

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades



Análisis de sedimentación del Río Sarstún, Livingston,
Izabal, Guatemala

Trabajo de investigación presentado
Por Gabriela Alfaro Marroquín
para optar al grado de Licenciada en Biología.

Guatemala
2007

Análisis de sedimentación del Río Sarstún, Livingston,
Izabal, Guatemala

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades

Análisis de sedimentación del Río Sarstún, Livingston,
Izabal, Guatemala

Trabajo de investigación presentado
Por Gabriela Alfaro Marroquín
para optar al grado de Licenciada en Biología.

Guatemala
2007

Vo.Bo.



PhD. Margaret Dix
Asesora


Tribunal Examinador



PhD. Margaret Dix



Licda. Margarita Palmieri



Licda. Mayra Maldonado

Fecha de aprobación: Guatemala, 26 de noviembre de 2007.

PREFACIO

El propósito de este estudio es proporcionar información acerca de qué área de la Reserva de Usos Múltiples Río Sarstún, tiene mayores presiones causadas por el cambio en el uso del suelo de sus alrededores, con el fin de que contribuya en el plan de manejo del lugar y así poder mitigar las presiones en las áreas que se encuentran más afectadas.

Este trabajo es de suma importancia debido a que es la primera vez que se combina en un estudio un análisis de sedimentación, incluyendo tasas de sedimentación y sedimento suspendido, diatomeas bénticas, y parámetros fisicoquímicos para ayudar a interpretar las presiones antropogénicas presentes a los alrededores de los sitios muestreados. Con este estudio se encontró que existe una relación directa entre estos tres parámetros, lo cual es de gran importancia ya que puede ser aplicado en otros sitios

Agradezco profundamente a mis asesoras de tesis (PhD. Margaret Dix, Licda. Liseth C. Pérez), por su tiempo, paciencia y esfuerzos; por su gran ayuda a la Licda. Mayra Maldonado y Licda Margarita Palmieri de la Universidad del Valle de Guatemala. Gracias a los miembros de FUNDAECO especialmente a Lic. Hugo Hidalgo y Dr. Robert Nunny, por su asesoría en la metodología de sedimentación, a Christopher López por la facilitación de varios documentos de valiosa información y a Fabián Ríos por la elaboración de los mapas. Muchas gracias al equipo de FUNDAECO Costas, en especial a Cleopatra Méndez y al equipo de campo que me apoyó con gran eficiencia y dedicación en cada viaje (Doriantt Reyes y Justo Román Rodríguez). Finalmente, expreso mi eterno agradecimiento a mis padres, por su apoyo incondicional en todo momento y por el esfuerzo que hicieron para brindarme la educación adecuada que me llevó hasta aquí.

ÍNDICE

	Página
PREFACIO.....	v
ÍNDICE.....	vi
LISTA DE CUADROS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
A. Antecedentes.....	1
1. Área de estudio.....	1
2. Información general.....	7
3. Importancia del área.....	9
4. Amenazas en la reserva Río Sarstún.....	11
5. Uso actual de los recursos naturales.....	13
6. Sedimentación.....	14
7. Diatomeas.....	19
8. Calidad de agua.....	22
9. Análisis de datos.....	25
B. Justificación.....	27
C. Objetivos.....	28
D. Hipótesis.....	29
II. MÉTODOS.....	30
A. Determinación de puntos de muestreo.....	30
B. Trabajo de campo y fechas de muestreo.....	30
C. Trabajo de laboratorio.....	33
III. RESULTADOS.....	35
A. Parámetros fisicoquímicos.....	35
B. Indicadores biológicos (Diatomeas).....	42
IV. DISCUSIÓN.....	51
A. Parámetros fisicoquímicos:.....	51
B. Indicadores biológicos (Diatomeas).....	55
V. CONCLUSIONES.....	61
VI. RECOMENDACIONES.....	64
VII. LITERATURA CITADA.....	65
Otras referencias.....	68
VIII. APÉNDICES.....	69
A. Apéndice 1. Hoja de datos descripción sedimento superficial.....	69
B. Apéndice 2. Hoja de datos parámetros <i>in situ</i> del agua.....	70
C. Apéndice 3. Hoja de datos análisis de agua en el laboratorio.....	70
D. Apéndice 4. Equipo utilizado y metodologías.....	71
E. Apéndice 5. Datos Brutos.....	73
1. Temperatura, ancho, profundidad y oxígeno.....	73
2. Peso sedimento en gramos, miligramos y tasa de sedimentación.....	73

3. Datos sedimento suspendido.....	74
4. Grados de libertad y $sH'_1-H'_2$	75
F. Apéndice 6. Concentraciones máximas de oxígeno según T°C.	76
G. Apéndice 7. Fotografías de sedimento superficial.....	77
H. Apéndice 8. Fotografías de diatomeas.	¡Error! Marcador no definido.
I. Apéndice 9. Fórmulas utilizadas.....	85

LISTA DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
CUADRO 1. PARÁMETROS FÍSICOS DEL AGUA DE 4 AFLUENTES SECUNDARIOS DEL RÍO SARSTÚN, 2006	35
CUADRO 2. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA DE 4 AFLUENTES SECUNDARIOS DEL RÍO SARSTÚN, 2006.....	35
CUADRO 3. SALINIDAD Y CONDUCTIVIDAD DE LOS SITIOS DE MUESTREO DURANTE LOS MESES DE AGOSTO Y OCTUBRE DE 2006.....	36
CUADRO 4. PARÁMETROS QUÍMICOS DEL AGUA EN CUATRO RÍOS SECUNDARIOS, SARSTÚN 2006.	37
CUADRO 5. SEDIMENTO SUSPENDIDO EN CUATRO RÍOS SECUNDARIOS, SARSTÚN 2006.	40
CUADRO 6. DESCRIPCIÓN DEL SEDIMENTO SUPERFICIAL	41
CUADRO 7. TASAS DE SEDIMENTACIÓN EN CUATRO RÍOS SECUNDARIOS, SARSTÚN 2006.	42
CUADRO 8. FAMILIAS Y GÉNEROS DEL ORDEN CENTRALES ENCONTRADOS EN CUATRO RÍOS SECUNDARIOS, SARSTÚN 2006.....	43
CUADRO 9. FAMILIAS Y GÉNEROS DEL ORDEN PENNALES ENCONTRADOS EN CUATRO RÍOS SECUNDARIOS, SARSTÚN 2006.....	43
CUADRO 10. PROPORCIÓN ENTRE PENNALES Y CENTRALES ENCONTRADOS EN CUATRO RÍOS SECUNDARIOS, SARSTÚN 2006.....	44
CUADRO 11. ABUNDANCIA DE ESPECIES ENCONTRADAS EN CUATRO RÍOS SECUNDARIOS, SARSTÚN 2006.	44
CUADRO 12. ESPECIES MÁS ABUNDANTES Y SUS PORCENTAJES LOS CUATRO RÍOS SECUNDARIOS, SARSTÚN 2006.	46
CUADRO 13. ÍNDICE DE DIVERSIDAD DE SHANNON-WIENER PARA CUATRO RÍOS SECUNDARIOS DEL RÍO SARSTÚN, 2006.....	47
CUADRO 14. PRUEBA T DE STUDENT PARA COMPARACIÓN DE BIODIVERSIDAD DE DIATOMEAS.....	47

CUADRO 15.	
ÍNDICES DE SIMILITUD PARA CUATRO RÍOS SECUNDARIOS DEL RÍO SARSTÚN, 2006.	48
CUADRO 16.	
PREFERENCIA DE HÁBITAT DE LAS DIATOMEAS MÁS ABUNDANTES DE CUATRO RÍOS SECUNDARIOS DEL RÍO SARSTÚN.	49
CUADRO 17.	
COMPARACIÓN DE NUTRIENTES, TASA DE SEDIMENTACIÓN, SEDIMENTO SUSPENDIDO, RIQUEZA, ÍNDICE DE SHANNON Y PORCENTAJE DE DIATOMEAS PENNALES, EN LOS CUATRO RÍOS SECUNDARIOS DEL RÍO SARSTÚN, 2006.	50
CUADRO 18.	
DATOS TEMPERATURA AMBIENTE Y AGUA	73
CUADRO 19.	
DATOS DE ANCHO Y PROFUNDIDAD	73
CUADRO 20.	
DATOS DE OXÍGENO DISUELTO EN LA COLUMNA VERTICAL DE LOS RÍOS	73
CUADRO 21.	
PESO DE SEDIMENTO SEPTIEMBRE DE 2006	73
CUADRO 22.	
PESO DE SEDIMENTO OCTUBRE 2006	74
CUADRO 23.	
PESO DE SEDIMENTO NOVIEMBRE 2006	74
CUADRO 24.	
PESO DE SEDIMENTO DICIEMBRE 2006	74
CUADRO 25.	
SEDIMENTO SUSPENDIDO ÉPOCA LLUVIOSA (AGOSTO (A), SEPTIEMBRE (S))	74
CUADRO 26.	
SEDIMENTO SUSPENDIDO ÉPOCA SECA (DICIEMBRE)	75
CUADRO 27.	
GRADOS DE LIBERTAD Y $SH'_1-H'_2$	75
CUADRO 28.	
CONCENTRACIÓN MÁXIMA DE OXÍGENO DISUELTO SEGÚN LA TEMPERATURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR.	76

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
FIGURA 1. UBICACIÓN DEL RÍO SARSTÚN	2
FIGURA 2. LAGUNA GRANDE	3
FIGURA 3. RÍO LA COROZA	4
FIGURA 4. RÍO CALAHÁ.	4
FIGURA 5. RÍO BLACK CREEK.	5
FIGURA 7. EXTRACCIÓN DE SEDIMENTO SUPERFICIAL	31
FIGURA 8. DIAGRAMA DE LA TRAMPA DE SEDIMENTACIÓN.	32
FIGURA 9. TRAMPA DE SEDIMENTO COLOCADA	32
FIGURA 10. OXÍGENO DISUELTO	36
FIGURA 11. PH EN LOS CUATRO SITIOS MUESTREADOS.	37
FIGURA 12. NIVELES DE FÓSFORO Y FOSFATO.	38
FIGURA 14. CONCENTRACIÓN DE NITRATOS.	39
FIGURA 15. CONCENTRACIÓN DE AMONIO.....	39
FIGURA 16. SEDIMENTO SUSPENDIDO.....	40
FIGURA 17. TASAS DE SEDIMENTACIÓN.....	42
FIGURA 18. DENDROGRAMA.	48
FIGURA 19. SEDIMENTO SUPERFICIAL DEL RÍO LA COROZA.....	77
FIGURA 20. SEDIMENTO SUPERFICIAL LAGUNA GRANDE.....	77
FIGURA 21. SEDIMENTO SUPERFICIAL RÍO BLACK CREECK (BELICE)	77
FIGURA 22. SEDIMENTO SUPERFICIAL CALAHÁ.	77

RESUMEN

El río Sarstún, localizado en Livingston, Izabal, es la frontera natural entre Belice y Guatemala. Este río es considerado de gran importancia debido a la diversidad de ecosistemas que presenta. A sus alrededores habitan 16 comunidades Q'eqchis, quienes le dan diferentes usos al suelo. Para determinar qué puntos del río Sarstún se encuentran más afectados debido al impacto antropogénico del área, se realizó un análisis de sedimentación, en conjunto con mediciones fisicoquímicas de agua y un análisis de diversidad de diatomeas. El estudio se realizó en época seca y lluviosa en 3 ríos secundarios que drenan al Río Sarstún del lado de Guatemala: Río La Coroza, Río Calahá y Laguna Grande. Además, se eligió un río secundario del lado de Belice, el Río Black Creek, que fue utilizado como río control o de referencia. En cada río se midieron parámetros fisicoquímicos, se midió la tasa de sedimentación, la concentración de sedimento suspendido y se describió la composición física del sedimento superficial. Además, se realizó un conteo e identificación de diatomeas bénticas.

Se obtuvieron altas temperaturas en los cuatro ríos muestreados en un rango entre 27.5 y 30.5° C. En general, se encontraron buenas concentraciones de oxígeno disuelto, siendo La Coroza el río que presentó la concentración más alta (7.52 mg/l). La transparencia fue mayor durante la época lluviosa; mientras que el pH fue más alcalino durante la época seca, encontrándose todos los niveles dentro del rango normal. Los niveles de fósforo se encontraron debajo de 0.43 mg/l y de fosfato debajo de 0.92 mg/l. Estos niveles son relativamente altos. Los niveles de nitrógeno obtenidos se encuentran bajo el rango normal, encontrándose la concentración de amonio más alta en el río Black Creek (0.28 mg/l)

La Coroza presentó, tanto en época seca como lluviosa, las concentraciones más altas de sedimento suspendido (51.49 mg/l y 59.69 mg/l respectivamente). En el sedimento superficial predominó el olor a H₂S, indicando descomposición de materia

orgánica. La Coroza presentó la tasa de sedimentación más alta (97.90 mg/cm² al día), en septiembre. La tasa más baja la presentó el río Black Creek, siendo 4.61 mg/cm² al día durante noviembre.

Encontré 59 especies de diatomeas bénticas, de las cuales identifiqué 46 hasta género. Los géneros con mayor abundancia en orden descendente son *Navícula*, *Pinnularia*, *Diploines*, *Coscinodiscus*, *Fragilaria*, *Cyclotella* y *Gyrosigma*. Predominando en un 80.08% las diatomeas Pennales. El río Black Creek presentó mayor diversidad y riqueza de especies, presentando una riqueza de 38 géneros, una abundancia de 434 y un índice de diversidad de Shannon (H') de 2.93. El río La Coroza presentó la diversidad más baja con H' de 2.35. En general, la homogeneidad de los ríos se encontró más o menos alta, siendo el valor más alto 0.72 para Black Creek y la más baja de 0.58 para La Coroza. Los ríos que presentaron más géneros en común fueron Black Creek y Laguna Grande con 11. Según los índices similitud de Sorenson y Jaccard y el dendrograma obtenido, los ríos Laguna Grande y Calahá, son los ríos más similares. El río La Coroza es el río más diferente de todos. La prueba *t* de student indicó que el río Black Creek (río control) es diferente de los ríos Laguna Grande, La Coroza y Calahá, con una significancia de 0.005,

Este estudio muestra que los parámetros fisicoquímicos incluyendo sedimentación, están directamente relacionados con diatomeas bénticas, de tal forma que, los ríos con los valores más altos de concentraciones de nutrientes, tasas de sedimentación y sedimento suspendido, presentan menor diversidad de diatomeas bénticas. Con lo que se puede concluir que el río La Coroza es el río más impactado.

ABSTRACT

The Sarstún river, located in Livingston, Izabal, is the natural boundary between Belize and Guatemala. This river is considered very important because of the ecosystem's diversity that shows. Sixteen Q'eqchis's communities are settled nearby the river; they use the land in different ways. To determine which sites of the Sarstún river are most affected by anthropogenic pressures, a sedimentation survey was conducted, in addition with a physico-chemical measurements of the water and a benthic diatom diversity analysis. The survey was conducted in both, dry and rainy season, in 3 secondary rivers that drain the Sarstún river from the Guatemalan side: La Coroza river, Calahá river and Laguna Grande river. A reference river was chosen from Belize's side, the Black Creek river. In every river physico-chemical parameters were measured, in conjunction with measures of the sedimentation rate and suspended sediment concentration. Physical composition of the superficial sediment was described. Besides, a counting and identification of benthic diatoms was made.

High temperatures were obtained at the four rivers sampled, ranging between 27.5 and 30.5°C. Generally, good concentrations of dissolved oxygen were found, La Coroza river showed the highest concentration (7.52 mg/l). The transparency was higher during rainy season. The pH was more alkaline during the dry season. It was found that the levels of phosphorus are below 0.43 mg/l and the phosphate were below 0.92 mg/l, these values were found at La Coroza river. These levels are relatively high. The nitrogen's levels obtained are between the normal range finding the higher concentration of ammonia at the Black Creek (0.28 mg/l).

La Coroza showed, in both, dry and rainy season, the highest concentrations of suspended sediment (51.49 mg/l and 59.69 mg/l respectively). In the superficial sediment predominated the smell of H₂S, indicating decomposition of organic matter.

La Coroza presented the highest sedimentation rate (97.90 mg/cm² per day) in September. Black Creek showed the lowest rate (4.61 mg/cm²) during November.

In the study, 59 benthic diatoms species were found, of which 46 were identified to genera. The genera with the highest abundance are: *Navicula*, *Pinnularia*, *Diploines*, *Coscinodiscus*, *Fragilaria*, *Cyclotella* y *Gyrosigma*. Pennales diatoms dominated with a 80.08%. The Black Creek river showed the highest diversity and richness, with 38 genera, 434 species, and a Shannon diversity index (H') of 2.93. La Coroza showed the lowest diversity (H' 2.35). The values for Evenness for the four rivers were relatively high, being the highest value 0.72 for Black Creek and the lowest 0.58 for La Coroza. The rivers with more genera in common were Black Creek and Laguna Grande (10). According to the similarity indices of Sorenson and Jaccard, and a cluster analysis, the rivers Laguna Grande and Calahá are the most similar. La Coroza is the most different river. The *t* student test indicated that the reference river (Black Creek) is different from Laguna Grande, La Coroza and Calahá rivers, with a significance of 0.005.

This survey, shows that physico-chemical measures and sedimentation, are directly related with benthic diatoms, so rivers with higher concentrations of nutrients, suspended sediment and sedimentation rate, are rivers with the lower diversity of benthic diatoms. Therefore, it can be concluded that La Coroza river is the most impacted river.

I. INTRODUCCIÓN.

Este estudio de sedimentación es de gran importancia para el desarrollo de proyectos que promuevan un balance entre el uso sostenible de la tierra de la Reserva de Usos Múltiples Río Sarstún y la conservación de los arrecifes de coral. En Belice, se han realizado más estudios que en Guatemala ya que poseen la segunda barrera de coral más grande del mundo en el hemisferio oeste, por lo que le han dado mayor importancia. Por esta razón, es de suma relevancia el conocimiento de las tasas de sedimentación, sedimento superficial, sedimento suspendido y calidad del agua de los ríos secundarios que drenan al Sarstún del lado de Guatemala. Con el fin de conocer su estado y poder tener bases fundamentadas para cambiar el uso de la tierra, de manera que ocasione menor impacto. Una de las cuatro causas críticas de degradación de la zona costera de esta región son los cambios ocurridos dentro de las cuencas de los ríos (Nunny 2006). El conocimiento de esto es de gran importancia ya que altas tasas de sedimentación descargadas al mar por parte del río, afectan directa y negativamente las comunidades de corales que en él habitan.

Esta investigación se llevó a cabo en el Río Sarstún, el cual es de gran importancia ya que es el cuerpo de agua más importante dentro de la Reserva de Usos Múltiples Río Sarstún. Este estudio provee información acerca de qué área presenta mayor grado de contaminación debido al impacto ocasionado por los diferentes usos de la tierra de sus alrededores, ya sea por cultivos, ganadería o asentamientos humanos. La información obtenida será utilizada dentro del Plan Maestro de la Cuenca del río Sarstún, para poder darle un mejor uso a esta área con el objetivo de disminuir las presiones antropogénicas que en él se presentan.

A. Antecedentes.

1. Área de estudio

a. Río Sarstún. El río Sarstún constituye el cuerpo de agua más importante de la Reserva de Usos Múltiples Río Sarstún (RUMRS). Corre de oeste a este y desemboca en la bahía de Amatique, tiene una longitud de 55 Km desde su origen en la aldea Modesto Méndez hasta su desembocadura en el mar. El área total del río Sarstún abarca 34,956 hectáreas, brindando un sitio de crecimiento, albergue y de

reproducción para la fauna y flora del lugar, desarrollando a su vez una actividad simbiótica con los sistemas ecológicos marino-costeros (TRIGO 2004).

Siendo una de las principales cuencas hidrográficas que drenan en el Golfo de Honduras, en el río Sarstún se encuentran manglares, bosques inundados, lagunas salóbregas, playas arenosas y rocosas, bosques tropicales muy húmedos y estuarios tropicales (FUNDAECO 2002).

b. Ubicación. El río Sarstún se encuentra en el límite norte del área de río Dulce y forma la frontera natural entre Guatemala y Belice. Se origina de la unión de los ríos Gracias a Dios y Chocón. El río yace en la división denominada, Tierras Bajas del Petén – Caribe, siendo junto con río Dulce, las dos cuencas hidrológicas que desembocan en la bahía de Amatique pertenecientes a la vertiente del mar de las Antillas. El sistema Sarstún se comporta como medio fluvial y como estuario. Debido a su baja altura, se encuentra cíclicamente influenciado por las mareas y las crecidas continentales, permitiendo así el desarrollo de manglares en la parte oriental de su ribera (Plan Maestro 2004).

FIGURA 1. Ubicación del Río Sarstún



(FUNDAECO 2006)

c. Ríos secundarios analizados.

1) **Laguna Grande.** Es un estero que desemboca en Sarstún, el cual está formado por 4 ríos pequeños: Blue Creek, proveniente de la comunidad del mismo nombre en donde hay actividad de cultivo de maíz, arroz, malanga y frijol. El segundo no tiene nombre y viene de una parte de la montaña en donde no hay asentamientos humanos. El río Cerro Blanco proviene de un área cercana a la entrada de la comunidad del mismo nombre, el cual no presenta muchas presiones. El último lleva el nombre de Paguada Creek, éste proviene de la zona núcleo del cerro Sarstún. Además del impacto que recibe de Blue Creek Laguna Grande presenta el problema de encontrarse asentada en el margen derecho de una finca que fue objeto de gran deforestación y actualmente tiene cultivo de pino (FUNDAECO 2005). Según el mapa de uso de suelo, Laguna Grande se encuentra en un área de uso forestal (FUNDAECO 2007). El estero se ve influenciado por cambios en la marea, y a sus alrededores se observa en gran cantidad la planta acuática *Sagitaria* sp, como se observa en la figura 2.

FIGURA 2. Laguna Grande



(Alfaro 2006)

2) **Río La Coroza.** En este río existe una comunidad y finca del mismo nombre, las actividades que se llevan a cabo en esta área son la ganadería y el cultivo de arroz, caracterizándose por no utilizar fertilizantes. A sus alrededores se observa la extracción y la corta de guamiles, lo cual afecta el ecosistema debido a su importancia en el mantenimiento de la humedad (Informe de monitoreo binacional de batimetría

2005). El área muestreada del río se encuentra dentro de la zona núcleo del río Sarstún (FUNDAECO 2007). A sus alrededores se observan corozas y heliconias.

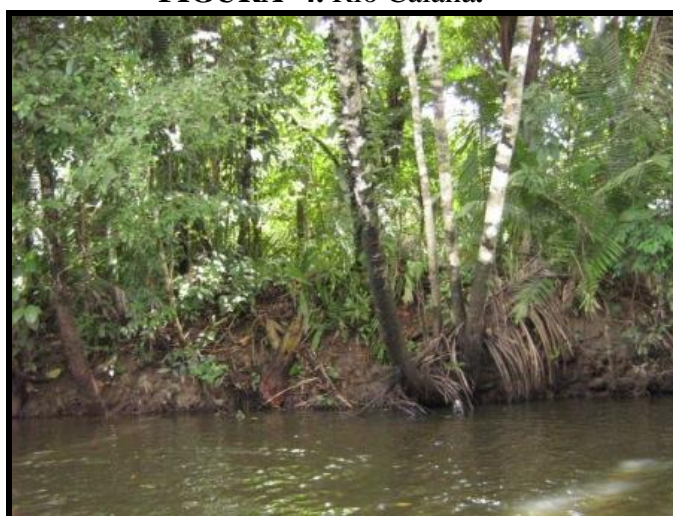
FIGURA 3. Río La Coroza



(Alfaro 2006)

3) Río Calahá. Proviene de la comunidad del mismo nombre, a sus alrededores se encuentra la zona de uso múltiple de la Reserva del Río Sarstún, en donde existe actividad agrícola y de cultivo de pino (FUNDAECO 2005). En la orilla del río se evidencia fuerte erosión (Ver figura 4) y a sus alrededores se observan corozales (*Orbignia cohune* (Mart.) Dalgren ex. Standl).

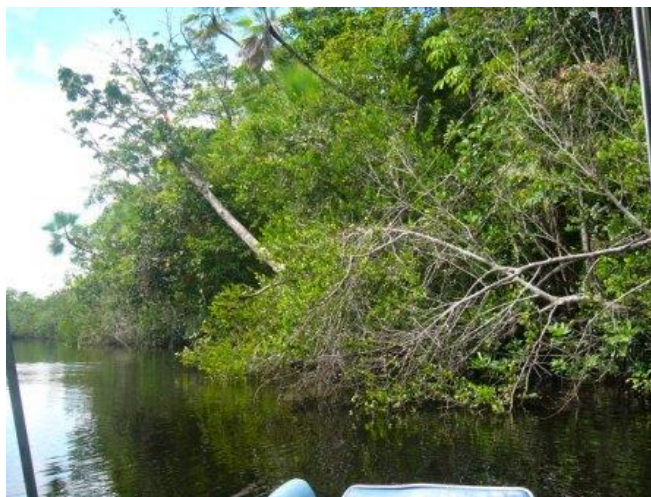
FIGURA 4. Río Calahá.



(Alfaro 2006).

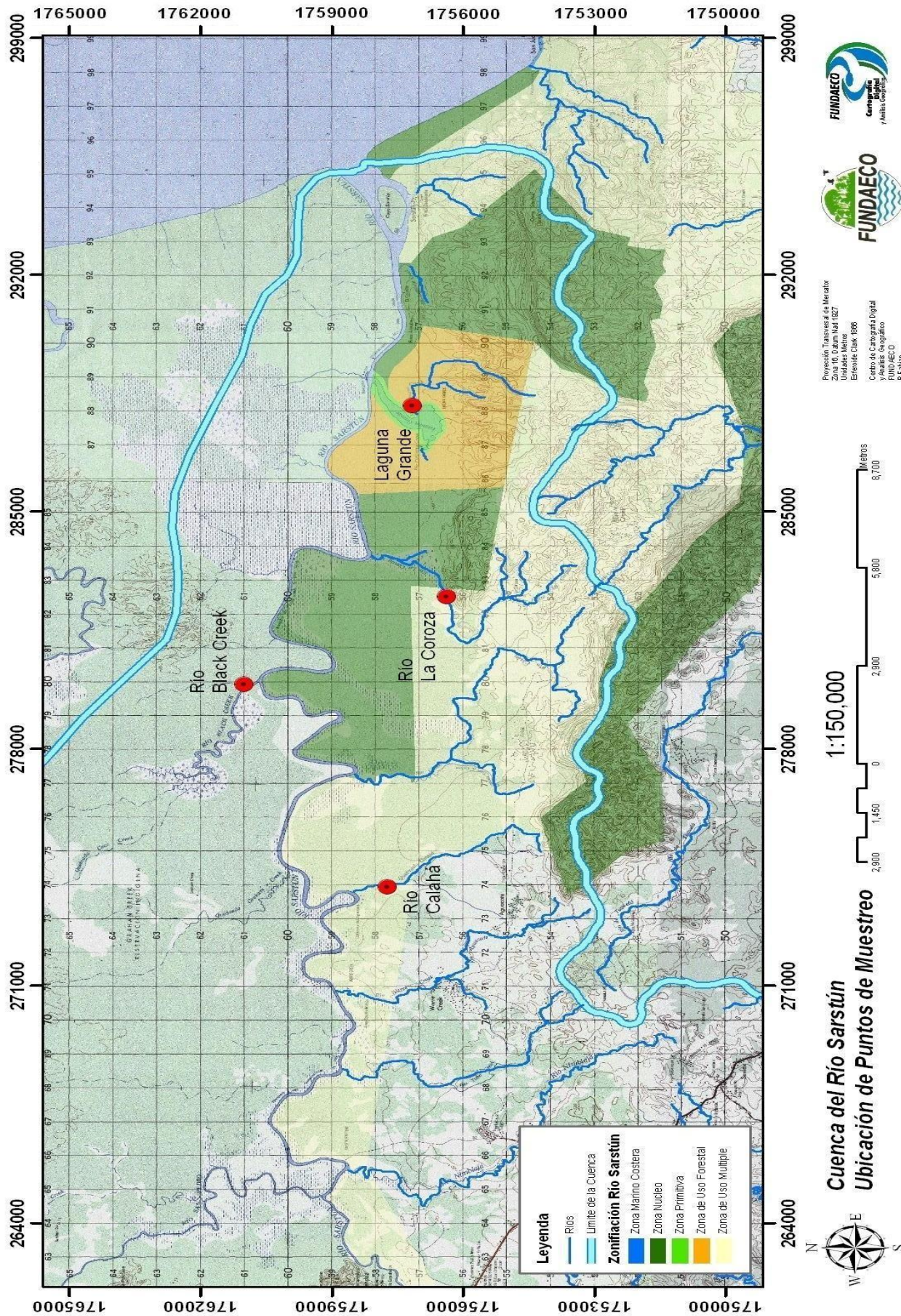
4) Río Black Creek. Este río es el más importante del lado Beliceño el cual no se encuentra intervenido ya que forma parte del Parque Nacional Sarstoon Temash (FUNDAECO 2005). Por esta razón este río se utilizó como control, para que sirviera de comparación con los tres ríos secundarios que drenan al Sarstún del lado de Guatemala. Como se observa en la figura 5, a sus orillas se observa mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.), mangle negro (*Avicennia germinans* L.) y guarumos (*Cecropia peltata* L.) entre otros.

FIGURA 5. Río Black Creek.



(Alfaro 2006)

FIGURA 6. Ubicación de puntos de muestreo.



FUNDAECO
 Geografía Digital
 y Análisis Espacial

FUNDAECO

Procesos Tecnológicos de Muestreo
 Zona 16, Carretera Nal 1827
 Unidades Métricas
 Etapas de 1986
 Centro de Cartografía Digital
 y Análisis Espacial
 FUNDAECO
 R. Fabán

(FUNDAECO 2007)

2. Información general

a. Clima. La temperatura media del área es de 26.6° C presentando una temperatura máxima de 30.9° C y una mínima de 20.9° C. La precipitación media anual es de 1,923.0 mm distribuidos en 231 días al año. La humedad relativa es de 81.2% (FUNDAECO 2004).

Según la clasificación de Thornthwaite, el Río Sarstún, presenta un clima cálido, con un invierno benigno muy húmedo y sin una estación seca bien definida. Marzo, abril y mayo son los meses más secos y de junio a octubre los más lluviosos. Las temperaturas son altas durante el día y relativamente frescas durante la noche.

Los vientos predominantes en esta región son los del noroeste a suroeste y con menos frecuencia del norte o del este; y son más fuertes durante los meses de mayo a septiembre con frecuentes tormentas en la noche (SIM 2006). Además se han presentado disturbios meteorológicos tales como los denominados “nortes” (masas de aire frío provenientes del invierno boreal que se presentan de noviembre a febrero) así como ciclones, huracanes y tormentas (FUNDAECO 2004).

b. Vegetación. El manglar forma una franja litoral a lo largo del río y lagunas asociadas, el cual alcanza alturas de 10 a 15 metros. Este tipo de vegetación realiza una función de protección del suelo, ya que sirve como filtro para evitar el paso de la salinidad hacia los suelos fértiles. Su flora está representada parcialmente por el mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.), icaco (*Chrysobalanus icaco* L.), el icaco de montaña (*Hirtella paniculata* OP Swartz), Santa María (*Callophyllum brasiliense* var. Rekoii Standley) y sangre (*Virola koschnyi* Warb) (FUNDAECO 2004).

Los recursos que generalmente son utilizados en el bosque son las especies leñosas, y en menor grado las palmas. Algunas especies son utilizadas para la construcción tales como santa maría (*Callophyllum brasiliense*), san Juan (*Vochysia hondurensis* Sprague) y corozo (*Orbignya cohune* (Mart.) Standl). Otras como icaco de montaña (*Hirtella paniculata*), mangle rojo y guamo (*Inga fissionalyx* Pittier) son utilizadas para leña (FUNDAECO 2004).

c. Fauna. Se tiene poco conocimiento del estado de conservación actual de la fauna del área. Se han elaborado inventarios, pero se consideran incompletos, no obstante, se pueden elaborar listados a partir de estudios realizados y de la literatura apropiada de las especies faunísticas que potencialmente se encuentran en el área protegida propuesta (Plan Maestro).

La fauna silvestre es cazada por fines alimenticios y comerciales, así como para la defensa de cultivos. Para propósitos cinérgicos, se cazan las siguientes especies: coche de monte (*Tayassu tajacu*), venado (*Odocoileus virginianus*), armadillo (*Dasyus novemcinctus*) y tepezcuintle (*Agouti paca*). Los felinos se cazan principalmente para la comercialización de sus pieles, el jaguar (*Panthera onca*) se caza en defensa del ganado, cerdos y perros. El pizote (*Nassau narica*) y el mapache (*Procyon lotor*) se cazan por ser depredadores de las siembras de maíz. La caza no regulada e indiscriminada está conduciendo a la desaparición de varias de las especies mencionadas, como es el caso del coche de monte, el venado cola blanca, el tepezcuintle, el jaguar, tortugas marinas y de agua dulce y el manatí (FUNDAECO 2004).

d. Suelos y geomorfología. En el área se distinguen cuatro series de suelos, que pueden ser agrupados en dos grandes sistemas: Suelos de las tierras bajas del Petén-Caribe y suelos aluviales no diferenciados (SIM 2006). Los suelos de esta zona de tierras bajas se derivan de una mezcla de rocas terciarias, y son ricos en arcilla. Se derivan de una mezcla de materiales que varían desde muy calcáreos hasta no calcáreos, produciendo grandes variaciones en la fertilidad y propiedades de drenaje. Como resultado de la translación de las partículas arcillosas, los poros del subsuelo se bloquean, impidiendo la percolación del agua y disminuyendo también la oxigenación de las raíces. Dichos elementos de la geología de la zona indican que un uso inadecuado del suelo a largo plazo sin la aplicación de técnicas de conservación de suelos conducirá a una rápida degradación en la calidad de dichos suelos, volviéndolos incapaces para la producción agropecuaria (FUNDAECO 2004).

La estructura geológica dominante es la Falla de Sarstún, demarcada por el río del mismo nombre y el resultante Cerro Sarstún. Existe un sistema considerable de fallas por debajo de la subestructura geológica entera para dar origen a las formaciones cársticas sobresalientes (FUNDAECO 2004).

e. Demografía. En el área protegida se puede identificar tres grupos sociales bien definidos: ladinos, Q'eqchís y garífunas. Dentro del área existen 16 comunidades, registrándose para 1996, un total de 3,484 habitantes, por lo que se estima que a la fecha habitan el área 6,600 personas. Existe proceso de migración del grupo Q'eqchí, principalmente hacia las Verapaces (Baja Verapaz, Alta Verapaz), así como Petén y en parte Izabal. Dichas migraciones internas se generan a raíz del auge de la economía cafetalera en la vecina Sierra de Chamá y por la apertura de nuevas vías de comunicación que contribuyeron a la comercialización de dicho producto. El auge de economía bananera también propicia migraciones a la zona. No obstante, se considera que los asentamientos en el área son de reciente establecimiento (FUNDAECO 2004).

En cuanto a las actividades económicas, la mayor parte de la población se dedica a la agricultura, específicamente a la agricultura itinerante de tumba y quema del bosque. En las comunidades de Sarstún, San Juan, Buena Vista y Guaira, la actividad económica predominante es la pesca (FUNDAECO 2004).

3. Importancia del área. El río Sarstún pertenece a la ecorregión RECOSMO, la cual comprende 11 áreas protegidas y 6 corredores biológicos, abarcando 22 municipios de los departamentos de Alta Verapaz, Baja Verapaz, El Progreso, Zacapa y todo el departamento de Izabal. Este río juega un papel central en la conectividad de los ecosistemas remanentes del Corredor Biológico Mesoamericano, ya que hacia el norte se encuentra el Parque Nacional Sarstoon-Temash, hacia el sur el Biotopo Chocón Machacas y el Parque Nacional Río Dulce; hacia el oeste el Área de Protección especial Sierra Santa Cruz y la Reserva Ecológica de Chocón Machacas; y hacia el este se encuentra el Ecosistema bi-nacional compartido de la Bahía de Amatique. Esto resalta la importancia de Sarstún para el manejo integral del área (FUNDAECO 2002).

Debido a que es un humedal provee múltiples beneficios: controla las *inundaciones* al interceptar las precipitaciones fuertes, almacenando el agua en el suelo o reteniéndola en las superficies de pantanos, entre otros. Contribuye a recargar los acuíferos subterráneos, que almacenan cerca del 97% de las aguas dulces no

congeladas del mundo. Los humedales también estabilizan las costas y las protegen contra tormentas (Rojas *et al.* 2003).

Sirve como depósito de sedimentos y nutrientes ya que reduce la velocidad del agua permitiendo la deposición de materiales en suspensión. La capacidad de retener nutrientes hace que figure entre los ecosistemas más productivos, dado que las plantas y suelos absorben una proporción importante de los nutrientes que se depositan. Al incorporar nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, y convertirlos en materia orgánica, un humedal juega la función de mejorar la calidad del agua, sobre todo en zonas de esorrentía agrícola y otros usos productivos, que evita la eutrofización de las aguas río abajo (Rojas *et al.* 2003).

Sarstún fue declarado Parque Nacional por el Gobierno de Belice en su rivera norte, fue también declarado Área de Protección Especial por la Ley de Áreas Protegidas de 1989, en su porción guatemalteca. Finalmente, el 2 de febrero de 2005, el Congreso de la República de Guatemala, aprobó el decreto 12-2005 que declara área protegida el Río Sarstún. Dentro del área protegida, menos del 10% de la superficie se encuentra en Zona Núcleo, dando de esta forma una mayor prioridad al uso sostenible de los recursos naturales (FUNDAECO 2002).

El Río Sarstún juega un papel muy importante en la sobrevivencia de especies amenazadas y en peligro de extinción tales como el manatí, jaguar, el oso colmenero, mono ahullador, cocodrilos y la tortuga marina, por lo que es necesaria la protección y la implementación de proyectos de manejo sostenible que coadyuven a mantener la conectividad de los ecosistemas remanentes del Corredor Biológico Mesoamericano. Además cuenta con 351 especies de aves, entre ellas residentes y migratorias, así como aproximadamente 83 especies de anfibios y reptiles (FUNDAECO 2002).

Esta zona, por su condición geográfica política, es importante ya que permite intercambio genético y por consiguiente el mantenimiento de la viabilidad genética del manatí (especie en peligro de extinción) entre Guatemala, Belice y Honduras. Por lo tanto, el mantenimiento de los humedales que se encuentran a orillas del Río Sarstún juega un papel clave en la supervivencia de dicha especie.(FUNDAECO 2004).

En el área existen los tres tipos de manglar (el rojo, el blanco y el negro) en buen estado de conservación, lo cual es de gran importancia ya que, según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el valor anual por hectárea de manglar, pantano o marisma alcanza los US\$ 100 mil por servicios ambientales (Flores 2006).

El área se ha colocado en la lista de espera para sumarse a los sitios RAMSAR, una Convención Internacional para la Conservación de Humedales que reconoce a los ecosistemas de este tipo como los más importantes a nivel mundial. En la actualidad en Guatemala ya existen cinco humedales RAMSAR: la Laguna del Tigre, Manchón Guachumal, Bocas de Polochic, Punta Manabique y el parque nacional Yaxhá-Nakum-Naranjo (Flores 2006).

El Río Sarstún es una de las pocas áreas con alta productividad pesquera de la Bahía de Amatique. La actividad pesquera da empleo y alimento a gran número de familias guatemaltecas, por esta razón la investigación de los ecosistemas marino-costeros que sirven de criaderos naturales de las especies de interés comercial, es de gran importancia. Además, la belleza escénica de Río Sarstún constituye un enorme potencial para el desarrollo del ecoturismo y turismo de aventura como una alternativa económica para el desarrollo sostenible de sus habitantes locales (FUNDAECO 2002).

4. Amenazas en la reserva Río Sarstún. El área de RECOSMO es afectada a nivel local por las mismas amenazas que deterioran la diversidad biológica a nivel nacional. En sus límites ocurren procesos de colonización espontánea, extracción selectiva y sobre-explotación de especies, contaminación y deterioro del suelo y cuerpos de agua. En la región del litoral Atlántico, Río Dulce y Lago de Izabal hay una fuerte expansión turística. El río Sarstún fue incluido en esta área para asegurar la viabilidad a largo plazo de la Región Sarstún-Motagua a través de la creación de dinámicas socio-económicas, institucionales y de políticas que fomenten la plena participación y el apoyo de las comunidades locales y de los otros actores relevantes del país y de la región (SIM 2006).

El área es afectada por fenómenos naturales como huracanes y tormentas que pueden ocasionar mareas altas, diluvios, inundaciones y vientos elevados. Los efectos

más pronunciados de este fenómeno son la destrucción de casas, cosechas, animales y otros daños económicos. Los efectos a la naturaleza son principalmente en árboles abatidos, derrumbes, erosión masiva y deslaves. El último gran evento ocurrió en el año 1998 cuando el Huracán Mitch azotó las costas centroamericanas (FUNDAECO 2004).

Otro tipo de amenazas son la de invasión de tierras, explotación petrolera, cambio del uso de la tierra, entre otras. Las zonas vulnerables de riesgo son: Laguna Grande, Cerro Sarstún, la zona de manglares, Rivera de Río Sarstún y Chocón, Tapón Creek y Sistema Cocolí-San Juan (FUNDAECO 2004).

En cuanto a estuarios, varias actividades contribuyen a la degradación de su hábitat, entre ellas están las técnicas de pesca inapropiadas, dragado en los puertos y rutas de transporte marítimo, deposición de desechos del dragado en áreas estuarinas y contaminación del agua. Otras causas importantes de degradación son la sedimentación, ocasionada en gran medida por el cambio en el uso del suelo; la sobrecarga de nutrientes provenientes de las aguas negras y fertilizantes; la conversión del hábitat asociada a depredación por extracción de mangle para leña. Las prácticas agropecuarias inadecuadas como cultivos de banano, palma africana, ganado, hortalizas y camarón. También la descarga de aguas de parte de las camaroneras altera el flujo de agua dulce. El desarrollo turístico se considera de gran impacto, así como la urbanización y construcción de carreteras de acceso, que a pesar de traer desarrollo a la zona, tiene grandes impactos en la sedimentación y sobrecarga de nutrientes, así como el crecimiento de las ciudades y comunidades rurales (TRIGOH 2004).

Grandes extensiones de humedales se han perdido, particularmente en la zona Pacífica de Centroamérica. La principal causa de la pérdida de humedales ha sido el cambio de uso del suelo, donde se han drenado o rellenado humedales en las partes bajas para establecer zonas agropecuarias. Muchos de los que ayer fueron manglares y tierras de pantano, han sido drenados y convertidos en plantaciones, salineras y camaroneras, o bien para establecer complejos turísticos, zonas urbanas e infraestructura (Rojas *et al.* 2003).

Al reemplazar los humedales con zonas urbanas o de explotación agropecuaria intensiva, el régimen hidrológico de las cuencas se altera. Disminuyendo el caudal de los ríos, al extremo que las lagunas y pantanos tienden a secarse y durante la época lluviosa, las aguas bajan por los cauces en cantidades anormales que provocan inundaciones y arrastran alto volumen de sedimentos que se depositan en las tierras bajas. Otras amenazas que afectan a los humedales son: Variación en el régimen hídrico, medidas estructurales de mitigación de inundaciones, contaminación del agua (por condiciones químicas y biofísicas), sobre-extracción de recursos (ej. mangle, moluscos, aguas subterráneas), represas y otros proyectos de infraestructura sedimentación y minería (Rojas *et al.* 2003).

5. Uso actual de los recursos naturales

a. Agricultura. La agricultura es el medio económico y de subsistencia fundamental en la mayoría de las comunidades, se realiza bajo dos sistemas de producción, propiedad comunitaria y propiedad individual de la tierra. Los cultivos predominantes son el maíz, el frijol y el arroz; el chile (*Capsicum spp.*) se cultiva en menor escala (FUNDAECO 2004).

b. Pecuaria. En las comunidades de río Sarstún las actividades pecuarias son limitadas a la crianza avícola (gallinas y chompipes) y porcina, las cuales no cuentan con manejo para mejorar la calidad genética ni medidas sanitarias. Algunas comunidades cuentan con ganado bovino, este último se caracteriza en la parte de Barra Sarstún (FUNDAECO 2004).

c. Pesca. Un porcentaje alto de la población aledaña a los ríos y al mar se dedica a la pesca, actividad considerada como artesanal, debido a los volúmenes de extracción. Existen dos actividades pesqueras principales: la primera dedicada a la captura de especies de escama en estuarios y mar abierto para su comercialización, en muchos casos, a través del procesamiento seco-salado. Algunas especies comerciales que son utilizadas en la época de lluvia son: el róbalo (*Centropomus undecimalis*), vaca (*Bagre marinus*), sábalo (*Megalops atlanticus*), entre otras. En la época seca, se utilizan las especies de mar abierto, siendo el de mayor importancia el jurel (*Caranx sp.*) y el sierra (*Scomberomorus sierra*). La otra actividad es la pesca de camarón, su comercialización es a través de producto fresco. Las comunidades que no cuentan con

herramientas de pesca que permitan obtener mayor producto, se dedican a la captura de mojarra (*Cichlasoma maculicauda*) y tilapia (*Oreochromis niloticus*) (FUNDAECO 2004).

6. Sedimentación. Los lagos, humedales, ríos, estuarios, mares costeros bajos y otros cuerpos de agua marina o dulce acumulan comúnmente los depósitos derivados de rocas del fondo, de suelos y de restos orgánicos dentro de su drenaje, además, las partículas finas pueden llegar a causa de vientos y pueden provenir de fuentes naturales, urbanas e industriales, incluso distantes. Estos depósitos acuáticos pueden preservar un expediente de procesos pasados, recientes o en curso, ocasionados por componentes ambientales, naturales e inducidos por el humano, incluyendo la erosión del suelo (Satkunas 2006).

La carga del sedimento determina la forma y el patrón del canal de un río. Los cambios en la producción del sedimento reflejan cambios de clima, suelos, tasas de erosión, vegetación, topografía y la utilización del suelo. Las fluctuaciones en la descarga del sedimento afectan muchos procesos terrestres y costeros, incluyendo respuestas del ecosistema, porque los alimentos se transportan junto con la carga del sedimento. Por ejemplo, para reproducirse con eficacia, algunas especies necesitan el lecho de grava para la supervivencia de las crías y del huevo; los depósitos de aluvión y de arcilla formados por inundaciones o erosión excesiva pueden destruir el hábitat necesario para eclosión de ciertas crías. El carácter químico, físico y biológico de sedimentos acuáticos puede proporcionar un expediente acerca del cambio ambiental, en el cual los acontecimientos naturales pueden ser claramente distinguibles de entradas humanas tales como agricultura, tala de árboles, acidificación, eutroficación y contaminación industrial, entre otros (Satkunas 2006).

El sedimento tiene muchas formas y proviene de muchas fuentes, pero la mayor preocupación, en cuanto al sedimento de ríos, son las finas partículas inorgánicas que van en la corriente, las cuales causan turbidez; así como las que se depositan en el fondo, causando pérdida de productividad béntica y de hábitat de peces. Este sedimento se dispersa fácilmente por lo que ocurre en gran parte de la extensión del río (Waters 1995).

La mayor fuente de sedimento inorgánico viene de la erosión de tierras altas, movimiento lateral de canales que dan a bancos del río, o por cortes del lecho de sedimento. La erosión natural ocurre por precipitación de muchas formas, incluyendo eventos secundarios como inundaciones, creando diferentes tipos de paisajes (Fritz 1988).

En su camino al océano, el sedimento puede ser temporalmente atrasado y depositado, sólo para ser erosionado y lavado. Los tiempos de retención de aluvión y arena varían grandemente. Los depósitos que miramos en el lecho también permanecen por cortos períodos de tiempo, tal vez un año o incluso días (Fritz 1988). Comparada con los grandes depósitos de historia geológica, las entradas de sedimento son muy pequeñas, lo que permite que puedan ser incorporadas, por procesos del río, en formas no destructivas. Si la cantidad de sedimento que entra al río es excesiva, generada por desechos antropogénicos, va a sobrepasar la “capacidad asimilativa” del río, dañando sus componentes biológicos (Waters 1995).

La influencia humana ha sido un factor que ha venido acelerando la modificación del ambiente desde hace 300 o 400 años. Los efectos más obvios de esta erosión y depósito de sedimento antropogénico son la pérdida de suelos agrícolas, la disminución en la capacidad de retención de agua de suelos forestales, el incremento en la frecuencia de inundaciones y el relleno rápido de depósitos. Otros efectos menos obvios, es que en pequeños ríos la sedimentación afecta comunidades bióticas, reduciendo la diversidad de peces y otros organismos, además de bajar la productividad de poblaciones acuáticas (Waters 1995).

a. Cambio en el uso de la tierra. Los cambios ocurridos dentro de la cuenca de los ríos son una de las cuatro causas más preocupantes que degradan las zonas costeras de Belice y América Central. Siendo las otras tres causas el cambio climático, la presión ocasionada por el turismo y la pesca excesiva. La alteración en las prácticas del uso de la tierra, en particular la deforestación y limpia de suelo para uso agrícola, ha incrementado la preocupación acerca del impacto potencial de la erosión del suelo sobre transferencia de contaminación y altas cargas de sedimento depositadas en el río, ocasionando impactos sobre la zona costera y por consiguiente sobre la barrera arrecifal (Nunny *et al* 2006).

El cambio en el uso de la tierra incrementa en gran escala la adición de sedimento fino al río. En Belice se calculó que el sedimento suspendido ha aumentado grandemente durante el siglo veinte debido en su mayoría a los cambios en el uso de la tierra, ya que existen grandes extensiones con cultivos de banano y cítricos (Nunny *et al.* 2006)

El sedimento es reconocido como el mayor contaminante de las aguas tanto en cantidad agregada como en economía e impacto ecológico (Fritz 1988). Se ha concluido que la cantidad excesiva de aluvión es el factor que más daño provoca en el hábitat de las industrias pesqueras, siendo identificado como la causa más importante de la contaminación de corrientes y ríos (Waters 1995).

b. Comunidades bióticas de ríos. Existen tres comunidades principales: Plantas fotosintéticas o productores primarios, invertebrados bénticos en el zoobentos, y peces, incluyendo consumidores secundarios y carnívoros o piscívoros (Waters 1995).

Entre las plantas fotosintéticas se incluyen algas, principalmente diatomeas, que componen el “periphyton” sobre rocas sumergidas y otros sustratos. Estos productores primarios forman parte del sostén de invertebrados como insectos acuáticos y moluscos. Otros productores primarios son macrofitas acuáticas como musgos y berros. En general estas macrofitas no sirven de alimento directo de otros animales pero contribuyen con grandes cantidades de detritus cuando mueren, sirviendo de alimento para animales detritívoros. Un efecto potencial del sedimento sobre plantas acuáticas, es la abrasión del periphyton por partículas de mediano tamaño como arena, la remoción de las raíces de macrofitas causado por partículas de mayor tamaño, la sofocación de periphyton y raíces debido al peso del sedimento fino depositado. Además reduce la penetración de la luz debido a la turbidez (Waters 1995).

Los invertebrados que componen el zoobentos, incluyen varios insectos acuáticos tales como larvas de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera. La abundancia de estos tres órdenes es comúnmente combinada como índice de disponibilidad de alimento para peces en ríos. La alta sedimentación afecta

directamente a macroinvertebrados bénticos ya que interfiere con su respiración, además sofoca su hábitat físico debido a la deposición de sedimento pesado sobre el lecho del río, incluyendo la pérdida de espacio intersticial ocupado para las madrigueras de ciertos animales (Waters 1995).

En cuanto a peces, el sedimento interfiere con su éxito reproductivo, ya que huevos en desarrollo o peces recién eclosionados pueden morir a causa del sedimento suspendido que interfiere con la respiración, además de interferir con la pérdida de hábitat. En casos extremos, altas concentraciones de sedimento pueden causar impedimento visual ocasionándole problemas a la hora de adquirir el alimento (Waters 1995).

La expansión de las tierras para uso agrícola y pastos para ganado incrementan el impacto sobre la biodiversidad y su hábitat, por lo cual es de suma importancia tomar medidas para mejorar el uso de la tierra y así prevenir su deterioro. Las diatomeas han sido utilizadas exitosamente para monitorear impactos de agricultura, ya sea cambios en la química del río así como cambios en el hábitat (Simkhada *et al.* 2006).

c. Características físicas del sedimento en ríos. El sedimento liberado por deforestación, erosión, uso de la tierra, entre otros, afecta negativamente organismos vivientes, y varía en tamaño a través de arcilla, aluvión y arena. Las partículas finas son las que han generado mayor preocupación y por consiguiente mayor estudio e investigación debido a los efectos que causa (Waters 1995).

La American Geophysical Union hizo una clasificación en la que se distinguen 24 categorías de clases y tamaños, variando desde arcilla muy fina entre 0.24 a 0.5 μm hasta partículas de gran tamaño entre 80 y 160 pulgadas. La clasificación más utilizada por biólogos y ecologistas sólo distingue entre 11 categorías, desde arcilla, aluvión, 5 clases de arena, grava, piedrita de canto rodado o cristal de piedra, piedra de canto rodado y piedras de mayor tamaño (Waters 1995).

Geomorfólogos fluviales, considerando el transporte del sedimento en ríos, dividen la carga de sedimento sólido en *carga suspendida* y *carga depositada*. La carga suspendida consiste en pequeñas partículas que son llevadas en la corriente del

agua. El sedimento suspendido es el producto de entradas de sedimento erosionado provenientes de afuera del canal. La concentración máxima de este tipo de sedimentación es limitada por la velocidad del agua y la turbulencia. La carga depositada consiste en grandes partículas sobre el fondo del río que se mueven resbalándose, rodando o saltando a lo largo del sustrato de la superficie. Las partículas medianas de arena fina, pueden intercambiarse entre los dos componentes, dependiendo de la velocidad del agua y otras características (McAdory 2006).

Los biólogos reconocen los dos componentes de carga sedimentaria por el efecto que causan sobre los organismos del río, tanto en plantas como en animales, poniendo mayor interés en la concentración de sedimento suspendido y en el grado de sedimentación del lecho del río. La concentración de sedimento suspendido afecta la cantidad de luz disponible para las plantas fotosintéticas y la capacidad de visión de animales acuáticos. El sedimento en el lecho del río afecta el hábitat disponible para macroinvertebrados, la calidad de la grava para el desove de los peces y la cantidad de hábitat para crianza de los peces. El sedimento suspendido puede ser medido en ppm o mg/l. Las dos categorías, sedimento suspendido y depositado, no son mutuamente excluyentes ya que las partículas se intercambian dependiendo de la velocidad de la corriente y de la turbulencia del agua (Waters 1995).

Las partículas inorgánicas del tamaño de aluvión se derivan en su mayoría de la ruptura y el desgaste ocasionado por la acción atmosférica de rocas de silicato. Las partículas de arcilla son sintetizadas químicamente en capas formadas por cristales de aluminio y silicato de magnesio, los cristales de arcilla tienen un tamaño menor de 2 μm , formándose partículas más grandes por la agregación de cristales. En ríos naturales predominan las partículas inorgánicas en un rango entre 10 y 20 μm , siendo agregados de arcilla y aluvión (Fritz 1988). Las partículas de arcilla poseen una gran capacidad de intercambio de iones por lo que pueden absorber grandes cantidades de nutrientes y de contaminantes, y debido a que son fáciles de dispersar son responsables de muchos efectos destructivos sobre la biota del río (Waters 1995).

Algunos cuerpos de agua presentan un sistema dinámico y sensitivo, el cual es preservado en la composición química, física y biológica del sedimento. Se puede observar cambio físico y químico a través de la mineralogía, estructura y geoquímica

observando la presencia de compuestos biogénicos, sílica e isótopos de oxígeno estables en carbonatos y celulosa. De particular interés para la determinación de datos de largo plazo sobre la química del agua, están los restos de organismos acuáticos tales como diatomeas, chrysofitas, quironómidos, entre otros, lo cual puede ser correlacionado con varios parámetros ambientales (Satkunas 2006).

Los ríos son usualmente los principales colectores de mucha influencia antropogénica, por ejemplo, la eutrofización ocasionada por drenajes orgánicos o acidificación. Las comunidades de algas de los ríos son generalmente dominadas por Bacillariophyceae (diatomeas), Cyanobacteria y Chrysophyceae, encontrándose que existe una relación directa entre la influencia de descarga de drenajes y variables tanto químicas como biológicas, demostrándose que con mejor disponibilidad de nutrientes existe mayor biomasa de Periphyton (Lukavsky *et al.* 2006). El cambio del paisaje para otros usos de la tierra, ya sea para agricultura, urbanización o desarrollo industrial ha alterado las condiciones del ambiente en ríos, afectando negativamente sus componentes bióticos. Las actividades agrícolas incrementan la entrada de nutrientes y sedimento, los asentamientos humanos aumentan las cantidades de desperdicio orgánico y sólidos (Ndiritu *et al.* 2006).

7. Diatomeas. Las diatomeas son organismos acuáticos que viven en aguas dulces, saladas, salobres y marinas, y llegan a encontrarse también en tierras húmedas. La temperatura óptima para su desarrollo es de los 15° a los 30°C, siendo más abundantes las del plancton marino en temperaturas bajas. Las diatomeas se mueven lentamente por deslizamiento a velocidades de 7 a 20 micras por segundo (Barbour 1999). Se clasifican en base a las características de sus valvas, reconociéndose dos clases: las centrales, caracterizadas por tener sus valvas circulares, presentando sus estructuras un arreglo concéntrico, y las penales, que tienen sus valvas alargadas con las estructuras arregladas a los lados de un eje central llamado rafé (Barbour 1999).

La distribución espacial de algas benthicas, incluyendo diatomeas, depende de varios factores, entre ellos clima, geología y el uso de la tierra, así como disponibilidad de luz y nutrientes del sustrato. El sustrato es una fuente de heterogeneidad en las comunidades de diatomeas. Las diatomeas están presentes en

casi todos los sustratos estables, rocas (epilithon), arena (epipsammon), restos de madera (epidendron) y sedimento (epipelon) (Townsend y Gell 2005).

a. Importancia de su uso como indicadores. La influencia antropogénica sobre los cuerpos de agua ha llevado a los investigadores a desarrollar monitoreos biológicos que puedan rápidamente evaluar el estado de los sistemas acuáticos, para estas evaluaciones se han incluido peces, invertebrados y algas. De las algas, las diatomeas han sido el enfoque primario de estudios rápidos para monitoreo en respuesta a estrés. Las diatomeas se encuentran ampliamente distribuidas con muchas especies cosmopolitas (Bellinger *et al.* 2006), siendo un componente diverso e importante de la diversidad acuática en ecosistemas de agua dulce (Simkhada *et al.* 2006).

Además de su importancia como productoras primarias en ecosistemas de agua dulce y su rápida respuesta a cambios ambientales (Jütner *et al.* 2003), las diatomeas son buenos indicadores de las condiciones químicas y físicas y responden a una gran variedad de factores, tales como enriquecimiento por nutrientes, salinidad, alcalinidad y cambios en los niveles del agua. Las diatomeas han sido usadas para monitorear la calidad de agua en ríos y lagos indicando cambios climáticos (Jütner *et al.* 2003), así como para estudiar la relación entre las condiciones ambientales y la biodiversidad (Simkhada *et al.* 2006). A pesar de su importancia y todas las ventajas que existen para estudiar las diatomeas, en Guatemala y en Centro América, se han realizado pocos estudios que incluyan diatomeas bénticas como indicadores de calidad de cuerpos de agua.

Mientras que las causas que ocasionan deterioro en la calidad del agua son bien conocidas y su impacto sobre la biodiversidad ha sido demostrado, esquemas de monitoreo constante utilizan en su mayoría métodos basados en macroinvertebrados (Jütner *et al.* 2003). Por esta razón, en este estudio se investigó la composición de diatomeas, junto con características fisicoquímicas de los ríos y análisis de sedimentación en 4 ríos con diferentes usos de suelo a sus alrededores.

Baja presencia de diatomeas refleja sistemas oligotróficos, mientras que demasiado altos indica eutrofización ya sea por nutrientes orgánicos ó inorgánicos. Se

ha encontrado que los contaminantes orgánicos están relacionados a la abundancia de especies de diatomeas móviles. Entre los géneros de diatomeas tolerantes a la eutrofización se encuentran *Achnanthes*, *Amphora* y *Encyonema*. El género *Nitzschia* es altamente resistente a grandes concentraciones de fosfatos, mientras que *Achnanthes*, *Gonphonema* y *Navícula* son moderadamente tolerantes. Géneros como *Rhopalodia* y *Eunotia* son taxa intolerantes a altas concentraciones de fosfatos (Bellinger *et al.* 2006). A nivel de especies se ha encontrado que la abundancia y frecuencia de diatomeas tolerantes a enriquecimiento por nutrientes, sedimentación o condiciones alcalinas, se incrementa. Además se ha visto que la riqueza y diversidad aumenta significativamente, en ríos que a sus alrededores tienen cultivos agrícolas, siendo mayor que en ríos contaminados orgánicamente (Jüttner *et al.* 1996). Se ha comprobado que las comunidades de diatomeas y macroinvertebrados difieren en su sensibilidad a particulares impactos urbanos y se ha visto que la composición de comunidades de macroinvertebrados no se encuentra fuertemente correlacionada con las concentraciones de nutrientes, al contrario de las diatomeas que son muy útiles como indicadoras de enriquecimiento por nutrientes (Sonneman *et al.* 2001)

Las diatomeas son indicadoras de contaminación ya que a menor número de especies mayor es el grado de contaminación del río en estudio (Barbour 1999). Usualmente diatomeas con morfologías complejas se desarrollan en aguas contaminadas o en hábitats modificados, de igual forma los ensambles de diatomeas pueden variar según la heterogeneidad del hábitat, por lo cual pueden diferir marcadamente entre hábitats del mismo sitio. Las diatomeas en hábitats erosionados son probablemente más afectadas por condiciones locales (Mpawenayo y Mathooko 2005). Varios estudios han indicado que las diatomeas son buenas indicadoras de cambios en las condiciones ambientales tales como incremento de nutrientes (NO_3 , NO_2 , PO_4), total de sólidos disueltos, total de sólidos suspendidos, oxígeno disuelto y temperatura, ocasionados por impacto antropogénico y cambio del uso del suelo (Ndiritu *et al.* 2006). Con esto se puede decir que la biota, en este caso las diatomeas, se ven afectadas por fluctuaciones químicas y físicas en el ambiente a lo largo del tiempo (Lavoie *et al.* 2005)

A pesar de que se tiene gran conocimiento acerca de las respuestas de diatomeas a la degradación ocasionada por el humano, se han hecho pocos trabajos, en

comparación con peces o invertebrados, para formalizar el conocimiento y poder utilizarse como herramienta de monitoreo para evaluaciones biológicas de sistemas acuáticos (Fore y Grafe 2002). Sin embargo el uso de comunidades de diatomeas bénticas como indicadores de la condición de los ríos es un área en crecimiento (Sonneman *et al.* 2001). Esta importancia es fácil de observar al considerar el rol primario de las diatomeas como productoras y transformadoras de nutrientes inorgánicos a formas usables para otros organismos. Estructuralmente, las algas estabilizan el sustrato y crean hábitats para algunos peces e invertebrados (Fore y Grafe 2002).

8. Calidad de agua. La calidad del agua superficial en ríos, corrientes, lagos, charcas y humedales, es determinada por interacciones con el suelo, sólidos transportados (orgánicos, sedimentos), rocas, agua subterránea y la atmósfera. Puede también ser afectada por la agricultura, industrias y las acciones que conllevan a la extracción de la energía. El peso de los solutos en aguas superficiales se deriva de suelos y del flujo de agua subterránea, en donde la influencia de las interacciones agua-roca, es de suma importancia. La selección de variables a medir depende de los objetivos y de la economía del monitoreo, la cual es una decisión compleja porque hay muchas sustancias químicas, físicas y biológicas potenciales que podrían ser importantes en cualquier área (Satkunas 2006).

El agua limpia es esencial para la supervivencia humana así como para la vida acuática. Un 75% de las poblaciones de países en desarrollo carecen de instalaciones sanitarias adecuadas. Además, la basura se descarga comúnmente en el cuerpo más cercano de agua. Los patógenos tales como bacterias, virus y parásitos se encuentran entre los agentes contaminadores ambientales más peligrosos del mundo (Satkunas 2006).

La calidad del agua de un lago, de un depósito o de un río puede variar en espacio y tiempo según procesos morfológicos, hidrológicos, químicos, biológicos y sedimentológicos naturales (por ejemplo, cambio en la tasa de la erosión). La contaminación de cuerpos naturales del agua superficial es extensa debido a actividades humanas, tales como aguas residuales, pérdidas industriales, uso de la tierra, tala de árboles, uso de pesticidas y explotación minera (Satkunas 2006).

El muestreo y el análisis para la determinación de la calidad del agua varían según las condiciones del sitio y los componentes a medir. Los cambios en la calidad del agua pueden ser rápidos, por ejemplo en respuesta a variaciones climáticas y a inundaciones. El monitoreo continuo proporciona la información más completa (Satkunas 2006).

Es importante reconocer que existen lazos cercanos entre la química del agua y la de los sedimentos superficiales que están en contacto con el agua. De esta forma, el análisis de la columna del sedimento puede proporcionar datos importantes acerca de la calidad del agua (Satkunas 2006).

En este estudio, el análisis de sedimentación será utilizado como indicador para determinar qué puntos del río presentan mayor presión antropogénica. Las fuentes que causan mayor contaminación dentro de los ríos son los asentamientos humanos, las aguas residuales de los asentamientos, la agricultura, modificaciones hidrológicas y modificaciones de hábitat. Las modificaciones hidrológicas pueden ser de regulación del flujo, canalización, drenaje o construcción de presas. Estas actividades pueden alterar el hábitat de los ríos haciéndolo menos conveniente para la vida acuática (EPA 2005).

a. Parámetros químicos del agua

1) Oxígeno disuelto. Esta es una medida que indica la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. Generalmente, la concentración de oxígeno disuelto en agua superficial es menor de 10 mg/l. La concentración de OD está sujeta a fluctuaciones diarias y estacionales, debido en parte a variaciones en la temperatura, la actividad fotosintética y las descargas de ríos. La solubilidad máxima del oxígeno (totalmente saturado) oscila entre aproximadamente 15 mg/l a 0 °C a 8 mg/l a 25 °C (al nivel del mar). Las fuentes naturales del oxígeno disuelto se derivan de la atmósfera o a través de la producción fotosintética de plantas acuáticas. La reaireación natural del agua ocurre en áreas de cataratas y rápidos. El oxígeno disuelto es fundamental para el metabolismo respiratorio de la mayor parte de los organismos acuáticos. Afecta la solubilidad y disponibilidad de nutrientes y, por lo tanto, la productividad de los ecosistemas acuáticos. Los bajos niveles de oxígeno disuelto facilitan la liberación de nutrientes de los sedimentos (EPA 2005).

2) Fósforo. Tanto el fósforo y el nitrógeno son nutrientes esenciales para las plantas y animales que consumen comida acuática. Debido a que el fósforo es un nutriente escaso en agua dulce, un pequeño aumento puede tener como consecuencia eventos indeseables dentro del río, tales como crecimiento acelerado de plantas, floración excesiva de algas, bajo oxígeno disuelto y la muerte de peces, invertebrados y otros organismos acuáticos. Hay muchas fuentes de fósforo, entre ellas suelos, rocas, fertilizantes de cultivos, desperdicios de plantas de tratamiento, desechos de animales y humanos, etc. (EPA 2005).

3) Nitratos. Los nitratos son una forma de nitrógeno que es encontrada en diferentes formas de ecosistemas acuáticos y terrestres. El nitrógeno se encuentra en forma de amonio (NH_3), nitrato (NO_3) y nitritos NO_2 . Los nitratos son esenciales para la nutrición de las plantas, pero en cantidades excesivas puede acelerar la eutroficación causando crecimiento acelerado de plantas. Puede causar un cambio en el tipo de plantas y animales que viven en el río, afectando la temperatura, oxígeno disuelto y otros indicadores. En concentraciones arriba de 10 mg/l el nitrato puede llegar a ser tóxico. Los niveles naturales de amonio en el agua son menores de 1 mg/l. En cuanto a nitritos es menor a 0.01 mg/l(EPA 2005).

b. Parámetros físicos del agua

1) Temperatura. Los procesos químicos y biológicos así como la salud de los organismos acuáticos dependen de los rangos de temperatura. Muchas especies pueden vivir o reproducirse sólo en rangos específicos de temperatura, por esta razón es de gran importancia medir esta variable (EPA 2005).

2) pH. El pH es un término utilizado para medir la alcalinidad o acidez del agua en una escala de 0.1 a 14.0. La acidez es más alta a bajos niveles de pH. El pH afecta muchos procesos químicos y biológicos en el agua. La mayoría de animales acuáticos prefieren vivir en rangos de pH entre 6.5 y 8. Afuera de este rango la diversidad en ríos se reduce ya que causa estrés fisiológico en el sistema, disminuyendo así la reproducción de muchas especies (EPA 2005).

3) Turbidez. La turbidez es una medida de la claridad del agua, refiriéndose a la cantidad de luz que penetra a través del agua, la cual es reducida por

el aumento en el material suspendido. Las partículas suspendidas pueden ser arcilla, aluvión, arena, algas, plancton, microbios y otras sustancias. Estos materiales se encuentran en un rango de tamaño de 0.004 mm (arcilla) a 1.0 mm (arena). La turbidez puede afectar el color del agua (EPA 2005).

Una turbidez alta, además de reducir la luz que penetra la columna de agua, incrementa la temperatura. El incremento de temperatura se debe a que las partículas suspendidas absorben más calor, reduciendo a su vez la concentración de oxígeno disuelto. Las mayores fuentes causantes de turbidez son la erosión, la descarga de desechos, la urbanidad y el excesivo crecimiento de algas (EPA 2005).

4) Conductividad. La conductividad es la medida de la habilidad del agua de pasar corriente eléctrica. Es afectada por la presencia de sólidos inorgánicos disueltos tales como nitratos, sulfatos y aniones de fosfato. Compuestos como aceite, fenol, alcohol y azúcar no son buenos conductores de electricidad, por lo que disminuyen la conductividad en el agua. La conductividad es afectada por la temperatura, entre más caliente es el agua, más alta es la conductividad. La conductividad en ríos es afectada principalmente por la geología del área. Ríos con suelos arcillosos poseen alta conductividad, mientras que los de granito poseen baja conductividad. Otro factor importante son los drenajes que caen en el río, ya que éstos contienen cloruros, nitratos, fosfatos o aceites, los cuales disminuyen la conductividad del agua (EPA 2005). La conductividad es una característica importante ya que da una idea de la cantidad de sólidos disueltos ionizados, siendo proporcional a la cantidad presente y a la carga de los iones en el agua (Dix *et al.* 1999).

La unidad básica de la conductividad es siemen y es medida en microsiemens por centímetro ($\mu\text{s}/\text{cm}$). La conductividad en ríos se encuentra en un rango de 50 a 1500 $\mu\text{mhos}/\text{cm}$. La conductividad fuera de este rango indica que el agua no es apropiada para ciertas especies de peces o macroinvertebrados (EPA 2005).

9. Análisis de datos

a. Índices de diversidad. Estos índices son utilizados biológicamente para determinar qué tan diverso es un sitio. La diversidad se refiere a la distribución de

observaciones dentro de una categoría (Zar 1996). A simple vista, los índices de diversidad son vistos como simples y concretos, sin embargo existe una gran variedad de índices de diversidad, debido a que toman en cuenta dos factores: La riqueza, es decir el número de especies, y la homogeneidad (E), es decir, qué tan igual es la abundancia de las especies. Un valor de homogeneidad alto se da cuando las especies se encuentran igualmente distribuidas (Magurran 1988).

b. Índice de Shannon-Wiener. En este índice se asume que los individuos fueron muestreados al azar en una población indefinidamente larga, también asume que todas las especies están representadas en la muestra. El índice de Shannon concede mayor importancia a las especies raras, es independiente del tamaño de la muestra y su distribución es normal, de modo que es posible usar métodos estadísticos ordinarios para determinar la significancia en las diferencias encontradas. El valor del índice de diversidad de Shannon-Wiener, usualmente se encuentra entre 1.5 y 3.5, sólo raras veces sobrepasa 4.5 (Magurran 1988).

Para comparar dos o más diversidades en diferentes sitios, se puede realizar una prueba de t , para lo cual es necesario calcular los grados de libertad. Con la obtención del valor t , es posible determinar si existen diferencias significativas entre sitios a diferentes significancias (Zar 1996).

c. Índices de similitud de Sorenson y Jaccard. Los índices de similitud son una alternativa para investigar el grado de asociación o similaridad entre sitios. En los índices de Sorenson y Jaccard, se toman todas las especies o géneros encontrados en cada sitio y se realiza una matriz de datos en la que se pone ausencia o presencia en cada sitio. Estos índices están designados para obtener valores de 0 a 1, en donde 1 se da en casos de similitud total y 0 en casos de total diferencia. Una de las grandes ventajas de estos índices es la simplicidad. La desventaja es que no toma en cuenta la abundancia de las especies. Existe el índice cuantitativo de Sorenson, en donde si se toma en cuenta la abundancia o pobreza de las especies (Magurran 1988).

d. Análisis de cluster. Cuando en una investigación hay varios sitios, una buena descripción de la diversidad beta, puede ser obtenida a través de un análisis de cluster. Este análisis se puede realizar con una matriz que muestra la similitud entre

sitios, en donde los sitios más similares en la matriz estarán combinados en un solo cluster, los cluster de todos los sitios deben ser combinados en un solo dendrograma, para que el análisis sea más completo (Magurran 1988).

B. Justificación

El río Sarstún, además de encontrarse en un punto central dentro del Corredor Biológico Mesoamericano, presenta gran diversidad de paisajes, flora y fauna. Debido a la combinación única de ecosistemas y a su importancia económica, ya sea turística o como medio de subsistencia para las comunidades a sus alrededores, es de gran importancia su protección y el estudio para conocer el estado del río y de los ecosistemas remanentes.

Para conocer el estado en el que se encuentra la reserva, se realizó un análisis de sedimentación el cual ayuda a determinar qué puntos del río presentan mayor impacto antropogénico. El conocimiento de las tasas de sedimentación es de gran importancia ya que este río desemboca en el mar y las comunidades de corales, que en él habitan, se ven afectadas negativamente si las tasas de sedimentación son muy altas. Los cambios ocurridos dentro de la cuenca de los ríos es una de las causas más preocupantes de degradación de los arrecifes.

En conjunto con el análisis de sedimentación se realizó un análisis de parámetros físicos y químicos del agua como descriptivos de los sitios. La información obtenida en este estudio será incluida en el Plan Maestro del Área con el objetivo de mejorar el manejo que se le está dando al sitio, maximizando así, los beneficios tanto para el entorno como para las comunidades.

Las cianofitas y las diatomeas, son comúnmente las algas dominantes dentro de las comunidades de algas. Existe un gran número de especies en agua dulce y a muchas de ellas se les han realizado pruebas para determinar su vulnerabilidad a las presiones antropogénicas y se encontró que las diatomeas son las menos tolerantes a diversas presiones a las que son expuestas (Shubert 1984). Por esta razón elegí este grupo para

tener un estudio mejor respaldado y lograr determinar con mayores fundamentos que río se encuentra bajo mayor presión dentro de la Reserva de Uso Múltiple Río Sarstún.

C. Objetivos

1. Objetivo general

Determinar qué parte de la cuenca del río Sarstún, Livingston, Izabal, presenta mayor impacto antropogénico, por medio de un análisis fisicoquímico, un análisis de sedimentación y la determinación de diversidad de diatomeas.

2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar la tasa de sedimentación de los 4 ríos secundarios que drenan al río Sarstún.
- ✓ Determinar la concentración de sedimento suspendido de los 4 ríos secundarios elegidos que drenan al río Sarstún.
- ✓ Describir la composición física del sedimento superficial de los 4 ríos seleccionados.
- ✓ Determinar algunos parámetros fisicoquímicos de cuatro ríos secundarios que drenan al río Sarstún.
- ✓ Comparar las tasas de sedimentación, la concentración de sedimento suspendido y los parámetros fisicoquímicos del agua obtenidos, para determinar qué río, de los cuatro seleccionados, se encuentra en mejores condiciones.
- ✓ Determinar qué área se encuentra más afectada antropogénicamente.
- ✓ Comparar la tasa de sedimentación de los cuatro ríos estudiados durante época seca y época lluviosa.
- ✓ Determinar qué río presenta mayor diversidad de diatomeas.
- ✓ Determinar el índice de diversidad de Shannon-Wiener de los cuatro ríos seleccionados y compararlos para determinar si existen diferencias significativas entre ellos.

D. Hipótesis

1. Hay diferencias significativas en la diversidad de diatomeas del sedimento superficial, entre los cuatro ríos secundarios elegidos.
2. Hay diferencias en la tasa de sedimentación y concentración de sedimento suspendido entre los cuatro ríos elegidos, según la época del año.

II. MÉTODOS

A. Determinación de puntos de muestreo

Para determinar qué área del río Sarstún se encuentra más contaminada se realizaron muestreos en 4 ríos secundarios que lo drenan. La lección se realizó con ayuda de una ortofoto proporcionada por FUNDAECO. Se eligieron tres ríos del lado de Guatemala: Laguna Grande, La Coroza y Calahá, tratando de abarcar la mayor área posible dentro de la Reserva. El cuarto río se eligió del lado de Belice, el Black Creek, para utilizarlo como río “control” debido a que se encuentra en un área prístina. Con ayuda de un mapa fue posible localizar los ríos, y una vez localizados se marcaron en un GPS, lo cual facilitó su localización en cada viaje de campo.

B. Trabajo de campo y fechas de muestreo

Para la elaboración del trabajo de campo se realizaron tres visitas, las dos primeras durante la época seca, del 16 al 18 de agosto y 24 al 26 de septiembre y la última durante la época lluviosa, del 5 al 7 de diciembre.

1. Medición de parámetros del agua. Para la medición de los parámetros del agua se realizaron 3 viajes, dos durante la época lluviosa (agosto y septiembre) y uno durante la época seca (diciembre). Los parámetros fueron tomados en el momento de llegar al sitio antes de tomar cualquier otra medición para evitar fluctuaciones debido a disturbios ocasionados.

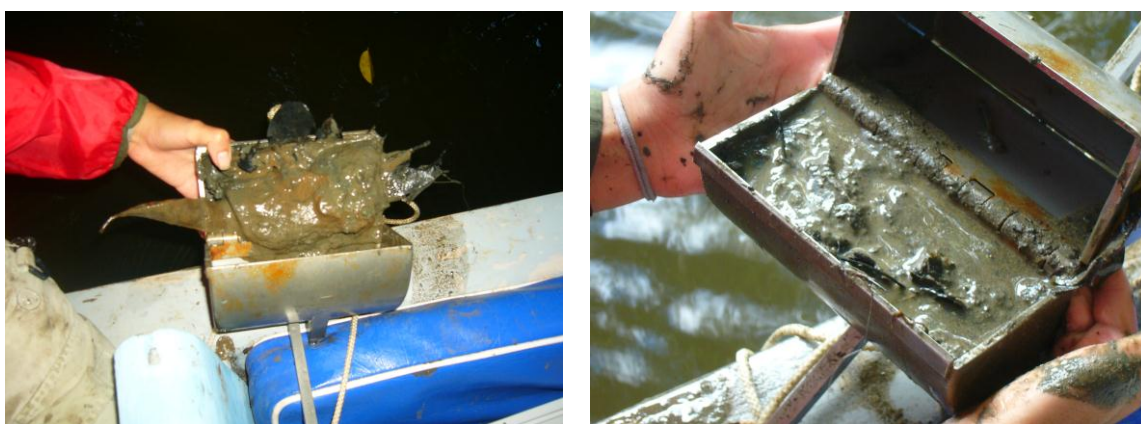
Para evaluar la calidad del agua se determinaron los siguientes factores fisicoquímicos: O₂ disuelto, pH, temperatura, turbidez y conductividad, estos datos fueron obtenidos *in situ* utilizando una sonda multiparamétrica. Se determinó la transparencia utilizando un disco Secchi, al cual se le colocó un peso para evitar movimiento por la corriente. Se colectaron muestras de agua, las cuales fueron transportadas en hieleras y mantenidas en refrigeración hasta el momento del análisis. Una vez en el laboratorio, se determinaron factores químicos utilizando un equipo HACH.

2. Sedimento suspendido. Para evitar que el sedimento superficial se levante y se mezcle con el sedimento suspendido del agua, se tomó la muestra de agua antes de

colocar las trampas de sedimentación. Se tomaron muestras de 1 litro de agua, utilizando una botella de van Dohr, en cada punto de muestreo previamente establecido, estas muestras fueron almacenadas en recipientes con capacidad de 1 litro para posterior análisis en el laboratorio, en donde se determinó la concentración del sedimento en mg l^{-1} , utilizando HACH.

3. Extracción de sedimento superficial. Antes de colocar las trampas, se tomaron muestras de sedimento superficial con una draga Eckman (Ver Figura 7). Con estas muestras se realizó una breve descripción del sedimento, tomando en cuenta su olor, color, textura y composición a simple vista (presencia de hojas, ramas, raíces, piedras, etc.) (Ver anexo E). Se tomó una muestra de aproximadamente 100 gramos, a la cual se le agregaron 10 gotas de formalina al 10% para fijarlas. Las muestras fueron colocadas en bolsas plásticas debidamente selladas y se colocaron en hieleras con hielo, para preservarlas frescas.

FIGURA 7. Extracción de Sedimento superficial.



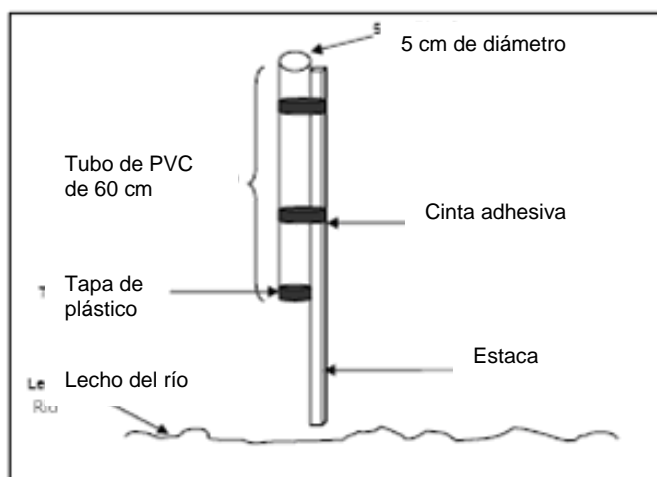
(Alfaro 2006)

4. Colocación de trampas. La sedimentación, aumento de la nutrición y contaminación por otros contaminantes antropogénicos, son formas severas de presión negativa sobre los ecosistemas acuáticos. Para monitorear la sedimentación se utilizaron trampas de tubo (Ver figuras 8 y 9), las cuales crean un volumen de agua inmóvil y protegida en la cual caen y se quedan sedimentos, lo que provee de un registro de sedimentación intacto. Estas trampas proporcionan índices directos de las tasas de sedimentación. Las trampas para sedimentos son fáciles de construir (ver

Figura 8), y la clasificación de los contenidos requiere únicamente de equipo sencillo como microscopio, balanza, entre otros (Almada-Villela *et al.* 2003).

Al armar las trampas debe verificar que el tubo quede bien asegurado a las estacas y colocarlas a la profundidad deseada. (Almada-Villela *et al.* 2003). Las trampas de sedimento fueron colocadas aproximadamente a 1 metro de distancia de la orilla, dos en cada río, donde permanecieron durante 30 días en los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre de 2006. Al finalizar el período, las trampas fueron removidas y el sedimento acumulado fue colectado. Con esto, se determinó que sitio presenta mayor tasa de sedimentación (Almada-Villela *et al.* 2003).

FIGURA 8. Diagrama de la trampa de sedimentación.
El dibujo no está a escala.



(Almada-Villela *et al.* 2003).

FIGURA 9. Trampa de sedimento colocada.



(FUNDAECO 2005)

C. Trabajo de laboratorio

1. Preparación de laminillas para microscopio. Con las muestras de sedimento superficial obtenidas, se prepararon laminillas para observar en el microscopio (Ver apéndice 4). Las laminillas preparadas se observaron en el microscopio y se identificaron las diatomeas, a las cuales se les tomó fotografías. Se realizó un conteo de diatomeas para determinar la riqueza. Con estos datos se obtuvo el índice de diversidad de Shannon-Wiener y se determinaron índices de similitud.

2. Tasa de sedimentación. Para determinar qué río presenta mayor tasa de sedimentación, el sedimento obtenido en las trampas se puso a secar en cajas petri, previamente taradas, en un horno a 70°C, hasta obtener un peso constante. La tasa de sedimentación se calculó en mg de sedimento por cm² al día (Ver apéndice 4).

3. Determinación de la concentración de sedimento suspendido. Las muestras de agua de río contienen concentraciones de sólidos en un rango de 10-1000mg l⁻¹, por esta razón, para poder filtrar las muestras, es necesario utilizar papel filtro de fibra de vidrio (Walling y Owens, 2002). Con las muestras de agua obtenidas en el viaje de campo se determinó la concentración de sedimento suspendido. Las muestras fueron filtradas a través de papel filtro Whatman Grade GF/C7cm y el sedimento obtenido fue secado para obtener el peso seco en mg l⁻¹ (Ver apéndice 4) (Walling y Owens, 2002).

4. Calidad de agua. Para el análisis químico de nitrógeno y fósforo se analizaron las muestra de 1L tomadas en el campo, para lo cual se utilizó un fotómetro HACH siguiendo las siguientes metodologías.

Amoníaco: Método de Nessler.

Nitratos: Método de reducción de Cadmio.

Nitritos: Método de diazotización.

Nitrógeno total: Método de Kjeldhal (mg NTK/L).

Fósforo total: Hidrólisis por ácido sulfúrico y persulfato de potasio.

5. Conteo e identificación de diatomeas. Las diatomeas son potencialmente el grupo más usado de fitoplancton como especies indicadoras, debido a su abundancia y presencia en la mayoría de cuerpos de agua y a que se preservan muy bien en

sedimento, debido a su esqueleto de sílica (Magurran 1998). Para realizar el conteo de diatomeas se observaron las laminillas del centro de los ríos, por ser el lugar que presenta menor influencia por parte de la vegetación. Una vez preparadas las laminillas fueron observadas en un microscopio triocular con cámara digital, con el objetivo de inmersión 100X . A cada especie diferente se le tomó una fotografía (Ver apéndice 8). Las diatomeas fueron identificadas utilizando claves dicotómicas de varios libros (ver otras referencias). Las especies que no se lograron identificar fueron separadas como especie desconocida 1, 2, etc. Se contaron las diatomeas presentes en un área de 22x22 mm en cada río.

6. Análisis de datos. Para observar si existía diferencia significativa entre el número de especies de diatomeas en cada río, se calculó el índice de Biodiversidad de Shannon-Wiener el cual es un índice no paramétrico basado en la abundancia proporcional de las especies, incluyendo su uniformidad y riqueza. Con estos datos fue posible realizar la Prueba *t* de student, para lo cual se calculó el valor *t* y los grados de libertad para cada sitio, con esta prueba se determinó si existían diferencias con una significancia de 0.005 y 0.25, en cuanto a composición de diatomeas por sitio (Magurran 1988).

Se calcularon los índices de similitud de Sorenson y Jaccard cualitativos y el cuantitativo de Sorenson, para determinar que ríos presentan mayores similitudes, además se hizo un dendrograma para lo cual se realizó un análisis de cluster jerárquico, utilizando el programa SPSS versión 10.0 para estudiantes.

III. RESULTADOS

A. Parámetros fisicoquímicos.

1. **Temperatura, ancho y profundidad.** En el cuadro uno se presentan los parámetros físicos del agua de los cuatro ríos elegidos durante las dos épocas muestreadas. Se observa que la temperatura más alta del agua se obtuvo en Laguna Grande durante la época lluviosa y que el ancho y profundidad de los ríos son menores durante la época seca.

CUADRO 1. Parámetros físicos del agua de 4 afluentes secundarios del Río Sarstún, 2006.

Época/Sitio	Temperatura Ambiente promedio (°C)		Temperatura de agua promedio (°C)		Ancho (m)		Profundidad promedio (m)	
	Lluviosa*	Seca	Lluviosa*	Seca	Lluviosa*	Seca	Lluviosa*	seca
La Coroza	29.5	28.0	28.9	27.5	9.5	8.6	2.0	1.35
Laguna Grande	29.7	27.5	30.9	27.8	7.2	6.8	2.0	1.8
Black Creek	29.6	27.7	29.8	29.0	50.0	50.0	5.65	4.8
Calahá	29.5	28.0	29.8	28.1	12.5	11.0	2.26	2.05

*Promedio de los dos meses de lluvia (agosto y septiembre de 2006) muestreados (ver anexo F)

2. **Transparencia, oxígeno disuelto, pH y turbidez.** En el cuadro dos se observa que la transparencia es mucho mayor durante la época lluviosa, excepto para Black Creek que fue ligeramente mayor para la época seca. El oxígeno disuelto para Black Creek aumentó en época seca, mientras que en los otros ríos, tanto el oxígeno, como el pH y la turbidez disminuyeron. La conductividad más alta la presentó Laguna Grande (774 $\mu\text{s}/\text{cm}$) y la más baja Black Creek (168.3 $\mu\text{s}/\text{cm}$).

CUADRO 2. Parámetros fisicoquímicos del agua de 4 afluentes secundarios del Río Sarstún, 2006.

Época/Sitio	Transparencia Secchi (m)		O ₂ Disuelto		pH		Turbidez (FTU)	
	Lluviosa*	Seca	Lluviosa*	Seca	Lluviosa*	Seca	Lluviosa*	seca
La Coroza	1.2	0.42	6.45	7.52	6.57	7.17	12	13
L. Grande	1.8	0.54	6.2	6.91	6.25	7.04	10	11
B. Creek	1.7	1.8	5.4	5.63	6.3	6.41	5	6
Calahá	1.85	1.4	3.22	4.58	6.7	6.81	8	9

*Promedios de los dos meses de lluvia (agosto y septiembre de 2006) muestreados

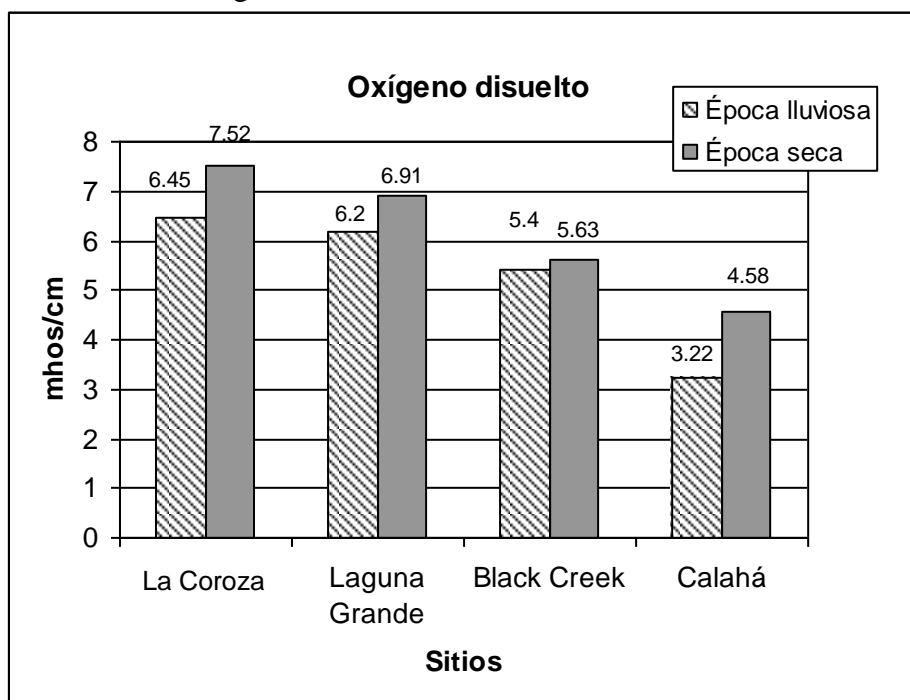
Se obtuvo la salinidad y la conductividad del mes de octubre de 2006, de los 4 ríos muestreados, presentando Laguna Grande la conductividad y salinidad más altas (774 μs y 0.5 ppt), siguiéndole La Corozza , Black Creek y Calahá (Ver Cuadro 3).

CUADRO 3. Salinidad y conductividad de los sitios de muestreo durante los meses de agosto y octubre de 2006.

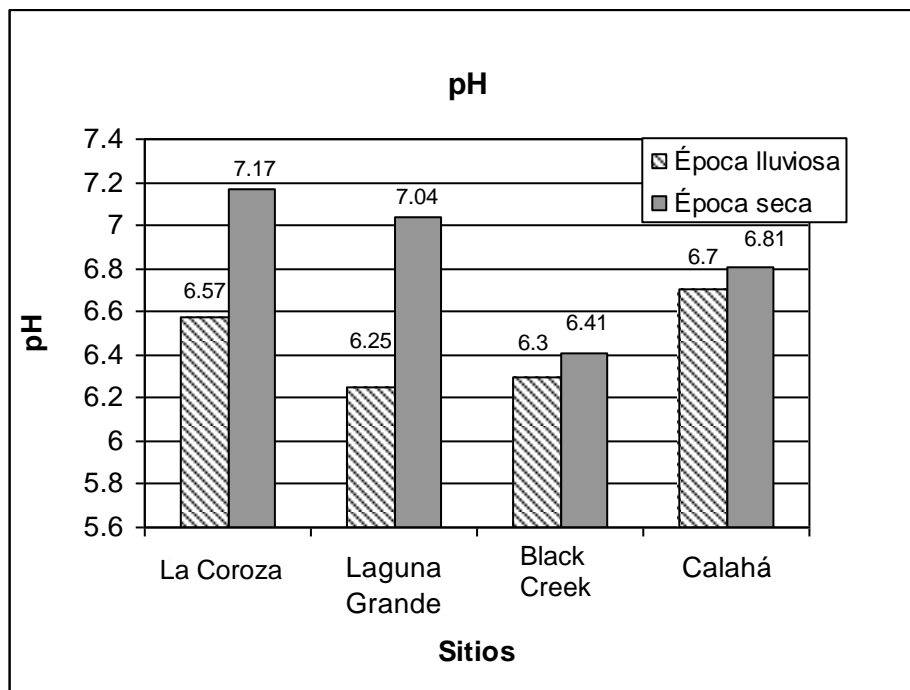
	Agosto		Octubre	
	Conductividad (μs)	Salinidad (ppt)	Conductividad (μs)	Salinidad (ppt)
Laguna Grande	1222	0.7	774.00	0.5
La Corozza	-	-	221.9	0.1
Black Creek	222	0.1	168.3	0.1
Calahá	83.7	0	85.7	0

Se observó que durante la época lluviosa el oxígeno disuelto es menor, siendo el río con menor oxígeno disuelto Calahá (3.22 mg/l) y el de mayor La Corozza (7.52 mg/l) (Ver Figura 10).

FIGURA 10. Oxígeno disuelto en cuatro ríos secundarios, Sarstún 2006.



En la Figura 11 se observa que durante época seca el pH es más alcalino, siendo el río más alcalino La Corozza (7.17). El río que presentó mayor acidez fue laguna grande con un pH de 6.3. Los valores mostrados son promedios de las mediciones obtenidas durante los viajes de campo.

FIGURA 11. pH en cuatro ríos secundarios, Sarstún 2006.

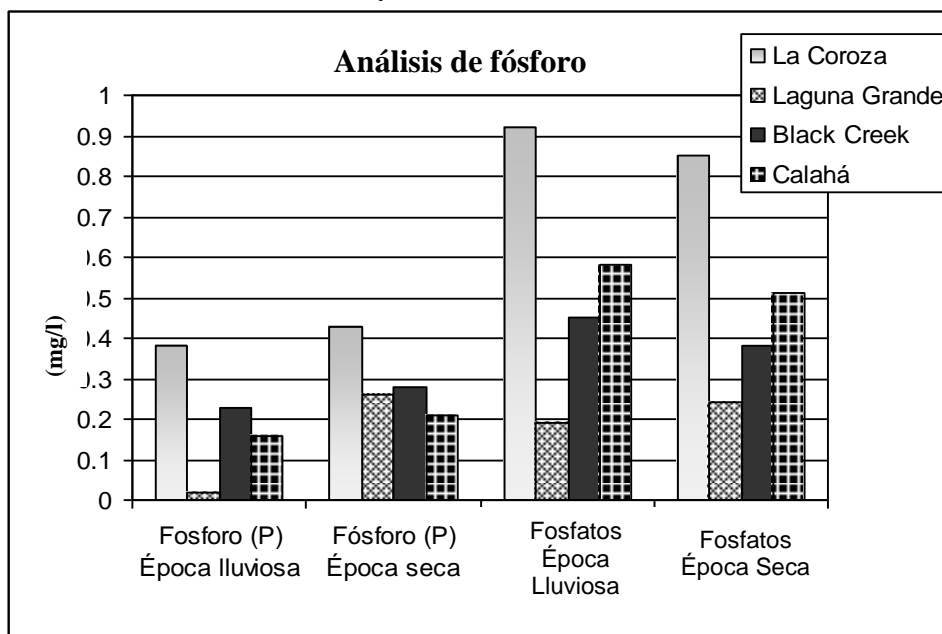
3. Nutrientes. En el Cuadro 3 se presentan los resultados de los niveles de nitrógeno y fósforo en el agua de los ríos muestreados.

a. Fósforo y sus derivados. En cuanto a fósforo total los niveles se encuentran en un rango de 0.16 a 0.43 mg/l. En los cuatro ríos los niveles de fósforo aumentaron levemente durante la época seca, presentando La Coroza el nivel más alto y Laguna grande el más bajo (Ver Figura 12). Los niveles de fosfato en Laguna Grande subieron levemente en la época seca, mientras que en los otros tres ríos los niveles bajaron (Ver Figura 12).

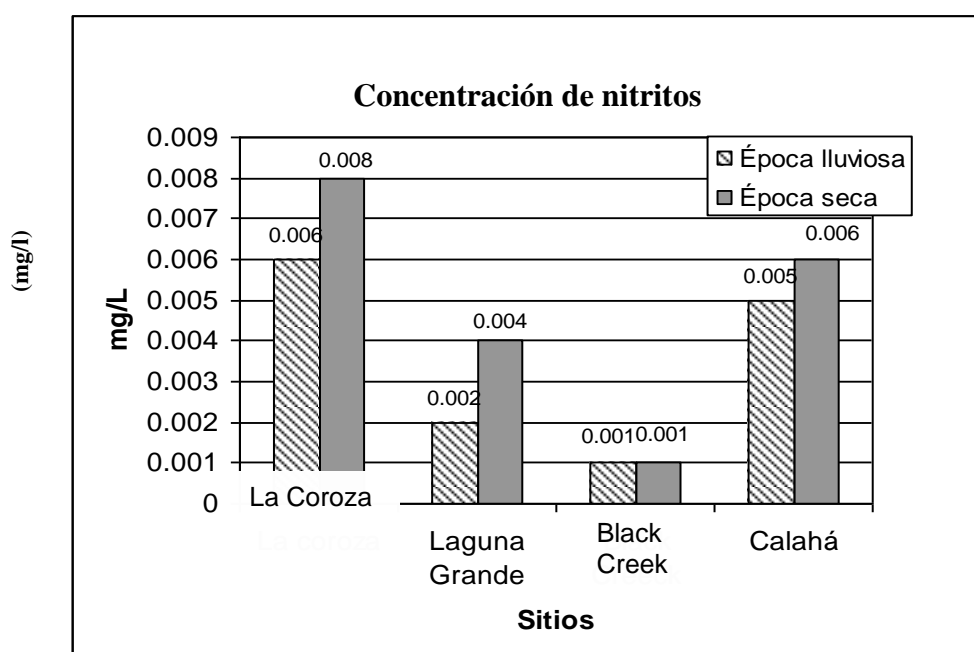
CUADRO 4. Parámetros químicos del agua en cuatro ríos secundarios, Sarstún 2006.

Sitio/ época	Fósforo mg/l P		Fosfato mg/l PO ₄ ⁻³		Nitritos mg/l NO ₂ ⁻ L		Nitratos mg/l NO ₃ ⁻ H		Amonio mg/l N NH ₃ ness	
	Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca
La Coroza	0.38	0.43	0.92	0.85	0.006	0.008	0.61	0.72	0.26	0.19
Laguna Grande	0.02	0.26	0.19	0.24	0.002	0.004	0.43	0.73	0.16	0.17
Black Creek	0.23	0.28	0.45	0.38	0.001	0.001	0.31	0.50	0.28	0.19
Calahá	0.16	0.21	0.58	0.51	0.005	0.006	0.40	0.32	0.11	0.22

Los datos en la tabla son promedio ya que se trabajó en duplicado.

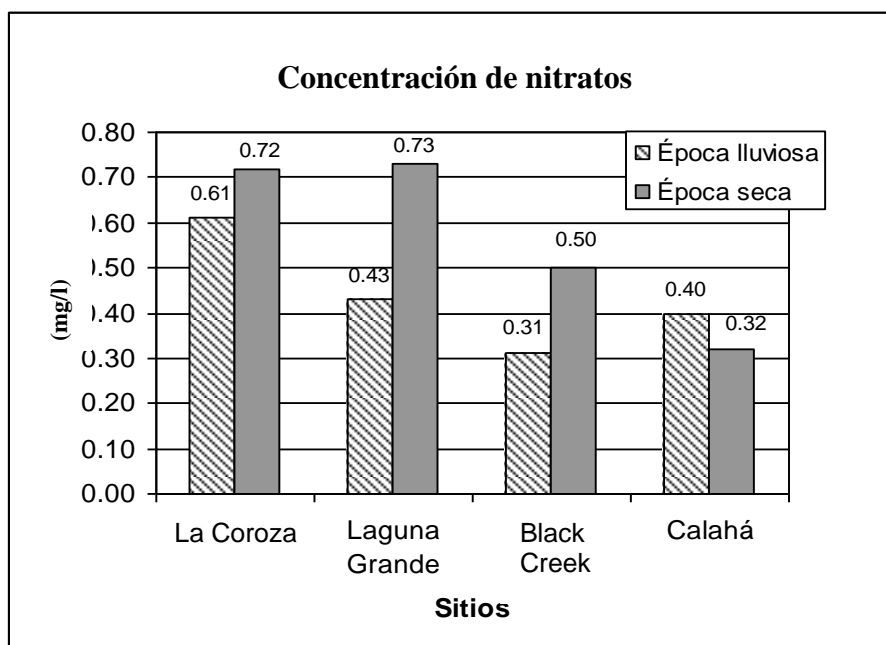
FIGURA 12. Niveles de fósforo y fosfato en cuatro ríos secundarios, Sarstún 2006.

b. Nitrógeno y sus derivados. Los niveles de nitritos de los ríos La Coroza y Laguna Grande aumentaron durante la época seca. El río control permaneció igual y Calahá disminuyó durante la época seca. El río Black Creek presentó el nivel más bajo de nitritos, siendo de 0.001 mg/l, mientras que el río La Coroza fue el que presentó los niveles más altos en ambas épocas, siendo la concentración más alta de 0.008 (Ver Figura 13).

FIGURA 13. Concentración de nitritos (mg/l NO₂) en cuatro ríos secundarios, Sarstún 2006.

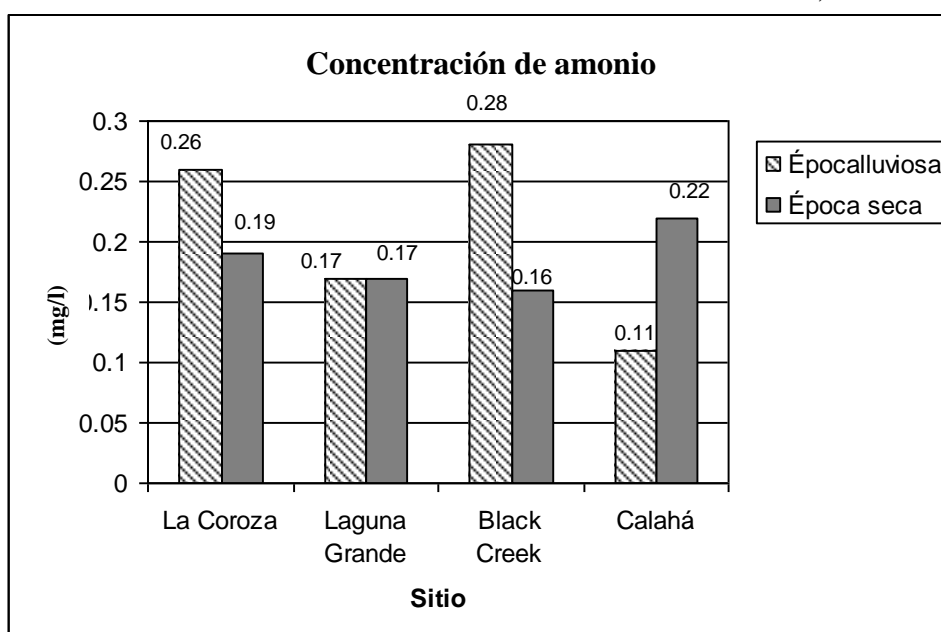
Las concentraciones de nitrato se encontraron en un rango de 0.31 a 0.73 mg/l. En los ríos La Coroza, Laguna Grande y Black Creek las concentraciones aumentaron durante la época seca, mientras que en Calahá, disminuyeron (Ver Figura 14).

FIGURA 14. Concentración de nitratos en cuatro ríos secundarios, Sarstún 2006.



Las concentraciones de amonio para los ríos La Coroza y Black Creek disminuyeron durante la época seca y en los ríos Calahá y Laguna Grande aumentaron. El nivel más bajo (0.11) se encontró en Calahá en la época lluviosa y el más alto se reportó para Black Creek (0.28 mg/l) también durante época lluviosa.

FIGURA 15. Concentración de amonio en cuatro ríos secundarios, Sarstún 2006.



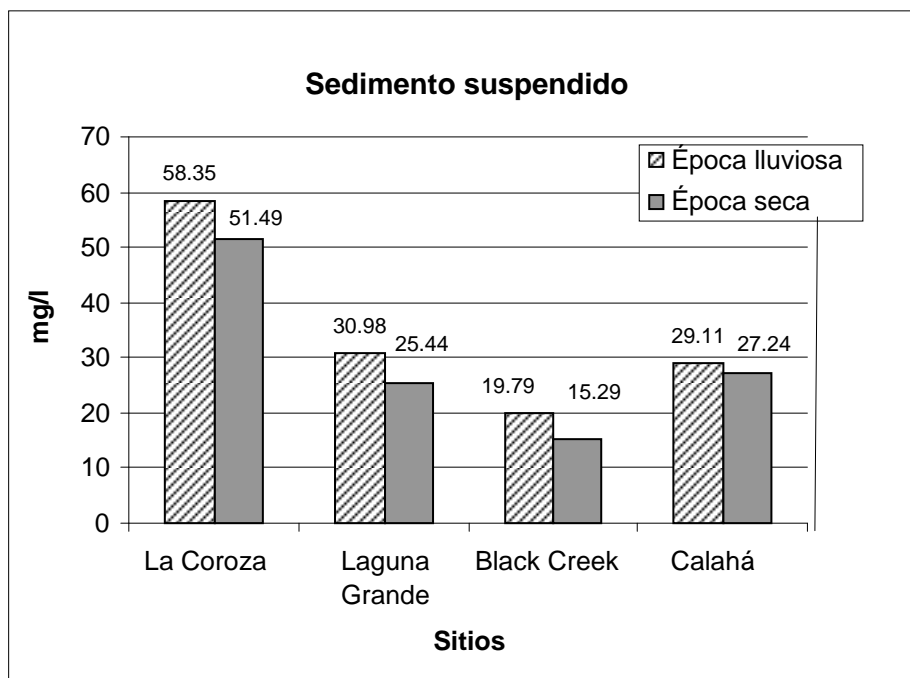
4. Sedimento suspendido. En el Cuadro 5 se muestran las coordenadas de los ríos en donde se llevaron a cabo los muestreos y las concentraciones de sedimento suspendido obtenidas en el estudio. En la Figura 12 se observa claramente el aumento de sedimento suspendido durante la época lluviosa, siendo La Corozal el río que presenta mayor concentración de sedimento suspendido, y el río control el de menor sedimento suspendido.

CUADRO 5. Sedimento suspendido en cuatro ríos secundarios, Sarstún 2006.

Sitio	Coordenadas	Sedimento suspendido (mg/l)	
		Época seca	Época lluviosa
La Corozal	16P 0283168 UTM 1756685	51.49	58.35*
Laguna Grande	16P 0287709 UTM 1756225	25.44	30.98*
Black Creek	16P 0279111 UTM 1761283	15.29	19.79*
Calahá	16 P 0273929 UTM 175810	27.24	29.11*

*Promedio de los meses de agosto y septiembre.

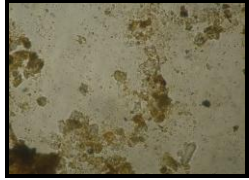
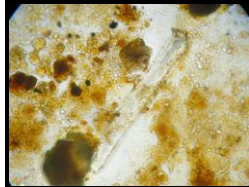
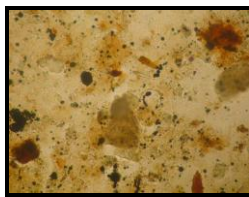
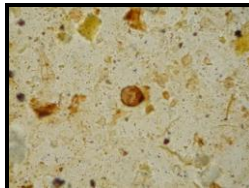
FIGURA 16. Sedimento suspendido en cuatro ríos secundarios, Sarstún 2006.



5. Descripción sedimento superficial. En el Cuadro 6 se describe el color, olor y la textura del sedimento superficial de los ríos muestreados, no se observó diferencias notables entre época seca y lluviosa. Se observa además una fotografía de

una muestra de sedimento superficial preparada en slide, en donde se observa que Laguna Grande y La Coroza presentan mayor cantidad de materia orgánica.

CUADRO 6. Descripción del sedimento superficial.

Sitio	Color	Olor	Textura	Breve Descripción y/o observaciones
La Coroza 	Café oscuro con parches grisáceos.	Leve olor a H ₂ S	Limoarenosa.	Compuesto de grava y aluviones de diferentes tamaños (2-5 cm). Al avanzar a la orilla este se tornaba más limoso y hacia la orilla oeste aumentaba la presencia de piedras
Laguna Grande 	Café oscuro	Fuerte olor a H ₂ S	Arenosa, con presencia de fibras hacia la orilla este.	Contenía ramas, hojas, piedras, espinas y raíces. Al centro del río presencia de muchas piedras y aluviones de mayor tamaño.
Black Creek 	Café oscuro casi negro	Fuerte olor a H ₂ S	Arenolimoso.	En la orilla norte y en el centro el olor a H ₂ S era más fuerte que en la orilla sur.
Calahá 	Café grisáceo y manchas negras	Olor a H ₂ S	Arcillolimoso.	Contenía hojas y ramas.

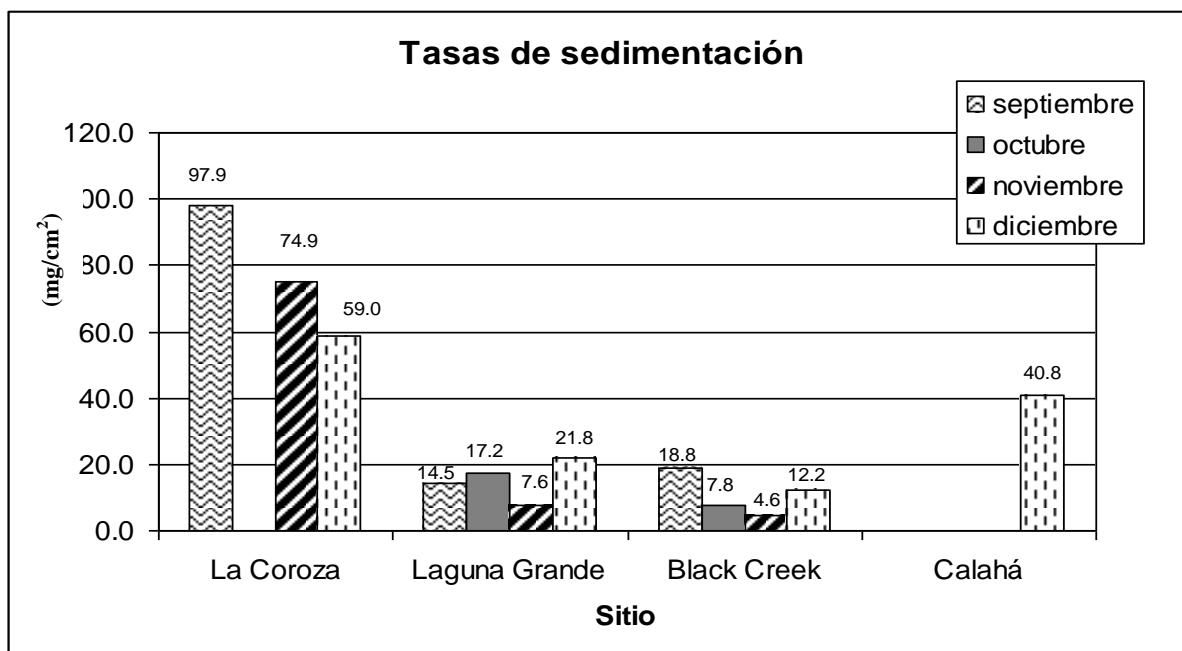
6. Tasa de sedimentación. El río que presentó mayor tasa de sedimentación durante los cuatro meses muestreados fue el río La Coroza, siendo la más alta de 97.90 mg/cm² al día durante el mes de septiembre. Calahá presentó una tasa alta en el mes de diciembre (40.77 mg/cm² al día), único mes en el que fue posible recuperar la trampa. Black Creek, el río control, fue el que presentó menor tasa de sedimentación. Se observa que durante el mes de diciembre la tasa de sedimentación subió en Laguna Grande y en Black Creek, a pesar de ser este uno de los meses secos en donde se esperaba que la tasa de sedimentación disminuyera (Ver Cuadro 7).

CUADRO 7. Tasas de sedimentación en cuatro ríos secundarios, Sarstún 2006.

Sitio	Coordenadas	Tasa de sedimentación (mg /cm ² al día)			
		Septiembre 2006	Octubre 2006	Noviembre 2006	Diciembre 2006
La Coroza	16P 0283168 UTM 1756685	97.90	* ---	74.92	58.96
Laguna Grande	16P 0287709 UTM 1756225	14.51	17.24	7.61	21.83
Black Creek	16P 0279111 UTM 1761283	18.84	7.79	4.61	12.22
Calahá	16 P 0273929 UTM 1758103	* ---	* ---	* ---	40.77

*Las trampas de sedimentación no fueron localizadas por lo que no fue posible tomar el peso, no se sabe si por vandalismo o porque se la llevó el río.

FIGURA 17. Tasas de sedimentación en cuatro ríos secundarios, Sarstún 2006.



B. Indicadores biológicos (Diatomeas).

1. Ordenes, familias y géneros encontrados. Las diatomeas se dividen en dos órdenes principales, las Centrales y las Pennales. En el estudio se encontraron seis familias de diatomeas Centrales representadas por ocho géneros (Ver Cuadro 8).

CUADRO 8. Familias y géneros del orden Centrales encontrados en cuatro ríos secundarios, Sarstún 2006.

Familia	Género
Bidulphiaceae	<i>Terpsinoe</i>
Surirellaceae	<i>Campylodiscus</i>
Coscinodiscaceae	<i>Coscinodiscus</i>
Melosiraceae	<i>Melosira</i>
Rhizosoleniaceae	<i>Rhizosolenia</i>
Stephanodiscaceae	<i>Actinocyclus</i>
	<i>Cyclotella</i>
	<i>Stephanodiscus</i>

En el Cuadro 9 se muestran las 12 familias y los géneros pertenecientes al orden Pennales, encontradas en los cuatro sitios muestreados.

CUADRO 9. Familias y géneros del orden Pennales encontrados en cuatro ríos secundarios, Sarstún 2006.

Familia	Género
Achnantaceae	<i>Achnantes</i>
	<i>Cocconeis</i>
Cymbellaceae	<i>Amphora</i>
	<i>Cymbella</i>
Eunotiaceae	<i>Ceratoneis</i>
	<i>Eunotia</i>
Fragilareaceae	<i>Diatoma</i>
	<i>Fragilaria</i>
	<i>Synedra</i>
Hantzchiaceae	<i>Hantzchia</i>
Naviculaceae	<i>Diploines</i>
	<i>Gyrosigma</i>
	<i>Navícula</i>
Neidiaceae	<i>Neidium</i>
Nitzchiacea	<i>Nitzchia</i>
Pinnulariaceae	<i>Caloneis</i>
	<i>Diatomella</i>
	<i>Pinnularia</i>
Stauroneidaceae	<i>Stauroneis</i>
Surirellaceae	<i>Cymatopleura</i>
	<i>Surirella</i>
Tabellariaceae	<i>Tabellaria</i>

Se calculó la proporción entre diatomeas Pennales y Centrales, se obtuvo que la proporción de diatomeas Pennales es mucho mayor para los cuatro sitios de muestreo, obteniéndose un promedio de 80.08% de diatomeas Pennales contra 19.92% de diatomeas centrales. Los sitios que presentaron un porcentaje mayor de diatomeas

Centrales fueron Black Creek y Calahá, siendo de 26.50% y 23.42% respectivamente (Ver Cuadro 10).

CUADRO 10. Proporción entre Pennales y Centrales encontrados en cuatro ríos secundarios, Sarstún 2006.

	La Coroza	Black Creek	Laguna Grande	Calahá	Promedio
Pennales (%)	85.12	73.50	85.13	76.58	80.08
Centrales (%)	14.88	26.50	14.87	23.42	19.92
Total (%)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

2. Abundancia de especies. El Cuadro 11 muestra el total de especies de diatomeas encontradas para cada río. Se encontraron 59 especies diferentes, distribuidas en 46 géneros, de las cuales 12 no fue posible identificarlas. Se contaron en total 955 individuos.

El río que presentó mayor abundancia fue el río control (Black Creek), siguiéndole La Coroza. Calahá es el río que presentó menor abundancia. Los géneros encontrados más abundantes fueron *Navícula*, *Pinnularia*, *Coscinodiscus*, *Ciclotella* y la especie *Diploines ovalis*.

CUADRO 11. Abundancia de especies encontradas en cuatro ríos secundarios, Sarstún 2006.

Especie	La Coroza	Black Creek	Laguna Grande	Calahá	Total
<i>Achnantes</i> sp.	0	0	4	0	4
<i>Actinocyclus</i> sp.	0	12	0	0	12
<i>Amphora</i> sp.	0	0	3	0	3
<i>Brebissonia</i> sp.	0	11	0	0	11
<i>Caloneis</i> sp.	0	1	0	0	1
<i>Campylodiscus</i> sp.	0	3	0	0	3
<i>Ceratoneis</i> sp.	1	0	0	0	1
<i>Cocconeis pedunculus</i>	5	4	0	0	9
<i>Cocconeis</i> sp.	0	0	10	2	12
<i>Coscinodiscus</i> sp.	20	33	14	8	75
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	4	0	0	0	4
<i>Cyclotella</i> sp.	0	57	8	0	65
<i>Cymatopleura</i>	0	31	7	0	38
<i>Cymbella lanceolata</i>	0	1	0	0	1
<i>Cymbella</i> sp 2.	13	9	0	0	22
<i>Diatoma</i> sp.	0	15	4	13	32
<i>Diatoma vulgare</i>	6	0	0	0	6

Continuación Cuadro 11.

Especie	La Coroza	Black Creek	Laguna Grande	Calahá	Total
<i>Diatomella</i> sp.	0	1	0	0	1
<i>Diploines ovalis</i>	15	27	32	13	87
<i>Diploines ovalis</i>	15	27	32	13	87
<i>Eunotia</i> sp.	0	0	0	15	15
<i>Fragilaria</i> sp. 2	13	42	16	0	71
<i>Gyrosigma</i> sp. 1	0	26	25	2	53
<i>Gyrosigma</i> sp. 2	16	0	0	0	16
<i>Hantzchia</i> sp.	0	3	0	0	3
<i>Melosira</i> sp. 1	2	0	7	5	14
<i>Melosira</i> sp. 2	0	0	0	9	9
<i>Navícula</i> sp. 1	0	0	0	11	11
<i>Navícula</i> sp. 2	58	52	23	0	133
<i>Navícula</i> sp. 3	0	2	0	0	2
<i>Navícula tuscula</i>	0	8	0	0	8
<i>Neidium</i> sp.	0	2	0	0	2
<i>Nitzchia</i> sp. 1	3	0	0	0	3
<i>Nitzchia</i> sp. 2	0	0	16	0	16
<i>Nitzchia</i> sp. 3	0	10	0	6	16
<i>Pinnularia</i> sp.	42	39	16	7	104
<i>Rhizosolenia longiseta</i>	0	1	0	0	1
<i>Stauroneis</i> sp.	6	7	0	0	13
<i>Stephanodiscus</i> sp.	1	0	0	0	1
<i>Surirella caproni</i>	0	3	0	0	3
<i>Surirella</i> sp. 1	0	6	5	0	11
<i>Synedra</i> sp. 2	0	4	3	0	7
<i>Synedra</i> sp.3	2	0	0	0	2
<i>Synedra</i> sp.1	0	7	0	14	21
<i>Tabellaria</i> sp.	0	0	2	0	2
<i>Terpsinoe</i> sp. 1	2	7	0	4	13
<i>Terpsinoe</i> sp. 2	3	2	0	0	5
Desconocida 1	0	0	0	1	1
Desconocida 2	0	1	0	0	1
Desconocida 3	0	1	0	0	1
Desconocida 4	0	1	0	0	1
Desconocida 5	0	1	0	0	1
Desconocida 6	1	0	0	0	1
Desconocida 7	1	0	0	0	1
Desconocida 8	1	0	0	0	1
Desconocida 9	0	0	0	1	1
Desconocida 10	0	1	0	0	1
Desconocida 11	0	1	0	0	1
Desconocida 12	0	1	0	0	1
Desconocida 13	0	1	0	0	1
Total de géneros	21	38	17	15	46
TOTAL individuos	215	434	195	111	955

En el Cuadro 12 se observa la lista de especies más abundantes. La especie *Pinnularia* sp., *Diploines ovalis* y *Coscinodiscus* sp. se encuentran con porcentajes altos en los cuatro ríos muestreados. *Fragilaria* sp., *Gyrosigma* sp. y *Navícula* sp., se encuentran solamente en La Coroza, Black Creek y Laguna Grande. *Navícula* sp. 2. es la especie que presentó el porcentaje más alto (26.98%).

CUADRO 12. Especies más abundantes y sus porcentajes los cuatro ríos secundarios, Sarstún 2006.

	Especie	Laguna grande	La Coroza	Black Creek	Calahá
1	<i>Actinocyclus</i> sp.	0	0	2.76	0
2	<i>Cocconeis pedunculus</i>	0	2.33	0	0
3	<i>Cocconeis</i> sp.	5.13	0	0	0
4	<i>Coscinodiscus</i> sp.	7.18	9.30	7.60	7.21
5	<i>Cyclotella</i> sp.	4.10	0	13.13	0
6	<i>Cymatopleura</i> sp.	3.59	0	7.14	0
7	<i>Cymbella</i> sp.	0	6.05	0	0
8	<i>Diatoma</i> sp.	0	0	3.46	11.71
9	<i>Diatoma vulgare</i>	0	2.79	0	0
10	<i>Diploines ovalis</i>	16.41	6.98	6.22	11.71
11	<i>Eunotia</i> sp.	0	0	0	13.51
12	<i>Fragilaria</i> sp.	8.21	6.05	9.68	0
13	<i>Gyrosigma</i> sp. 1	12.82	7.44	5.99	0
14	<i>Melosira</i> sp. 1	0	0	0	4.50
15	<i>Melosira</i> sp. 2	0	0	0	8.11
16	<i>Navícula</i> sp. 1	0	0	0	9.91
17	<i>Navícula</i> sp. 2	11.79	26.98	11.98	0
18	<i>Nitzschia</i> sp. 2	8.21	0	0	0
19	<i>Nitzschia</i> sp. 3	0	0	0	5.41
20	<i>Pinnularia</i> sp.	8.21	19.53	8.99	6.31
21	<i>Stauroneis</i> sp.	0	2.79	0	0
22	<i>Synedra</i> sp. 1	0	0	0	12.61

Las negritas indican las especies de mayor abundancia.

2. Índice de diversidad. En el Cuadro 13 se muestran las variables del índice de diversidad de Shannon-Wiener. El río que presentó mayor diversidad fue Black Creek siendo su H' de 2.93 con una varianza de 0.022, el Black Creek también presentó la homogeneidad más alta (0.72). El río La Coroza fue el río que presentó menor diversidad y homogeneidad (2.35 y 0.58 respectivamente). Los valores de los ríos Calahá y Laguna Grande son bastante similares, siendo sus H' de 2.57 y 2.47. Con estos datos se calculó la prueba t de Student.

CUADRO 13. Índice de Diversidad de Shannon-Wiener para cuatro ríos secundarios del río Sarstún, 2006.

	Black Creek	Laguna Grande	La Coroza	Calahá
Abundancia	434	195	215	111
Riqueza	38	17	21	15
Homogeneidad (E)*	0.72	0.63	0.58	0.61
Índice de Shannon (H')*	2.93	2.57	2.35	2.47
Varianza de Shannon($s^2_{H'}$)*	0.0022	0.0023	0.0050	0.0028

* Para obtener estos datos se utilizaron las fórmulas de Magurran 1988 y Zar 1996 (Ver apéndice 9).

3. Prueba t de Student. En el Cuadro 14 se muestran los valores de t calculados para cada sitio. Si el valor calculado es mayor que el valor de la tabla t , se dice que existen diferencias significativas. Se obtuvo que el río control (Black Creek), al ser comparado con los tres ríos secundarios estudiados presenta diferencias significativas en cuanto a diversidad de diatomeas con una significancia de 0.005. Al comparar los otros ríos se encontró que Laguna Grande y Calahá son diferentes con una significancia de 0.25, mientras que La Coroza no tiene diferencias significativas con Laguna Grande y Calahá.

CUADRO 14. Prueba t de Student para comparación de biodiversidad de diatomeas.

Sitios	Valor t Calculado	Valor Tabla t
Black Creek/La Coroza	6.87	2.59**
Black Creek/Laguna Grande	5.43	2.59**
Black Creek/Calahá	6.38	2.59**
La Coroza/ Laguna grande	-2.58	2.59**
La Coroza/ Calahá	-1.46	2.59**
Laguna grande/ Calahá	1.26	0.68*

*Significancia de $t_{0,25(1)}$

**Significancia de $t_{0,005(1)}$

4. Índices de similitud. Los ríos con mayor número de especies en común son el Black Creek y Laguna Grande y los de menor La Coroza y Calahá, sin embargo son los ríos Black Creek y Calahá, los que presentan el valor más bajo, es decir, la menor similitud entre ellos. Se observa que en la mayoría de ríos, los valores de similitud se encuentran bajos, siendo el valor más alto 0.438 para Calahá y Laguna Grande. En cuanto al índice cuantitativo de Sorenson se obtuvo que La Coroza y Black Creek son

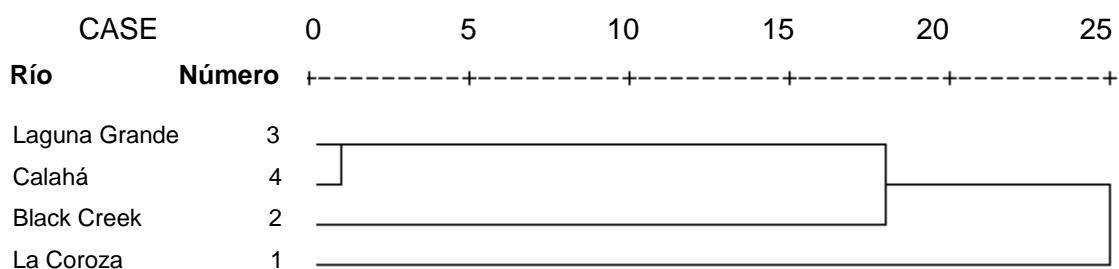
los sitios más similares (Ver Cuadro 15), esto debido a que este índice toma en cuenta las abundancias de las especies.

CUADRO 15. Índices de similitud para cuatro ríos secundarios del río Sarstún, 2006.

Ríos Comparados	Especies en común	Índice de Jaccard	Índice Sorenson	Sorenson cuantitativo
Black Creek/Laguna Grande	11	0.250	0.400	0.471
Black Creek/La Coroza	10	0.204	0.339	0.499
Black Creek/Calahá	8	0.178	0.302	0.220
Laguna Grande/ Calahá	7	0.280	0.438	0.268
Laguna Grande/ La Coroza	6	0.188	0.316	0.405
La Coroza/Calahá	5	0.161	0.278	0.196

5. Dendrograma. En la Figura 18 se muestra un dendrograma, para lo cual se realizó un análisis de cluster con el programa estadístico SPSS, que se basa en ausencia y presencia de especies, es decir que se basa en datos cualitativos. Se observa que los ríos que se encuentran más relacionados son Laguna Grande y Calahá. El río La Coroza es el más distinto del resto.

FIGURA 18. Dendrograma de la relación de los 4 ríos de estudio.



6. Preferencia de hábitat de diatomeas más abundantes. En el Cuadro 16 se muestran las preferencias de hábitat de las diatomeas más abundantes encontradas en los cuatro ríos de estudio del río Sarstún. Las especies más abundantes en el río La Coroza (*Navicula*, *Pinnularia*, *Coscinudiscus*, *Gyrosima*, *Diploines* y *Cymbella*) tienen alta tolerancia a exceso de nutrientes y a sedimentación, además de estar adaptadas tanto a ambientes de salinidad alta y baja, agua dulce y alta o baja conductividad. En el río Black Creek, se encontraron tres especies (*Actinocyclus*,

Cyclotella y *Cymatopleura*) con abundancia relativamente alta, estas especies presentan tolerancia baja a nutrientes y sedimentación, además de baja conductividad.

CUADRO 16. Preferencia de hábitat de las diatomeas más abundantes de cuatro ríos secundarios del río Sarstún.

Género	Salinidad alta	Salinidad baja	Agua dulce	Conductividad alta	Conductividad baja	Tolerancia a nutrientes	Tolerancia a sedimentación
<i>Achnantes</i>	X			X		media	media
<i>Actinocyclus</i>		X			X	baja	baja
<i>Brebbisonia</i>		X			X	baja	baja
<i>Cocconeis</i>			X		X	media	media
<i>Coscinodiscus</i>	X	X	X	X	X	alta	alta
<i>Cyclotella</i>	X	X		X	X	baja	media
<i>Cymatopleura</i>	X	X		X	X	baja	baja
<i>Cymbella</i>		X			X	alta	alta
<i>Diploines</i>	X	X	X	X	X	media	alta
<i>Eunotia</i>			X		X	baja	media
<i>Fragilaria</i>	X			X		media	media
<i>Gyrosigma</i>	X	X	X	X	X	alta	alta
<i>Melosira</i>	X	X			X	alta	media
<i>Navícula</i>	X	X	X	X	X	alta	alta
<i>Nitzchia</i>	X			X		alta	media
<i>Pinnularia</i>	X	X	X	X	X	alta	alta
<i>Synedra</i>			X		X	media	media

7. Comparación de nutrientes, sedimentación, diversidad de especies y porcentaje de diatomeas Pennales. En el Cuadro 17 se observa la comparación entre los diferentes valores de nutrientes (fósforo, fosfatos, nitratos y nitritos), así como la tasa de sedimentación y sedimento suspendido, incluyendo los índices de diversidad. Se puede observar que el río La Coroza es el sitio que presenta tanto los niveles más altos de nutrientes como de sedimentación y el nivel más bajo del índice de Shannon, de igual forma, presenta el porcentaje más alto de diatomeas Pennales. El río Black Creek es el río que presenta los valores menores de nutrientes y sedimentación, presentando además, alta abundancia y riqueza, así como el índice de Shannon más alto (2.93) y menor porcentaje de diatomeas Pennales (73.5), en comparación con los otros tres sitios.

CUADRO 17. Comparación de nutrientes, tasa de sedimentación, sedimento suspendido, riqueza, índice de Shannon y porcentaje de diatomeas Pennales, en los cuatro ríos secundarios del río Sarstún, 2006.

	Fósforo	Fosfatos	Nitratos	Nitritos	Tasa Sedimentación	Sedimento Suspendido	Abundancia	Riqueza	Índice de Shannon	% Diatomeas Pennales
La Coroza	0.41	0.89	0.67	0.007	77.3	52.49	2.35	21	2.35	85.1
Calahá.	0.19	0.55	0.36	0.006	40.8	27.24	2.47	15	2.47	76.6
Laguna Grande	0.14	0.22	0.58	0.003	15.3	25.44	2.57	17	2.57	85.1
Black Creek	0.26	0.42	0.41	0.001	10.9	15.29	2.93	38	2.93	73.5

IV. DISCUSIÓN

A. Parámetros fisicoquímicos:

1. Temperatura. En cuanto a los parámetros fisicoquímicos de los ríos, las temperaturas encontradas fueron altas, en un rango de 27.5 a 30.9 °C (Ver cuadro 1) presentándose las temperaturas mayores durante la época lluviosa. El río Laguna Grande fue el río que presentó la mayor temperatura (30.9°C). El problema con las altas temperaturas del agua es que la concentración de oxígeno disuelto disminuye, lo que no es una condición favorable para los organismos acuáticos. En cuanto a diatomeas, el rango óptimo para su desarrollo y crecimiento es de 15°C a 30°C (Barbour 1999), por lo que todos los ríos se encuentran dentro del rango. La Coroza presentó la temperatura más baja (27.5°C). El ancho y la profundidad de los ríos fue mayor durante el mes de septiembre, debido a que es época lluviosa.

2. Conductividad y salinidad. La conductividad más alta la obtuvo el río Laguna Grande (774.00 μs) teniendo también el valor más alto de salinidad (0.5 ppt), Esto se debe a que este río se ve influenciado por la marea, entrándole agua salada proveniente del mar, formándose lo que se denomina estuario. La conductividad se ve afectada por la temperatura, a mayor temperatura mayor conductividad, siendo este río, como se mencionó antes, el que presentó la temperatura más alta. El río Calahá presentó la conductividad y salinidad más bajas (85.7 μs y 0.0 ppt), este río es el que se encuentra más alejado de la desembocadura, por lo que no se ve influenciado por la marea, razón por la cual su salinidad es de 0.0 ppt. La conductividad es importante porque da una idea de la cantidad de sólidos disueltos ionizados (Dix *et al.* 1999).

3. Oxígeno disuelto. La concentración de oxígeno disuelto depende de variaciones diarias y estacionales, debido en parte a variaciones en la temperatura, la actividad fotosintética y las descargas de ríos (EPA 2005). Los niveles de oxígeno determinan la capacidad del sistema para sostener poblaciones de peces, invertebrados y zooplancton (Dix *et al.* 1999). En este estudio, los valores de oxígeno disuelto encontrados fueron más altos durante la época seca. El valor más pequeño de oxígeno disuelto reportado fue para el río Calahá en época lluviosa siendo de 3.22 mg/l a casi 30° C (Ver cuadro 2). Este es un valor bajo ya que el valor máximo de Oxígeno disuelto a esa temperatura es de 7.54 mg/l (EPA 2005). Indicando mala condición del

río, ya que el oxígeno disuelto es fundamental para el metabolismo respiratorio de la mayor parte de los organismos acuáticos. Bajos niveles de oxígeno afectan la solubilidad y disponibilidad de nutrientes y, por lo tanto, la productividad de los ecosistemas acuáticos. Los bajos niveles de oxígeno disuelto facilitan la liberación de nutrientes de los sedimentos (EPA 2005) y señalan una demanda alta por oxígeno debido a la presencia de bacterias y procesos de descomposición arriba de la capacidad de carga del sistema (Dix *et al.* 1999). El valor más alto obtenido fue el del Río La Coroza (7.52 mg/l) en época seca a 27.5° C, siendo la concentración máxima a esa temperatura de 7.90 mg/l (EPA 2005).

4. pH. Se observó que el pH fue mayor durante la época seca (ver figura 11) esto se debe probablemente a que por ser los meses secos, el caudal se reduce, se evapora agua, se libera oxígeno y se absorbe CO₂ (Dix *et al.* 1999). Se obtuvo que el pH menor fue el de Laguna Grande en época lluviosa, y el mayor el de La Coroza en época seca. El pH es de gran importancia ya que afecta muchos procesos químicos y físicos del río. Los rangos de pH encontrados en todos los ríos son bastante aceptables ya que la mayoría de animales acuáticos prefiere un rango entre 6.5 y 8 (EPA 2005), el único sitio que se encuentra bajo el límite es Laguna Grande (6.25). Fuera del rango mencionado se reduce la diversidad ya que causa stress en el sistema fisiológico de la mayoría de organismos y puede reducir la reproducción. Un pH bajo (ácido) puede permitir que ciertos elementos tóxicos se conviertan en móviles, por lo que es más fácil que se encuentren al alcance de plantas y animales, produciendo condiciones tóxicas para la vida acuática (EPA 2005).

5. Nutrientes. El fósforo y el nitrógeno son esenciales para mantener los ciclos reproductivos del plankton y por consiguiente la cadena alimenticia (EPA 2005) por lo que son elementos claves en el mantenimiento de la integridad ecológica de los ecosistemas acuáticos. Determinan la cantidad disponible de alimento para peces y las especies dominantes de fitoplancton. Forman parte de contaminantes de tipo humano (Dix *et al.* 1999), razón por lo cual son de gran importancia para determinar el grado de contaminación de cuerpos de agua. En este estudio el río La Coroza fue el río que presentó mayor concentración de fosfato siendo de 0.92 mg/l en época lluviosa (Ver figura 12). Probablemente se deba a que a sus alrededores se encuentran cultivos de maíz, una finca de ganadería y una comunidad, ya que las heces del ganado, pesticidas

de los cultivos y detergentes utilizados por las personas de las comunidades aportan cantidades significativas de fosfatos al agua (Bellinger *et al.* 2006). En general los niveles de fosfatos reportados para todos los ríos se encuentran altos.

Las concentraciones de nitrógeno encontradas en los ríos estudiados fueron relativamente bajas. En cuanto a nitratos, se obtuvo un rango entre 0.31 mg/l y 0.73 mg/l, lo cual está bien ya que el nitrato puede llegar a ser tóxico en concentraciones arriba de 10 mg/l (EPA 2005). El rango encontrado para nitritos fue de 0.001 para Black Creek a 0.008 para La Coroza, estos niveles también se encuentran relativamente bajos ya que los niveles naturales de nitritos en el agua son menores a 0.01 mg/l (EPA 2005). Para el amonio, se encontró que el río Black Creek presentó la concentración más alta, siendo de 0.28 mg/l, mientras que Calahá presentó la más baja, de 0.11 mg/l.

6. Turbidez y sedimento suspendido. La turbidez más alta encontrada fue en el río La Coroza (13 FTU) en época seca, al igual que de sedimento suspendido (59.6938mg/l^{-1}) en época lluviosa (ver Cuadro 2). Esto se debe, como se había mencionado anteriormente, a las actividades de ganadería y cultivo de arroz que se llevan a cabo a sus alrededores, ya que una de las mayores causas que adiciona sedimento suspendido en los ríos es el cambio en el uso de la tierra para cultivos (Nunny *et al.* 2006). Esto es evidente ya que como se mencionó antes, gran parte del río se encuentra en el área de uso múltiple de la Reserva. El río Black Creek fue el río que presentó los valores más bajos, tanto de turbidez (5 FTU) como de sedimento suspendido (15.2880mg/l) esto se debe a que este río, que fue utilizado como control, se encuentra dentro de un área prístina en la Reserva Sarstoon-Temash en Belice.

Valores altos de turbidez o sedimento suspendido afectan grandemente ya que disminuye el paso de luz a través del agua, además incrementa la temperatura del agua ya que las partículas suspendidas absorben calor. Al aumentar la temperatura se reducen las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua, también disminuye la cantidad de luz que entra al agua reduciendo la fotosíntesis y la producción de oxígeno. Las partículas suspendidas bloquean las agallas de algunos peces reduciendo la resistencia a enfermedades, disminuye tasas de crecimiento tanto de la larva como del huevo (EPA 2005), además disminuye la capacidad de visión del pez

dificultándose la búsqueda de alimento (Waters 1995). La turbidez alta encontrada en los ríos es indicador de erosión del suelo de los alrededores, descargas grandes de agua al río, erosión de las paredes o bien al crecimiento excesivo de algas. Se observó que la transparencia fue mucho menor en época seca que en época lluviosa, probablemente debido a que en época lluviosa el ancho y la profundidad de los ríos, aumenta.

7. Sedimento superficial. En cuanto al sedimento superficial se observa que el sedimento de los cuatro ríos tenía olor a H_2S (ver Cuadro 5), sin embargo, los olores más fuertes los presentó Laguna Grande y Black Creek. Este olor indica que se está llevando a cabo un proceso de descomposición de materia orgánica. En los sedimentos predominó la presencia de hojas, ramas y piedras y no se observó conchas. No se observaron diferencias en el sedimento superficial entre época seca y lluviosa.

Un alto porcentaje del sedimento superficial del río La Coroza estaba formado de aluviones, grava y piedritas de canto rodado (con un tamaño entre 2 y 5 cm) el resto del sedimento presentó una textura limoarenosa, es decir que a pesar de la alta tasa de sedimentación, el tipo de sedimento que tiene La Coroza no es tan preocupante ya que no está formado por arcilla, que es el sedimento que tiene mayor efecto negativo debido a que es el más fino, provocando turbidez alta, lo que ocasiona a su vez, pérdida de productividad béntica, debido a que bloque el paso de la luz (Waters 1995).

8. Tasa de sedimentación. Se observó que el sitio con mayor tasa de sedimentación fue el Río La Coroza con una tasa de sedimentación máxima durante el mes de septiembre de 97.90 mg/cm^2 al día. Le sigue el Río Calahá con una tasa de sedimentación máxima de 40.771 mg/cm^2 al día durante el mes de diciembre. Tal como se esperaba el Río Black Creek, el río control, es el río que presentó la tasa de sedimentación más baja (4.6078 mg/cm^2 al día) durante el mes de noviembre. Esto se debe a que es un área prístina, ya que se encuentra dentro de un área protegida del lado de Belice, por lo que en las tierras de los alrededores no se ha dado cambio de suelo. El cambio en la tasa de sedimentación entre el Río control y el río La Coroza es muy grande, por lo que sería de gran importancia que a sus alrededores se le pusiera mayor atención a la hora del manejo del área. La cantidad de sedimento descargada es

demasiado grande, teniendo gran influencia sobre el Río Sarstún. Las altas tasas de sedimentación se deben a las múltiples actividades que hay en esa área, a la erosión de la tierra causada por los cultivos, ganadería y comunidades cercanas. Altas tasas de sedimentación son preocupantes ya que facilitan a gran escala el transporte de contaminantes y nutrientes de la tierra al río y del río al mar (Nunny *et al.* 2006).

El sedimento en el lecho del río afecta el hábitat disponible para macroinvertebrados, la calidad de la grava para el desove de los peces y la cantidad de hábitat de crianza de los peces (Waters 1995) por lo que tiene un gran impacto sobre las comunidades bióticas que integran el río. Además, como se mencionó anteriormente los cambios ocurridos en la cuenca de los ríos es una de las causas más preocupantes que ocasionan degradación de la zona costera, incluyendo los arrecifes de corales (Nunny *et al.* 2006). El conocimiento de la condición de los ríos estudiados es de gran importancia para poder tomar decisiones acerca de cambios en el uso de suelo, con el único objetivo de disminuir los impactos provenientes de estas áreas.

Lamentablemente no fue posible calcular la tasa de sedimentación del Río Calahá los meses de septiembre, octubre y noviembre, ya que no se recuperaron las trampas de sedimentación colocadas durante dichos meses.

B. Indicadores biológicos (Diatomeas)

1. Proporción de diatomeas Centrales versus Pennales. Se encontraron seis familias de diatomeas Centrales distribuidas en ocho géneros; y 12 familias Pennales con 22 géneros diferentes. Se obtuvo que los cuatro sitios muestreados presentaron una proporción notablemente mayor de diatomeas Pennales, con un porcentaje promedio de 80.08% para Pennales, contra 19.92% para diatomeas Centrales. Las diatomeas Centrales son más comunes en ambientes marinos, y los sitios muestreados se encuentran en un rango de 0.0 a 0.05 ppt de salinidad, por lo que esta proporción es normal, además las diatomeas centrales son más sensibles a la eutrofización por lo que su abundancia es menor. *Cyclotella* fue el género de diatomeas centrales con mayor porcentaje (13.13%) presente sólo en Black Creek (Ver Cuadro 11), siguiéndole *Melosira* con 12.61 en Calahá y *Coscinodiscus*, presente en todos los sitios de

muestreo, presentando un promedio de 7.82%, con el porcentaje mayor en La Coroza (9.30%).

En cuanto a diatomeas Pennales los géneros más abundantes presentes en todos los sitios fueron *Navícula* y *Pinnularia* con porcentajes hasta de 26.98% y 19.53% respectivamente, en La Coroza y *Diploines* con 16.41% en Laguna Grande. *Gyrosigma* se encontró también con altos porcentajes, presente en Laguna Grande, La Coroza y Black Creek.

2. Abundancia. Tal como se esperaba el río que presentó mayor abundancia y riqueza de especies de diatomeas fue el Río Black Creek, debido a que este río presenta las condiciones adecuadas para el desarrollo y crecimiento de diatomeas, por encontrarse dentro de una zona prístina del lado de Belice. Por esta razón se eligió este río para tener un control y una referencia de comparación de las condiciones de los demás ríos.

En el río Black Creek la especie dominante fue una especie de diatomeas Centrales, *Cyclotella* sp., con 57 individuos contados en un área de 22 mm, esta especie sólo fue encontrada nuevamente en Laguna Grande, presentando 8 individuos. La especie más abundante presente en todos los ríos fue *Pinnularia* sp con 104 individuos, teniendo la abundancia mayor el río Black Creek. El género *Navícula* presentó una abundancia de 144 individuos, la abundancia de esta especie se debe a que este género presenta tolerancia moderada a enriquecimiento por fósforo (Bellinger *et al.* 2006), por lo que los altos niveles de fosfatos no le afectan. En menor abundancia se encontró el género *Achnanthes*, este género también es moderadamente tolerante a fósforo (Bellinger *et al.* 2006). Un dato interesante es que se encontró el género *Eunotia* solamente en el río Calahá y este género se caracteriza por ser intolerante a altas concentraciones de fosfatos (Bellinger *et al.* 2006).

El género *Nitzchia* se encontró en Calahá, Black Creek y Laguna Grande, esto se debe a que esta especie es altamente tolerante a enriquecimiento por fosfatos o a aguas contaminadas orgánicamente (Bellinger *et al.* 2006) además tolera salinidad alta. Se encontraron los géneros *Coscinodiscus*, *Diploines*, *Fragilaria* y *Gyrosigma* con abundancia alta, presentes en los cuatro ríos. Los géneros *Coscinodiscus* y

Cymbella prefieren ambientes con altas concentraciones de nutrientes, salinidad y conductividad, ya que *Coscinodiscus* se encontró en altos porcentajes tanto en La Coroza (9.30%) como en Laguna Grande (7.18%) y *Cymbella* sólo se encontró en La Coroza. Los géneros *Cyclotella* y *Cymatopleura* se encontraron relativamente abundantes en los ríos Black Creek y Laguna Grande, debido a que estos ríos presentan valores muy similares de fósforo, 0.26 y 0.28 respectivamente, además presentan menor concentración de fosfatos y nitritos.

Los géneros *Melosira*, *Eunotia* y *Synedra* se encontraron solamente en el río Calahá con porcentajes altos (12.61%, 13.51% y 12.61 respectivamente), lo que indica que son géneros de agua dulce, sensibles a la salinidad y alta conductividad, ya que este río presentó 0.0 ppt de salinidad y la menor conductividad. De igual forma las especies *Cocconeis* sp, *Nitzschia* sp 3 y *Navícula* sp 1 se encontraron solamente en este río; por otro lado, los géneros *Diploines*, *Gyrosigma* y *Fragilaria* fueron encontrados más abundantemente en Laguna Grande, siendo este el río más influenciado por la marea y por consiguiente con mayor salinidad, lo que indica que estos géneros prefieren ambientes salobres.

3. Índice de diversidad. Se calculó el índice de diversidad de Shannon-Wiener (Ver Cuadro 8) en cada río, para determinar si existían diferencias significativas en la composición de diatomeas entre ellos. Se utilizó el índice de Shannon-Wiener porque es independiente del tamaño de la muestra y su distribución es normal, por lo que es posible determinar la significancia de las diferentes medias. Se obtuvo la riqueza de especies siendo el río con mayor abundancia el Black Creek con 434 diatomeas contadas, este río también presentó la riqueza más alta (38 géneros), la diversidad y homogeneidad más altas, siendo el H' para el índice de Shannon de 2.98 con una varianza de 0.0022 y 0.72 la homogeneidad. Este último valor indica que las especies se encuentran bien distribuidas dentro del sitio. Como consecuencia se puede decir que este río es el que se encuentra en mejor estado debido a que está sujeto a menor presión por encontrarse dentro de un área prístina. El río Calahá fue el río que presentó menor abundancia siendo de 111, a pesar de esto, fue el río La Coroza, con una abundancia de 215, el que presentó menor diversidad (H' de 2.35). Esto indica que de los cuatro sitios estudiados este río es el que se encuentra más afectado. Los

resultados obtenidos para Laguna Grande y Calahá, son bastante similares siendo el H' de 2.57 y 2.47 respectivamente con homogeneidad de 0.63 y 0.61 (Ver Cuadro 9).

4. Índices de similitud. Se calcularon los índices de similitud de Jaccard y Sorenson para determinar la relación existente entre los afluentes estudiados. Los ríos que presentaron los índices de similitud cualitativos más altos fueron los ríos Laguna Grande y Calahá con un índice de similitud de Jaccard de 0.280 y de Sorenson de 0.438. Esto es respaldado por el dendrograma realizado, que indica el mismo resultado. Sin embargo, el índice cuantitativo de Sorenson indicó que los más similares son Black Creek y La Coroza, con 0.499, siendo estos dos ríos los que presentaron las abundancias más altas, compartiendo 10 especies (Ver Cuadro 11). Esto se debe a que este índice toma en cuenta la abundancia. Los ríos más diferentes entre sí fueron La Coroza y Calahá con 0.161 para el índice de Jaccard, 0.278 para Sorenson cualitativo y 0.196 para Sorenson cuantitativo, este resultado también es respaldado por el dendrograma realizado (Ver Figura 17).

El río La Coroza fue el río, tal como se esperaba, que presentó menor diversidad de especies, debido a que es el río que presenta mayor tasa de sedimentación, sedimento suspendido, concentraciones de nitritos, nitratos y fosfatos. Con lo que podemos concluir que este conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos son un buen indicador del estado en que se encuentran los ríos. Por esta razón es de gran importancia que se le de prioridad a esta área dentro de la Reserva ya que es la que está expuesta a mayores presiones antropogénicas, las cuales ocasionan la entrada de grandes cantidades de sedimentos, ocasionando un impacto sobre las comunidades de diatomeas. Esto está sucediendo a pesar de que gran parte de este río se encuentra dentro de la zona núcleo de la Reserva, por lo que es de gran importancia detectar cuáles son las causas y así poder tomar medidas que logren mitigar los daños.

5. Cladograma. Se realizó un análisis de cluster con el programa estadístico SPSS (Ver Figura 18) tomando en cuenta presencia y ausencia de especies de diatomeas. El cladograma indicó que los ríos que se encuentran más relacionados son Laguna Grande y Calahá, y el más distinto del resto es La Coroza. Debido a que este cladograma se basa en ausencia y presencia de especies, este resultado está basado en datos cualitativos, lo que indica que Laguna Grande y Calahá son los ríos que presentan

mayor número de especies de diatomeas en común. Sin embargo, a la hora de analizar los datos cuantitativos del estudio, los ríos que presentan mayor similitud, cualitativamente hablando, son los ríos Black Creek y La Coroza.

6. Prueba *t* de Student. Para determinar si existían diferencias significativas entre cada río, según la composición de diatomeas, se realizó la prueba T de student (Ver Anexo G), con la cual se obtuvo que los tres ríos muestreados del lado de Guatemala (La Coroza, Laguna Grande y Calahá) son diferentes del río control Black Creek con una significancia de 0.005 a una cola (Ver Cuadro 10). Lo que indica que los ríos del lado de Guatemala se encuentran bajo mayor presión que el río control, debido a los diferentes usos que se le da al suelo. Al comparar los otros ríos entre sí se obtuvo que con una significancia de 0.05 a una cola, todos los ríos son diferentes entre sí, con lo que podemos aceptar las hipótesis planteadas. Esto indica que los diferentes usos que se le da al suelo, ocasionan diferencias fisicoquímicas en cada río, lo cual afecta directamente a las comunidades de diatomeas que en ellos habitan, aceptando la hipótesis uno planteada.

Finalmente se puede concluir que los parámetros fisicoquímicos del agua, junto con tasas de sedimentación y concentración de sedimento suspendido, se encuentran directamente relacionados con la diversidad de diatomeas bénticas. Ya que se obtuvo que el río La Coroza, que presentó la turbidez más baja, los niveles más altos en cuanto a nutrientes de fósforo y nitrógeno, las mayores tasas de sedimentación y concentración de sedimento suspendido, fue el río que presentó la menor diversidad de especies de diatomeas bénticas. Por lo que se puede concluir que, respaldado por todos esos factores, es el río que presenta mayor evidencia de presiones antropogénicas, por lo que es de gran importancia darle prioridad a esta área en particular.

7. Preferencia de hábitat de diatomeas más abundantes y comparación de nutrientes, sedimentación, diversidad de especies y porcentaje de diatomeas pennaes. Los géneros más abundantes encontrados en el río La Coroza (*Navícula*, *Pinnularia*, *Coscinodiscus*, *Gyrosima*, *Dipolines* y *Cymbella*) presentan tolerancia alta a fósforo, fosfatos, nitrito y nitratos, y a sedimentación alta (tasa de sedimentación y sedimento suspendido) (Ver Cuadro 16). Es importante mencionar que estas especies

están adaptadas tanto a salinidad alta y baja como a agua dulce y no presentan problemas con alta conductividad, lo que indica que estas especies están adaptadas a ambientes perturbados como lo es el río La Coroza. Este río presenta los niveles más altos de nutrientes, sedimentación y menor índice de Shannon, así como una proporción mayor de diatomeas Pennales (85.12%), las cuales son indicadoras de hábitats perturbados.

El género *Actinocyclus* se encontró únicamente en el río Black Creek, además se encontró con abundancia relativamente alta a los géneros *Cyclotella* y *Cymatopleura*, estas especies presentan tolerancia baja a nutrientes, sedimentación y baja conductividad, siendo indicadoras del buen estado de este río. Este hecho se relaciona con que el río Black Creek es el que presentó los valores más bajos de nutrientes y sedimentación, presentando alta abundancia y riqueza. Presentó además, el índice de Shannon más alto (2.93) y menor porcentaje de diatomeas Pennales en comparación con los otros tres ríos.

El río Laguna Grande, fue el río que presentó menor concentración de fósforo y fosfatos, y presenta bajas concentraciones de nitritos, nitratos y sedimento, teniendo en común con el río Black Creek los géneros *Cyclotella* y *Cymatopleura*, ambos indicadores de buen estado. Sin embargo, se encontró con gran abundancia al género *Nitzschia*, el cual presenta tolerancia alta para cualquier tipo de hábitat, por lo que no es un buen indicador.

Gracias a los datos mencionados anteriormente, se logró demostrar que existe una relación directa entre los factores físicos (sedimentación), químicos (nutrientes y conductividad) y biológicos (diatomeas) en un río, para la determinación de su calidad. Observándose que La Coroza, río con mayor concentración de nutrientes y sedimentación, presenta entre sus indicadores biológicos varias especies de diatomeas que están altamente adaptadas a ambientes perturbados. De igual forma, podemos mencionar que Black Creek, río elegido como control, debido a que se encuentra en un área prístina del lado de Belice, fue el río que presentó menor concentración de nutrientes y sedimento, presentando la mayor riqueza, abundancia e índice de Shannon, así como géneros de diatomeas sensibles a cambios en el hábitat.

V. CONCLUSIONES

- El río Black Creek, el río control, presentó el valor de turbidez más bajo (5 FTU) y la menor tasa de sedimentación (4.60 mg/cm^2 al día) durante los cuatro meses de medición, además fue el río con mayor abundancia (434 individuos), riqueza (38 géneros) y diversidad de diatomeas, siendo H' de 2.97 para el índice de diversidad de Shannon-Wiener, con una varianza de 0.0022 y una homogeneidad (E) de 0.720, lo que indica que es el río en mejores condiciones de los sitios muestreados.
- El río La Coroza fue el río que presentó los niveles más altos de fósforo (0.43 mg/l), fosfatos (0.92 mg/l), nitritos (0.008 mg/l) y nitratos (0.72 mg/l), tanto en época seca como en época lluviosa, de igual forma fue el río que presentó la tasa de sedimentación más alta (97.90 mg/cm^2 al día), mayor cantidad de sedimento suspendido (59.69 mg/l), mayor turbidez (13 FTU) y menor conductividad ($2.54 \text{ } \mu\text{mhos/cm}$); siendo además el río con menor diversidad de diatomeas (H' de 2.35 con una varianza de 0.0050), lo que refleja que es el río que está expuesto a mayores presiones.
- El río que presentó mayor temperatura (30.9° C) y menor concentración de oxígeno disuelto (3.22 mg/l) fue el río Calahá.
- Los valores de nitritos y nitratos se encontraron debajo de 0.008 mg/l y 0.73 mg/l respectivamente, los cuales se encuentran dentro de los rangos permisibles.
- En el río Black Creek se encontró la concentración más alta de amonio (0.28 mg/l) en época lluviosa.
- Se obtuvo que el pH de Laguna Grande (6.25) fue el único que se encuentra por debajo de los límites ideales, el resto se encuentra entre 6.5 y 8.

- Los valores de transparencia medidos con el disco Secchi, fueron menores durante la época seca.
- Se encontraron 59 especies diferentes de diatomeas distribuidas en 46 géneros, siendo los géneros más abundantes *Navícula*, *Pinnularia*, *Diploines*, *Coscinodiscus*, *Fragilaria*, *Cyclotella* y *Gyrosigma*.
- El río control es diferente de los otros tres ríos muestreados, con una significancia de 0.005.
- Predominó la presencia de diatomeas pennales con 80.08%.
- La prueba T de student indicó que los tres ríos muestreados del lado de Guatemala, son diferentes del río control Black Creek con una significancia de 0.005 a una cola, con lo que se puede aceptar la hipótesis uno planteada.
- Debido a la falta de datos, no fue posible determinar con exactitud las diferencias en la tasa de sedimentación entre los ríos, por lo que no es posible aceptar o rechazar la hipótesis dos planteada.
- Cualitativa y cuantitativamente, los ríos Black Creek y La Coroza, son los más similares entre sí.
- Los géneros *Coscinodiscus* y *Cymbella*, prefieren ambientes ricos en nutrientes, salinidad y conductividad altas.
- Los géneros *Cyclotella* y *Cymatopleura*, se encontraron solamente en los ríos con menor concentración de fosfatos (Black Creek y Calahá), debido a que estos géneros son altamente sensibles a grandes concentraciones de fosfatos y nitritos.
- Los géneros *Fragilaria*, *Diploines*, *Gyrosigma*, y *Navícula*, prefieren ambientes salobres.

- El género *Gyrosigma* es moderadamente sensible a altas concentraciones de nitritos y fosfatos.
- El género *Nitzchia* se encontró en todos los ríos, ya que este género es tolerante a altas concentraciones de fosfatos y a cuerpos de agua con altas concentraciones de contaminantes orgánicos.
- Los géneros *Melosira*, *Eunotia* y *Synedra* son géneros de agua dulce, sensibles a la salinidad y a alta conductividad.
- Los factores fisicoquímicos, incluyendo sedimento suspendido y tasas de sedimentación, se encuentran directamente relacionados con la abundancia y diversidad de diatomeas, por lo que, en conjunto, son un buen indicador sobre el estado en que se encuentran

VI. RECOMENDACIONES

- Involucrar o informar a las comunidades de los alrededores del Río Sarstún, acerca del beneficio del estudio de esas áreas y de los proyectos que se están llevando a cabo con el fin de facilitar las metodologías. Lo cual evitará que sucedan imprevistos como la desaparición de las trampas de sedimentación, ya que esto sólo imposibilita o hace más difícil la recolección de datos para los estudios.
- Darle prioridad al área de los alrededores del Río La Coroza ya que esta área es la que está sufriendo mayores consecuencias a las fuertes presiones existentes en esta área.
- Investigar las causas que están ocasionando los altas tasas de sedimentación sobre el Río La Coroza, ya que esta se encuentra dentro del área núcleo.
- Desarrollar alianzas estratégicas con las comunidades cuenca arriba y otras organizaciones que se enfoquen al desarrollo comunitario dentro de la cuenca, para desarrollar programas de agricultura sostenible, que disminuyan la escorrentía superficial de laderas en función de mitigar el impacto antropogénico.

VII. LITERATURA CITADA

- Almada-Villela, P.C., P.F. Sale, G., Gold-Bouchot y B. Kjerfve. 2003. Proyecto para el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM). *Manual de métodos para el programa de monitoreo sinóptico del SAM. Métodos seleccionados para el Monitoreo de parámetros físicos y biológicos para utilizarse en la región Mesoamericana*. Belice City. 149 pp.
- Bellinger, B., C. Cocquyt y C. O'Reilly. 2006. *Benthic diatoms as indicators of eutrophication in tropical streams*. *Hydrobiology* 573:75-87.
- Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder, and J.B. Stribling. 1999. *Rapid Bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates and fish*. Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.
- Dix, A., M. Maldonado, M. Dix, O. Bocaletti, R. Girón, I. De la Roca, A. C. Bailey, K. Herrera, J. F. Pérez, K. Pierola y G. Rivera. 1999. *El Impacto de la cuenca del río Polochic sobre la integridad biológica del Lago de Izabal*. Guatemala. Concyt. 148 pp
- EPA. United States Environmental Protection Agency. 2005. *Monitoring Water Quality. Volunteer Stream Monitoring: A Methods Manual. Chapter 5. Water Quality Conditions*. Office of Water. Washington D.C. 227 pp.
- EPA. United States Environmental Protection Agency. 2005. *Water Quality Assessments*. Office of Water. Washington, DC. 9 pp
- Flores G. 2006. *Vivir en Sarstún*. Semanario de Prensa Libre. No. 85. 19 de Febrero de 2006. Guatemala. 35 pp.
- Fore, L. y C. Grafe. 2002. *Using Diatoms to assess the biological condition of large rivers in Idaho (U.S.A)*. *Freshwater Biology* 47: 2015-2037.

- Fritz, W. y J. Moore. 1988. *Physical Stratigraphy and Sedimentology*. John Wiley and Sons, New York. 356 pp.
- FUNDAECO (Fundación para el Ecodesarrollo y la Conservación). 2002. *Manejo y conservación integral sostenible de la biodiversidad del Área Protegida Río Sarstún, Izabal*. Guatemala. 86 pp.
- FUNDAECO (Fundación para el Ecodesarrollo y la Conservación). 2004. *Plan Maestro 2004-2008 Área de uso múltiple, Río Sarstún, Guatemala*. 123 pp.
- FUNDAECO (Fundación para el Ecodesarrollo y la Conservación). 2005. *Informe de monitoreo binacional de batimetría, patrones de sedimentación y otros indicadores físicos dentro de la cuenca del Sarstún, Guatemala*. 21 pp.
- Jüttner, I., H. Rothfritz J. Ormerod. 1996. *Diatoms as indicators of river quality in the Nepalese Middle Hills with consideration of the effects of habitat-specific sampling*. *Freshwater biology*. 36 (2):475-486.
- Jüttner, I., S. Sharma, B. M. Dahal y S.J. Ormerod. 2003. *Diatoms as indicators of stream quality in the Katmandu Valley and Middle Hills of Nepal and India*. *Freshwater Biology* 48: 2065-2084.
- Lavoie, I., K. Somers, A. Paterson y P. Dillon. 2005. *Assesing scales of variability in benthic diatom community structure*. *Journal of Applied Phycology* 17:509-513
- Lukavsky, J., A. Moravcová, L. Nedbalová y O. Rauch. 2006. *Phytobenthos and water quality of mountain streams in the Bohemian Forest under the influence of recreational activity*. *Biologia, Bratislava* (61) 20:S533-S542.
- Magurran, A. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey. 179 pp.
- McAdory, R. 2006. *Sedimentation analysis*. ERDC Us Army engineer research an development center. Vicksburg, Mississippi. 86 pp.

http://www.erd.c.usace.army.mil/pls/erdcpub/!www_fact_sheet.CAPABILITY_P AGE?ps_capability_num=51138&tmp_Main_Topic=51626&page=All

- Mpawenayo, R. y J.M. Mathooko. 2005. *The structure of diatom assemblages associated with Cladophora and sediments in a highland stream in Kenya*. Hydrobiologia 544:55-67.
- Ndiritu, G., N. Gichuki y L. Triest. 2006. *Distribution of epilithic diatoms in response to environmental conditions in an urban tropical stream, Central Kenya*. Biodiversity and Conservation 15:3267-3293
- Nunny R.S., P. Stone y D.E. Walling. 2006. *Land use change, sediment fluxes and reef conservation in Belize, Central America*. Soil Erosion 09:26(49): 278-285.
- Rojas, M., M. Campos, E. Alpizar, J. Bravo y R. Córdova. 2003. *Cambio climático, agua, y humedales en Centroamérica: Implicaciones de la variación climática para los ecosistemas acuáticos y su manejo en la región*. UICN. Imprenta y Litografía Doble Giro S.A. San José, Costa Rica. 269 pp.
- Satkunas, J. 2006. *Stream sediment storage and load. Geoindicators*. IUGS. Ottawa. 148 pp.
<http://www.lgt.lt/geoin/>
- Shubert L. E. 1984. *Algal as ecological indicators*. Academic Press Inc, New York. 434 pp.
- SIM (Servicio de Información Municipal). 2006. *Situación climática del municipio de Livingston*. Municipalidad de Livingston, Izabal. Guatemala. 125 pp.
<http://www.inforpressca.com/municipal/siam.htm>
- Simkhada, B., I. Jüttner y P. Chimonides. 2006. *Diatoms in lowlands of Cosí Tappu, Eastern Nepal- Relationships with chemical and habitat charactersitics*. International Review of Hydrobiologia 91(6):574-593.

Sonneman, J., C. Walsh, P. Breen y A. Sharpe. 2001. *Effects of urbanization on streams of Melbourne region, Victoria, Australia. II. Benthic diatom communities*. *Freshwater Biology* 46:553-565.

Townsend, S. y P. Gell. 2005. *The role of substrate type on benthic diatom assemblages in the Daly and Roper Rivers of the Australian wet/dry tropics*. *Hydrobiologia*. 548:101-115.

TRIGOH (Asociación Trinacional del Golfo de Honduras). 2004. *Plan de Conservación del Golfo de Honduras, Belice, Guatemala y Honduras*. Fundación Mario Dary y PROARCA/APM. 37 pp.

Walling, D.E. y P.N. Owens. 2002. *Changes in sediment sources and floodplain deposition rates in the catchments of the River Tweed, Scotland, over the last 100 years: the impact of climate and land use change*. *Earth Surface Processes and Landforms* 27: 403-423.

Waters, F. 1995. *Sediment in streams. Sources, biological effects and control*. American Fisheries Society, Massachusetts. 251 pp.

Zar, J. 1996. *Biostatistical analysis*. 3ª ed. Prentice Hall, New Jersey. 662 pp.

Otras referencias

Fott, B. 1971. *Algenkunde*. Veb Gustav Fischer Verlag Jena. Nürnberg. 292 pp.

Lewin, R.A. 1962. *Physiology and biochemistry of Algae*. Academic Press, New York. 929 pp.

Hoek, C y H. M. Jahns. 1978. *Algen. Einführung in die Phykologie*. Georg Thieme Verlag Stuttgart. Einzeldarstellungen. 312 pp.

Prescott, G. 1970. *How to know the freshwater algae*. Academic Press Inc. New York. 415 pp.

VIII. APÉNDICES

A. Apéndice 1. Hoja de datos descripción sedimento superficial

Hoja de datos No.1

Descripción del sedimento superficial

Fecha	Punto No.
Muestra No.	

Descripción del olor:	
Descripción del color:	

Textura y apariencia:

	Presente	Ausente
Hojas		
Ramas		
Piedras		
conchas		

B. Apéndice 2. Hoja de datos parámetros *in situ* del agua

Hoja de datos No. 2	
Parámetros <i>in situ</i> del agua	
Fecha	Punto No.
Sitio No.	
Temperatura ambiente (°C)	
Temperatura del agua (°C)	
Turbidez (FTU)	
O ₂ Disuelto (mg/l)	
Conductividad (µs/cm)	
pH	
Caudal	

C. Apéndice 3. Hoja de datos análisis de agua en el laboratorio.

Hoja de datos No. 3	
Análisis de agua en el laboratorio	
Fecha	Punto No.
Sitio No.	
Concentraciones	
NO ₃ (mg/l)	
NO ₂ (mg/l)	
PO ₄ (mg/l)	
P Total (mg/l)	
N Total (mg/l)	
Amonio (mg/l)	

D. Apéndice 4. Equipo utilizado y metodologías

1. Equipo para preparación de laminillas:

- Portaobjetos
- Cubreobjetos
- Estufa
- Agua destilada
- Palillo de dientes
- Pegamento especial

Metodología:

Las laminillas se prepararon colocando en el centro del portaobjetos una gota de agua destilada, con un palillo de dientes se tomó una pequeña muestra del sedimento superficial y se revolvió con la gota de agua hasta que se hizo una solución uniforme y clara (si es muy espesa no se logrará distinguir en el microscopio). Esta solución se esparció abarcando un área significativa del portaobjetos. Este se puso a secar a 45°C en una estufa, para eliminar el exceso de agua. Una vez seco, se agregó una gota de pegamento especial de rápido secado sobre la preparación. Se colocó una orilla del cubreobjetos sobre una orilla de la gota de pegamento, formando un ángulo de 90°, poco a poco y con cuidado de que no se formaran burbujas de aire sobre la preparación, se fue inclinando el cubreobjetos sin separarlo del portaobjetos hasta que toda la superficie del cubreobjetos quedó sobre el portaobjetos. Finalmente se esperó a que se seicara.

2. Equipo para trampas de sedimentación:

- Trampa de sedimento – tubo de PVC, de aprox. 5 cm de diámetro y 60 cm de largo, con una tapa de plástico pegada y adherida al fondo. Estos tubos dan una razón largo/apertura de 12 (60 cm / 5 cm) (Ver figura 8)
- Tapas de plástico de repuesto para los tubos.
- Estacas con un mínimo de 1.5 m de largo. Las estacas pueden estar sujetadas a un bloque de cemento en grupos de cuatro, para que haya una estaca o barra en cada esquina del bloque
- Cinta adhesiva (Duct tape) para asegurar los tubos de plástico a las estacas.

(Almada-Villela *et al.* 2003).

3. Equipo determinar la tasa de sedimentación:

- Cajas petri
- Horno para secado

(Almada-Villela *et al.* 2003).

Metodología:

El peso del sedimento es el peso total menos el peso de la caja petri, y el área de apertura del tubo es πr^2 (r = radio en cm). La tasa de sedimentación se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Tasa de sedimentación} = \frac{\text{Peso del sedimento}}{\text{Número de días en el sitio} \times \pi r^2}$$

(Almada-Villela *et al.* 2003).

4. Equipo para la determinación de la concentración de sedimento suspendido

- Desecadora
- Papel filtro de microfibras de vidrio Whatman Grade GF/C 7cm poros de 0.45 micrómetros
- Horno para secar
- Balanza analítica con capacidad de 0.0001g.
- Embudo de tres piezas para filtrar.

(Walling y Owens, 2002).

Metodología:

Se numeró cada papel filtro con marcador permanente, luego se pusieron a secar a 105°C por 1 hora y se colocaron en la desecadora, hasta el momento en que se usaron, se pesó cada papel filtro (a 0.0001g) y se anotó el peso. Se verificó que la balanza regresara correctamente a 0 entre pesadas. Se colocó el papel filtro, con el número enfrente, en la filtradora y se mojó con agua destilada. La muestra a ser filtrada se mezcló bien y se colocó en una probeta de 1000 ml, y se anotó el volumen de la muestra. Con agua destilada se removió cualquier partícula de sedimento que haya quedado en la botella que contenía la muestra. Se inició el sistema de filtrado, al terminar de pasar toda la muestra a través del papel filtro, se apagó el vacío, se removió el papel del filtrador, y se colocó en un horno a 105°C, el tiempo necesario para que se secase. Cuando el papel filtro estuvo seco se dejó enfriar adentro de la desecadora, durante dos horas antes de pesarlo. Finalmente, se obtuvo el peso del papel filtro más el sedimento (a 0.0001g). Esta masa se dividió entre el volumen en

litros de la muestra, lo que dió mg l^{-1} , siendo esta la concentración del sedimento suspendido.

E. Apéndice 5. Datos Brutos

1. Temperatura, ancho, profundidad y oxígeno

CUADRO 18. Datos Temperatura ambiente y agua

		La Coroza		Laguna Grande		Black Creek		Calahá	
		T° Amb (°C)	T° agua (°C)	T° Amb (°C)	T° agua (°C)	T° Amb (°C)	T° agua (°C)	T° Amb (°C)	T° agua (°C)
Época Lluviosa	Agosto	29.5	29	29.8	30.9	29.7	29.7	29.4	29.7
	Septiembre	29.5	28.8	29.6	30.9	29.5	29.9	29.6	29.9
	Promedio	29.5	28.9	29.7	30.9	29.6	29.8	29.5	29.8
Época seca	Diciembre	28	27.5	27.5	27.8	27.7	29	28	28.1

CUADRO 19. Datos de ancho y profundidad

		La Coroza		Laguna Grande		Black Creek		Calahá	
		ancho (m)	prof (m)	ancho (m)	prof (m)	ancho (m)	prof (m)	ancho (m)	prof (m)
Época Lluviosa	Agosto	9.7	2.1	7.3	2.3	50	5.8	12.8	2.4
	Septiembre	9.2	1.9	7.1	1.8	50	5.5	12.3	2.12
	Promedio	9.5	2	7.2	2	50	5.65	12.5	2.26
Época seca	Diciembre	8.6	1.35	6.8	1.8	50	4.8	11	2.05

CUADRO 20. Datos de Oxígeno disuelto en la columna vertical de los ríos

Diciembre de 2006				
	La Coroza	Laguna Grande	Black Creek	Calahá
Superficie	7.52	6.91	5.62	4.59
Medio	7.52	6.91	5.63	4.58
Fondo	7.51	6.91	5.65	4.57
Promedio	7.52	6.91	5.63	4.58

3. Peso sedimento en gramos, miligramos y tasa de sedimentación

CUADRO 21. Peso de sedimento septiembre de 2006

Sitio	Peso (g)	Peso (mg)	Tasa de sedimentación (mg /cm^2 al día)
La Coroza	57.7099	57709.9	97.90
Laguna Grande	8.5482	8548.2	14.512
Black Creek	11.1059	11105.9	18.84
Calahá	No se colectó	-	-

CUADRO 22. Peso de sedimento octubre 2006

Sitio	Peso (g)	Peso (mg)	Tasa de sedimentación (mg /cm ² al día)
La Coroza	No se colectó	-	-
Laguna Grande	10.1537	10153.7	17.2374
Black Creek	4.5872	4587.2	7.7874
Calahá	No se colecto	-	-

CUADRO 23. Peso de sedimento noviembre 2006

Sitio	Peso (g)	Peso (mg)	Tasa de sedimentación (mg /cm ² al día)
La Coroza	44.1325	44132.5	74.9214
Laguna Grande	4.4851	4485.1	7.6141
Black Creek	2.7140	2714	4.6078
Calahá	No se colecto	-	-

CUADRO 24. Peso de sedimento diciembre 2006

Sitio	Peso (g)	Peso (mg)	Tasa de sedimentación (mg /cm ² al día)
La Coroza	34.7299	34729.9	58.9591
Laguna Grande	12.8569	12856.9	21.8265
Black Creek	7.1960	7196.0	12.2163
Calahá	24.0162	24016.2	40.7711

3. Datos sedimento suspendido

CUADRO 25. Sedimento suspendido, época lluviosa (agosto (A), septiembre (S))

Sitio	Peso papel filtro (g)	Papel filtro + sedimento (g)	Peso Sedimento (g)	Peso sedimento (mg)	Cantidad de muestra (l)	Sedimento Suspendido (mg/l)	Promedio (mg/l)
La Coroza (A)	1.7416	1.8001	0.0585	58.5	0.98	59.6938	58.35
La Coroza (S)	1.6526	1.7079	0.0553	55.3	0.97	57.0103	
Laguna Grande (A)	1.506	1.5366	0.0306	30.6	0.96	31.875	30.98
Laguna Grande (S)	1.5625	1.5914	0.0289	28.9	0.96	30.104	
Black Creek (A)	1.5696	1.5887	0.0191	19.1	0.96	19.8958	19.79
Black Creek (S)	1.5965	1.6144	0.0179	17.9	0.97	19.6907	
Calahá (A)	1.5066	1.5362	0.0296	29.6	0.98	30.204	29.11
Calahá (S)	1.5487	1.5487	0.0269	26.9	0.96	28.0208	

CUADRO 26. Sedimento suspendido época seca (diciembre)

Sitio	Peso papel filtro (g)	Peso Papel filtro con sedimento (g)	Peso sedimento (g)	Peso sedimento (mg)	Cantidad de muestra (l)	Sedimento Suspendido (mg/l ⁻¹)
La Coroza	1.5660	1.6144	0.0484	48.4	0.940	51.4893
Laguna Grande	1.5649	1.5878	0.0229	22.9	0.900	25.4444
Black Creek	1.5970	1.6116	0.0146	14.6	0.955	15.2880
Calahá	1.7060	1.7316	0.0256	25.6	0.940	27.2447

4. Grados de libertad y $sH'_1-H'_2$ CUADRO 27. Grados de libertad y $sH'_1-H'_2$

Sitios comparados	Grados de libertad	$sH'_1-H'_2$
Black Creek/La Coroza	404.6	0.0847
Black Creek/Laguna Grande	530.1	0.0666
Black Creek/Calahá	300.5	0.0709
La Coroza/ Laguna grande	370	0.0852
La Coroza/ Calahá	325.3	0.0886
Laguna grande/ Calahá	262.9	0.0715

F. Apéndice 6. Concentraciones máximas de oxígeno según T°C.

28. Concentración máxima de oxígeno disuelto según la temperatura sobre el nivel del mar.

Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/l)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/l)
1	14.6	24	8.56
2	14.19	25	8.4
3	13.81	26	8.24
4	13.44	27	8.09
5	13.09	28	7.95
6	12.75	29	7.81
7	12.43	30	7.67
8	12.12	31	7.54
9	11.83	32	7.41
10	11.55	33	7.28
11	11.27	34	7.16
12	11.01	35	7.16
13	10.76	36	6.93
14	10.52	37	6.82
15	10.29	38	6.71
16	10.07	39	6.61
17	9.85	40	6.51
18	9.65	41	6.41
19	9.45	42	6.41
20	9.26	43	6.22
21	9.07	44	6.13
22	8.9	45	6.04
23	8.72	46	5.95

G. Apéndice 7. Fotografías de sedimento superficial

FIGURA 19. Sedimento Superficial del Río La Coroza.



Figura 19a. Orilla noreste

Figura 19b. Centro

Figura 19c. Orilla suroeste

FIGURA 20. Sedimento Superficial Laguna Grande



Figura 20a. Orilla este

Figura 20b. Centro

Figura 20c. Orilla oeste

FIGURA 21. Sedimento Superficial Río Black Creek (Belice)



Figura 21a. Orilla norte

Figura 21b. Centro

Figura 21c. Orilla sur

FIGURA 22. Sedimento Superficial Calahá.

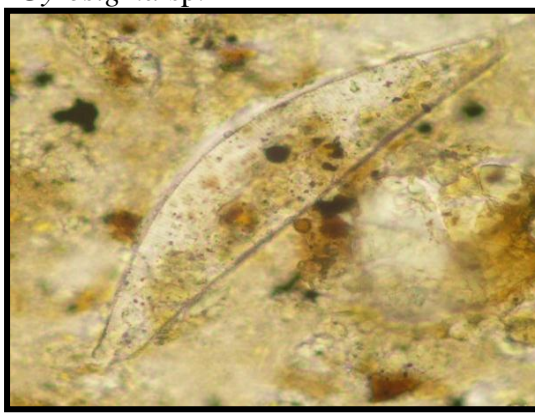
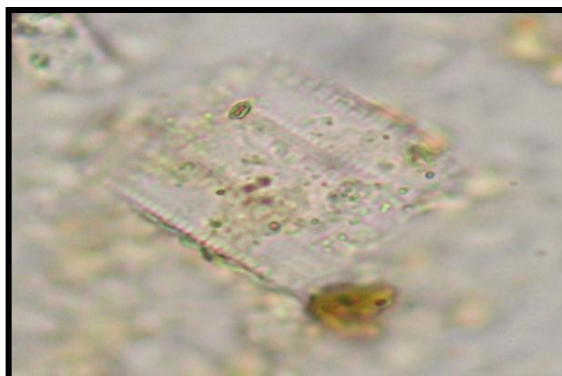


Figura 22a. Orilla este

Figura 22b. Centro

Figura 23c. Orilla oeste

H. Apéndice 8. Fotografías de diatomeas

*Stauroneis anceps**Amphora* sp.*Gyrosigma* sp. 1*Gyrosigma* sp. 2*Cimbella* sp.*Cimbella lanceolata**Diatoma vulgare**Ceratoneis* sp.



Diploines ovalis



Fragilaria sp.



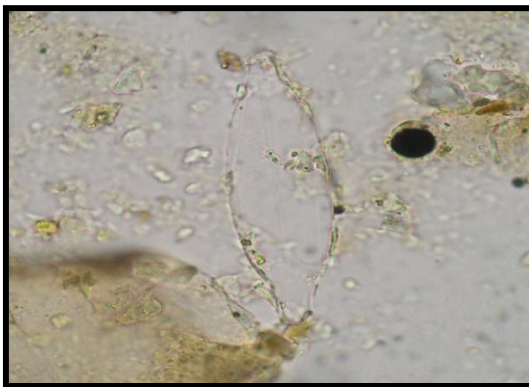
Nitzschia sp. 1



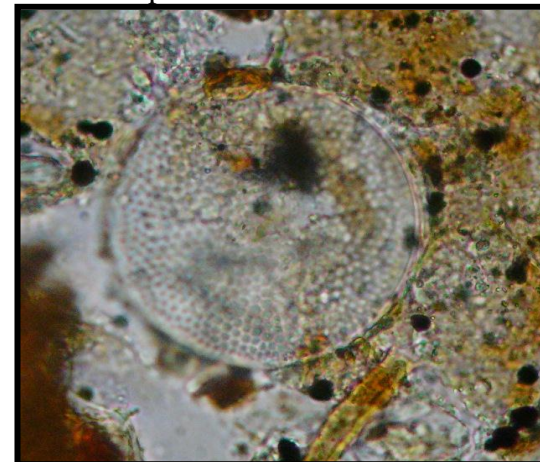
Nitzschia sp. 2



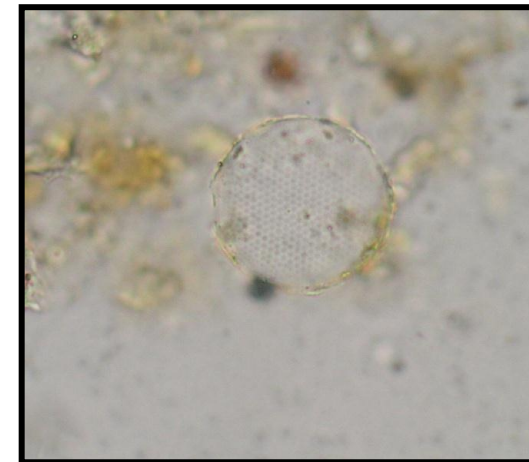
Nitzschia sp. 3



Achnantes sp.



Coscinodiscus sp.



Coscinodiscus sp.



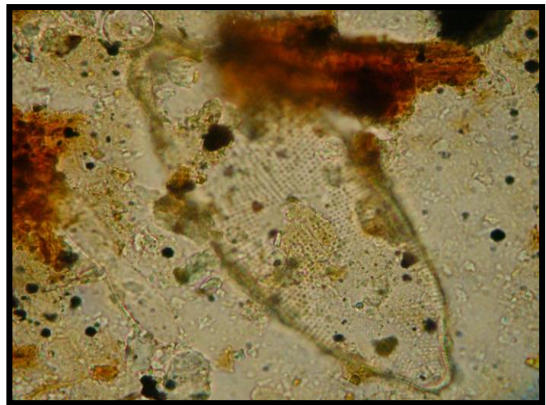
Navicula sp 1



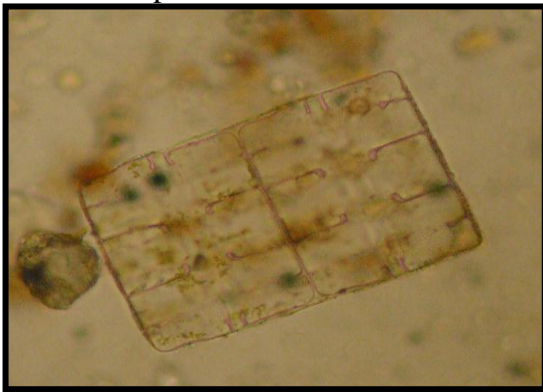
Navicula sp 2.



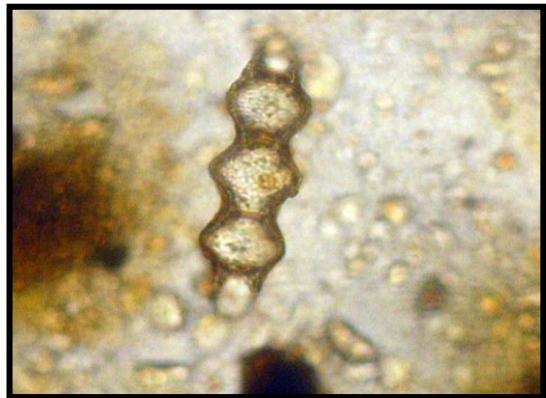
Navicula sp 3



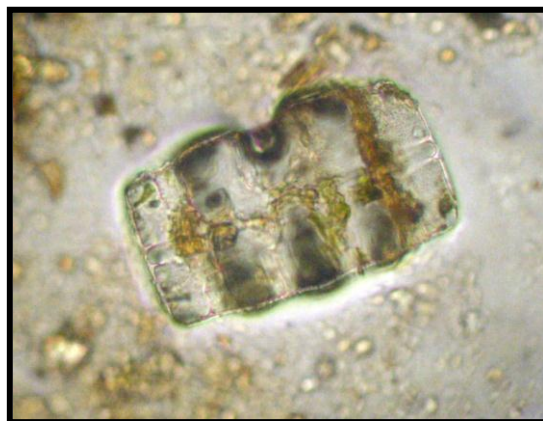
Navicula tuscula



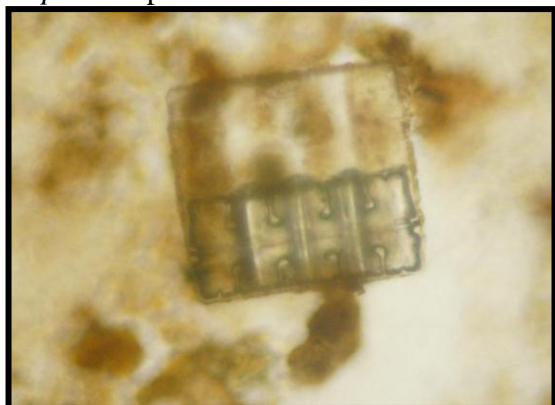
Terpsinoe sp.



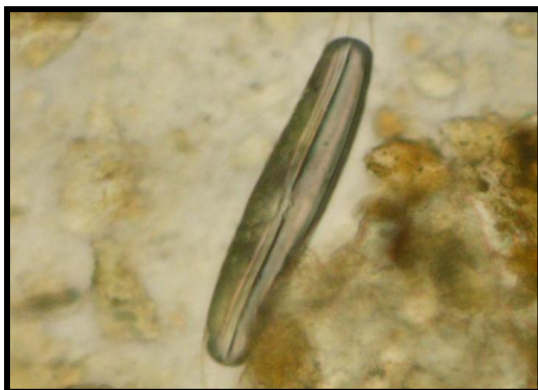
Terpsinoe sp.



Terpsinoe sp.



Terpsinoe sp.



Neidium sp.



Pinnularia sp.



Surirella caproni



Surirella sp.



Cyclotella menengiana



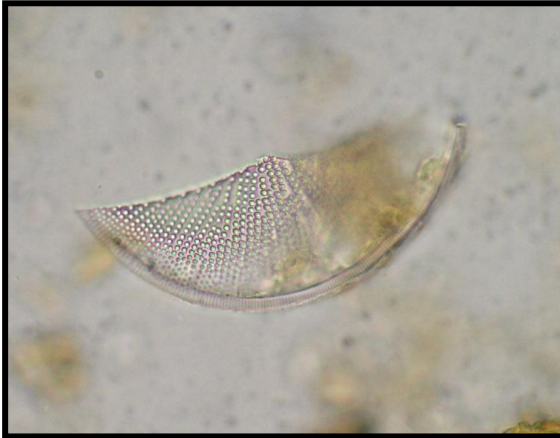
Cyclotella sp.



Melosira sp. 1



Melosira sp. 2



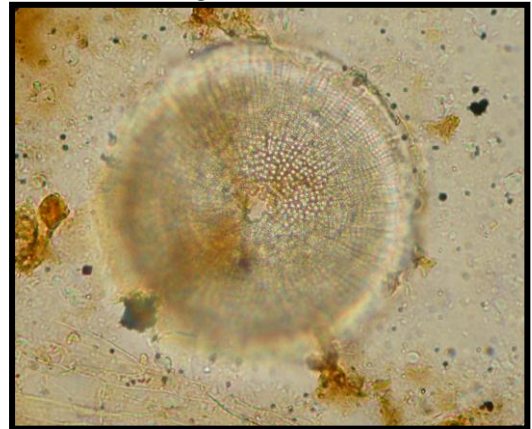
Actynociclus sp.



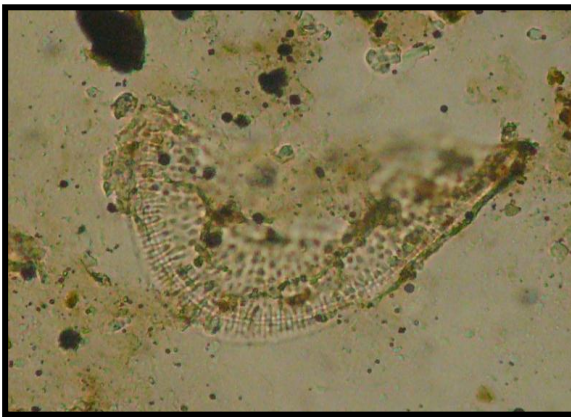
Rhizolenia longiseta



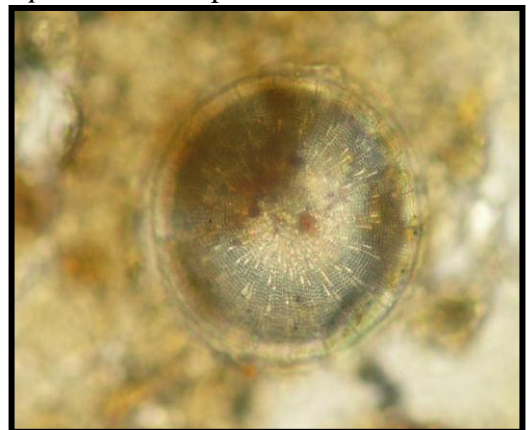
Synedra sp.



Stephanodiscus sp.



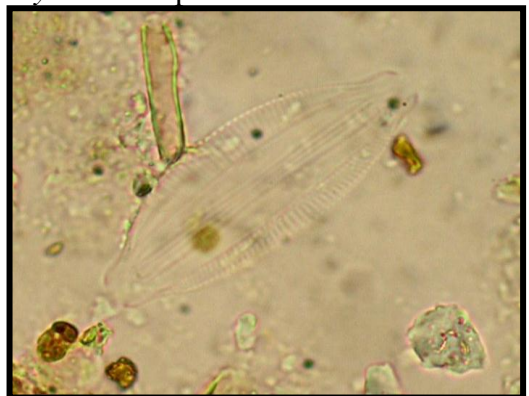
Campylodiscus sp.



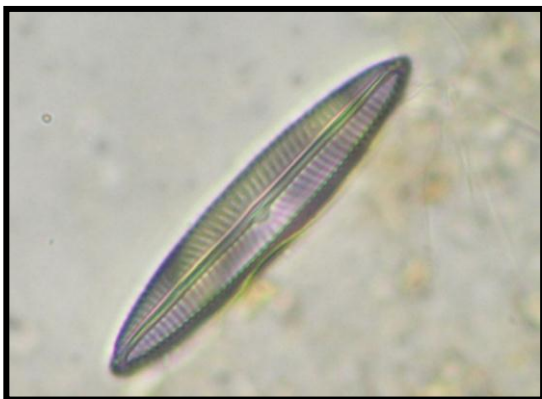
Actynociclus sp.



Cymatopleura sp.



Caloneis sp.



Brebissonia sp



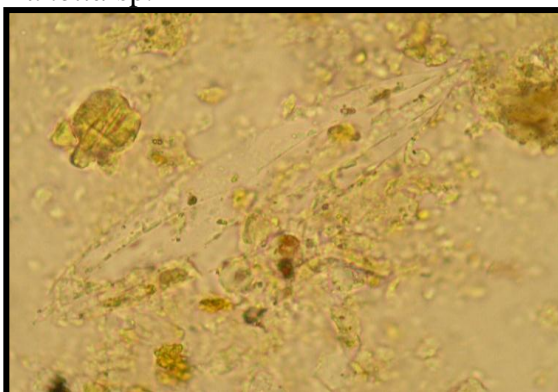
Diatomella sp.



Eunotia sp.



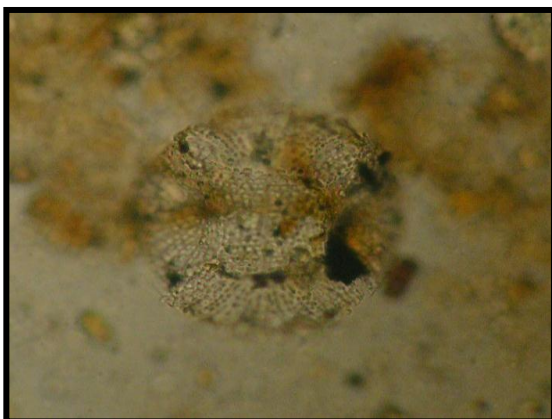
Desconocida 13



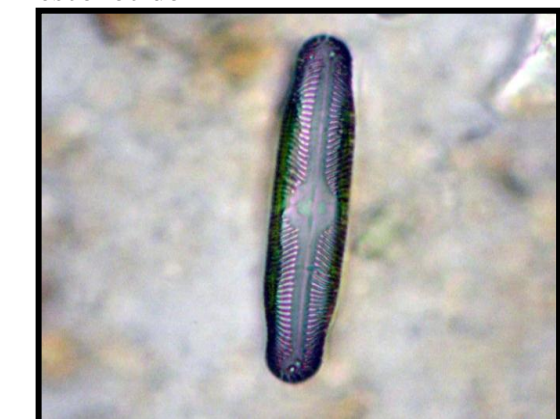
Desconocida 1



Desconocido 2



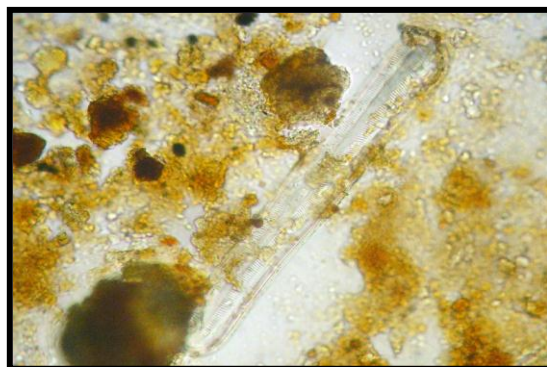
Desconocida 2



Desconocida 4



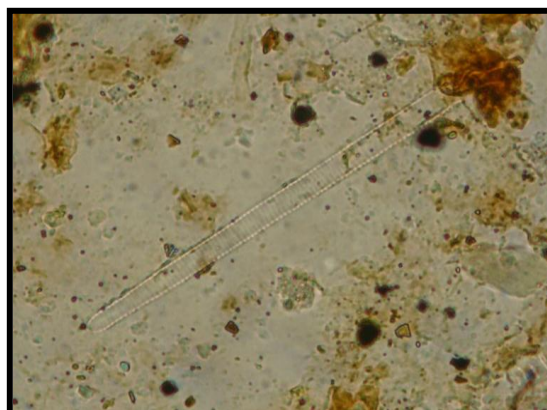
Desconocida 7



Desconocida 6



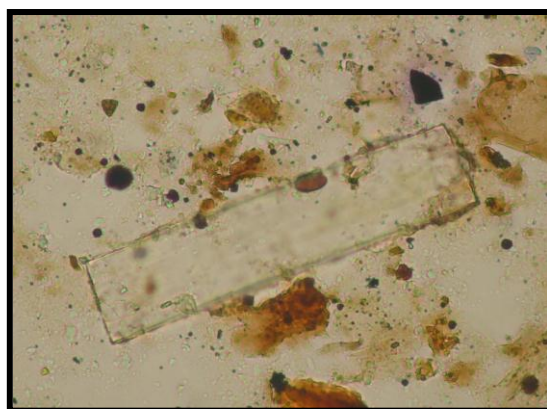
Desconocida 9



Desconocida 8



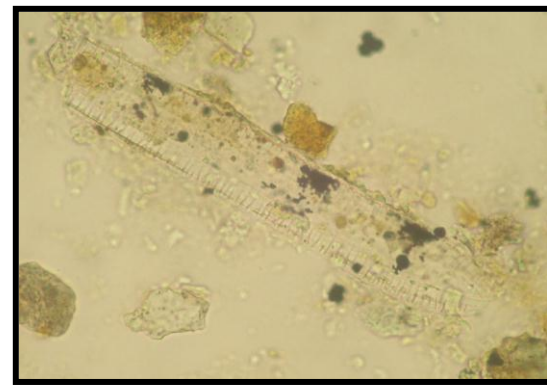
Desconocida 11



Desconocida 10



Desconocida 14



Desconocida 12

I. Apéndice 9. Fórmulas utilizadas.

1. Tasa de sedimentación

$$\text{Tasa de sedimentación} = \frac{\text{Peso del sedimento (mg)}}{\text{Número de días en el sitio} \times \pi r^2}$$

(Almada-Villela *et al.* 2003).

Siendo el Número de días 30 y el radio 2.5 cm

2. Índice de Shannon y Prueba *t* de Student

Para calcular la tasa de sedimentación se utilizó la siguiente fórmula:

$$H' = [n \ln n - \sum_{i=1}^k f_i (\ln f_i)] / n$$

(Zar 1996)

En donde *k* es el número de categorías, *f_i*, es el número de observaciones en la categoría *i* y *n* el tamaño de la muestra.

$$H'_{\max} = \ln K$$

Prueba para la diferencia entre dos Índices de Diversidad:

$$t = (H'_1 - H'_2) / s_{H'_1 - H'_2}$$

En donde

$$s_{H'_1 - H'_2} = \sqrt{s^2_{H'_1} + s^2_{H'_2}}$$

Varianza para cada *H'*:

$$s^2_{H'} = [\sum f_i \ln^2 f_i - (\sum f_i \ln f_i)^2 / n] / n^2$$

Grados de libertad:

$$V = [(s^2_{H'_1} + s^2_{H'_2})^2] / [(s^2_{H'_1})^2 / n_1 + [(s^2_{H'_2})^2] / n_2]$$

(Zar 1996).