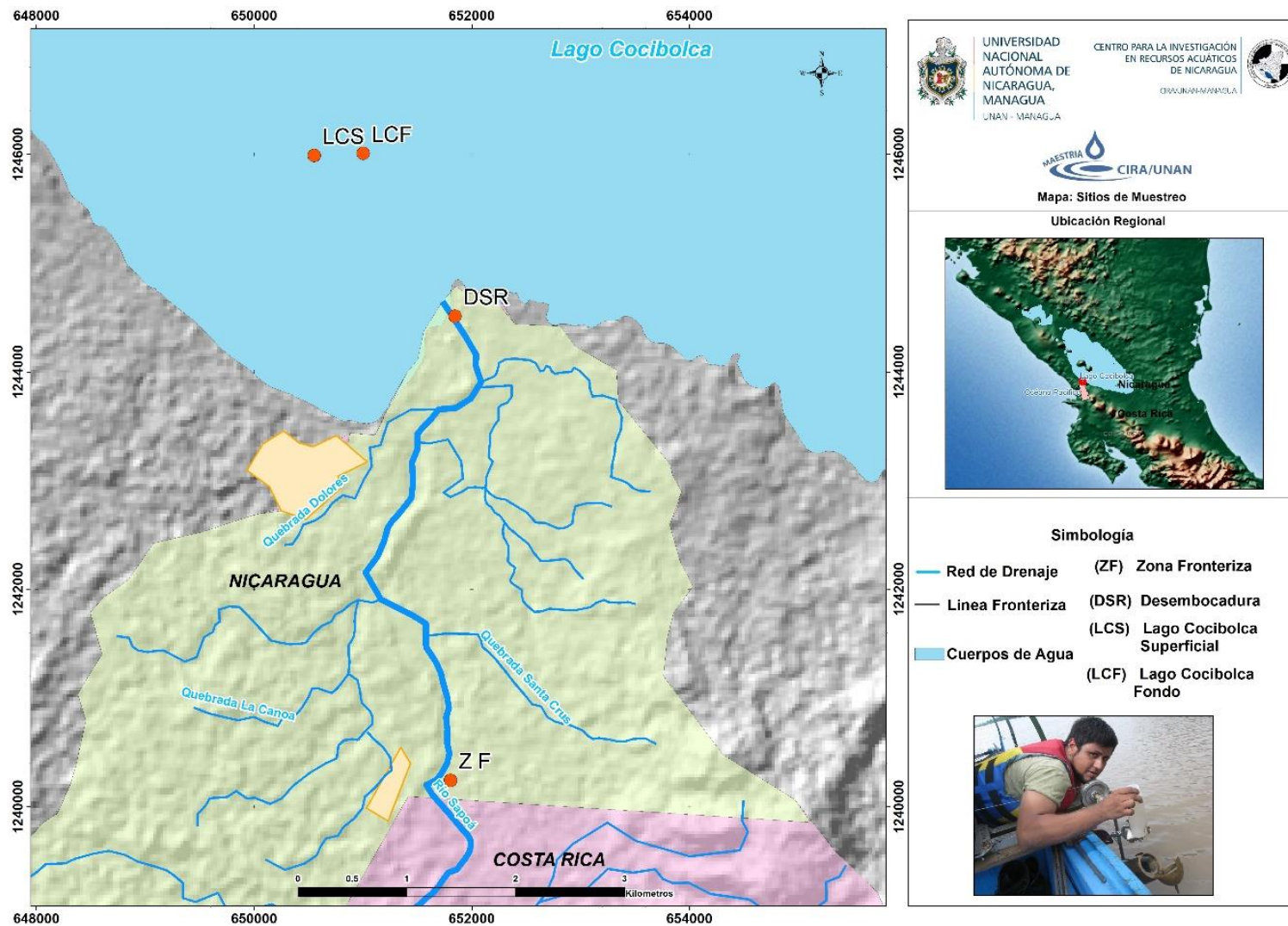


Figura 12. Ubicación de los sitios de muestreo y aforo en el área de estudio.

Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.

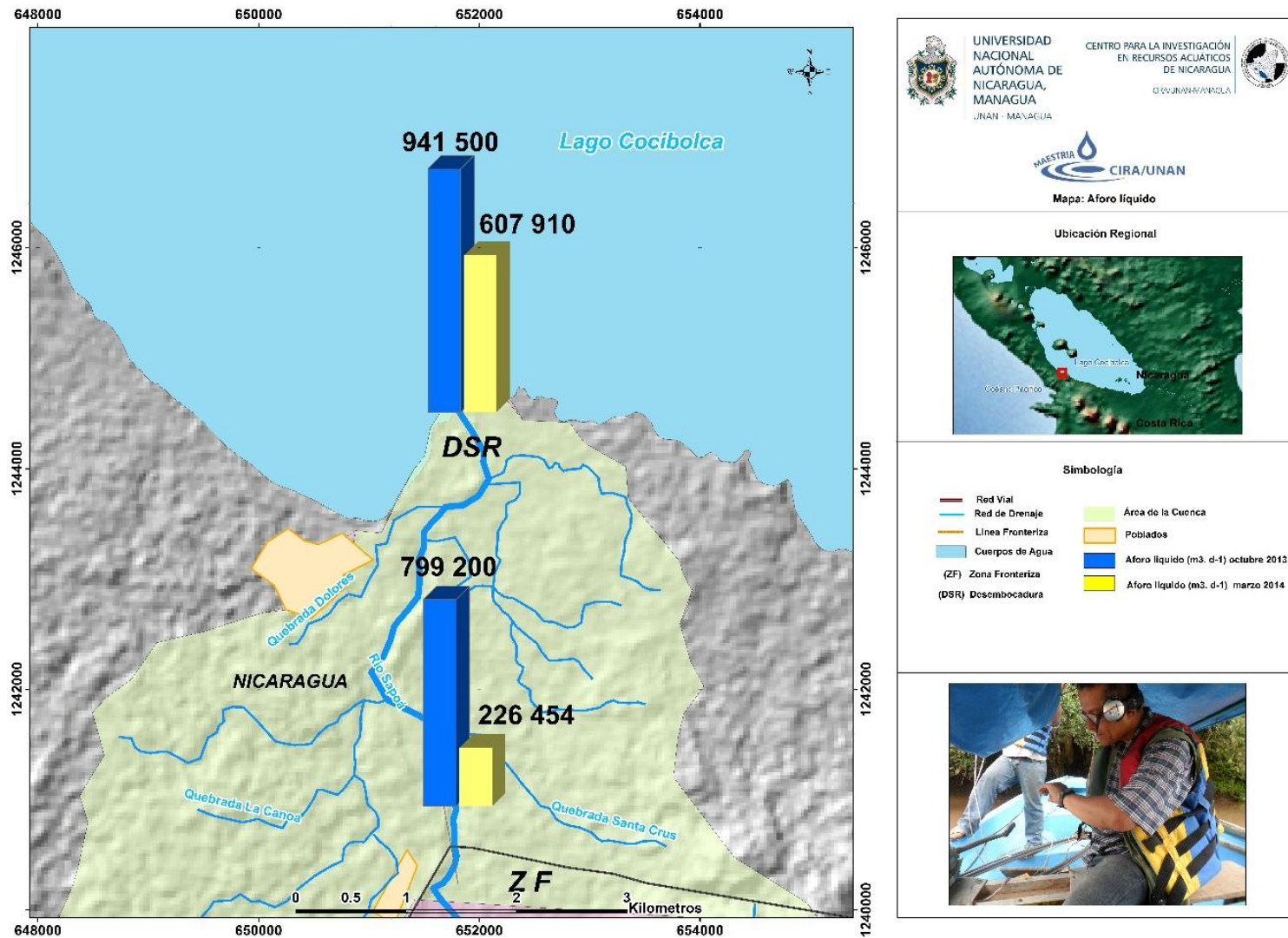


Figura 27 Aforo Líquido en el río Sapoá en octubre 2013 y marzo 2014.

Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.

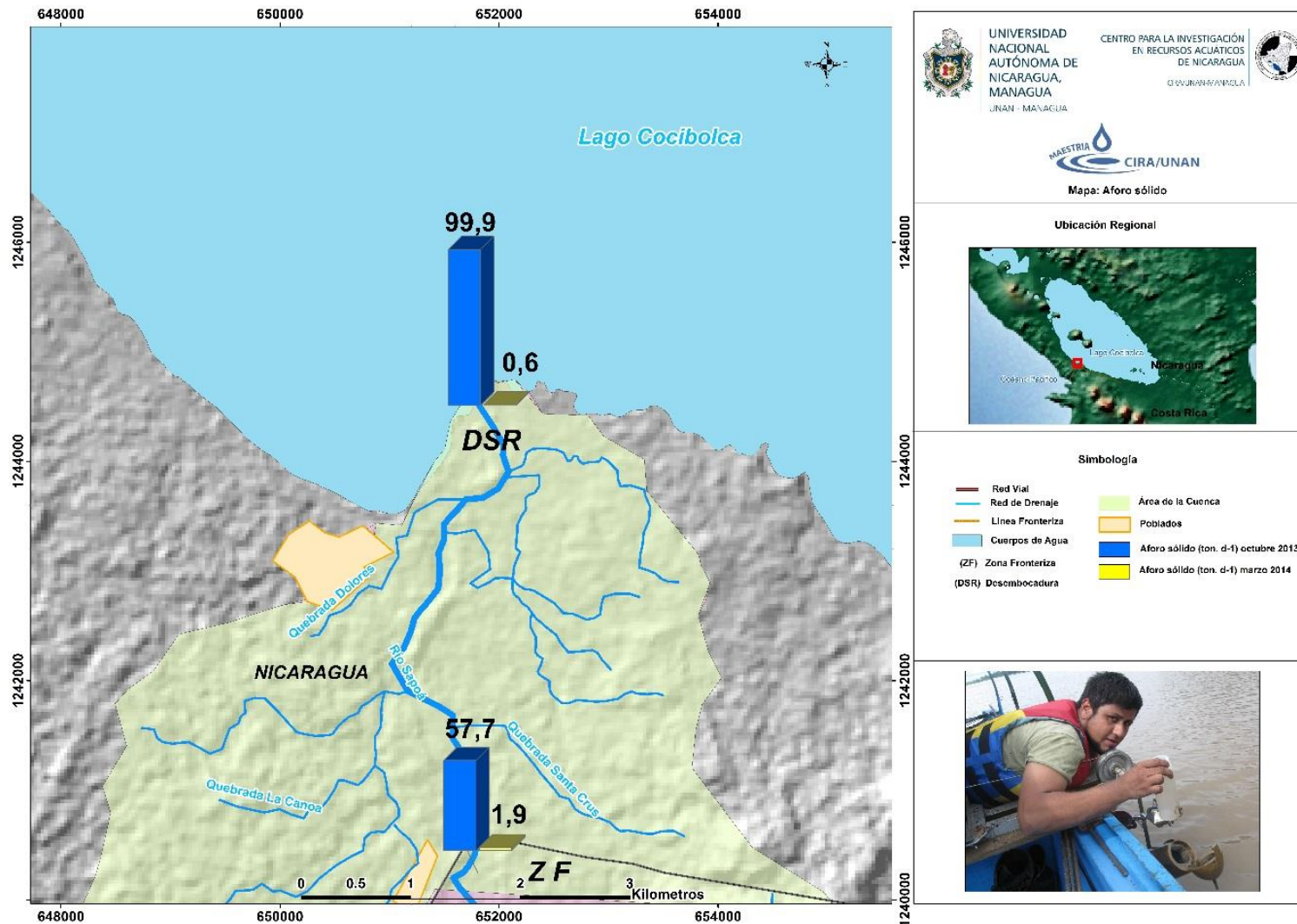


Figura 14. Aforo Sólidos en el río Sapoá en octubre 2013 y marzo 2014.

Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.

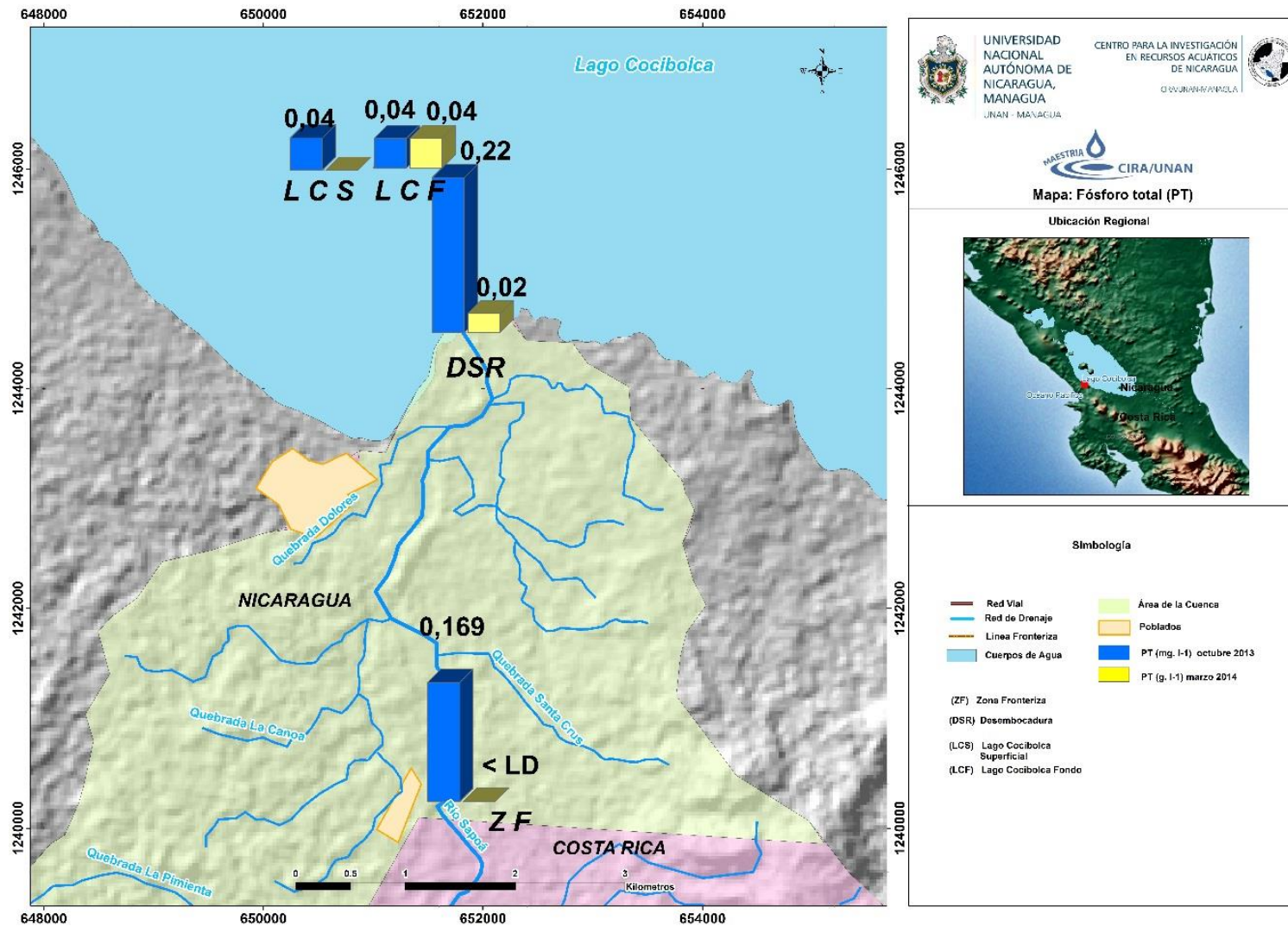


Figura 15. Concentraciones de Fósforo



Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.

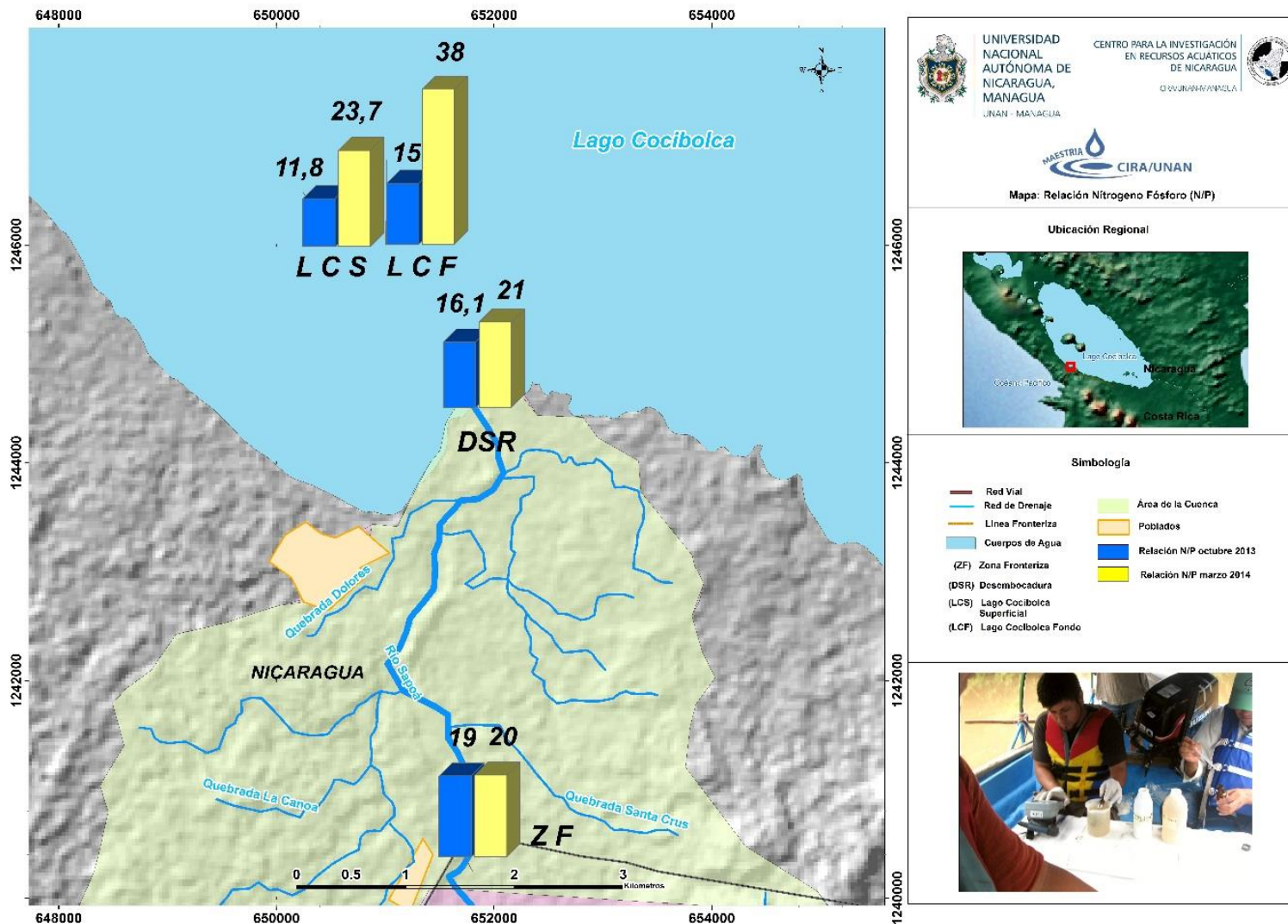


Figura 16. Relación Fósforo Total/Nitrógeno Total en las aguas del río Sapoá y lago Cocibolca en octubre 2013 y marzo 2014.

Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoá.

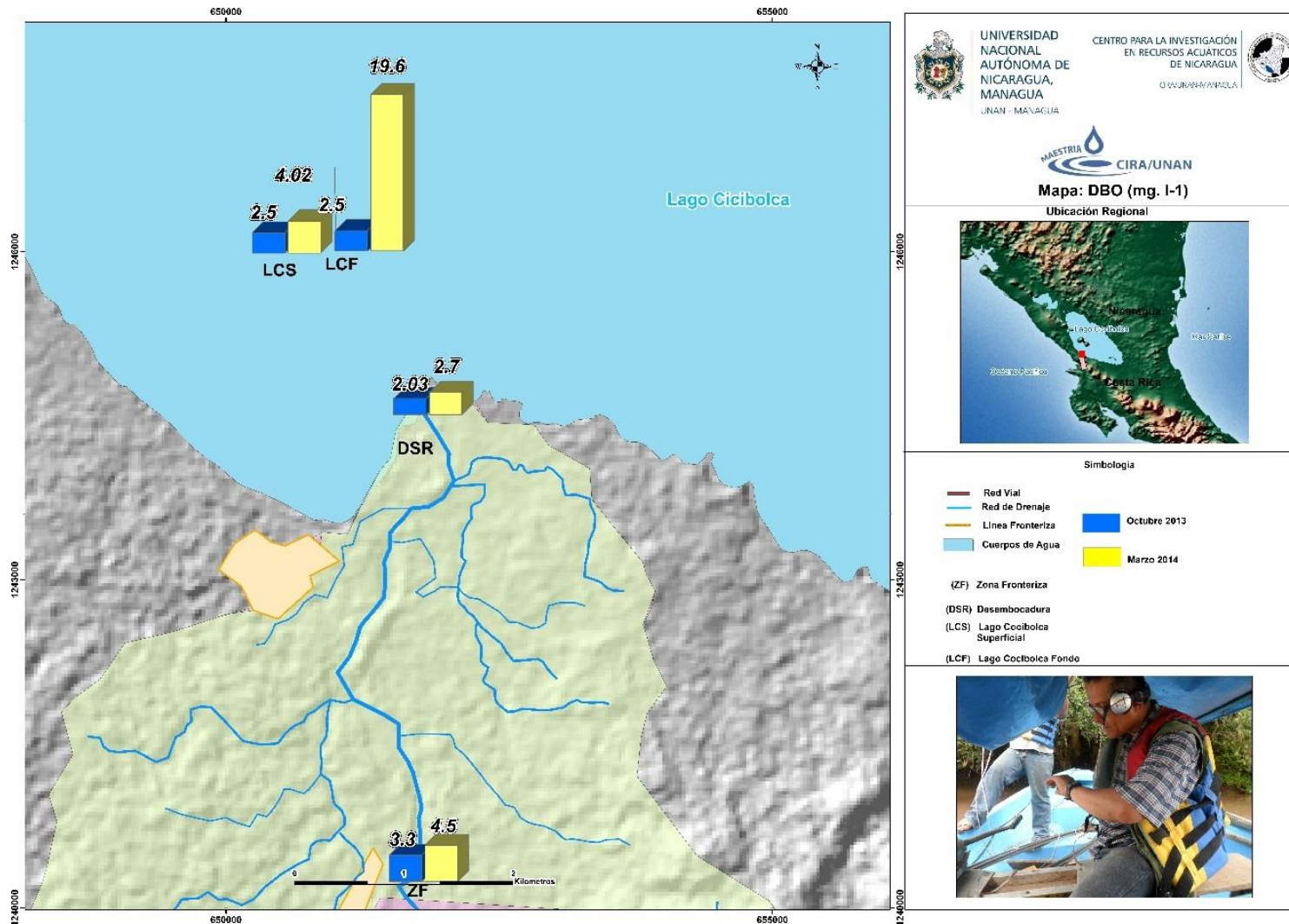


Figura 17. Demanda Bioquímica de Oxígeno octubre 2013 y marzo 2014.

Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapóá.

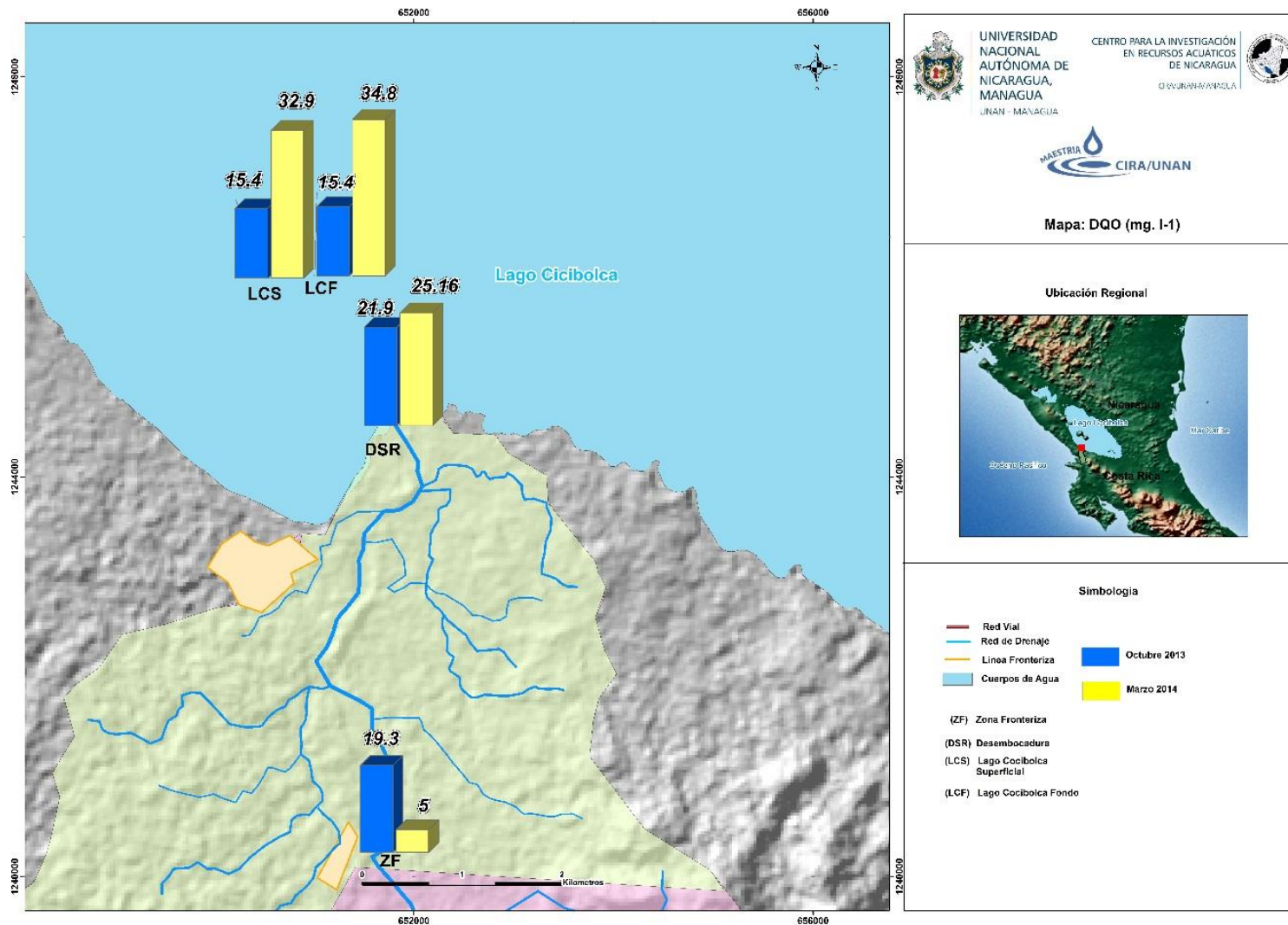


Figura 18. Demanda Química de Oxígeno octubre 2013 y marzo 2014.

Estimación del aporte de sedimentos, la sedimentación y contaminación que recibe el lago Cocibolca, de la Cuenca del río Sapoa.

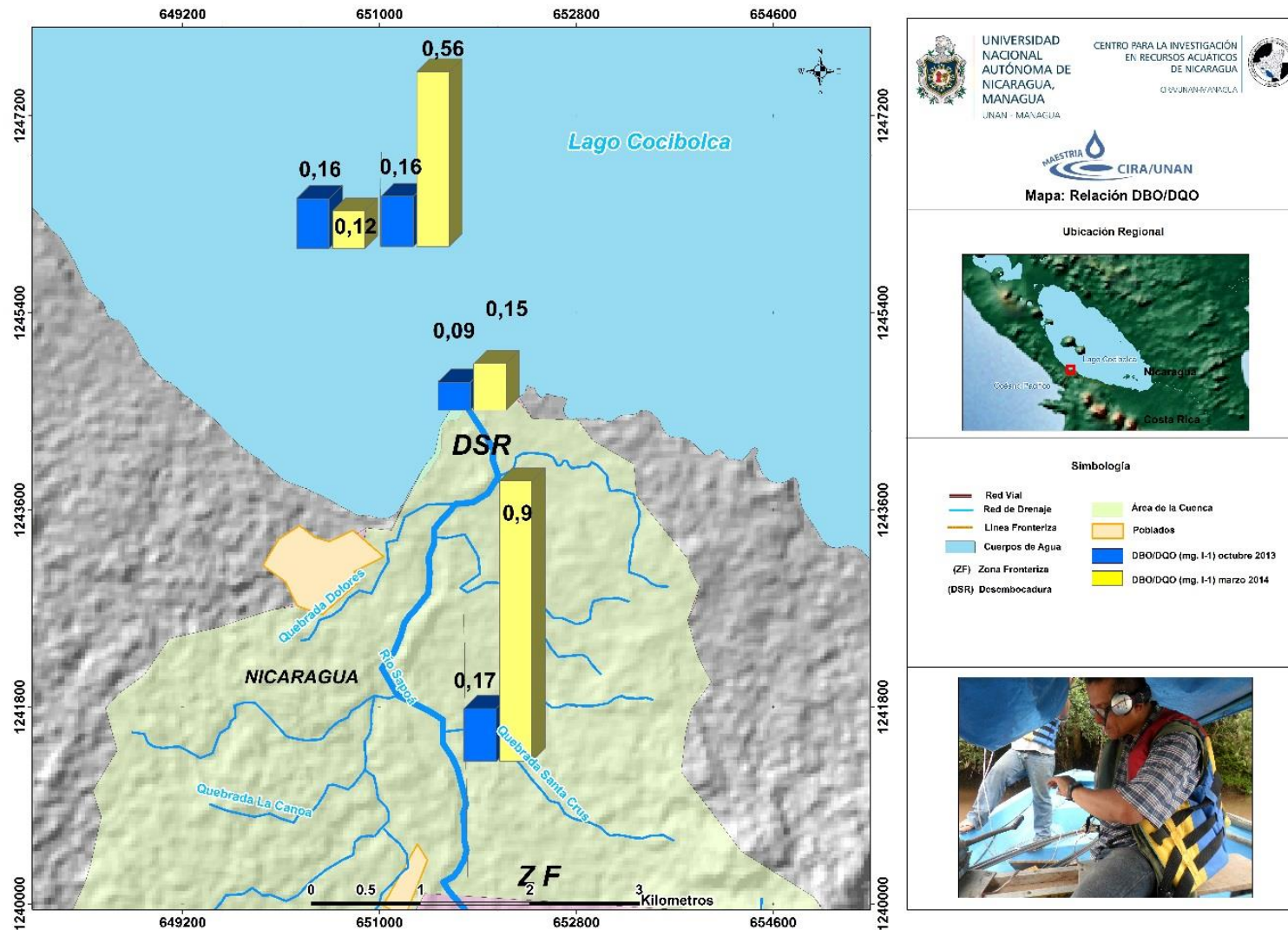


Figura 19. Relación DBO/DQO octubre 2013 y marzo 2014.