



**CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA -CONCYT-
SECRETARIA NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA -SENACYT-
FONDO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA -FONACYT-
FUNDACIÓN DEFENSORES DE LA NATURALEZA –FDN-**

INFORME FINAL

**MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA Y EDUCACION AMBIENTAL EN LA
CUENCA DEL RÍO USUMACINTA, PARQUE NACIONAL SIERRA DEL LACANDÓN,
PETÉN, GUATEMALA.**

PROYECTO FODECYT No. 013-2007

**ING. JAVIER MÁRQUEZ
INVESTIGADOR PRINCIPAL**

GUATEMALA, 17 JUNIO DEL 2010.



AGRADECIMIENTOS AL CONCYT

La realización de este trabajo, ha sido posible gracias al apoyo financiero dentro del Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología, -FONACYT-, otorgado por La Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología -SENACYT- y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología -CONCYT-.

OTROS AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue una iniciativa de la coadministración del Parque Nacional Sierra del Lacandón el cual la Fundación Defensores de la Naturaleza y el CONAP tienen a su cargo, como Investigador Principal y líder del proyecto Javier Márquez quien actualmente es Director del Parque Nacional Sierra del Lacandón y ha trabajado para la Fundación Defensores de la Naturaleza desde el año 1999 en el PNSL. Asimismo al Ingeniero Luis Castillo y todo el personal administrativo de Defensores de la Naturaleza, los cuales hicieron posible el proyecto.

A todos los involucrados en la ejecución técnica de este proyecto de investigación;

Trabajando el aspecto Biológico: Rebeca Escobar Méndez y Lucrecia Masaya por su liderazgo en la ejecución del proyecto como Biólogas de campo. Asimismo agradecemos a Ángela López por su empeño en elaborar una investigación que tenga un impacto positivo para que a partir de este proyecto se puedan llevar a cabo medidas que ayuden a mitigar la contaminación del Río Usumacinta.

A las Licenciadas Nancy Girón y Cristina Bailey por su asesoría durante todo el proyecto y a la Universidad Rafael Landívar por realizar los análisis de DBO y DQO e identificación de macroinvertebrados.

Un agradecimiento especial a Elber Barrios, Belarmino, Obed y Antonio Urizar (lancheros de FDN) y al personal guardarecurso por su apoyo durante todos los monitoreos realizados.

Al Dr. Rolando Wer por su ayuda en la identificación de Ictiofauna encontrada en el Río Usumacinta, así mismo a David Penados como practicante del CENMA, por su colaboración en la captura e identificación de peces.

Finalmente agradecemos al Dr. Luis Álvarez, Sergio Meoño y el Lic. Rony Cabrera por su asesoría técnica y administrativo que facilitó la ejecución del Proyecto.

INDICE

RESUMEN	i
ABSTRACT	iii
PARTE I	1
I. 1 INTRODUCCIÓN	1
I.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
I.2.1 ANTECEDENTES EN GUATEMALA	3
I. 2.2. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	5
I.3 OBJETIVOS	7
I.3.1 Objetivo General	7
I.3.2 Objetivos Específicos	7
I.4 METODOLOGIA	8
I.4.1 Sitio de estudio	8
I.4.2 Monitoreo de calidad de agua	9
I.4.2.1. Medición de parámetros físico-químicos	10
I.4.2.2 Medición de nutrientes indicadores de contaminación	11
I.4.3 Evaluación de Coliformes Totales y Fecales	11
I.4.4. Diversidad acuática	11
I.4.4.1 Colecta de macroinvertebrados	11
I.4.4.2 Ictiofauna	11
I.4.5 Capacitación de personal de campo	12
I.4.6 Análisis de los resultados de calidad de agua	12
I.4.6.1 Cálculo del índice de calidad de agua	12
I.4.6.2 Cálculo del índice biótico -BMWP	12
I.4.7 Programa de Educación Ambiental	12
I.4.7.1 Actividades del Programa de Educación Ambiental	13
PARTE II	15
II. 1 MARCO TEÓRICO	15
PARTE III	44
III. 1 RESULTADOS	44
III.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	120
PARTE IV	127
IV.1 CONCLUSIONES	127
IV.4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	130
IV.4 ANEXOS	134

RESUMEN

El presente estudio consistió en la construcción de una línea base de monitoreo de variables fisicoquímicas y de nutrientes de los cuerpos de agua comprendidos en la cuenca del río Usumacinta, específicamente en el Parque Nacional Sierra del Lacandón. Además se incluyó en dicha evaluación el uso de macroinvertebrados como indicadores de la calidad ecológica del agua. Esto se realizó a través de capturas de especímenes que fueron identificados y la toma de datos con equipo especializado. El estudio se realizó durante 18 meses del periodo de Octubre 2007 a Diciembre 2008. Además de cumplir con los objetivos del estudio se colectó fauna ictiofauna para enriquecer los listados de especies presentes en los cuerpos de agua, además se colectó sedimentos del río para ser caracterizados¹, con el apoyo de la estudiante de doctorado Licda. Liseth Pérez, por medio de la Universidad Técnica de Braunschweig, Alemania.

Además el Programa de Educación Ambiental que acompañó al componente de Investigación fue con el objetivo de divulgar y concienciar a los comunitarios sobre el estado actual de los cuerpos de agua, amenazas y beneficios, así como también las medidas que existen para mitigar los impactos sobre dicho recurso. Se realizaron nueve talleres de Educación Ambiental en los cuales participaron estudiantes, maestros y técnicos. A los maestros y técnicos se les capacitó en el uso de los Kits educativos del agua, los cuales están compuestos por materiales didácticos y propone actividades para concientizar a la población sobre la importancia de las fuentes de agua.

El estudio para establecer la línea base fue realizado en diez puntos sobre el cauce del río, las cuales se escogieron por su importancia ecológica y/o la utilización del recurso. Las localidades son: El Porvenir, Arroyo Macabilero, Nacimiento Cruz Azul, Nacimiento Argueta, Arroyo Yaxchilán, Campamento Yaxchilán, Ceiba de Oro, La Técnica, Bethel y Arroyo La Miseria. Cada uno de estos puntos fue monitoreado periódicamente durante un año. Se realizó la medición de parámetros físico-químicos in-situ (temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, % de oxígeno, conductividad, sólidos disueltos totales), utilizando un potenciómetro sensION 156 Hach, la transparencia del agua se determinó por medio de un tubo de medición de transparencia. En cada punto de muestreo se colectaron dos muestras de agua de un litro cada una, uno de estos se envió a los laboratorios de la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas de la Universidad Rafael Landívar para la realización del análisis de la Demanda Bioquímica de Oxígeno –DBO- y Demanda Química de Oxígeno –DQO-, la primera se realizó por medio del equipo BOD Trak de la Marca HACH durante un periodo de 5 días de incubación, y el análisis de DQO se realizó por medio del método de digestión de dicromato con un reactor DQO modelo 45600 de la marca HACH. La segunda muestra se trabajó en las oficinas de FDN donde se realizaron los análisis microbiológicos presencia-ausencia y cuantificación de *Escherichia coli* y Coliformes Fecales por medio de la prueba Colilert (Standard Method 9223B); para la medición de nutrientes y químicos indicadores de contaminación se utilizó el espectrofotómetro HACH DR/2010. Los parámetros que se midieron son clave ya que estos dan información de los niveles de contaminación de agua. Los nutrientes medidos fueron: Nitrógeno de amoníaco, por el método del Salicilato; Nitratos por el método de Reducción de Cadmio; Nitritos por el método de

¹ La caracterización de sedimentos no se incluye como objetivo de estudio, sin embargo nos brindará datos importantes como estructura de los suelos, presencia de metales pesados y estudio de polen.

diazotización y Fosfatos por el método basado sobre la reacción que es específica para el ortofosfato.

Para la obtención de resultados se utilizó el Índice de Calidad del Agua (ICA) que indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje; así, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a cero por ciento, en tanto que en el agua en excelentes condiciones el valor del índice será cercano a 100%. Este índice permite relacionar todos los valores obtenidos de los diferentes parámetros medidos, en un punto de muestreo, para obtener un solo dato de calidad de agua.

Para tener una mejor perspectiva de la calidad del agua, estos se dividieron en dos: Los que se encontraban cercanos a poblaciones: Bethel con un promedio de 63.4% ICA, La Técnica 63.6% ICA, Arroyo La Miseria 59.7% ICA. Y en los que había un puesto de control cercano, debido a la presencia de personas: El Porvenir 57.4% ICA, Ceiba de Oro 62.6% ICA, Yaxchilán 63.8% ICA. Todos estos puntos según el ICA pertenecen a la clasificación de agua “Regular”, tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y hay aumento del crecimiento de algas. En el caso de los nacimientos los datos son muy buenos en algunos meses, para el caso del Nacimiento Argueta presenta un 71.4% ICA, entra en la categoría de “Buena”, poseen una alta diversidad de vida acuática. Además, el agua sería conveniente para todas las formas de contacto directo con ella. El Nacimiento Cruz Azul 60.6% ICA, en esta localidad el muestreo se tomó de las aguas del río Usumacinta en la desembocadura, lo que explica su clasificación como “Regular”, Arroyo Macabilero 62% ICA, Arroyo Yaxchilán con 65.1% ICA, igualmente en clasificación “Regular”. Esto refleja que si hay presiones constantes en el río y contaminación orgánica e inorgánica que hacen que la categoría del río Usumacinta dentro del Parque Nacional Sierra del Lacandón sea en la estimación del índice de calidad de agua general ICA como “Regular”.

La colecta de macroinvertebrados se realizó en cada punto de muestreo, este se llevaba a cabo mediante redes de colecta de insectos en los márgenes del río. En el caso de los afluentes se colectó en el fondo de las quebradas. Los especímenes colectados fueron almacenados en propanol al 80%, rotulado con sus datos de captura. Los especímenes fueron transportados al laboratorio de la Universidad Rafael Landívar, para su identificación y están depositados en la colección de insectos. En el Índice Biótico por sus siglas en inglés –BMWP- (*Biological Monitoring Working Party*), que utiliza los macroinvertebrados presentes en un área identifica niveles de contaminación. Según este índice el Nacimiento Argueta tiene aguas muy limpias, Macabilero desembocadura, Nacimiento Cruz Azul, y Arroyo Yaxchilán presentan aguas ligeramente contaminadas. Y aguas moderadamente contaminadas las tienen El Porvenir, Yaxchilán campamento, Ceiba de Oro, La Técnica, Bethel y Arroyo la Miseria. Los puntos en donde hay más presión por presencia humana son los que presentan las aguas más contaminadas.

La colecta de ictiofauna se realizó en dos arroyos El Porvenir y Macabilero, que son parte de los 10 puntos de muestreo de esta investigación, únicamente se realizaron dos colectas, uno en la época seca y otro en época lluviosa. El método de captura consistió con redes agalleras de 60 metros de largo por 2.5 metros de caída libre con luz de maya de 5 centímetros, y se hizo con apoyo de pescadores de la región. Posteriormente se realizó la identificación de cada especie encontrada y se documentó con fotografías. Uno de los resultados más importantes fue la colecta de varios especímenes del Plecostomo (*Plecostomus* sp.) de origen sudamericano y según

estudios en México puede ser un pez que compita por los recursos con las especies nativas. Además dentro de las especies nativas encontradas Mojarra Pozolera (*Cichlasoma* sp.), Machaca (*Brycon guatemalensis*), Curvina (*Ctenopharyngodon idella*), Bagre (*Pimelodus albicans*) entre otras.

De acuerdo con la información generada, este estudio constituye un punto de partida para la implementación de un sistema de monitoreo, esta base de datos permitirá evaluar el efecto de actividades que afectan el recurso agua. Esto permitirá tener un mejor conocimiento del estado de salud de estos cuerpos de agua y tomar decisiones apropiadas para el mejor manejo de la cuenca del río Usumacinta.

ABSTRACT

This study was conducted by Defensores de la Naturaleza Foundation, in conjunction with the Rafael Landívar University, and with financial support from the National Secretary of Science and Technology (SENACYT). The study aimed to establish a baseline for monitoring the water quality of the Usumacinta River and its tributaries within the Sierra de Lacandon National Park – SLNP-, as well as a program of environmental education related to water conservation in communities located in and around the SLNP.

The principal goal was to establish a baseline of biological and physicochemical variables of water and nutrients, in addition to evaluating the use of macro invertebrates as indicators of ecological quality of the river. The study also include capture, identification and health assessment of aquatic species of fauna. This study was conducted for a period of 18 months, between October 2007 to December 2008. In addition to this information gather was carried out a characterization of river sediment, with the support of graduate student Licda. Liseth Perez, through the Technical University of Braunschweig, Germany.

The other goal of this project was to implement environmental education activities related to the importance and use of water that accompanied the research program, aiming to disseminate and educate the people about the current state of the river basin, the threats and opportunities of the area and the actions in place to mitigate the impacts on the water resources. We conducted further environmental education activities in which participants were students, teachers and technicians, teachers and technicians were trained in the use of educational kits of water, which includes materials and activities to raise public awareness about the importance of water and their environment.

The study was conducted in ten points on the river and their tributaries, which were chosen for their ecological and use importance of this resource. The locations of the survey points are: El Porvenir, Arroyo Macabilero, Nacimiento Cruz Azul, Nacimiento Argueta, Arroyo Yaxchilan, Yaxchilan Camp, Ceiba de Oro, La Técnica, Bethel and Arroyo's La Miseria. Each of these points was monitored monthly for one year. Measurement was performed physical and chemical parameters in-situ (temperature, salinity, pH, dissolved oxygen, % oxygen, conductivity, total dissolved solids) through a potentiometer 156 SENSION Hach. In addition, we measured the transparency of the river, with a transparent measuring tube and we took two samples of one liter of water, one of these for transport to the laboratories of the Faculty of Environmental and Agricultural Sciences, Universidad Rafael Landívar to carry out the analysis of the Biochemical

Oxygen Demand, this was done through the team BOD Trak HACH Brand to 5-day analysis of Biochemical Oxygen Demand, was conducted using the dichromate digestion method. COD reactor was used 45,600 model HACH brand; Another one-liter sample was transported to the offices in Santa Elena Petén of Defensores de la Naturaleza, where the microbiological tests were conducted absence and presence quantification (*Escherichia coli* and fecal coliforms) using the Colilert test (Standard Method 9223B), the measurement of nutrient and chemical pollution indicators was conducted using a HACH spectrophotometer DR/2010. The parameters measured are important as the amount by which information can be found in water pollution. The nutrients measured are: nitrogen, ammonia by the salicylate method; Nitrate by Cadmium Reduction method; Nitrite by the method of diazotization; and Phosphates by the method based on the reaction that is specific for orthophosphate.

To obtain results we used the Water Quality Index (ICA) which indicates the degree of contamination of water at the sampling date and is expressed as a percentage, well, highly contaminated water ICA will close or equal to zero percent, while in the water in excellent conditions the index value will be close to 100%. The index used to relate all values obtained for the different parameters measured at a sampling point to obtain a single datum of water quality.

To get a better perspective of water quality, these were divided into two: those who were close to towns: Bethel with an average of 63.4% ICA, ICA Technique 63.6%, 59.7% The Arroyo La Miseria ICA. And where there was a checkpoint nearby, due to the presence of people: El Porvenir ICA 57.4%, 62.6% Ceiba de Oro ICA, ICA 63.8% Yaxchilan. All these points at the ICA belong to the classification of water "Regular", generally have less diversity of aquatic organisms and there is increased growth of algae. In the case of springs, the data are very good in a few months in the case of Nacimiento Argueta ICA has a 71.4% falls within the category of "Good", have a high diversity of aquatic life. In addition, water would be suitable for all forms of direct contact with her. Nacimiento Cruz Azul ICA 60.6%, in this locality sampling was taken from the waters of the Usumacinta River at the mouth, hence its classification as "Regular", 62% ICA Arroyo Macabilero and Arroyo Yaxchilan with ICA 65.1%, also in classification "Regular". This shows that if there are constant pressures on the river and organic and inorganic contamination which makes the category of the Usumacinta River in the Sierra del Lacandon National Park is in estimating the rate of general water quality ICA as "Regular".

The collection of macroinvertebrates was performed on each sample point, this was collected out through nets of insects in the river banks. In the case of the tributaries were collected at the bottom of the ravines. The collected specimens were stored in 80% propanol solution, labeled with their catch data. The specimens were transported to the laboratory of Rafael Landivar University, for identification and are deposited in the collection of insects. In BMWP Index, which uses the macroinvertebrates present in an area, it appears that the nacimiento Argueta has very clean water. Then Arroyo Macabilero, Nacimiento Cruz Azul and Arroyo Yaxchilan have slightly polluted waters. And moderately polluted waters are El Porvenir, Yaxchilan camp, Ceiba de Oro, La Técnica, Bethel and Arroyo La Miseria. The points where there is more pressure for human presence are those most contaminated waters.

The collection of ichthyofauna was performed in the two streams, Macabilero El Porvenir, which are part of the 10 sampling points in this investigation. They were made at one in the dry season and another rainy season. The method of gillnet catch consisted of 60 meters long and 2.5 meters

of free fall with light net 5 cm. This was carried out with the support of fishermen in the region. The species found were photographed and identified. Among the most important is that we collected several specimens of Plecostomo (Plecostomus sp.) Who is of South American origin and according to studies in Mexico can be a fish that compete for resources with native species.

According to the information generated, this study represents a starting point for implementing a system of monitoring. Enabling a better understanding of the behavior of the Usumacinta river. The information generated in this study will take propose actions in the management plans of the Usumacinta River basin. This database would evaluate and compare the effect of activities that occur under the action and then assess the changes they generate thru the years.

PARTE I

I. 1 INTRODUCCIÓN

La información sobre el estado de conservación de los cuerpos de agua del departamento de Petén es escasa, y para algunos cuerpos es inexistente. Esto es debido a que no se han efectuado estudios completos y monitoreo sobre los mismos. La tendencia de las instituciones locales ha sido la de realizar estudios puntuales sobre calidad de agua, o estudios en casos de emergencia (en respuesta a muerte de ictiofauna). La brevedad de dichos estudios no ha permitido generar una línea base de monitoreo, ni un diagnóstico del estado actual de conservación de los cuerpos de agua de este departamento. Además, es importante mencionar que dichos estudios han carecido de un programa de educación ambiental que acompañe a todas las actividades de campo y que comunique los resultados de la investigación a los comunitarios.

Es por ello que la Fundación Defensores de la Naturaleza, en conjunto con la Universidad Rafael Landívar, y con el apoyo financiero del Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACYT), realizó el presente proyecto para crear una línea base de monitoreo de la calidad del agua del Río Usumacinta y sus afluentes, dentro del Parque Nacional Sierra de Lacandón. Esta línea base consistió en monitorear variables fisicoquímicas y nutrientes del agua, además de la evaluación del uso de macroinvertebrados como indicadores de la calidad ecológica del río. Adicionalmente, se implementó un programa de educación ambiental que acompañó al programa de investigación, para divulgar y concienciar a los comunitarios acerca del estado actual de la cuenca del río, las amenazas, beneficios y las medidas que existen para mitigar los impactos sobre dicho recurso.

Durante el periodo de octubre 2007 a diciembre 2008, se realizó monitoreo de agua mensualmente, con lo cual se logró conocer con mayor detalle las características del río Usumacinta, siendo este fuente importante para el desarrollo de las comunidades aledañas, así como también para el ecosistema de una de las siete zonas núcleo de la Reserva de Biosfera Maya y que constituye un elemento vital para la conservación del Parque. En este periodo de tiempo se logró realizar la línea base de monitoreo de calidad de agua del río Usumacinta, esta línea base es de clave para el monitoreo del estado de los cuerpos de agua a lo largo del tiempo.

Al mismo tiempo que se llevó a cabo el monitoreo del lago, se realizaron charlas educativas en las comunidades que se encuentran dentro del Parque, con el fin de concientizar a la población sobre el cuidado, mantenimiento y conservación de los cuerpos de agua en esta cuenca. Este proyecto de educación ambiental es la semilla para el futuro de la conservación de los cuerpos de agua que existen en el PNSL y es una medida que se llevara a cabo año con año para fortalecer el desarrollo ambiental de las comunidades y hacer conciencia del papel que el ser humano lleva a cabo en la conservación adecuada de tan importante elemento.

Con el fin de enriquecer los listados de ictiofauna del lugar, se realizaron capturas y dentro de estas se logró identificar al *Plecostomus sp.*, especie invasora, la cual es de gran importancia debido a sus efectos negativos, por lo que es importante continuar con el monitoreo de esta especie para evitar grandes daños a las poblaciones de peces residentes.

El grado de contaminación del río se determinó por medio de la metodología del Índice de Calidad de Agua ICA, que define la aptitud del cuerpo de agua respecto a los usos prioritarios que este pueda tener; para determinar este índice se utilizaron nueve parámetros: Coliformes Fecales (en NMP 100ml), pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitratos, Fosfatos, Cambio de Temperatura en °C, Turbidez (en FAU), Sólidos Disueltos Totales (en mg/l) y Oxígeno disuelto (OD en % saturación). Cada parámetro se promedió dando origen a curvas que reflejan el criterio profesional de respuestas en una escala (Subí) de 0-100, que va de pésima a excelente. Con el muestreo de los diez puntos en el Río Usumacinta, se determinó que el estado del agua, según la clasificación ICA es **Regular**, esta categoría define que tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de algas. Por otro lado, los nacimientos poseen según el ICA una calidad de agua **Buena**, estas son aguas capaces de poseer una alta diversidad de vida acuática, y también pueden ser convenientes para todo contacto directo con ellas.

La información generada durante el monitoreo en el Río Usumacinta, constituyó un punto de partida para implementar un sistema de monitoreo permanente, el cual permitirá evaluar los cambios que se generen a lo largo del tiempo y de esta manera tomar acciones específicas para elaborar planes de manejo, al mismo tiempo se continuarán realizando charlas educativas a las comunidades para concientizar a los pobladores para que contribuyan al buen manejo del agua y utilicen dicho recurso de una manera racional.

I.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

I.2.1 ANTECEDENTES EN GUATEMALA

El Río Usumacinta forma parte de los cuerpos de agua más importantes de la Reserva de Biosfera Maya (RBM) y también de los más amenazados. Según Roldán (1988), de los ecosistemas terrestres, los acuáticos continentales son uno de los más afectados por las actividades antropogénicas. Efectivamente, gran parte de los residuos domésticos e industriales de los asentamientos humanos tienen como destino final los cauces de agua de los mismos, acelerando su eutrofización. Por otra parte, los efectos negativos de la perturbación de un ecosistema no solamente afectan las áreas cercanas a él, sino también las partes más bajas de la cuenca por donde desembocan los cauces de agua. De igual manera, las perturbaciones producidas en las partes bajas de la cuenca podrían afectar la integridad biológica de las partes altas, debido a efectos perjudiciales sobre los ciclos de vida de organismos migratorios (Pringle y Scatena 1999). Por tal motivo, es necesario determinar el estado actual de estos procesos y determinar las condiciones necesarias que deben darse para su conservación a largo plazo. Por la misma razón, Morales (2004), luego de evaluar brevemente parámetros fisicoquímicos en el Río Usumacinta, resalta que es necesario identificar el grado de conservación de los cuerpos de agua dentro la RBM, y los actores y acciones a ejecutar para la mitigación de los factores que ejercen presión sobre dichos recursos.

En la actualidad, muchas de las instituciones locales carecen del equipo y financiamiento para poder ejecutar estudios sistematizados de calidad de agua. En algunos de los casos, los estudios fueron producto de una emergencia y se carecía de información para ser capaz de prevenir esos casos (Com. Pers. Madrid, J & Sigüenza, S CONAP 2006). Por ello, se consideró necesaria la ejecución del levantamiento de la línea base de monitoreo del recurso hídrico, que estén orientadas a asegurar la generación de información sobre el estado de los recursos.

En el año 2004, se realizó un estudio sobre la calidad del agua y biodiversidad en el Río Usumacinta (Rodríguez 2004). Sin embargo, este trabajo no puede utilizarse como línea base, debido a que únicamente se trabajó en los meses de junio y julio del 2004, la colecta de macroinvertebrados y de peces fue ejecutada en sitios distintos a los sitios de colecta de muestras para análisis de agua, lo que no permitió que los datos fueran comparables. Debido a la falta de equipo, no se llevó a cabo la medición de nutrientes, por lo que no se logró determinar con certeza la calidad del agua del Río Usumacinta.

Por otra parte, existen otros estudios sobre los sedimentos en la parte sureste del Golfo de México, en los cuales se ha reportado la contaminación de metales pesados del Río Usumacinta (Vázquez et. al 2002 y Ortiz-Zamora 2002), esto debe de analizarse con cuidado en el Río Usumacinta, para localizar las fuentes de contaminación del agua.

En el año 2006 se realizó un estudio sobre el estado de la calidad del agua en dos comunidades dentro del PNSL, la Unión Maya Itzá y Bethel. Dicho estudio reveló que el Río Usumacinta y su afluente el Arroyo Yaxchilán muestran niveles de contaminación producto de desechos fecales, agroquímicos, jabón, entre otros. De igual forma, estableció que existe un alto número de casos de enfermedades relacionadas con el consumo de agua contaminada, entre las cuales figura el parasitismo intestinal, diarrea, infecciones en la piel, entre otras (Loyer 2006). Esto resalta la necesidad de la creación de un mecanismo de monitoreo y de un programa de educación ambiental en el área.

En el lago Petén Itzá, se han llevado a cabo diversos estudios por diferentes instituciones locales, así como extranjeras. El último, efectuado por el MARN en julio del 2006 pone en evidencia la contaminación del lago y de sus arroyos así como la presencia de un proceso de eutrofización (por la escasa presencia de oxígeno, y elevada concentración de nitrógeno y fósforo). Por tal motivo, el MARN ha generado diversas recomendaciones, entre las cuales la más importante es la creación e implementación de un sistema de monitoreo constante, para realizar una base lineal del comportamiento hídrico y elaborar un plan de manejo integrado para la cuenca.

I. 2.2. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto es una iniciativa que contribuyó significativamente al manejo sostenible y la conservación de los recursos hídricos en Petén. Tiene varios motivos que lo justifican, entre los cuales figura la urgencia de llevar a cabo un monitoreo de calidad de los cuerpos de agua en el norte del país, ya que el desconocimiento del estado de conservación de los mismos y la falta de un mecanismo de evaluación o monitoreo continuo, podría conllevar a serias consecuencias a largo plazo. Es clara la necesidad de este tipo de estudio y de un programa de educación ambiental dirigida a los pobladores que coexisten y hacen uso del recurso. Todas las actividades de investigación que se propusieron fueron acompañadas por un programa de educación ambiental para los comunitarios, divulgándoles los resultados de la investigación en campo e involucrándolos en actividades que mitiguen impactos.

La conservación de un cuerpo de agua es muy importante ya que se trata de un ecosistema complejo y diversificado. Incluye muchas especies vegetales y animales, algunas de ellas endémicas, que deben de ser resguardadas para la conservación de la biodiversidad. Los cuerpos de agua continentales deben de ser estudiados y conservados, debido al fuerte grado de amenaza en el que se encuentran. Esto es una realidad en la cuenca del Río Usumacinta, ya que muchas de las comunidades utilizan el agua sin ningún sistema de manejo de desechos. En diversos estudios, tales como los efectuados en el Lago Atitlán e Izabal, se ha demostrado que las poblaciones ubicadas en las orillas de esos son responsables de un alto grado de contaminación fecal (Lago Atitlán) y de descarga de nutrientes que causan eutrofización del cuerpo de agua (Lago Izabal), (UVG, CEMA, 2000).

Este proyecto también es relevante debido a que repercutió sobre los principales usuarios (comunidades que utilizan el agua de dichos cuerpos como fuente primaria) y actores involucrados en la conservación de dichos cuerpos de agua. Es importante diferenciar entre el uso que hacen las comunidades del recurso, ya que en el caso del PNSL, las comunidades lo utilizan tanto para limpieza, riego e ingesta; mientras que otros poblados, tales como las que habitan en los alrededores del Lago Petén Itzá, sí cuentan con la distribución de agua potable para consumo. Es por ello que el programa de educación ambiental tuvo un impacto sobre la prevalencia de enfermedades relacionadas con el uso de agua contaminada en estas comunidades. En efecto, el programa de educación ambiental incluyó pláticas en escuelas y la distribución de posters informativos acerca del correcto uso y manejo de los desechos que son vertidos en la cuenca del río. Esto permitió crear conciencia y mejorar la comprensión de la necesidad de cuidar y conservar dicho recurso. En las comunidades del PNSL, 8 comunidades se beneficiaron directamente del proyecto (3,612 personas). Para esas poblaciones, el beneficio fue directo, ya que utilizan el agua de manera cotidiana sin tener conciencia de las consecuencias de su consumo ni de su contaminación.

Nunca se ha llevado a cabo un programa de educación ambiental relativo al uso del agua del Usumacinta y sus afluentes en el PNSL. Es por ello que este proyecto fue innovador en el área, ya que permitió a los niños y maestros de las escuelas involucrarse en el proyecto y divulgar la importancia de la conservación del recurso. En efecto, se pretende influir de manera positiva sobre las poblaciones, su percepción y uso del recurso natural a largo plazo.

Ese proyecto tuvo un impacto sobre los comunitarios, que son las personas más involucradas y las que tienen el poder de mejorar el uso, el manejo y la calidad del agua del Río Usumacinta y sus afluentes, a largo plazo. La educación ambiental es indispensable para mejorar el manejo de un recurso natural. Es muy importante crear conciencia de la importancia del agua, de su uso y del efecto de la contaminación, que puede resultar por efecto de sus actividades cotidianas más sencillas.

Por otra parte, también ha existido el interés de la creación de una represa hidroeléctrica sobre el Río Usumacinta, por lo cual la creación de una línea base de monitoreo podría servir para tener mayor información sobre los efectos específicos que tendría la creación de dicha estructura; debido a la riqueza de especies vegetales, animales, ictiofauna y entomofauna que se verían afectadas por la misma. De igual forma, otra amenaza es la construcción de empresas cuyos desechos son destinados finalmente a las cuencas de dichos cuerpos de agua. Esto permitiría evaluar el efecto de estas actividades y exigir la modificación de estos procesos.

I.3 OBJETIVOS

I.3.1 Objetivo General

Ejecutar un programa de monitoreo de calidad del agua y educación ambiental en el Río Usumacinta, Parque Nacional Sierra de Lacandón, La Libertad, Petén, Guatemala.

I.3.2 Objetivos Específicos

- 1.** Crear una línea base de monitoreo de calidad de agua por medio de la medición de variables fisicoquímicas y de nutrientes, en el Río Usumacinta y sus afluentes.
- 2.** Ejecutar un programa de educación ambiental dirigido hacia las comunidades que utilizan dicho recurso, que concientice a los pobladores sobre el manejo del agua para uso doméstico e informe sobre el tratamiento de sus desechos.
- 3.** Dotar a los maestros de las escuelas con material para impartir clases sobre la importancia del cuidado del agua y para distribuir a sus alumnos.
- 4.** Informar a las comunidades sobre los resultados que se están encontrando en el proyecto de investigación en campo.
- 5.** Realizar una capacitación del personal guarda recursos y técnicos del PNSL para que asistan las actividades de investigación y educación ambiental en campo.
- 6.** Crear una base de datos de los factores fisicoquímicos y nutrientes reportados para el PNSL.
- 7.** Estudiar los ensambles de peces y macroinvertebrados para detectar posibles taxa indicadores de cambios en los parámetros fisicoquímicos en el Río Usumacinta.
- 8.** Enriquecer los listados de especies de macroinvertebrados e ictiofauna registrados para la RBM.
- 9.** Realizar comparaciones de los datos obtenidos en los diferentes sitios de estudio para diagnosticar el estado actual de estos y los efectos de las acciones antropogénicas.
- 10.** Según los resultados, hacer recomendaciones para mejorar el manejo de los cuerpos de agua estudiados.

I.4 METODOLOGIA

I.4.1 Sitio de estudio

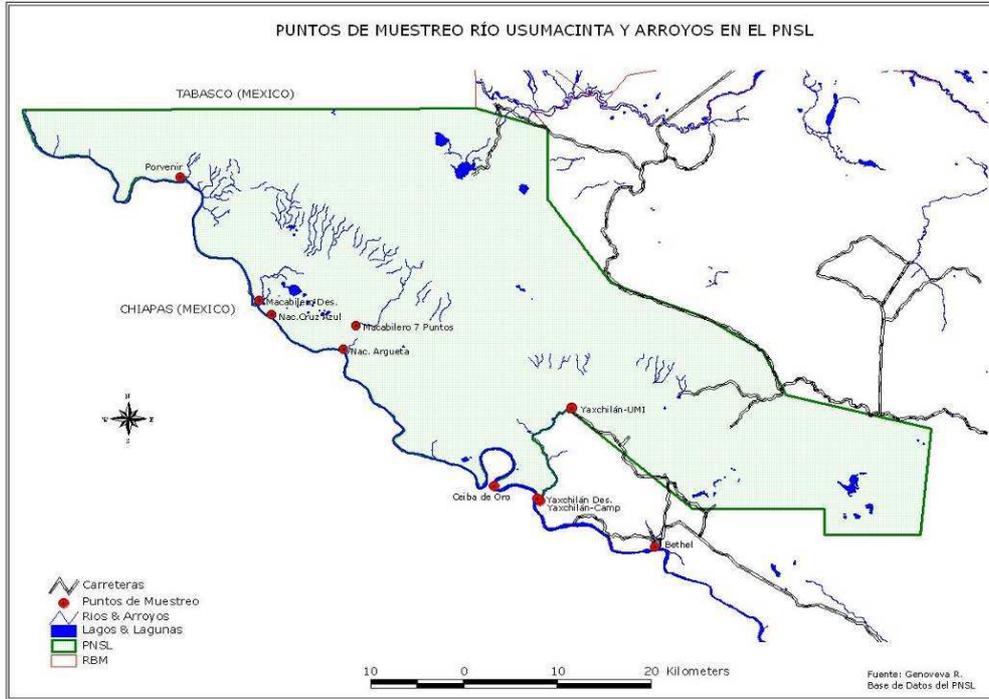
El presente estudio se realizó en la parte media del Río Usumacinta, ubicado en el Parque Nacional Sierra de Lacandón, el cual se encuentra situado en el Suroeste de la RBM, pertenece al municipio de La Libertad; limita al oeste y al Noroeste con los estados mexicanos de Chiapas y Tabasco. Comprende una extensión territorial aproximada de 202,865 hectáreas y constituye después del Parque Nacional Laguna del tigre el parque de mayor extensión en Guatemala (Herrera & Paiz 1999).

El Territorio comprendido por el PNSL, incluye dos cuencas hidrográficas (MAGA 2001); la del río Usumacinta y la del río San Pedro. La más representada dentro del PNSL es la del río Usumacinta con 161,614.7 ha, equivalentes al 81% del parque.

El río Usumacinta es el más caudaloso de Centroamérica, se forma a partir de la unión de los ríos Lacantún, Salinas (por medio del Chixoy o Negro) y de la Pasión al sur del parque, los cuales drenan la región oriental de las montañas del norte del estado de Chiapas en México, el norte-centro del Altiplano guatemalteco (Sierras de Chamá y de los Cuchumatanes) y el sur-centro del departamento de Petén. La extensión total de la gran cuenca del río es de 105,200 km² y drena el 42% de la superficie de Guatemala (University of Florida 1996; citado en TNC 1998).

Se realizaron mediciones periódicas en diez puntos de muestreo (Mapa No. 1). Los puntos de muestreo fueron propuestos por el primer estudio de calidad de agua que fue ejecutado en un periodo de dos meses en el PNSL (Rodríguez 2004). Los puntos de muestreo son Bethel, El Porvenir, Ceiba de Oro, Nacimiento Cruz Azul, Nacimiento Argueta, Macabilero, Yaxchilán Desembocadura, Yaxchilán Campamento, La Técnica y Arroyo la Miseria.

Mapa No. 1 Puntos de muestreo de calidad de agua en el Río Usumacinta,
Petén



Fuente: Genoveva R. /Defensores de la Naturaleza

I.4.2 Monitoreo de calidad de agua

La creación de la línea base de monitoreo consistió en la medición periódica de parámetros físico-químicos y biológicos a manera de evaluar la calidad/estado actual del cuerpo de agua. El monitoreo se realizó mensualmente por 12 meses para obtener las fluctuaciones anuales que presenta el Río Usumacinta, se colectaron muestras de agua que fueron llevadas a las oficinas de Defensores de la Naturaleza en Santa Elena y al laboratorio de la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas para realizar el análisis.

I.4.2.1. Medición de parámetros físico-químicos

Se realizó la medición de algunos parámetros físico-químicos, directamente en los puntos de muestreo, por medio de un potenciómetro sensION 156 Hach. Además en los lugares de muestreo también se midió la turbidez del río con un tubo de turbidez (Cuadro No.1).

Cuadro No. 1 Parámetros físico-químicos medidos in situ, Río Usumacinta, Petén.

Parámetro medido	Unidades
Temperatura	°C
Conductividad	µs/cm
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg/l
Salinidad	(o/o)
Oxígeno disuelto (OD)	mg/l
% de Oxígeno Disuelto	%
Ph	pH
Turbidez	M

Fuente: FODECYT 013-2007

Para medir la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), así como la Demanda Química de Oxígeno (DQO) fue necesario tomar dos litros de agua de cada punto de muestreo. Estas muestras de agua se colectaron en recipientes plásticos limpios y fueron rotulados apropiadamente. Las muestras se mantuvieron con hielo, mientras eran transportadas al Laboratorio de la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas de la Universidad Rafael Landívar para su análisis.

El análisis de la Demanda Bioquímica de Oxígeno se realizó por medio del equipo BOD Trak de la Marca HACH a cinco días de duración. El análisis de la Demanda Química de Oxígeno se realizó por medio del método de digestión del dicromato. Se utilizó un reactor DQO modelo 45600 de la marca HACH.

I.4.2.2 Medición de nutrientes indicadores de contaminación

La medición de nutrientes y químicos indicadores de contaminación se realizó mediante el uso de un espectrofotómetro HACH DR/2010. Los compuestos que se midieron son importantes ya que la cantidad en que se encuentran puede dar información de la contaminación de agua. Los nutrientes medidos son: Nitrógeno de amoníaco, por el método del Salicilato. Nitratos por el método de Reducción de Cadmio. Nitritos por el método de diazotización. Y Fosfatos por el método basado sobre la reacción que es específica para el ortofosfato.

I.4.3 Evaluación de Coliformes Totales y Fecales

La evaluación de coliformes se realizó por medio de la colecta de muestras de agua, en los mismos puntos de colecta que los parámetros. Las coliformes se detectaron por medio de la prueba Colilert (Standard Method 9223B). En esta prueba se mide la presencia ó ausencia por medio de una reacción de sustrato de enzima, cambio de color y también presenta datos cuantificables (Columbia Analytical Services 2009).

I.4.4. Diversidad acuática

I.4.4.1 Colecta de macroinvertebrados

La colecta de macroinvertebrados se realizó en los mismos diez puntos de muestreo. La colecta se llevó a cabo en la orilla del río por medio de redes de insectos, se hacían colectas repetidas en los diferentes hábitats. Los hábitats que se muestrearon en las orillas del río fueron: la materia orgánica y la vegetación sumergida en las orillas. En el caso de los afluentes se pudo colectar en los fondos de las quebradas.

Los especímenes colectados fueron almacenados en frascos con propanol al 80%, rotulados con sus datos de captura (fecha, localidad, colector, y número del listado de colecta) Los especímenes fueron transportados al laboratorio de la Universidad Rafael Landívar, para su identificación y están depositados en la colección de insectos.

I.4.4.2 Ictiofauna

La colecta de ictiofauna se realizó en dos arroyos El Porvenir y Macabilero, que son parte de los 10 puntos de muestreo de esta investigación, únicamente se realizaron dos colectas, uno en la época seca y otro en época lluviosa; a los especímenes se les tomó foto y se identificaron con ayuda del Dr. Rolando Wer. Además se realizaron por medio de entrevistas a pescadores que incluyen información sobre lugar de colecta y cantidades de las diferentes especies que colectan.

I.4.5 Capacitación de personal de campo

Durante el primer monitoreo, se llevó a cabo la capacitación del personal guarda recurso y técnico del parque, durante el cual se habló de la importancia del monitoreo y de la metodología que se lleva a cabo en estos estudios.

La capacitación consistió en el uso del equipo de análisis de agua (potenciómetro, turbidímetro, equipo de medición in-situ y la toma de muestras). Además se les instruyó sobre el uso del equipo para colecta de macroinvertebrados y el cuidado que debe tenerse para almacenar las muestras para que puedan ser utilizados como referencia en laboratorios.

I.4.6 Análisis de los resultados de calidad de agua

I.4.6.1 Cálculo del índice de calidad de agua

En cada punto de muestreo se calculó el índice de calidad de agua ICA, este índice relaciona todos los valores de los parámetros medidos en cada punto y de esta forma tener un solo dato de calidad de agua para cada punto. De esta forma se puede comparar los diferentes puntos de muestreo.

I.4.6.2 Cálculo del índice biótico -BMWP

Este índice representa la calidad biológica de un cuerpo de agua. Existen varios índices biológicos, pero por su facilidad en la presente se utiliza el índice BMWP, y se compara con el índice ETP² para ver cuál de los índices es el que da mayor información sobre la calidad ecológica del río Usumacinta (Figueroa, *et al.* 2007)

I.4.7 Programa de Educación Ambiental

El programa de educación ambiental se ejecutó en las comunidades ubicadas en las orillas o cercanas al Río Usumacinta, ya que éstas son usuarios directos del recurso. Al concientizar a las poblaciones se pueden lograr cambios de actitud y de hábitos que contribuirán no solo en el bienestar y calidad de vida de las comunidades, sino en el mejor uso y conservación del recurso agua. El programa fue una actividad paralela a la investigación en campo, contribuyendo en la divulgación de los resultados de la misma. El programa comprendió la elaboración de material didáctico para la implementación de los talleres dividido en diferentes módulos temáticos relacionados con el agua, capacitación en la temática y el uso del material a personas que sean entes multiplicadores como educadores ambientales, guarda recursos, extensionistas, maestros, etc.

El programa fue dirigido a ocho comunidades que son las más cercanas a los cuerpos de agua estudiados, constituyéndose en nuestro público meta y los principales actores en la mitigación de impactos sobre algunos de los afluentes del Río Usumacinta

² se calcula dividiendo el número de individuos de los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera por el número total de individuos colectados; los valores más altos significan aguas más oxigenadas y limpias

componente de Educación Ambiental para la Fundación Defensores de la Naturaleza. El kit del agua está compuesto por varios módulos que tratan temas específicos relacionados al recurso agua.

I.4.7.1.2 Talleres de capacitación para comunitarios

Se impartieron talleres para niños de pre-primaria y primaria, utilizando el material educativo del Kit del agua, ya que este material, tiene la característica que se puede variar las actividades dependiendo de las edades del grupo al que se imparte. Igualmente se llevaron a cabo talleres para jóvenes en lo que se trabajan los mismos módulos temáticos con dinámicas de manejo del agua.

Para la ejecución del programa de educación ambiental sobre agua en el Parque Nacional Sierra de Lacandón se realizó un taller de entrenamiento en el uso del material, dirigido a asistentes de campo, guarda recursos, y técnicos de PNSL, el cual fue impartido en coordinación con la Licda. Samayoa, quien apoyo en el diseño del kit educativo del agua.

Los talleres que se realizaron fueron adaptados a diferentes niveles de conocimiento, dentro de los cuales están:

1. Talleres de capacitación para personal Extensionista y Guarda Recurso: Se capacitó a personal clave para la extensión y divulgación de la información generada.
2. Talleres de capacitación para niños y niñas de pre primaria y primaria: Se utilizó este con una variación de uso de títeres y material de apoyo que reforzó los contenidos de cada modulo temático, conto con dinámicas sencillas, lecturas y manualidades realizadas con los niños.
3. Talleres de capacitación para jóvenes de secundaria: Con este grupo se trabajo los mismos módulos temáticos con dinámicas, además de involucrarlos en actividades de conservación como: limpieza de río y distribución de afiches.
4. Taller de capacitación para educadores: A los educadores se les entrego material para que lo trabajen con sus estudiantes y se les capacitó las actividades que pueden hacer.

PARTE II

II.1 MARCO TEÓRICO

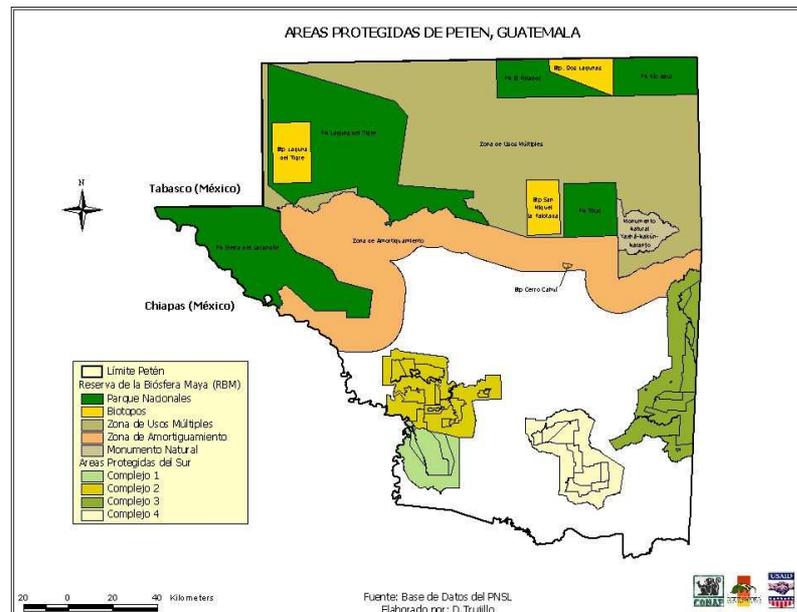
II.1.1 Sitio de estudio

El Parque Nacional Sierra del Lacandón, se encuentra situado en el Suroeste de la RBM, pertenece al municipio de La Libertad; limita al oeste y al Noroeste con los estados mexicanos de Chiapas y Tabasco. Comprende una extensión territorial aproximada de 202,865 hectáreas y constituye después del Parque Nacional Laguna del tigre el parque de mayor extensión en Guatemala (Herrera & Paiz 1999).

El Río Usumacinta está ubicado en el departamento de Petén (que cubre un tercio de la superficie del país, con 35,854 km²) al norte de Guatemala, dentro de la Reserva de la Biosfera Maya (RBM). La RBM es el área protegida más extensa de Centroamérica (15,553 km²) y es el corazón de la reserva de bosque húmedo subtropical más grande de Mesoamérica, conocido como la Selva Maya, abarcando más de tres millones de hectáreas en México, Guatemala y Belice.

La RBM cumple una importante función en la conectividad de las otras áreas naturales del Corredor Biológico Mesoamericano y así permite el funcionamiento de los procesos ecológicos que determinan la supervivencia de especies que requieren de grandes extensiones para vivir. La RBM cuenta con una zona núcleo-ZN (36% del territorio) que contiene cinco Parques Nacionales y tres Biotopos, una zona de usos múltiples-ZUM (40% del territorio) y una zona de amortiguamiento-ZAM (24% del territorio) (Mapa No. 3).

Mapa No. 3 Áreas protegidas del departamento de Petén, Guatemala (Trujillo)



Fuente: D. Trujillo/Defensores de la Naturaleza

La parte media del Río Usumacinta está ubicada en el Parque Nacional Sierra de Lacandón (Mapa No. 4), el cual fue declarado el 30 de enero de 1990, por medio del Decreto No. 5-90 del Congreso de la República. Forma parte de las siete áreas protegidas que constituyen la zona núcleo de la RBM. Esta área protegida, actualmente se encuentra fuertemente amenazada, por factores tales como el avance de la frontera agrícola, la presión de invasores, extracción ilegal de sus recursos, cambio del uso del suelo, etc.; lo cual ha repercutido sobre sus poblaciones de flora y fauna.

Mapa No. 4 Ubicación geográfica del Parque Nacional Sierra de Lacandón, Petén, Guatemala.

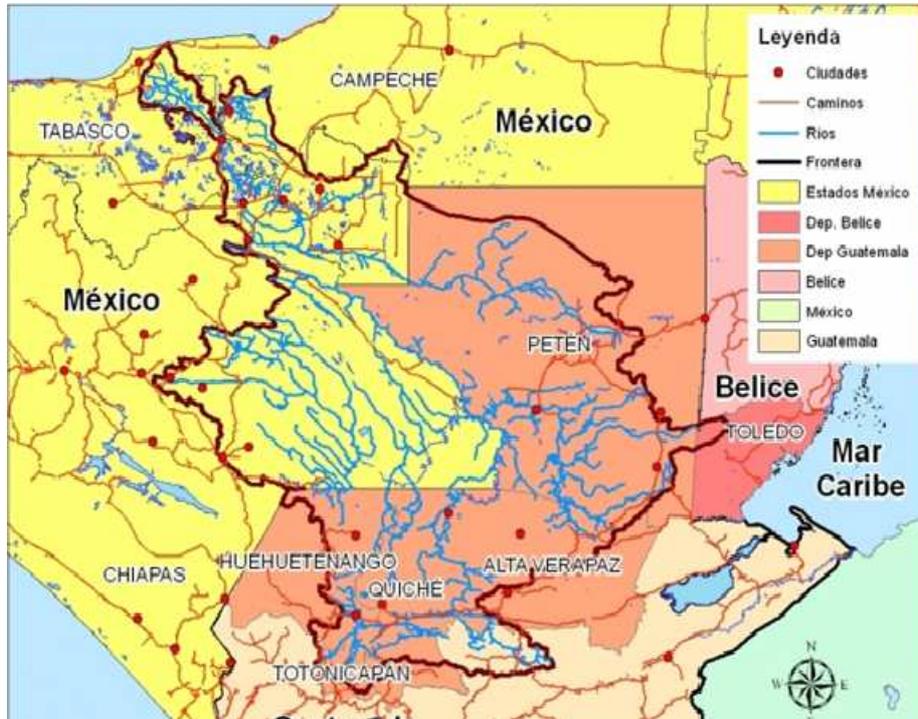


Fuente: Defensores de la Naturaleza/PNSL

La Cuenca del Río Usumacinta está compartida entre el límite territorial de México y el de Guatemala (Mapa No. 5). En estudios del CILA (1987), el Río Usumacinta reveló que tiene un escurrimiento medio anual de $55,595\text{m}^3$ ($1,763\text{m}^3/\text{s}$). Dicho Río desemboca en el Golfo de México con una descarga media anual de $105,200 \times 10^6 \text{m}^2$. (Este dato es en conjunto con el Río Grijalva quien se une al Usumacinta justo antes de desembocar en el Golfo de México), esto hace que el Río Usumacinta sea el sexto río más grande de Latinoamérica (Rodríguez 2004).

El Río Usumacinta y sus afluentes en el área del Parque Nacional Sierra del Lacandón no han sido estudiados en años recientes y existen múltiples amenazas para la flora y fauna. Siendo las principales amenazas la construcción de represas, contaminación, sedimentación, crecimiento poblacional y cambio de uso del suelo (Rodríguez 2004; Morales 2003).

Mapa No. 5 Ubicación de la cuenca del Río Usumacinta en Mesoamérica.



Fuente: www.cuencasmesoamericanas.net

II.1.2 Origen de los Ríos

Al igual que los lagos, los ríos presentan orígenes variados. En regiones volcánicas, la deposición de lava puede formar canales a lo largo de los cuales se encauza el agua proveniente de la lluvia o deshielo. La mayoría de los ríos se forman por excavación causada por la fuerza de la corriente sobre el terreno. El agua de lluvia busca las depresiones naturales y comienza a labrar las áreas más vulnerables hasta llegar a las partes más bajas de los valles. Cañones muy pronunciados y profundos son el resultado de la lenta erosión provocada por las corrientes durante miles de años. Mientras mayor sea el volumen del agua y la pendiente, mayor será la erosión y la formación de tributarios de varios ordenes. La erosión mecánica implica abrasión del sustrato y desgaste del mismo, y forma así los canales o lechos de los ríos. Pero los lechos también pueden formarse por disolución química del sustrato, por ejemplo, rocas carbonatadas al paso de aguas cargadas de ácido carbónico u otro ácido. La velocidad de formación depende del tipo de roca, de la pendiente, del clima y de la composición química del agua. Mientras mayor sea la pendiente, mayor será la capacidad de arrastrar materiales abrasivos y más fuertes el impacto que estos causen sobre el sustrato.

En zonas boscosas tropicales como la del Usumacinta, donde se presentan lluvias todo el año, los ríos mantienen volúmenes de agua más o menos constantes. Y corrientes fuertes a lo largo del río, existen tres tipos de corrientes:

- Corrientes permanentes: reciben sus aguas de nacimientos subterráneos o caídas, lo que implica que el nivel del cauce siempre será menor que el del nacimiento.
- Corrientes intermitentes: reciben el agua de escorrentía superficial y pueden secarse durante periodos de sequía.
- Corrientes interrumpidas: alternativamente corren por cauces superficiales o subterráneos, dependiendo de la naturaleza del terreno.

En terrenos calcáreos, el ácido carbónico presente en el agua puede disolver el sustrato y formar cavernas u otras formas donde puede ser hábitat perfecto para organismos (Roldán & Ramírez, 2008).

Fotografía No.1 Formaciones en la roca calcárea, Marzo 2009, época seca, Río Usumacinta, La Libertad, Petén



Fuente: FODECYT 013-2007

II.1.3 Estado actual de los cuerpos de agua de Petén

El Río Usumacinta forma parte de los cuerpos de agua más importantes de la RBM y también de los más amenazados. Según Roldán (1988), de los ecosistemas terrestres, los acuáticos continentales son de los más afectados por las actividades antropogénicas. Efectivamente, gran parte de los residuos domésticos e industriales de los asentamientos humanos tienen como destino final los cauces de agua de los ríos, acelerando su eutrofización.

Por otra parte, los efectos negativos de la perturbación de un ecosistema no solamente afectan las áreas cercanas a él, sino también las partes más bajas de la cuenca por donde desembocan los cauces de agua. De igual manera, las perturbaciones producidas en las partes bajas de la cuenca podrían afectar la integridad biológica de las partes altas,

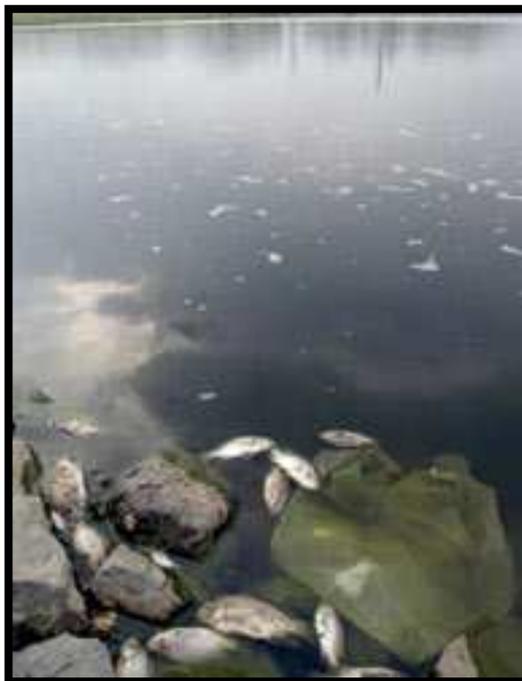
debido a efectos perjudiciales sobre los ciclos de vida de organismos migratorios (Pringle y Scatena 1999).

Por tal motivo, es necesario determinar el estado actual de estos procesos y determinar las condiciones necesarias que deben darse para su conservación a largo plazo.

Por la misma razón, Morales (2004), luego de evaluar brevemente parámetros fisicoquímicos en el Río Usumacinta, resalta que es necesario identificar el grado de conservación de los cuerpos de agua dentro la RBM, los actores y las acciones a ejecutar para la mitigación de los factores que ejercen presión sobre dichos recursos.

En la actualidad, muchas de las instituciones locales carecen del equipo y financiamiento para poder ejecutar estudios sistematizados de calidad de agua. En algunos de los casos, los estudios fueron producto de una emergencia y se carecía de información para ser capaz de prevenir esos casos (Com. Pers. Julio Madrid y Sergio Sigüenza, CONAP 2006) (Fotografía No. 2). Por ello, es necesario considerar la ejecución de esfuerzos de levantamiento de líneas bases de monitoreo del recurso hídrico, que estén orientadas a asegurar la generación de información sobre el estado de los recursos.

Fotografía No. 2 Muerte de peces a consecuencia de la contaminación en Lago Petén Itzá (MARN, 2005)



Fuente: FODECYT 013-2007

Otro factor importante es que ha existido el interés de la creación de una represa hidroeléctrica sobre el Río Usumacinta, por lo cual la creación de una línea base de monitoreo servirá para tener mayor información sobre los efectos específicos que tendría la

creación de dicha estructura; debido a la riqueza de especies vegetales y animales que se verían afectadas por la misma.

De igual forma, otra amenaza es la construcción de empresas cuyos desechos son destinados finalmente a las cuencas de dichos cuerpos de agua. Esto permitiría evaluar el efecto de estas actividades y exigir la modificación de estos procesos.

En el año 2004, se realizó un estudio sobre la calidad del agua y biodiversidad en el Río Usumacinta (Rodríguez 2004). Sin embargo, este trabajo contó con algunas debilidades, tales como el trabajo de campo se realizó entre los meses de junio y julio del 2004, por lo que no puede considerarse como una línea base de monitoreo.

Además, la colecta de macroinvertebrados y de peces fue ejecutada en sitios distintos a los sitios de colecta de muestras para análisis de agua. Esto dificulta el establecimiento de un vínculo o correlación entre la biodiversidad y la calidad del agua. Además, por falta de fondos y equipo especializado, la medición y evaluación de nutrientes no fue efectuada, a pesar de ser datos indispensables para evaluar la calidad del agua.

Por otra parte, existen otros estudios sobre los sedimentos en la parte sureste del Golfo de México, en los cuales se ha reportado la contaminación de metales pesados del río Usumacinta (Vázquez *et al.* 2002 y Ortiz-Zamora 2002. Esto es de importancia ya que se deben de localizar las fuentes de contaminación del agua.

En el año 2006 se realizó un estudio sobre el estado de la calidad del agua en dos comunidades dentro del PNSL, la Unión Maya Itzá y Bethel. Dicho estudio reveló que el Río Usumacinta y su afluente el Arroyo Yaxchilán sí muestran niveles de contaminación producto de desechos fecales, agroquímicos, jabón, entre otros. De igual forma, estableció que existe un alto número de casos de enfermedades relacionadas con el consumo de agua contaminada, entre las cuales figura el parasitismo intestinal, diarrea, infecciones en la piel, entre otras (Loyer 2006). Esto muestra la necesidad de la creación de un mecanismo de monitoreo y de un programa de educación ambiental en el área.

En el lago Petén Itzá, se han llevado a cabo diversos estudios por diferentes instituciones locales, así como extranjeras. El último, efectuado por el MARN en julio del 2006 pone en evidencia la contaminación del lago y de sus arroyos así como la presencia de un proceso de eutrofización (por la escasa presencia de oxígeno, y elevada concentración de nitrógeno y fósforo). Por tal motivo, el MARN ha generado diversas recomendaciones, entre las cuales la más importante es la creación e implementación de un sistema de monitoreo constante, para realizar una base lineal del comportamiento hídrico y elaborar un plan de manejo integrado para la cuenca.

La conservación de un cuerpo de agua es muy importante ya que se trata de un ecosistema complejo y diversificado. Incluye muchas especies vegetales y animales, algunas de ellas endémicas, que deben de ser preservadas para la conservación de la biodiversidad. Los cuerpos de agua continentales deben de ser estudiados y conservados, debido al fuerte grado de amenaza en el que se encuentran.

Esto es una realidad en la cuenca del Río Usumacinta, ya que muchas de las comunidades utilizan el agua sin ningún sistema de manejo de desechos. En diversos estudios, tales como los efectuados en el Lago Atitlán e Izabal, se ha demostrado que las poblaciones ubicadas en las orillas de esos son responsables de un alto grado de contaminación fecal (Lago Atitlán) y de descarga de nutrientes que causan eutrofización del cuerpo de agua (Lago Izabal) (UVG, CEMA 2000).

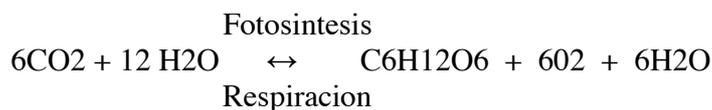
II.1.4 Estudio de Calidad de Agua

La calidad de agua se refiere a la aptitud del agua para los usos beneficiosos a que se ha venido dedicando en el pasado, esto es, para consumo del hombre y de los animales, para el soporte de una vida sana, para el riego de cultivos y para recreación. Un contaminante puede ser de origen inerte, como plomo, mercurio o detergentes; o de origen vivo, como el ocasionado por microorganismos provenientes de desechos domésticos (aguas negras principalmente).

El estudio de calidad de agua requiere el análisis de varios parámetros físico-químicos, nutrientes y bacteriológicos. Los cuales son de vital importancia para determinar el estado en el que se encuentra el cuerpo de agua que se está estudiando. Todos estos parámetros son descritos a continuación para dejar claro la importancia de cada uno.

II.1.5 Parámetros Físico-Químicos

El dióxido de carbono, junto con el oxígeno, son los dos gases más importantes en el agua, y en general para la vida en el planeta. En tanto la reacción química de la fotosíntesis produce oxígeno, la de la respiración constituye el proceso inverso que produce dióxido de carbono:



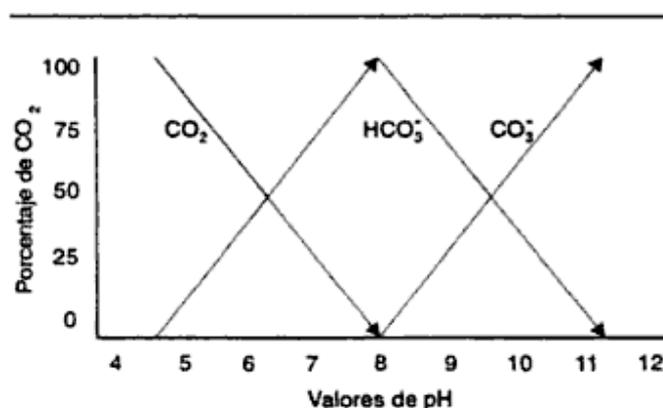
Tanto la respiración de los seres vivos como la oxidación de la materia orgánica, requieren oxígeno para que se conviertan finalmente en CO₂ y H₂O. A diferencia del oxígeno, cuyo porcentaje en el aire es del 21%, el dióxido de carbono es solo del 0.04% en promedio. Sin embargo, esta cantidad es suficiente para llevarse a cabo los procesos fotosintéticos normales tanto en la tierra como en el agua.

El origen del dióxido de carbono en el agua proviene, por tanto, de la respiración de los organismos y de la oxidación de la materia orgánica. Las lluvias también arrastran el CO₂ atmosférico, incorporándolo en los ecosistemas acuáticos.

La fotosíntesis y la respiración son dos fenómenos biológicos antagonistas, pero íntimamente relacionados, como se pudo observar en la reacción química anterior. Así cuando se realiza la fotosíntesis disminuye el CO₂ libre y comienzan a aparecer el bicarbonato y el carbonato.

Durante la respiración se presenta el fenómeno contrario. Estos iones fomentan, en el primer caso, el cambio del pH del agua hacia el lado básico; y en el segundo, hacia el lado ácido. La presencia de estos iones determina el concepto de alcalinidad, el cual se expresa como la cantidad de bicarbonatos y carbonatos presentes en el agua. Si el pH es inferior a 8.3, se expresa como alcalinidad bicarbonato; y si es superior, se expresa como alcalinidad carbonato. La alcalinidad se refiere a la capacidad buffer y la basicidad y acidez, al valor del pH.

Figura No.1 Relación entre dióxido de carbono, el bicarbonato y el pH del agua



Fuente: Roldán 1988

Los cambios en el pH, están relacionados con la concentración del sustrato del fondo que es mayor en época seca y el tipo de sólidos disueltos en el agua. (Roldan, 1988)

El pH caracteriza la acidez del medio. En agua dulce se sitúa generalmente entre 7 y 8. Tiene una incidencia biológica cuando es superior a 9 ó inferior a 5. El pH influye sobre la forma de los productos químicos (dependiendo de su pKa) (Gaujous 1995).

La temperatura es un parámetro ecológico importante, ya que todos los seres vivos tenemos temperaturas óptimas de desarrollo. Por ejemplo, un incremento en la temperatura puede perturbar el medio (contaminación térmica), pero a la misma vez puede favorecer la productividad biológica. La temperatura tiene también una influencia sobre la densidad del agua (Gaujous 1995). La radiación solar no solamente determina la calidad y cantidad de luz, sino que también afecta la temperatura del agua. Los organismos que habitan en ecosistemas con zonas templadas tropicales, como es el caso del río Usumacinta no presentan cambios drásticos en las temperaturas, por lo que los organismos no tolerarían cualquier cambio en la temperatura lo cual podría ser fatal para sus supervivencia.

Los organismos que toleran cambios de temperatura estrechos se denominan *estenotermos*; en cambio los que soportan cambios más amplios se llaman *euritermos*. (Roldan, 1988). Esto nos pone en alerta en los cambios que están ocurriendo por el calentamiento global, que pone en riesgo los organismos que habitan en esta cuenca, por lo que monitorear este parámetro es de suma importancia para evidenciar estos cambios. Otra

manera en la que se puede afectar la temperatura del cuerpo de agua, es de manera antropogénica, por medio del vertimiento a las corrientes superficiales de plantas de enfriamiento o cualquier tipo de industria que descargue aguas a temperaturas mayores que las que presenta el cuerpo de agua.

La conductividad eléctrica mide la cantidad total de iones presentes en el agua y, por ende, se relaciona con la salinidad. La conductividad se define como el recíproco de la resistencia medida entre dos electrodos de 1.0 cm² y distanciados entre sí por 1.0cm. (Roldan, 1988). Los valores se expresan en micro siemens por cm ($\mu\text{s/cm}$). Caracteriza la mineralización del agua, la cantidad de sales minerales. En agua de superficie, la conductividad es generalmente inferior a 1500 $\mu\text{s/cm}$. Un aumento de la conductividad causa una perturbación del medio ya que influye sobre la presión osmótica y en consecuencia sobre los organismos acuáticos sensibles. Está relacionada con la salinidad que mide la cantidad de sal en gramo, por kilogramo de agua. La conductividad tiene también un límite al consumo del agua (1,5 g/l) (Gaujous 1995).

La salinidad en el agua, es la cantidad de residuo sólido por unidad de peso de agua. La mayor parte del residuo suele ser inorgánico; La salinidad es una condición ambiental que influye en la distribución, la abundancia y el desarrollo de los organismos. Distintas especies del mismo género toleran de forma diferente la concentración de sal. La salinidad, afecta a varios parámetros presentes en el agua, uno de ellos es el oxígeno que se ve afectado por un incremento en su salinidad, a 0°C el agua dulce contiene aproximadamente 2.8 mg/l más que el agua de mar, a 15°C la diferencia es de aproximadamente de 2.1 mg/l. Este factor es muy importante de tomarlo en cuenta cuando se hacen los análisis de calidad de agua no debe de faltar, ya que como es el caso del río Usumacinta, un incremento de la salinidad puede afectar y crear problemas a los organismos que sufrirían por déficit de oxígeno y además por osmorregulación, se entiende por osmorregulación, la capacidad de obtener en el interior de un cuerpo óptimamente frente a un causante de variación osmótica. La osmorregulación proporciona una cantidad apropiada de agua en el interior del cuerpo, sales y moléculas de nutrientes necesarios y la expulsión de los tóxicos del medio celular. En los peces, anfibios e invertebrados acuáticos, la osmorregulación se efectúa básicamente por las branquias, intestinos y el tegumento. En peces de agua dulce, principalmente mediante las branquias. A través de éstas se lleva a cabo el transporte iónico, la eliminación de residuos nitrogenados y el equilibrio ácido-base.

Los Sólidos Disueltos Totales (TDS) se refieren a la concentración total de minerales presentes en las aguas naturales disueltos en el agua, y la salinidad a la concentración total de los componentes iónicos. La conductividad y la salinidad están estrechamente relacionadas, lo que significa que a mayor cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será la conductividad eléctrica. Hay que recordar que los mismos iones que existen en la tierra también se encuentran en el agua; por ello, la composición química de un cuerpo de agua refleja la naturaleza geoquímica del terreno que la contiene.

La temperatura del agua afecta a la conductividad eléctrica de forma que su valor aumenta de 2% a 3 % por grado Celsius (Roldan, 1988). Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua. Aguas para el consumo humano, con un alto contenido de sólidos disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y

pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor. Por esta razón, se ha establecido un límite de 500 mg/l de sólidos disueltos para el agua potable (COGUANOR 2000). La cantidad de sólidos disueltos influye también sobre procesos biológicos tal como el desarrollo de la flora acuática.

La medida del oxígeno disuelto es también esencial. Este es uno de los parámetros e indicador más importante de la calidad de agua. Los valores normales varían entre 7.0 y 8.0 mg/l. La fuente principal de oxígeno es el aire, el cual se difunde rápidamente en el agua por la turbulencia en los ríos. (Roldan, 1988). Permite la respiración de los seres vivos y degradación de la materia orgánica, cuando está ausente deja solo algunos microorganismos sobrevivir (Gaujous 1995).

La dureza total del agua está condicionada por su contenido en sales de los metales alcalinotérreos calcio, magnesio, estroncio y bario (formadores de dureza). Se define la dureza como el contenido de un agua en iones calcio Ca^{2+} , e iones magnesio Mg^{2+} . La dureza del agua tiene una distinción compartida entre *dureza temporal* (o *de carbonatos*) y *dureza permanente* (o *de no-carbonatos*). La *dureza temporal* se produce por carbonatos y puede ser eliminada al hervir el agua o por la adición de cal (óxido de calcio). Mientras que la *dureza permanente*, no puede ser eliminada al hervir el agua, es usualmente causada por la presencia del sulfato de calcio y magnesio o cloruros en el agua, que son más solubles mientras sube la temperatura. (Gaujous, 1995)

La turbidez tiene un papel ecológico complejo. Influye sobre la cantidad de la luz, el poder absorbente y la sedimentación. La turbidez varía con la cantidad de materia en suspensión en el agua. En muchos casos es una señal de contaminación, pero puede ser también natural, provocada por la época lluviosa, o por el plancton, etc. La turbiedad define el grado de opacidad producido en el agua por la materia particulada en suspensión. Debido a que los materiales que provocan la turbidez son los responsables del color, la concentración de las sustancias determina la transparencia del agua, puesto que limita el paso de la luz a través de ella. La turbiedad originada por materiales externos al ecosistema se denomina *alóctona* y la producida dentro del mismo cuerpo se denomina *autóctona*. (Roldan, 1988). En el río Usumacinta las corrientes de agua son muy fuertes, además de que en las orillas hay deforestación y cambios de uso de suelo, lo que provocan sedimentos sueltos que llegan a través de las precipitaciones fuertes al cuerpo de agua y afectan la turbidez. La turbidez es una medida visual de contaminación. (Roldan, 1988).

El color de un cuerpo de agua, lo constituye la luz no absorbida. En el caso del agua, existe gran variedad de colores que van desde el azul hasta el rojo, dependiendo de las sustancias químicas disueltas, de las suspendidas o del plancton en ella existente. Entre las sustancias disueltas están las proteínas, las grasas, los carbohidratos y las sustancias derivadas de estos, como los taninos. Las algas verde azules dan un matiz verdoso al agua y las diatomeas dan un color pardo amarillento.

Los compuestos húmicos originados por descomposición de material alóctona dan un color amarillento al cuerpo de agua. El color verdoso o específico es debido a las sustancias en solución o materiales en estado coloidal.

El color aparente del agua se debe al resultado de la acción de la luz sobre los materiales particulados suspendidos, junto con otros factores tales como el tipo de fondo o reflexión del cielo. Para conocer el color verdadero se lleva un proceso de centrifugación y filtración para liberarla del color aparente.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es muy utilizado para estimar la cantidad de materia orgánica presente en las aguas. Es una medida del oxígeno equivalente de los materiales presentes en las aguas, que son oxidados por la acción de un fuerte oxidante químico (American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation 1995).

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en una muestra de agua. La prueba de la DBO es un procedimiento experimental, tipo bioensayo, que mide el oxígeno requerido por los organismos en sus procesos metabólicos al consumir la materia orgánica presente en las aguas (American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation 1995).

Efecto de la materia orgánica disuelta, las aguas naturales no contaminadas poseen por lo regular bajas concentraciones de materia orgánica disuelta (menos de 2mg/L). La contaminación por desechos domésticos o industriales puede agotar el oxígeno del agua, pues la materia orgánica lo requiere para su descomposición. La DBO, es una medida de valoración de la cantidad de materia orgánica que se encuentra en un cuerpo de agua. El exceso de materia orgánica agota el oxígeno en el agua; bajo estas condiciones, el agua tienen la apariencia de un color turbio grisáceo y olores característicos de huevos podridos (ácido sulfhídrico). Obviamente no encontraremos una diversidad de especies en este tipo de lugares, únicamente los que se pueden adaptar a estas condiciones. (Roldan, 1988)

II.1.6 Nutrientes

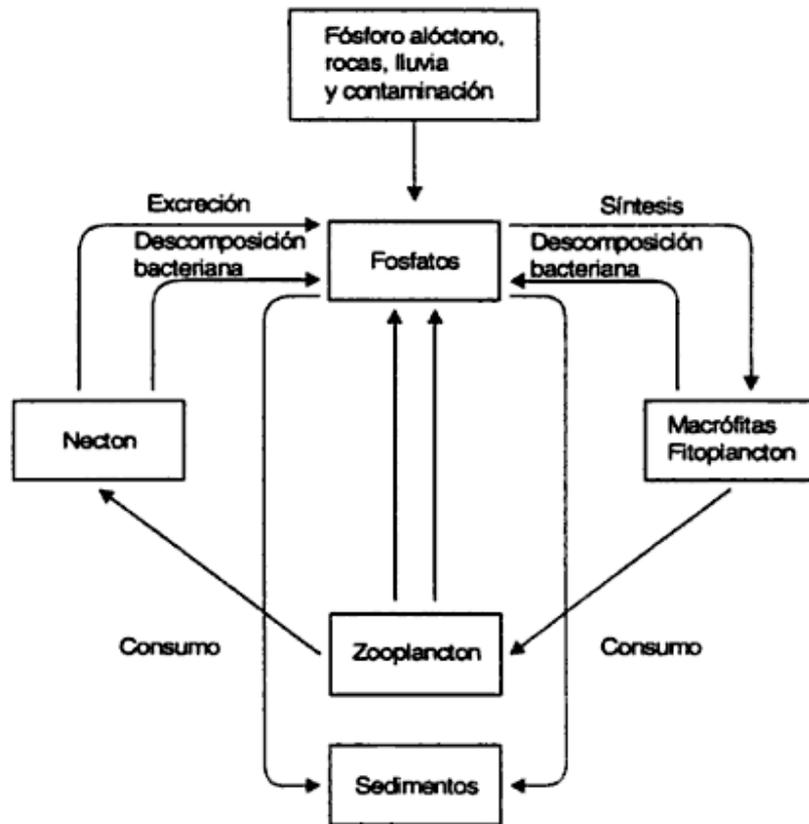
La fuente principal de nitrógeno es el aire, el cual representa el 79% del volumen. El nitrógeno hace parte fundamental de las proteínas, de ahí su importancia para los seres vivos. El nitrógeno atmosférico llega al agua a través de las descargas eléctricas y por la acción reductora de ciertas bacterias. Las plantas y las algas lo toman como nitratos durante la síntesis de proteínas y lo incorporan en sus tejidos. Cuando mueren los organismos, las proteínas se descomponen primero en amonio, (el que es analizado y cuantificado en este estudio), luego en nitritos y por último en nitratos. En cada una de estas reacciones interviene un grupo específico de bacterias. Las plantas y las algas lo toman como nitratos durante la síntesis de proteínas y lo incorporan en sus tejidos. Cuando mueren los organismos, las proteínas se descomponen primero en amonio, luego en nitritos y por último en nitratos. En cada una de estas reacciones interviene un grupo específico de bacterias.

En un medio acuático natural se espera encontrar la mayoría del nitrógeno como nitratos, en lugar de la forma oxidada. La presencia de nitritos y de amonio, es un indicio de reciente contaminación orgánica o de que existen procesos reductivos predominantes. (Roldan, 1988)

El nitrógeno puede ser tomado por algas y plantas en tres formas, como nitratos, como ion amonio y como nitrógeno molecular. Las dos primeras corresponden a la forma como la toman la mayoría de las plantas y algas; la tercera es propia de los procariotas (bacterias y algas cianofíceas). Una vez que los procariotas han sintetizado el amoniaco a partir del nitrógeno atmosférico, el NH_3 puede convertirse en nitritos o nitratos. Los nitratos y el amoniaco pueden ser tomados por otras plantas, pero después de la asimilación, las enzimas reducen el nitrato a NH_3 , el cual puede ser luego aminado. El amoniaco es la base para la formación de los ácidos aspártico y glutámico, aminoácidos a partir de los cuales se forman los demás compuestos nitrogenados orgánicos. En otras palabras es el punto de partida para la síntesis de proteína.

La contaminación orgánica y la agricultura son las fuentes principales de nitrógeno en el agua. Un exceso de nitrógeno desencadena un proceso de eutrofización, el cual se manifiesta en el crecimiento masivo de algas y plantas acuáticas. Esto se hizo evidente en el caso de Guatemala en el lago de Amatitlán. Bajo estas condiciones, el ecosistema sufre cambios drásticos en los ciclos día-noche, y se provoca una fuerte reducción en la diversidad de especies. Una vez activados estos procesos, su corrección se torna difícil.

Figura No. 3 Ciclo del Fosforo



Fuente: Roldan 1988

El nitrógeno y el fosfato son esenciales para el crecimiento de flora acuática pero cuando hay mucha flora acuática, estas se descomponen y empieza un ciclo de contaminación. Los fosfatos pueden ser producto de contaminantes, tales como fertilizantes; pero pueden ser utilizados exitosamente como indicadores de contaminación fecal o por industria química. La presencia de nitrógeno de amoníaco es también una señal de contaminación orgánica o por fertilizantes. Tiene un efecto visible que es el aumento de la cantidad de plancton, pero es también tóxico para los peces (Gaujous 1995).

El vertimiento de las aguas residuales domésticas y el uso excesivo de abonos en la agricultura son las fuentes principales de fósforo y nitrógeno, por tanto, de eutrofización de los ecosistemas acuáticos. En esencia, los efectos producidos por estos dos nutrientes son similares y crean condiciones adversas para la vida de la mayoría de los organismos acuáticos (Roldan 1988).

II.1.7 Características Bacteriológicas

Son aquellas características relativas a la presencia de bacterias, que determinan su calidad. Existen dos grupos principales que se utilizan como indicadores de calidad de agua y estos son: Coliformes Totales y Coliformes Fecales.

El origen de los Coliformes es principalmente del intestino de los humanos y de los animales de sangre caliente, pero también están ampliamente distribuidas en la naturaleza. Los Coliformes totales incluyen además de los que se introducen al ambiente por las heces de humanos y animales, a otros que coliformes que son de vida libre.

Entre las coliformes fecales únicamente se incluye a las coliformes de origen intestinal y principalmente a *Escherichia coli*. Tradicionalmente se los ha considerado como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua destinada al consumo humano, ya que en los medios acuáticos, los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es principalmente fecal. Por tanto, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura. Asimismo, su número en el agua es proporcional al grado de contaminación fecal; mientras más coliformes se aíslan del agua, mayor es la gravedad de la descarga de heces. La *Escherichia coli* es el indicador más preciso de contaminación fecal (COGUANOR 2000).

II.1.8 Indicadores Biológicos

Las especies indicadoras son aquellos organismos que ayudan a descifrar cualquier fenómeno o acontecimiento actual (o pasado) relacionado con el estudio de un ambiente. Las especies tienen requerimientos físicos, químicos, de estructura del hábitat y de relaciones con otras especies. A cada especie o población le corresponden determinados límites de estas condiciones ambientales entre las cuales los organismos pueden sobrevivir (límites máximos), crecer (intermedios) y reproducirse (límites más estrechos). Las especies bioindicadoras deben ser, en general, abundantes, muy sensibles al medio de vida, fáciles y rápidas de identificar, bien estudiadas en su ecología y ciclo biológico, y con poca movilidad.

La utilización de organismos vivos como indicadores de contaminación es una técnica bien reconocida. La composición de una comunidad de organismos refleja la integración de las características del ambiente sobre cierto tiempo, y por eso revela factores que operan de vez en cuando y pueden no registrarse en uno o varios análisis repetidos. La presencia de ciertas especies es una indicación relativamente fidedigna de que durante su ciclo de vida la polución no excedió un umbral.

Muchos organismos, sumamente sensibles a su medio ambiente, cambian aspectos de su forma, desaparecen o, por el contrario, prosperan cuando su medio se contamina. Cada etapa de autodepuración en un río que sufrió una descarga de materia orgánica se caracteriza por la presencia de determinados indicadores. Según su sensibilidad a la polución orgánica se clasificaron especies como intolerantes, facultativas, o tolerantes.

Los resultados del estudio de las especies indicadoras de niveles de calidad de agua son más inmediatos, pero requieren un profundo conocimiento para identificar los organismos y sólo son adecuados para las condiciones ecológicas y características regionales; mientras que los resultados numéricos de los estudios de estructura de comunidades, si bien requieren su interpretación ecológica, demandando más tiempo, son independientes de las características geográficas regionales y tienen aplicabilidad aún con informaciones sistemáticas y ecológicas deficientes (Puig s.f.)

II.1.9 Uso de Macroinvertebrados como indicadores de calidad de Agua.

De forma tradicional la determinación de la calidad del agua se ha fundamentado en análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, actualmente se ha trabajado con bioindicadores como complemento. Los organismos empleados como indicadores biológicos son aquellas especies que por su ausencia o presencia, indican la abundancia o la existencia de un factor crítico determinado o señalan el impacto de un contaminante presente en ese medio.

El uso de macroinvertebrados como componentes del monitoreo de los cuerpos de agua se ha utilizado en varios países, tales como Alemania, España, Estados Unidos, Colombia, etc. (Roldan, 2003). Estos estudios se utilizan como complemento a los análisis fisicoquímicos y nos brindan una mejor visión de cómo se encuentra el cuerpo de agua que se está estudiando a través del tiempo.

Dependiendo del grado de conocimiento que se tenga del ecosistema acuático, se podrá determinar el comportamiento de la fauna acuática el cual reflejará el estado de salud real del cuerpo de agua a través del tiempo. Por lo que esta investigación presenta uno de los primeros intentos de conocer la fauna de macroinvertebrados en Guatemala, especialmente del Río Usumacinta. Por lo tanto, los resultados obtenidos no pueden ser definitivos, ya que se basan en índices modificados en otros países, por ejemplo BMWP, modificado en Colombia (Roldan, 2003), IBMWP, (Iberian Biological Monitoring Working Party), etc. Pero los datos se podrán utilizar en un futuro como la base para conocer mejor la fauna acuática de este río.

II.1.10 Índice de Calidad de Agua ICA

Los índices pueden generarse utilizando ciertos elementos básicos en función de los usos del agua, el ICA, define la aptitud del cuerpo de agua respecto a los usos prioritarios que este pueda tener. Estos índices son llamados de “Usos Específicos”.

El índice de calidad de agua propuesto por Brown es una versión modificada del “WQI” que fue desarrollada por la Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF), que en un esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos en varios lugares del país, creó y diseñó un índice estándar llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como: Índice de Calidad de Agua (ICA)

Este índice es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existentes siendo diseñado en 1970, y puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río además de compararlo con la calidad de agua de diferentes ríos. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no.

Para determinar el valor del “ICA” en un punto deseado es necesario que se tengan las mediciones de los nueve parámetros implicados en el cálculo del Índice los cuales son: Coliformes Fecales, pH, (DBO5), Nitratos, Fosfatos, Cambio de la Temperatura, Turbidez, Sólidos disueltos Totales y Oxígeno disuelto.

Para desarrollar el “ICA”, la NSF seleccionaron 142 personas quienes representaron un amplio rango a nivel local, estatal y nacional en los Estados Unidos. El proceso para el desarrollo del ICA, se llevó a cabo en las siguientes etapas:

1. Identificación de factores claves (parámetros biológicos, químicos o físicos) que pueden utilizarse como indicadores de la calidad de agua, basados en el criterio profesional colectivo de personas con conocimientos relativos al medio acuático o al foco de contaminación. Luego se redujo el número hasta llegar a nueve parámetros, mencionados anteriormente.
2. Asignación de pesos relativos o pesos de importancia del parámetro (w_i) correspondientes a los factores de contaminación en aguas. En esta fase se corre el riesgo de dar subjetividad en la evaluación, pero por otro lado sugiere que es importante una asignación racional y unificada de dichos pesos de acuerdo al uso del agua y de la importancia de los parámetros en relación al riesgo que implique el aumento o disminución de su concentración. Hay cuatro fases para la asignación de pesos:
 - Panel de expertos para determinar los pesos relativos
 - Recolección de ideas generadas por los participantes en un gráfico, mediante una discusión en serie.
 - Discusión de cada idea recogida para proceder a su clarificación y evaluación.
 - Votación independiente sobre: la prioridad de las ideas, es decir los pesos relativos, la decisión del grupo se determina mediante orientación matemática.

Los datos se promediaron para dar origen a curvas que reflejan el criterio profesional de respuestas en una escala (Subi) 0-100. Verificación en campo de su aplicabilidad. Implica recolección de datos y su comprobación.

II.1.11 Estimación del Índice de Calidad de Agua General “ICA”

El “ICA” adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación el curso de agua en estudio. Posteriormente al cálculo el índice de calidad de agua de tipo “General” se clasifica la calidad del agua con base al siguiente cuadro.

Cuadro No. 2 Clasificación del “ICA” propuesto por Brown.

calidad de agua	Color	Valor
excelente	Azul	91-100
buena	Verde	71-90
regular	Naranja	51-70
mala	Roja	26-50
pésima	Gris	0-25

Fuente: SNET 2002

Las aguas con “ICA” mayor que 90 son capaces de poseer una alta diversidad de la vida acuática. Además, el agua también sería conveniente para todas las formas de contacto directo con ella.

Las aguas con un “ICA” de categoría “Regular” tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de las algas.

Las aguas con un “ICA” de categoría “Mala” pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación.

Las aguas con un “ICA” que caen en categoría “Pésima” pueden solamente poder apoyar un número limitado de las formas acuáticas de la vida, presentan problemas abundantes y normalmente no sería considerado aceptable para las actividades que implican el contacto directo con ella, tal como natación (SNET, s.f.).

Para determinar el valor “ICA” en un punto deseado es necesario que se tengan las mediciones de los 9 parámetros implicados en el cálculo del Índice, cada uno de estos parámetros tiene un peso específico que ayudan a que se refleje con mayor precisión un cambio en la calidad.

Cuadro No. 3 Pesos relativos para cada parámetro del “ICA”

i.	Subi	Wi
1	Oxígeno disuelto	0.17
2	Coliformes fecales	0.15
3	Ph	0.12
4	Demanda bioquímica de oxígeno	0.10
5	Cambio de temperatura	0.10
6	Fosfato total	0.10
7	Nitratos	0.10
8	Turbidez	0.08
9	Sólidos Disueltos Totales	0.08

Fuente: SNET 2002

Los pasos a seguir para calcular los (Subi) del “ICA” son:

1. Se busca en las tablas de valoración de la calidad de agua en función a cada parámetro el resultado obtenido de los análisis y se procede a elevarlo al peso wi.
2. Los datos obtenidos se incorporan en el Cuadro No.4. Para obtener el valor del “ICA” en el punto de muestreo deseado.

Cuadro No. 4 Hoja de cálculo del “ICA”

Parámetro	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
Oxígeno disuelto		% saturación		0.17	
Coliformes fecales		NMP /100mL		0.15	
Ph		Unidades pH		0.12	
DBO5		Mg/L		0.10	
Cambio de temperatura		°C		0.10	
Fosfato total		Mg/L		0.10	
Nitratos		Mg/L		0.10	
Turbidez		FAU		0.08	
Sólidos Disueltos Totales		Mg/L		0.08	
Valor del “ICA” Σ					

Fuente: SNET 2002

II.1.12 Índices de Calidad Ecológica

El ecosistema acuático es el resultado de la interacción de los organismos que allí viven con la calidad fisicoquímica del agua, la atmosfera y el medio terrestre que lo rodea. El agua, el compuesto más abundante sobre la tierra, posee características físicas y químicas que la hacen fundamental y única para el desarrollo de la vida tal como se conoce en el planeta. Cualquier alteración que el hombre cause en ella, repercute en la estructura de las comunidades que la habitan (Roldan 1988).

En este estudio utilizamos los macro invertebrados como índices de calidad ecológica, los macroinvertebrados son los organismos que se han utilizado en mayor proporción, para todo lo relacionado con los niveles de contaminación de aguas ya que se caracterizan por ser sedentarios, lo que permite que estos se vean directamente afectados por cualquier tipo de sustancia que perturbe la integridad de su nicho, "tienen un ciclo de vida largo en comparación con otros organismos, lo que nos permite estudiar los cambios acontecidos durante largos periodos de tiempo", y además, por su tamaño, superior a 0.5 mm de longitud, se tornan como organismos de fácil recolección y manejo. El prefijo "macro" denota que esos organismos pueden ser recolectados por redes de tamaños entre 200–500 mm (Roldan, 1988).

Se debe tener en cuenta también que los macro invertebrados rompen, transportan y mezclan el suelo al construir galerías, nidos, sitios de alimentación, compartimientos (Villani 1999); afectan procesos de manera directa (incorporación y redistribución de varios materiales) o indirecta (formación de comunidades microbiales, transporte de propágulos, antibiosis o reducción selectiva de la viabilidad, etc.). Sin embargo, la contribución de la macrofauna en el ciclo del carbono y nitrógeno no es tan alta debido a los altos tiempos de consumo y generación de sustancias con elevada relación: carbono nitrógeno (Wolters 2000). Lo que hace de estos organismos, engranes relevantes en la ecología de los sistemas acuícolas.

Las respuestas de las comunidades de estos organismos, a las perturbaciones ambientales, son útiles para determinar y medir el impacto de los diferentes modos de contaminación, residuos municipales, agrícolas, industriales e impactos de otros usos del suelo sobre los cursos de aguas superficiales. Estos estudios suponen una herramienta adecuada para el establecimiento de caudales ecológicos. Con la realización de estos estudios, se llevan a cabo Índices Bióticos, basados en la ordenación y ponderación de las especies de macro invertebrados presentes en las aguas según su tolerancia a la contaminación orgánica. Entre los existentes destacamos el IBGN, índice biológico general normalizado, y el BMWP, biological monitoring working party." (Grupo de Tratamiento de Aguas Residuales Universidad de Sevilla, 2009). Esto hace necesario, la clara tipificación de cada una de las familias, según su distribución y caracteres biológicos que determinen las distintas proporciones en que se encuentren según el grado de perturbación del hábitat.

Además, se debe tener en cuenta factores del agua, en los sitios de muestreo, tales como las siguientes variables: (a) parámetros fisicoquímicos de la columna de agua: pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, temperatura y oxígeno disuelto; (b) Parámetros físicos del río: orden del río, pendiente, ancho del río, profundidad promedio, velocidad media, tipología de la vegetación ribereña, % de sustrato presente (Oyanedel, 2008). Hay que recordar que la presencia de macro invertebrados varía significativamente dependiendo del uso del suelo y la estabilidad de las condiciones ambientales del ecosistema, particularmente insolación (temperatura), humedad relativa, arquitectura de la vegetación (estratificación) y aporte de la fitomasa en degradación.

De acuerdo con el panorama ecológico en el que se aborda el estudio de los macro invertebrados acuáticos hay grupos (órdenes) que son claves y de fácil recolecta en el momento de realizar la caracterización de los ecosistemas de agua dulce; los ephemeropteros, trichopteros y plecopteros (ETP) reúnen esta característica y además son un grupo bioindicador por excelencia de aguas limpias o poco intervenidas, ya que tienen una distribución espacio temporal relativamente alta. (Roldan 1992)

Para el caso de los Ephemeropteros, los adultos son delicados con alas anteriores triangulares y las alas posteriores reducidas o ausentes. Las antenas son cortas y semejantes a pelos y en el abdomen llevan 2 a 3 filamentos largos. A todos los adultos les faltan las piezas bucales funcionales. Los machos tienen ojos compuestos que a veces están completamente divididos y patas anteriores muy alargadas, las hembras tienen ojos más pequeños y las patas anteriores más cortas.

Los efemerópteros completan su desarrollo en un año pudiendo incluso darse varias generaciones anuales, pero algunas familias como los Ephemeridos, pueden tardar en completar su desarrollo de 2 a 3 años. Las pterotecas de color oscuro son características en ninfas maduras debido a que en su interior se encuentran alas ya perfectamente conformadas, lo que indica que la ninfa está lista para efectuar la muda subimagonal. Esto se efectúa en la superficie del agua, de modo que el exoesqueleto queda flotando, el subimago tiene un vuelo torpe y se posa en las cercanías del punto en el que emergió.

Para realizar la muda imaginal (24 horas después de la emergencia del subimago), los adultos vuelan al atardecer reuniéndose en enjambres para realizar una danza que consiste en un vuelo en vaivén vertical, las hembras son atraídas hacia el enjambre de danzantes, sujetadas por el macho y realizándose la copula generalmente en vuelo (Reinoso 1998).

Los efemerópteros presentan 3 estadios de desarrollo; La ninfa es acuática presenta cabeza prognata e hipognata con ojos bien desarrollados y antenas de longitud variable, tórax con 3 segmentos bien visibles, tarsos de las patas sin artejos móviles y terminados en una única uña; a lo largo del desarrollo aparecen en los márgenes posteriores del meso y metanoto, las pterotecas o almohadillas alares, el abdomen terminado en 3 cercos caudales (Reinoso 1998).

Los efemerópteros son insectos relativamente antiguos, viven en aguas corrientes bien oxigenadas. Las ninfas frecuentan variadas zonas del río: las orillas, algunas anidan en el barro y otras se ocultan bajo las rocas, algunos géneros se refugian entre las plantas acuáticas y son activos nadadores, mientras que otros viven en las corrientes, fuentes o cerca de los saltos de agua, otras formas pueden hallarse entre la materia vegetal entre la putrefacción de los fondos del embalse, y canales (Richards & Davies 1984).

Las familias más usuales son:

Familia Baetidae: Las ninfas presentan un tamaño de 4.5-8.0 mm. Tienen ocelos laterales posteriores a los extremos de las ramas laterales de la sutura epicraneal, con antenas generalmente largas, dos o más veces el ancho de la cabeza. Presenta branquias en los segmentos 1-5, 1-7, o 2-7. Los ángulos posterolaterales de los segmentos abdominales no están expandidos en proyecciones laterales planas, o si están presentes, poco desarrolladas. Uñas tarsales con 10 y hasta 40 o más dienteclillos, en *Camelobaetidius* uñas terminadas en forma de espátula. Branquias abdominales ovaladas o acorazonadas, lamelas simples, dobles o triples, nunca terminando en filamentos; márgenes interiores de las branquias usualmente enteras, raramente divididos (Domínguez *et al.*, 2001; Roldán 1982).

Familia Leptohyphidae: Ninfas con tamaño variable de 3.0-5.0 mm. Branquias en el segundo segmento abdominal operculadas triangulares, semitriangulares u ovaladas y no se juntan en la mitad del abdomen, lameladas en los segmentos 3 a 6 simples o bilobuladas sin márgenes. Presentan en el primer par de patas una corona de espinas. Uñas tarsales con 3-9 dienteclillos (Roldán, 1982; Domínguez *et al.* 2001).

Familia Leptophlebiidae: Ninfas de forma y tamaño variable 6.0-10.0 mm. Presentan clípeo fusionado a la frente, cabeza usualmente prognata y branquias abdominales variadas, localizadas en los segmentos 2 a 7, bifurcadas compuestas por una lámina ventral y una dorsal, en penachos con todos los márgenes orlados o terminados en filamentos (Roldán, 1982; Domínguez *et al.*, 2001).

Familia Caenidae: Las Branquias en el segundo segmento abdominal opercular, cuadrangular, que se juntan en la línea media dorsal del abdomen, branquias en el primer segmento presentes, filiformes y del tercer al séptimo segmento con márgenes que presentan flecos. Patas anteriores con pelos (Roldán, 1982; Domínguez *et al.*, 2001).

Los Tricópteros en la totalidad de sus especies son estrictamente acuáticos y de ello depende su desarrollo. El orden está relacionado con los lepidópteros y los adultos parecen polillas enanas; pero, sus alas están cubiertas de pelos en lugar de escamas y sus piezas bucales están reducidas. El tamaño varía entre 2 y 50 mm (adultos), y la mayoría son de colores oscuros, aunque las especies de algunos géneros poseen colores claros y pueden presentar distintos patrones de manchas.

Las larvas viven en diversos ambientes acuáticos, la gran mayoría de las especies habita en ríos y quebradas de aguas limpias y bien oxigenadas. Con ayuda de una seda que producen en una glándula bucal, construyen refugios y estuches o casitas portátiles, los cuales les sirven de camuflaje y protección.

En algunas familias, la seda es utilizada para construir pequeñas redes de captura, ya sea para capturar presas o bien para filtrar del agua la materia orgánica en suspensión. Esta utilización de seda hace posible que existe una extraordinaria diversidad ecológica entre las especies de tricópteros (Mackay y Wiggins 1979). El desarrollo larval puede durar entre

varios meses hasta años, dependiendo de la especie y también de los factores ambientales (Resh y Rosenberg 1984) y en ambientes tropicales existen varias generaciones por año. El estadio de la pupa dura alrededor de dos semanas y se desarrolla también dentro del agua. En los ambientes acuáticos, especialmente ríos y quebradas, los tricópteros juegan un papel importante, tanto en las cadenas alimenticias, como en el reciclaje de nutrientes. Debido a su gran diversidad y el hecho que las larvas poseen distintos rangos de tolerancias, según la familia o el género al que pertenecen, son muy útiles como bioindicadores de la calidad de agua y la salud del ecosistema. Estos estudios de biomonitoreo, utilizando los insectos acuáticos como indicadores, han cobrado mucha importancia durante las últimas dos décadas.

Los Plecóptero, se encuentran generalmente en aguas rápidas, turbulentas, frías y altamente oxigenadas, es por esta razón que se consideran excelentes bioindicadores de calidad de agua (McCafferty, 1981; Romero, 2001).

Los plecópteros son insectos llamados relictos Prehistóricos, también se les conoce como moscas de las piedras. Tienen el ciclo de vida simple que en algunas especies, puede llegar a 3 años, los adultos se caracterizan, por plegar sus alas sobre el abdomen como lo hacen las cucarachas. (McCafferty, 1981).

Los Plecópteros, constituyen un grupo de insectos de pequeño o mediano tamaño con dos fases diferentes en su ciclo de vida (Tierno y Sánchez, 1999), el cuerpo es alargado y deprimido de longitud variada entre 4 y 50 mm, tienen el exoesqueleto blando y de colores generalmente crípticos tal vez para ocultarse mejor. Cabeza prognata con un par de ojos compuestos moderadamente desarrollados y casi siempre 3 ocelos, antenas largas y filiformes, mandíbulas reducidas, su reproducción es anfigónica. Son ovíparos y a veces vivíparos con desarrollo heterometábolo. Ninfas acuáticas y con una morfología semejante a los adultos (Romero, 2001; McCafferty 1981).

Los Plecópteros son un grupo de insectos acuáticos que se caracterizan por vivir principalmente en aguas frías, de corrientes rápidas, oxigenadas y oligotróficas; además son sensibles a cambios en las condiciones del hábitat y la calidad del agua (Tamaris, 2007). El orden Plecóptera en Colombia está representado por las familias Perlidae y Gripopterygidae, recientemente reportada en zona de alta montaña del departamento del Tolima (Barreto, 2005). Los plecópteros tienen un importante papel en los ecosistemas lóticos, ya que desempeñan un rol vital en la estructura y la producción secundaria de la comunidad de macro invertebrados bentónicos (Stewart & Stark, 2002)

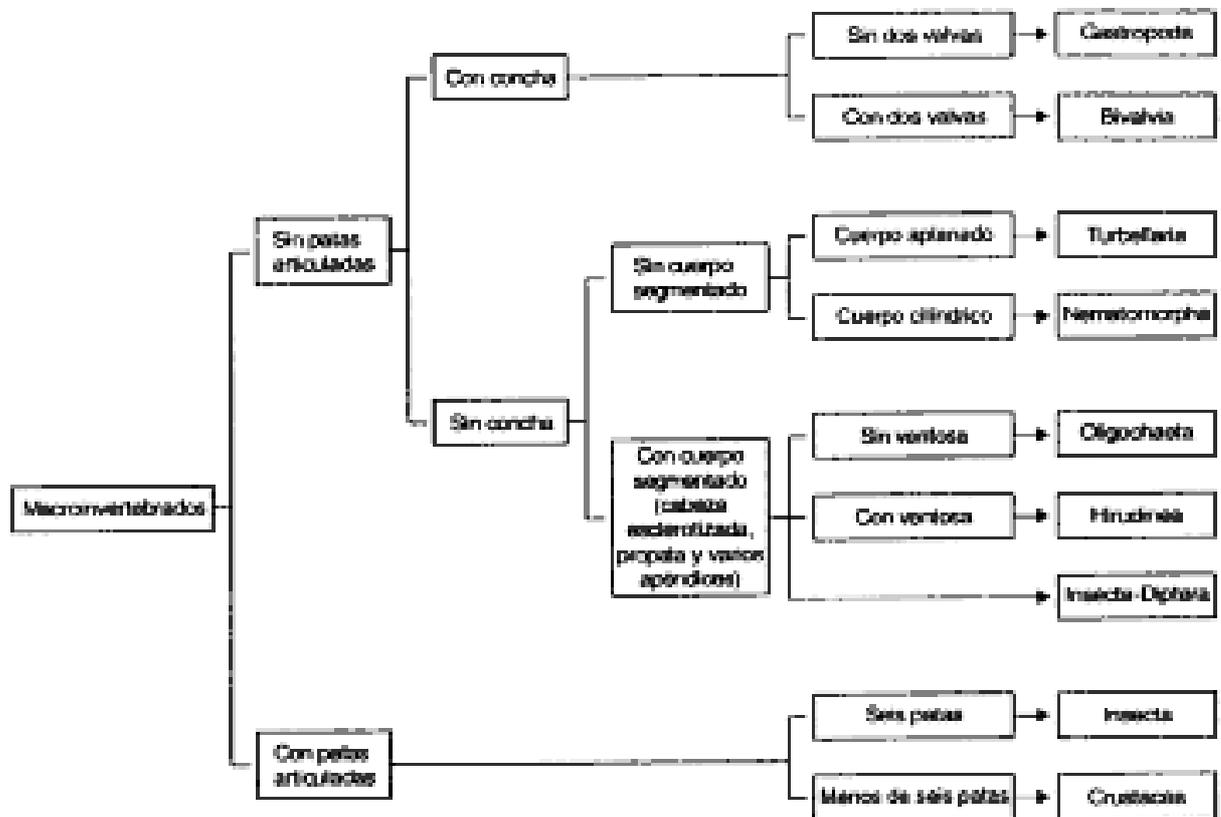
Gasterópoda, estos organismos en su mayoría son característicos de aguas poco contaminadas, aunque pueden presentarse algunos de aguas moderadamente contaminadas. Su apariencia es de una concha pequeñas de 2.0 mm de largo y 0.7 mm de alto; los lados de la concha son siempre paralelos y el margen posterior es más agudamente redondeado que el anterior; la protoconcha posee numerosas líneas radiales estrechamente espaciadas.

El uso de macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos es de larga tradición en los países desarrollados y son incorporados en todas las evaluaciones de calidad ecológica de sistemas fluviales. Los macro invertebrados acuáticos dan información

sobre lo que ha ocurrido en su entorno. Los índices bióticos es una forma de sistematizar la información recabada usando macro invertebrados acuáticos para saber cómo está el estado ecológico del cuerpo de agua al que pertenecen (Figuroa, et al. 2007).

Existen claves para la identificación de los grupos mayores de los macroinvertebrados usados en este proyecto, a continuación se ilustra en el Figura No. 4.

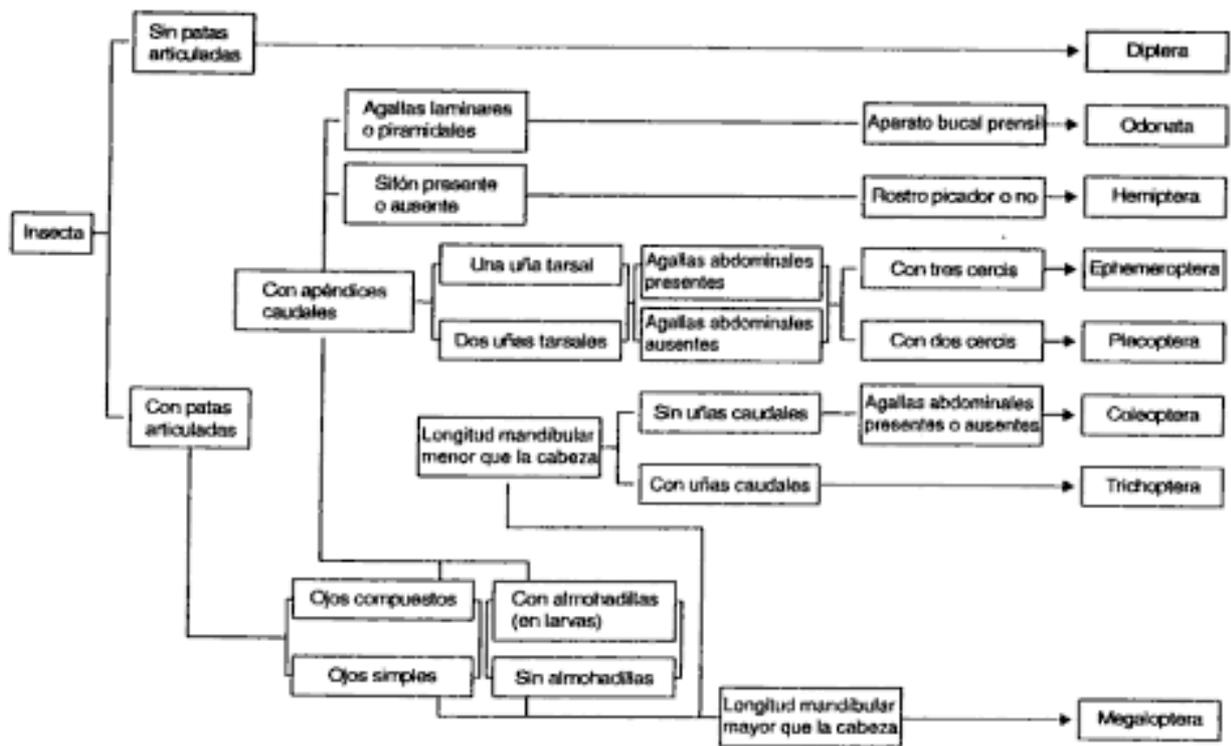
Figura No. 4 Clave para la identificación de los grupos mayores de macroinvertebrados acuáticos.



Fuente: Roldan 1988

A continuación se presenta una clave que se utiliza para facilitar la identificación de macroinvertebrados hasta los órdenes, con características generales y cada vez mas específicas.

Figura No. 5 Clave para la identificación de los órdenes de insectos acuáticos.



Fuente. Roldan 1988

II.1.13 Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party)

En Gran Bretaña, se ordenaron las familias de macroinvertebrados acuáticos en 10 grupos siguiendo un gradiente de menor a mayor tolerancia a la contaminación. A cada familia le hicieron corresponder una puntuación que oscila entre 10 y 1. Con este sistema de puntuación es posible comparar la situación relativa entre estaciones de muestreo.

El índice BMWP se basa en la existencia de una comunidad de macroinvertebrados que actúa como sensor ambiental, se ha de asegurar un muestreo representativo de la misma que incluya a representantes de las familias que habitan en el punto a estudiar. Para esto es necesario realizar un muestreo cualitativo con las redes en todos los microhábitats existentes en la zona: orillas con y sin vegetación, zonas de piedra, de arena, en corriente y sin ella, etc (Alba-Tercedor J 1996).

El cálculo del índice BMWP requiere de identificar los macroinvertebrados a nivel de familia, lo cual representa un considerable ahorro de trabajo taxonómico, y la posibilidad de ser utilizado por personal sin gran experiencia. Tras la identificación de los macroinvertebrados, se elabora una lista de inventario con las familias presentes. Se busca la puntuación que cada familia tiene y se obtiene el valor del índice BMWP (Anexo No. 10), por la suma total de la puntuación correspondiente a cada una de ellas (Alba-Tercedor J 1996).

II.1.14 Educación ambiental

Otro término más certero para educación ambiental (EA) es educación para el desarrollo sostenible, ya que indica claramente el propósito del esfuerzo educativo. La educación ambiental es un proceso que incluye un esfuerzo planificado para comunicar información y/o suministrar instrucción basado en los más recientes y válidos datos científicos. Es diseñado para apoyar el desarrollo de actitudes, opiniones y creencias que apoyen a su vez la adopción sostenida de conductas que guían tanto a los individuos como a grupos para que vivan sus vidas, crezcan sus cultivos, fabriquen sus productos, compren sus bienes materiales, desarrollen tecnológicamente, etc. de manera que minimicen lo más que sea posible la degradación del paisaje original o las características geológicas de una región, la contaminación del aire, agua o suelo, y las amenazas a la supervivencia de otras especies de plantas y animales.

En otras palabras, la educación ambiental es educación sobre cómo continuar el desarrollo al mismo tiempo que se protege y conserva los sistemas de soporte vital del planeta. Esta es la idea detrás del concepto de desarrollo sostenible (Smith-Sebasto 1997).

El propósito de la EA es dotar los individuos con: el conocimiento necesario para comprender los problemas ambientales, las oportunidades para desarrollar las habilidades necesarias para investigar y evaluar la información disponible sobre los problemas, las oportunidades para desarrollar las capacidades necesarias para ser activo e involucrarse en la resolución de problemas presentes y la prevención de problemas futuros y las oportunidades para desarrollar las habilidades para enseñar a otros a que hagan lo mismo (Smith-Sebasto 1997).

II.1.15 Diagnostico del Uso y Calidad del Agua y su relación con la prevalencia de enfermedades en las Comunidades de la Unión Maya Itzá (UMI) y Bethel, ubicadas en el Parque Nacional Sierra del Lacandón, Petén, Guatemala.

En el 2006 se realizó un diagnostico de la calidad de agua del Río Usumacinta durante los meses de Julio a Diciembre, este estudio fue llevado a cabo en dos comunidades, La Unión Maya Itzá, localizada a la orilla del arroyo Yaxchilán y Bethel ubicada a la orilla del Río Usumacinta.

Ese estudio fue únicamente una pre-análisis, un diagnostico de la situación del uso y del manejo del recurso acuático, el cual permitió generar información sobre calidad del agua y su relación con la prevalencia de enfermedades en dichas comunidades.

Para lograr obtener la mayor información posible, se realizaron encuestas a los pobladores de las comunidades, a los maestros y a los encargados de los centros de salud, esto con el fin de conocer las actividades económicas, enfermedades que prevalecen entre los pobladores relacionadas con el uso del agua y para tener una idea de la importancia del Río para los pobladores.

Al finalizar con las entrevistas se realizaron medidas de parámetros fisicoquímicos y de nutrientes en los cuerpos de agua, se colectaron macroinvertebrados y peces para evaluar los niveles de contaminación

Los resultados de las encuestas realizadas en las dos comunidades pusieron en evidencia los problemas de contaminación y el mal manejo del agua que tienen las comunidades. Los análisis de agua reflejaron que la contaminación se da principalmente por actividades antropogénicas, ya que utilizan el río como basurero y también debido al mal uso que los agricultores hacen de los herbicidas y fertilizantes.

Durante el análisis de los datos, no se logró realizar análisis estadísticos debido a que no se contaba con suficiente información, debido a que únicamente se muestreo una vez en los dos puntos.

A partir de las entrevistas y encuestas realizadas a los distintos sectores de las dos comunidades, se pudo establecer un diagnóstico general de las dos comunidades. La Unión Maya Itzá (UMI), se fundó en 1995 durante el retorno de los refugiados del conflicto armado interno. Tiene aproximadamente 899 habitantes, la agricultura es la principal actividad económica, siembran únicamente Maíz y Pepitoria. Poseen ocho pilas que distribuyen el agua desde el Arroyo Yaxchilán, esto para uso doméstico (lavar, cocinar y beber), la ropa la lavan directamente en el arroyo y al mismo tiempo se bañan en el lugar. En esta comunidad no existe un buen manejo de los desechos sólidos contaminantes.

La comunidad de Bethel se fundó mucho tiempo antes del conflicto armado interno, tiene aproximadamente 653 habitantes. Los habitantes poseen, en su mayoría, recipientes para la colecta de agua de lluvia proporcionados por la Cruz Roja. La mayoría de los habitantes utiliza el río para bañarse y lavar la ropa. En esta comunidad el río también es utilizado como basurero.

El estado de salud en estas comunidades, está relacionada con enfermedades relacionadas con el agua contaminada, pues se puede evidenciar problemas en la piel. Según datos del centro de salud el 70% de la población presenta este tipo de enfermedades. Durante el trabajo de campo en los dos puntos de muestreo se logró obtener información muy importante sobre las características del Río y el Arroyo Yaxchilán, se tomaron datos de turbidez, Ph, salinidad, conductividad, nitratos, nitritos, fosfatos etc.

La turbidez, únicamente fue medida en el Río Usumacinta, debido a que en el Arroyo Yaxchilán se logra ver el fondo del arroyo lo que demuestra que el grado de turbidez es muy buena. En el Río la turbidez varió de 0.12 a 0.2 m e indica una cantidad elevada de materia en suspensión.

La Temperatura del Río Usumacinta es menor que la del Arroyo Yaxchilán, esto puede ser debido a que el Río es muy caudaloso y la profundidad es mayor, en cambio el Arroyo Yaxchilán es muy poco profundo por lo que el agua puede calentarse con mayor rapidez. El Oxígeno Disuelto varía de un punto a otro, en el Usumacinta el dato fue de 11.485 mg/lit mientras que en Yaxchilán fue de 9.310 mg/lit, esto puede ser debido a la actividad fotosintética de varios organismos, como plantas acuáticas que son la fuente principal de oxígeno disuelto en el agua.

El Ph en el Río Usumacinta fue de 8.129 y para Yaxchilán de 7.782. La conductividad en Yaxchilán es de 534 $\mu\text{s/cm}$, esto puede ser debido a los desechos que los pobladores tiran al arroyo como jabones, fertilizantes, botellas de plástico, etc. En el Río Usumacinta las condiciones son muy similares, tienen un máximo de 269 $\mu\text{s/cm}$, esto también puede ser debido a la contaminación que existe en ese lugar pues no hay un buen manejo de los desechos y el basurero se encuentra en la rivera del Río.

Se analizaron al mismo tiempo, nitratos y nitritos, estos se encontraron en pequeñas cantidades, el Fosfato se encontró en el Río Usumacinta 0.993 mg/lit y en Yaxchilán 1.35 mg/lit, esto puede ser debido a los jabones utilizados para lavar ropa y bañarse, así como también de fertilizantes utilizados para la agricultura.

Al mismo tiempo se colectaron macroinvertebrados y peces para evaluar la contaminación del agua, la colecta de macroinvertebrados se realizó en Yaxchilán y la de peces en el Río Usumacinta, el sustrato de donde se extrajeron los macroinvertebrados fue materia orgánica en descomposición. Las Especies fueron identificadas por la Licda. Anna Cristina Bailey en el Laboratorio Entomológico de la Universidad Rafael Landívar.

Cuadro No. 5 Listado de Macroinvertebrados Colectados en Yaxchilán

Muestra	Orden/Clase	Cantidad
1	Trichoptera	2
	Ephemeroptera	8
2	Trichoptera	4
	Diptera, Culicidae	1
	Anelida	3
	Odonata, Zygoptera	1
	Odonata, Anisoptera	1
	Ephemeroptera	1
	Ephemeroptera	5
3	Diptera	1
	Crustacea	2
	Trichoptera	1
	Coleoptera (larva)	1
	Nemátoda	3

Fuente: Defensores de la Naturaleza/PNSL

La colecta de peces se llevo a cabo por medio de un trasmallo n°30 de luz 5pulg, estuvo colocado desde las 6:00 a.m. hasta las 5:00 p.m. por dos días consecutivos. El listado de la ictiofauna colectada se muestra a continuación.

Cuadro No. 6 Listado de Ictiofauna Colectada en el Río Usumacinta

Nombre Científico	Nombre Común	Cantidad
<i>Megalops Lecepede</i>	Sábalos	2
<i>Brycon guatemalensis</i>	Machaca	3
<i>Cathorops aguadulce</i>	Bagre	1
<i>Ictalurus furcatus</i>	Jolote	1

Fuente: Defensores de la Naturaleza/PNSL

PARTE III

III. 1 RESULTADOS

El estudio tiene como objetivo establecer una línea base de calidad de agua del Río Usumacinta y sus afluentes dentro del Parque Nacional Sierra del Lacandón. Esta línea base consistió en determinar variables fisicoquímicas y nutrientes del agua, además de la evaluación del uso de macroinvertebrados como indicadores de la calidad ecológica del río. Se realizó también colecta e identificación y estado de salud, de especies de ictiofauna. Este estudio se realizó durante 18 meses en el periodo de Octubre 2007 a Diciembre 2008. El estudio fue realizado en diez puntos sobre el cauce del río, las cuales se escogieron por su importancia ecológica, la utilización del recurso y debido a que estos puntos fueron utilizados en estudios anteriores, lo cual nos permitió tener datos comparables. Las localidades son: El Porvenir, Arroyo Macabilero, Nacimiento Cruz Azul, Nacimiento Argueta, Arroyo Yaxchilán, Campamento Yaxchilán, Ceiba de Oro, La Técnica, Bethel y Arroyo La Miseria.

Cada uno de estos puntos fue monitoreado periódicamente durante un año, se realizó la medición de parámetros físico-químicos in-situ (temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, % de oxígeno, conductividad, sólidos disueltos totales), por medio de un potenciómetro sensION 156 Hach. Además, también se midió la transparencia del río, con un tubo de medición de transparencia, adicionalmente se tomaban dos muestras de un litro de agua, uno de estos para transportarlos a los laboratorios de la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas de la Universidad Rafael Landívar para la realización del análisis de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, este se realizó por medio del equipo BOD Trak de la Marca HACH a 5 días de duración, el análisis de la Demanda Química de Oxígeno, se realizó por medio del equipo BOD Trak de la Marca HACH a 5 días de duración, el análisis de la Demanda Química de Oxígeno, se realizó por medio del método de digestión del dicromato. Se utilizó un reactor DQO modelo 45600 de la marca HACH; Otra muestra de un litro se transportaba a las oficinas de FDN donde se realizaron los análisis microbiológicos presencia ausencia y cuantificación (*Escherichia coli* y Coliformes Fecales) por medio de la prueba Colilert (Standard Method 9223B), para la medición de nutrientes y químicos indicadores de contaminación, se realizó mediante un espectrofotómetro HACH DR/2010. Los parámetros que se midieron son importantes ya que la cantidad en que se encuentran puede dar información de la contaminación de agua. Los nutrientes medidos son: Nitrógeno de amoníaco, por el método del Salicilato; Nitratos por el método de Reducción de Cadmio; Nitritos por el método de diazotización. y Fosfatos por el método basado sobre la reacción que es específica para el ortofosfato.

III.1.1 Crear una línea base de monitoreo de calidad de agua por medio de la medición de variables fisicoquímicas y de nutrientes, en el Río Usumacinta y sus afluentes.

III.1.1.1 Descripción de puntos de muestreo

Para la creación de la línea base de monitoreo de calidad de agua en el Río Usumacinta, se eligieron diez puntos de muestreo, los cuales fueron monitoreados mensualmente durante un año (octubre 2007 a noviembre 2008). Cada punto de muestreo fue descrito (ubicación geográfica, tipo de vegetación, corriente, etc.) lo cual ayudara a tener un mejor análisis de los resultados obtenidos en campo.

Mapa No. 6 Ubicación de los puntos de monitoreo de calidad de agua, Río Usumacinta, Petén



Fuente: FODECYT 013-2007

El Porvenir

Coordenadas UTM 683074 / 19001701

En este punto se encuentra el puesto de control de CONAP-FDN El Porvenir, el punto está rodeado de bosque, según el mapa de ecosistemas del INAB, corresponde a una zona de Bosques latifoliado húmedos de colinas. En este punto el río tiende a llevar menos curvas, las corrientes son fuertes y el agua es color pardo. En varias ocasiones al año, mayormente en época lluviosa (junio – octubre) se hacen remansos cercanos a las orillas, donde quedan en la superficie la basura que ha venido arrastrando el río desde las partes altas (ramas de árboles, plásticos, jabones, materia orgánica e inorgánica).

Los análisis in-situ se realizaron en la parte media del río, aproximadamente a un metro de profundidad. La colecta de macroinvertebrados se realizó en las orillas cercanas al puesto de control, en este punto es complicado el muestreo ya que la corriente en el río es muy fuerte. La transparencia en promedio es de 0.34 centímetros, con un máximo de 0.67 cm y un mínimo de 0.10 cm, La transparencia en promedio es de 0.34 centímetros, con un máximo de 0.67 cm y un mínimo de 0.10 cm; donde 1.20 centímetros es el optimo y un 0.01centímetros es deficiente.

En época seca, baja mucho la profundidad del río y se forman depósitos de arena, en el medio y en las orillas. Por tal razón, la colocación de los trasmallos (Marzo y Agosto) para la colecta de Ictiofauna se realizó con mayor facilidad en estos meses.

La temperatura promedio de este punto fue de 24.76 °C a un metro de profundidad. Durante los meses de junio, julio y agosto, se presentaron las más altas cifras de contaminación bacteriológica, esto debido a que en estos meses se presentaron muchas lluvias que desbordaron ríos tributarios al Usumacinta, además de las grandes cantidades de sedimentos que arrastraba el río (basura, animales muertos, troncos etc.).

Fotografía No. 3 Punto de muestreo El Porvenir, en época seca



Fuente: FODECYT 013-2007

Arroyo Macabilero

Coordenada UTM 690609 / 1886309

El punto de muestreo Arroyo Macabilero, es un lugar muy atractivo por su belleza y sus cambios morfológicos durante todo el año. En época seca el río forma una playa de arena en sus orillas y deja un remanso en la entrada. Comúnmente se encuentran restos de basura orgánica e inorgánica que por las corrientes del Río se quedan estancadas en las orillas.

El muestreo se realizó adentro del arroyo a unos 20 metros de la desembocadura. El color que refleja el agua es muy oscuro debido a la materia orgánica en descomposición que se encuentra en el fondo. Al coleccionar la muestra de agua se midió la transparencia por medio del turbidímetro con lo que se pudo observar que el color del agua era amarillo debido al ácido húmico que genera la materia en descomposición. En este nacimiento existe gran cantidad de materia orgánica debido a que en los alrededores se encuentra un bosque denso de latifoliadas.

Fotografía No. 4 Punto de muestreo Arroyo Macabilero, Río Usumacinta



Fuente: FODECYT 013-2007

Fotografía No. 5 Desecho arrastrados por el Río Usumacinta (Punto Macabilero)



Fuente: FODECYT 013-2007

Fotografía No.6 Unión entre las aguas del Arroyo Macabilero y del Río Usumacinta.
(Punto Macabilero)



Fuente: FODECYT 013-2007

Nacimiento Cruz Azul

Coordenadas UTM 692223 / 1884661

En época lluviosa el punto de muestreo del nacimiento Cruz Azul queda sobre el río. En época seca la profundidad del río disminuye radicalmente, y es cuando se logra ver el cauce del nacimiento (Fotografías No. 7 y 8). En este punto las corrientes son muy fuertes y forma remolinos. Este punto de muestreo está rodeado de bosques latifoliados húmedos. El tipo de sedimento es arenoso y lodoso, con restos de materia orgánica en descomposición.

Fotografía No.7 Nacimiento Cruz Azul Marzo, Río Usumacinta, La Libertad, Petén



Fuente: FODECYT 013-2007

Fotografía No. 8 Nacimiento Cruz Azul, época seca enero, Río Usumacinta.



Fuente: FODECYT 013-2007

Nacimiento Argueta

Coordenadas UTM 699824 / 1880809

Este punto de muestreo es el único que queda fuera del cauce principal del río ya que hay que se encuentra en la montaña dentro del bosque. El punto de muestreo queda cercano al inicio del nacimiento con poca profundidad (15 cm), el fondo es rocoso. Cercano a este punto hay un campamento xatero, a lo largo de los monitoreos se demostró que los datos de *E. coli* aumentaban por la presencia de invasores y de los patrullajes que se hacían por la zona. El agua es cristalina, el suelo es kárstico se encontraron gasterópodos calcificados.

Fotografía No.9 Gasterópodo calcificado en Nacimiento Argueta.



Fuente: FODECYT 013-2007

Fotografía No. 10 Punto de muestreo Nacimiento Argueta.



Fuente: FODECYT 013-2007

Fotografía No.11 Nacimiento Argueta, La Libertad, Petén.



Fuente: FODECYT 013-2007

Yaxchilán Campamento

Coordenadas UTM 709069 / 18687860

Cercano al punto de muestreo Yaxchilán Campamento se encuentra el puesto de control de CONAP-FDN. Las personas de este campamento utilizan el río como fuente de agua, búsqueda de alimento, uso doméstico, transporte y limpieza. Junto al campamento se encuentra una torre de control, la cual se utilizó para la observación de cambios de profundidad.

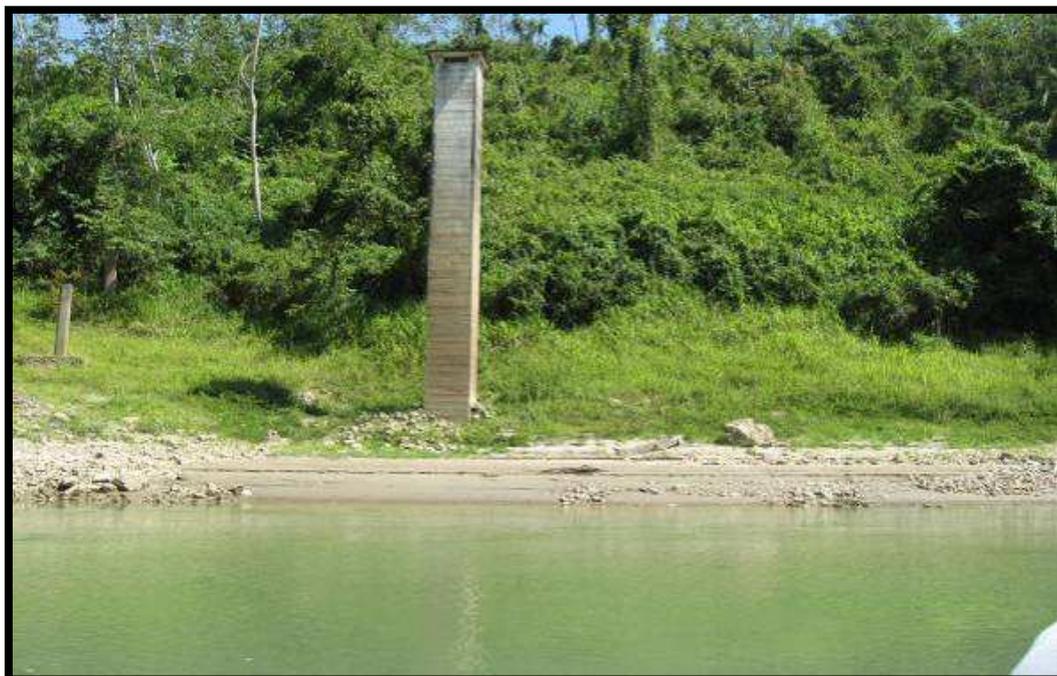
Durante los meses de junio y octubre se pueden observar cambios considerables en la profundidad del río, lo cual ocasiona la erosión de los suelos, debido a los cambios en el cauce del cuerpo de agua durante el principio de la época lluviosa. Estos cambios también ocasionan la formación de remolinos, lo cual dificultó tomar la medida de profundidad en este punto en varias ocasiones. La profundidad del punto se tomó en un área cercana en donde las corrientes lo permitían.

Fotografía No. 12 Puesto de Control Yaxchilán, Río Usumacinta.



Fuente: FODEYT 013-2007

Fotografía No. 13 Torre de Control, puesto Yaxchilán Campamento, Control Profundidad, Río Usumacinta.



Fuente: FODECYT 013-2007

Ceiba de Oro

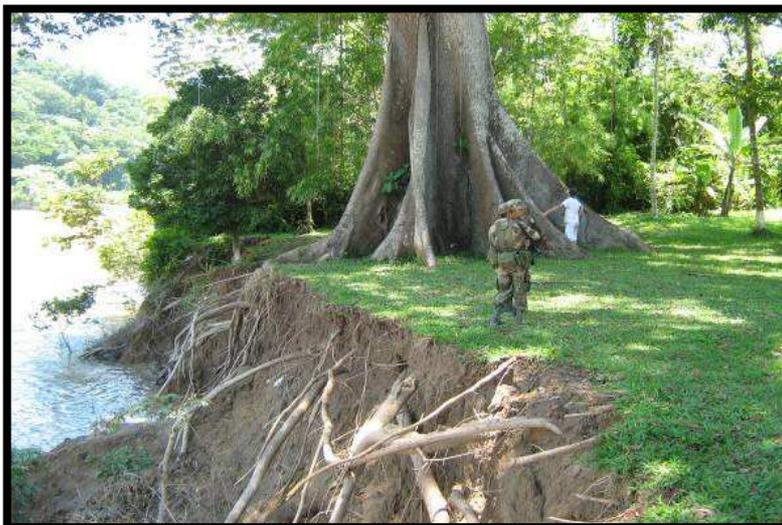
En este punto de muestreo hay un puesto de control de CONAP-FDN. En el punto Ceiba de Oro existen fuertes corrientes lo que ocasiona que las orillas se erosionen. En los bordes del río alrededor del punto de muestreo hay árboles, siembras (maíz) y vegetación secundaria (guarumos).

Fotografía No. 14 Ceiba de Oro, Río Usumacinta



Fuente: FODECYT 013-2007

Fotografía No. 15 Erosión, Punto de muestreo Ceiba de Oro, Río Usumacinta



Fuente: FODECYT 013-2007

Yaxchilán Arroyo

Coordenadas UTM 720537 / 1864046

Este arroyo está rodeado de vegetación ribereña, el agua es mucho más fría y cristalina que la del Río Usumacinta. El sedimento del fondo es muy oscuro presenta grandes cantidades de materia orgánica en descomposición, el agua tiene un tono amarillento debido a la presencia de ácido húmico.

Los ácidos húmicos son unos de los principales componentes de las sustancias húmicas, las cuales son los constituyentes principales del humus, materia orgánica del suelo. Contribuyen a la calidad fisicoquímicas del mismo y también son precursores de combustibles fósiles. Las moléculas húmicas se asocian entre ellas en conformaciones supramoleculares mediante interacciones hidrofóbicas débiles a pH alcalino o neutro y también mediante puentes de hidrógeno a pH bajos (Roldan 1988).

Fotografía No. 16 Arroyo Yaxchilán, punto de muestreo, Río Usumacinta, La Libertad, Petén



Fuente: FODECYT 013-2007

La Técnica

Coordenadas UTM 723004 / 1861085

Este punto de muestreo tiene a una orilla a la comunidad que lleva el mismo nombre La Técnica Agropecuaria. Por la presencia humana se ven impactos tales como botadero de basura, descarga de cualquier tipo de residuos, detergentes, excretas de animales, baño de animales y personas, transporte, entre otras cosas.

Fotografía No. 17 Punto de muestreo La Técnica, Río Usumacinta



Fuente: FODECYT 013-2007

Bethel

Coordenadas UTM 732405 /1858105

Este punto de muestreo está ubicado junto a una comunidad, es ahí donde se toman las lanchas para transportarse a distintos puntos del río, es un punto muy concurrido por turistas que vienen de México hacia Guatemala. Entre los impactos humanos que se pueden observar son: derrames de gasolina y aceites de lanchas, desperdicios orgánicos e inorgánicos arrojados al río, plásticos, detergentes y jabones. Se extrae agua para las casas, para uso domestico y de baño hasta el momento no hay planta de tratamiento de servidas así que las vierten al río.

Fotografía No. 18 Punto de muestreo Bethel, Río Usumacinta



Fuente: FODECYT 013-2007

Arroyo La Miseria

Coordenadas UTM 734386 / 1858334

Este arroyo presenta un color turquesa (Fotografía No. 19 y 20), esto se debe al suelo kárstico, presenta mucha claridad y gran cantidad de peces. Este arroyo ha sido utilizado para agua de consumo, está rodeado de una finca de ganado, cultivos, y arbustos cercanos a la orilla.

Fotografía No. 19 Arroyo La Miseria, punto de muestreo, Río Usumacinta, La Libertad, Petén



Fuente: FODECYT 013-2007

Fotografía No. 20 Arroyo La Miseria, Río Usumacinta



Fuente: FODECYT 013-2007

Cuadro No. 7 Análisis de valores máximos y mínimos de cada parámetro por punto de muestreo

Puntos de Muestreo	valores maximos y minimos	Profundi dad (m)	Conducti vidad (μ S/cm)	T delagua °C	pH	Salinidad ‰	Transpar encia (m)	Oxígeno disuelto mg/L	Oxígeno disuelto %	Sólidos disueltos totales mg/L	DQO	Nitrógeno NH ³⁺ N mg/L	Nitrato NO ³⁻ N mg/L	Nitrito NO ²⁻ N mg/L	Fosfato PO ₄ ³⁻ mg/L	Coliform es en 100ml	E.coli en 100ml
El Porvenir	Max	16	2160	28.2	9.03	1.1	0.67	11.97	140.5	1091	23	0.06	38.8	0.08	1.6	2419.6	866.4
	Min	5	242	21.6	6.12	0.1	0.1	1.79	22.6	116	15	-0.04	-0.4	0.004	0.08	132.4	8.60
Macabilero	Max	15	1106	28.7	8.108	3.4	1.2	11.25	133.6	3034	24	0.03	3	0.008	2.858	2419.6	325.5
	Min	1	4.54	22.9	6.114	0.1	0.3	0.29	3.5	195.6	10	-0.01	0.7	0.001	0.06	243.6	25.9
Nac. Cruz Azul	Max	20	1824	29.4	8.25	3.4	0.7	11.25	133.6	3034	20	0.09	10.9	0.031	1.296	1986.3	1732.9
	Min	7	2.14	23.6	6.3	0	0.11	0.21	2.7	114.1	11	-0.03	0.2	0.001	0.08	81.5	9.7
Nac. Argueta	Max	0.10	1840.00	26.00	9.16	0.90	1.20	10.10	121.70	921.00	12.00	0.05	8.60	0.12	0.44	2419.60	40.20
	Min	0.05	365.00	23.90	6.23	0.10	1.20	0.04	1.10	176.50	2.00	-0.04	0.50	0.00	0.04	91.40	3.10
Yaxchilán Campamento	Max	16	1831	31.9	9.5	1	0.8	7.78	99.4	1050	24	0.08	13	0.046	1.09	2419.6	1046.2
	Min	5	2.08	24.4	6.21	0	0.12	0.24	3	112.8	12	-0.03	0.56	0.001	0.08	101.9	4.1
Ceiba de Oro	Max	20	1822	37.9	9.73	1	0.9	10.48	134.3	1052	29	0.08	10.2	0.015	0.9	1203.3	1046.2
	Min	4	2.03	24	6.215	0	0.11	0.34	4.5	113	18	-0.04	0.3	-0.001	0.03	77.1	2
Arroyo Yaxchilán	Max	13	787	33.5	8.4	1.5	1.2	9.65	125.9	1490	26	0.05	7.7	0.015	0.77	1986.3	191.8
	Min	1.5	2.7	23.8	6.18	0.1	0.3	0.34	4.4	138.4	17	0	1	-0.001	0.01	60.5	22.8
La Técnica	Max	16	1503	33.5	8.38	1.2	0.7	9.11	120	1258	24	0.07	20.2	0.051	0.98	1119.9	1046.2
	Min	3	0.01	25.3	6.27	0	0.03	0.19	2.3	75.2	13	-0.03	1	-0.004	0.05	45.5	3
Bethel	Max	15	1830	34	8.7	1	0.69	8.69	117.3	1035	25	0.11	4.3	0.013	1.09	1119.9	2419.6
	Min	4	2	24.6	6	0	0.03	0.18	2.3	110.4	11	-0.03	0.8	0.003	0.07	44.3	6.3
Arroyo La Miseria	Max	9	884	30.1	9.5	1.3	1.2	3.92	53.9	1733	20	0.06	9.4	0.024	0.49	2419.6	648.8
	Min	0.5	2.48	25.2	6.25	0.1	0.21	0.19	2.5	161	8	-0.03	0.3	0.002	0.01	108.9	18.7

Fuente: FODECYT 013-2007

III.1.2 Ejecutar un programa de educación ambiental dirigido hacia las comunidades que utilizan dicho recurso, que concientice a los pobladores sobre el manejo del agua para uso doméstico e informe sobre el tratamiento de sus desechos.

Se elaboraron dos juegos del *kit educativo del agua* con sus seis módulos y el material de apoyo para cada uno. Entre los materiales se encuentran hojas de trabajo, títeres, libros de lectura, juegos de memoria y otro material didáctico. El material educativo está diseñado para usarse en talleres de capacitación en escuelas, ayudando a concientizar sobre la importancia y el buen uso que se le debe dar al agua evitando así la contaminación de las diferentes fuentes de agua dentro de la cuenca del río Usumacinta.

Los módulos que se abarcan en los paquetes educativos son: *Aprendiendo acerca del agua, Conociendo nuestra cuenca, usos del agua, ecosistemas de nuestra cuenca, el agua en problemas y el agua en nuestra cultura*. A continuación se describen cada uno de los módulos.

Módulo I Aprendiendo acerca del agua

En este se presentan las generalidades del agua, sus características y se describe el ciclo del agua. También se sugiere una dinámica que se llama “El Viaje Increíble”, en el que los niños simulan ser gotas de agua y viajan por distintas partes, para ello hay unas gráficas y unos dados. Cuando el niño tira el dado, este le indica, por ejemplo que se evapora y se fue para una nube, o paso a formar parte de un río, etc. El material también lleva un títere para ser utilizado con los más pequeños. Este módulo es muy importante ya que con él se le proporcionó información general acerca del agua, ciclo del agua, los diferentes estados en que se encuentra el agua en la naturaleza. Para poder medir el nivel de asimilación de cada módulo antes y después de este se realizó una lluvia de ideas con los niños para que cada uno aportara sus conocimientos, y a través de un test al final del taller.



Fotografía No. 21 Contenido del módulo I, “Aprendiendo acerca del agua”

Fuente: FODECYT 013-2007

Módulo II Conociendo nuestra cuenca

Esta unidad se explicó que es una cuenca, cuál es la importancia de la misma y la importancia de llevar un monitoreo de la calidad del agua. La dinámica de esta unidad se llama “La Suma de las Partes” y en ella los niños simulaban tener un terreno en donde construyen y deciden que hacer, al final cada una de las piezas donde ellos dibujaron conforman un rompecabezas que forma una cuenca, así aprenden la importancia del trabajo conjunto, la planificación y que la contaminación que producimos le afecta a los demás. En este módulo se dio a conocer la importancia de las cuencas, enumerando cada parte de ella y definiendo el lugar en que habitamos en nuestra cuenca.



Fotografía No. 22 Contenido del módulo II, “Conociendo nuestra cuenca”

Fuente: FODECYT 013-2007

Módulo III Usos del agua

En esta unidad se habla de los usos que le damos al agua, diariamente utilizamos grandes cantidades de agua para propósitos diferentes, todos los alimentos que consumimos han necesitado agua para su producción, su limpieza o como parte de los ingredientes. El agua la utilizamos para uso doméstico, medio de transporte, recreación, en la industria, en la agricultura, en la ganadería, como fuente de energía, etc.

La dinámica de esta unidad es un juego de memoria de los usos del agua. La importancia de este módulo es de dar a conocer las diferentes formas en las que utilizamos el agua en nuestra vida, y conocer cómo podemos hacer para conservarla y no desperdiciarla. Para medir los resultados de este módulo se realizó una lluvia de ideas.

Fotografía No. 23 Contenido del módulo III “Usos del agua”



Fuente: FODECYT 013-2007

Módulo IV Ecosistema de nuestra cuenca

Este módulo trata principalmente de la importancia de los bosques que rodean la cuenca, esto cuando se trata de la protección de las fuentes de agua ya que son ellos quienes se encargan de la captación del agua en las partes altas.

En esta unidad se habló principalmente de la importancia del bosque tropical, su biodiversidad y la importancia del agua para conservación del ecosistema. En este módulo se habla de todos los animales y especies vegetales que dependen totalmente del agua para poder sobrevivir.

Módulo V El agua en problemas

Durante este módulo se habla principalmente de la problemática del uso irracional y contaminación de los cuerpos de agua, se les explica sobre las diferentes funciones importantes y específicas que el agua cumple para el equilibrio de los ecosistemas y lo vital que es el agua para la sobrevivencia de nosotros mismos y de todos los seres vivos del planeta. Este es un módulo muy importante, pues sabemos que el agua se encuentra amenazada a nivel mundial por los peligros que enfrenta y mientras más conozcamos de los peligros, más soluciones podemos encontrar para su conservación.

Las dinámicas que se utilizaron en este módulo son: fichas con fotos de problemas con el agua tomadas de los periódicos nacionales, los niños describieron que sucedía en la foto y se llevó a cabo una discusión en grupo de los que está pasando en la grafica y por

último escriben un reporte periodístico para dar a conocer la importancia del agua y por qué debemos cuidarla.

Fotografía No. 24 Contenido módulo V “El agua en problemas”



Fuente: FODECYT 013-2007

Módulo VI El agua en la cultura

Este módulo al igual que los demás fue de gran importancia, pues se les habló sobre la importancia del agua como valor cultural y se resaltó la relación que existía entre el agua y los mayas, esto, porque los mayas incorporaron a su cultura el respeto por la naturaleza, desarrollando actitudes avanzadas por la recolección y uso apropiado de las fuentes de agua. En la actualidad aun se puede encontrar evidencia sobre las construcciones para la recolección y almacenamiento del agua de lluvia, drenajes y presentaciones del aprovechamiento de los ríos, lagos y mares como medio de transporte de personas y mercancías.

Lo que se desea enseñar con este módulo es la relación que tienen los mayas con la naturaleza, pues se fundamenta en establecer un balance entre el aprovechamiento de los recursos y la protección del ambiente.

III.1.3 Dotar a los maestros de las escuelas con material para impartir clases sobre la importancia del cuidado del agua y para distribuir a sus alumnos.

En los talleres impartidos en las escuelas se desarrollaron varias actividades, se elaboraron hojas de trabajo, se realizaron dinámicas relacionadas con cada uno de los temas impartidos. A los maestros de las ocho escuelas establecidas en el proyecto se les

proporcione una guía metodológica en la cual se incluyeron los seis módulos temáticos elaborados y las hojas de trabajo que se utilizan en los diferentes módulos. Las guías fueron entregadas en cada una de las escuelas a los maestros participantes.

Se realizaron ocho talleres de educación ambiental los cuales se impartieron a niños y niñas de Preprimaria y Primaria como la utilización de títeres, dinámicas y manualidades que los niños elaboraron. Además de ello se impartieron talleres para jóvenes de secundaria trabajando con ellos los mismos módulos temáticos y actividades de conservación como limpieza de orillas de río en las comunidades donde existan fuentes de agua.

Durante el desarrollo de los talleres de educación ambiental, se proporciono material didáctico a los maestros de la escuela, la cual incluyo información de seis módulos, hojas de trabajo para que pudieran ser reproducidas y utilizadas en sus actividades de capacitación.

Fotografía No. 25 Capacitación a maestros de las Escuelas que se encuentran dentro del PNSL



Fuente: FODECYT 013-2007

Fotografía No. 26 Niños de las escuelas mostrando las manualidades trabajadas durante los talleres



Fuente: FODECYT 013-2007

Fotografía No. 27 Jóvenes de las escuelas aprendiendo sobre la importancia del agua



Fuente: FODECYT 013-2007

Fotografía No. 28 Maestra de la comunidad La Lucha, Petén, transmitiendo lo aprendido en el curso



Fuente: FODECYT 013-2007

Fotografía No. 29 Profesor de la Comunidad Unión Maya Itzá, Petén, realizando juegos educativos con los niños de la escuela.



Fuente: FODECYT 013-2007

Cuadro No. 8 Escuelas donde se impartieron talleres de Educación Ambiental en las escuelas que se encuentran dentro del PNSL, La Libertad, Petén.

FECHA	MODULOS TEMATICOS	LOCALIDAD	No. ALUMNOS PARTICIPANTES
17-Sep-08	Modulo I Aprendiendo Acerca del agua. Modulo II Conociendo nuestra cuenca. Modulo III Usos del Agua. Modulo IV Ecosistemas de Nuestra Cuenca. Modulo V El Agua en Problemas. Modulo VI El Agua en la Cultura.	Escuela Cooperativa la Felicidad	150
18-Sep-08	Modulo I Aprendiendo Acerca del agua. Modulo II Conociendo nuestra cuenca. Modulo III Usos del Agua. Modulo IV Ecosistemas de Nuestra Cuenca. Modulo V El Agua en Problemas. Modulo VI El Agua en la Cultura.	Escuela Cooperativa Yanahi	40
22-Sep-08	Modulo I Aprendiendo Acerca del agua. Modulo II Conociendo nuestra cuenca. Modulo III Usos del Agua. Modulo IV Ecosistemas de Nuestra Cuenca. Modulo V El Agua en Problemas. Modulo VI El Agua en la Cultura.	Cooperativa Técnica Agropecuaria	30
23-Sep-08	Modulo I Aprendiendo Acerca del agua. Modulo II Conociendo nuestra cuenca. Modulo III Usos del Agua. Modulo IV Ecosistemas de Nuestra Cuenca. Modulo V El Agua en Problemas. Modulo VI El Agua en la Cultura.	Cooperativa Bethel	60
26-Sep-08	Modulo I Aprendiendo Acerca del agua. Modulo II Conociendo nuestra cuenca. Modulo III Usos del Agua. Modulo IV Ecosistemas de Nuestra Cuenca. Modulo V El Agua en Problemas. Modulo VI El Agua en la Cultura.	Escuela Cooperativa Monte Sinaí	60

29-Sep-08	Modulo I Aprendiendo Acerca del agua. Modulo II Conociendo nuestra cuenca. Modulo III Usos del Agua. Modulo IV Ecosistemas de Nuestra Cuenca. Modulo V El Agua en Problemas. Modulo VI El Agua en la Cultura.	Escuela Cooperativa la Lucha	144
30-Sep-08	Modulo I Aprendiendo Acerca del agua. Modulo II Conociendo nuestra cuenca. Modulo III Usos del Agua. Modulo IV Ecosistemas de Nuestra Cuenca. Modulo V El Agua en Problemas. Modulo VI El Agua en la Cultura.	Escuela Cooperativa Retalteco	300
03-Oct-08	Modulo I Aprendiendo Acerca del agua. Modulo II Conociendo nuestra cuenca. Modulo III Usos del Agua. Modulo IV Ecosistemas de Nuestra Cuenca. Modulo V El Agua en Problemas. Modulo VI El Agua en la Cultura.	Escuela Unión Maya Itzá	150
14 Agosto 2008	Taller Dirigido a Extensionistas, Guardarecurso y maestro de las comunidades del PNSL, para uso de Material Educativo: Modulo I Aprendiendo Acerca del agua. Modulo II Conociendo nuestra cuenca. Modulo III Usos del Agua. Modulo IV Ecosistemas de Nuestra Cuenca. Modulo V El Agua en Problemas. Modulo VI El Agua en la Cultura.	Puesto Control PNSL Bethel	30

Fuente: FODECYT 013-2007

III.1.4 Informar a las comunidades sobre los resultados que se están encontrando en el proyecto de investigación en campo.

Durante los talleres impartidos en las escuelas dentro del Parque Nacional Sierra del Lacandón, se dieron a conocer los resultados del proyecto de investigación del Monitoreo de la Calidad del Agua del Río Usumacinta, esto con el fin de informar a los niños, maestros y demás comunitarios sobre el estado actual en el que se encuentra el Río y sobre los efectos que causaría si no lo cuidamos.

Se les informó sobre los aspectos que se tomaron en cuenta para realizar el Monitoreo de Agua en el río Usumacinta en un lenguaje en el que todos pudieran

entenderlo. Al finalizar la charla, se realizaron dinámicas y se les dieron recomendaciones sobre el uso adecuado del agua y sobre la importancia de cuidarla.

Fotografía No. 30 Charla para dar resultados de análisis de datos y pláticas sobre la importancia del agua



Fuente: FODCEYT 013-2007

Fotografía No. 31 Taller de Educación Ambiental en Escuelas del PNSL



Fuente: FODECYT 013-2007

III.1.5 Realizar una capacitación del personal guarda recursos y técnicos del PNSL para que asistan las actividades de investigación y educación ambiental en campo.

Se realizó un taller dirigido a personal técnico y guarda recursos del Parque Nacional Sierra de Lacandón, esta actividad fue realizada en el mes de agosto en la sede regional de Defensores de la Naturaleza en la Cooperativa Bethel con la participación de 30 personas.

Además fue muy importante la capacitación continua durante todos los monitoreos para fortalecer el conocimiento de los técnicos y guarda recursos por la persona encargada del monitoreo, la estudiante de Ing. Ambiental Angela López, esta capacitación consistió en el uso del equipo de análisis de agua: a) El Potenciómetro, este equipo de análisis nos permite conocer parámetros físicos del cuerpo de agua como la T°, Oxígeno disuelto, % de Oxígeno, pH, salinidad, sólidos disueltos totales y conductividad, b) El Turbidímetro, este equipo permite conocer el grado de visibilidad que se tiene en el cuerpo de agua, la toma de muestras correctamente se explico y aplico cadena de muestras y c) toma de muestras de sedimento del fondo por medio de la Draga; Además se les explico el uso del equipo para colecta de macroinvertebrados y el cuidado que debe tenerse para almacenar las muestras para que puedan ser utilizados como referencia en laboratorios, el tiempo de vida de las muestras de agua y de qué manera se deben de enviar.

Fotografía No. 32 Capacitación a Técnicos del PNSL, Río Usumacinta



Fuente: FODECYT 013-2007

Fotografía No. 33 Capacitación a Técnicos del PNSL, Río Usumacinta



Fuente: FODECYT 013-2007

Fotografía No. 34 Capacitación a Técnicos del PNSL, Río Usumacinta



Fuente: FODECYT 013-2007

Fotografía No. 35 Capacitación a Guardarecursos del PNSL, Río Usumacinta



Fuente: FODECYT 013-2007

III.1.6 Crear una base de datos de los factores fisicoquímicos y nutrientes reportados para el PNSL.

Los datos generados durante el primer año de muestreo, se utilizaron para conformar una hoja electrónica en Excel, donde se encuentran registrados los comportamientos que se generaron en cada parámetro, la cual se utilizará en el monitoreo posterior para ingresar y comparar los nuevos datos generados. Ver Anexos No. 1,2 y 3.

III.1.7 Estudiar los ensambles de peces y macroinvertebrados para detectar posibles taxa indicadores de cambios en los parámetros fisicoquímicos en el Río Usumacinta.

En el Parque Nacional Sierra del Lacandón, se habían realizado anteriormente dos proyectos de investigación utilizando macroinvertebrados como indicadores. Uno de los proyectos fue “Identificación de biodiversidad y calidad de agua del Río Usumacinta y afluentes colindantes con el Parque Nacional Sierra del Lacandón” este fue ejecutado por la Licda. Genoveva Rodríguez de junio a agosto 2004. En este proyecto se realizaron muestreos de macroinvertebrados, peces y calidad de agua en diez localidades. De estas diez localidades, tres puntos de muestreo se hicieron directamente en el río (Usumacinta Bethel, Usumacinta Ceiba de Oro, Usumacinta El Porvenir) campamento y seis puntos de muestreo en las cuencas de los arroyos Yaxchilán y Macabilero (Nacimiento Argueta, Nacimiento Cruz azul, Macabilero 7 puntos, Macabilero desembocadura, Yaxchilán campamento, Yaxchilán desembocadura, Yaxchilán UMI)). La colecta se realizó únicamente una vez, en la cual se llevó a cabo el muestreo de 150min por sitio. Y aunque

el esfuerzo de colecta por sitio fue bastante, las curvas de acumulación de especies que presenta Rodríguez, 2004 demuestran que el esfuerzo no fue suficiente para alcanzar una asíntota. Esto significa que aún hay más especies en cada punto de muestreo que no se incluyeron en el muestreo. En total encontró 63 especies, 31 familias y 9 órdenes de insectos de 4 filos de macroinvertebrados. En este estudio Rodríguez, 2004 menciona que el Río Usumacinta está severamente contaminado, según el índice biótico, aunque aclara que no encuentra sentido con que algunos sitios de muestreo se encuentran con contaminación moderada (Desembocadura de Yaxchilán, Macabilero y Nacimiento en Cruz Azul), ya que esto se puede deber a que el índice que utilizó está diseñado para ríos de zonas templadas, mientras que estos arroyos son subtropicales, adicionalmente puede ser error en el muestreo, ya que el muestreo no abarcó más que una época del año.

El otro estudio que se realizó fue “Diagnóstico del uso y calidad del agua y su relación con la prevalencia de enfermedades en las comunidades de la Unión Maya Itzá (UMI) y Bethel ubicadas en el Parque Nacional Sierra del Lacandón, Petén, Guatemala” realizado por Typhaine Loyer entre julio a diciembre 2006. En este estudio realizó colectas de macroinvertebrados en el arroyo Yaxchilan, en el cual colectó por aproximadamente 150 minutos, usando una red de malla 250 μm en los diferentes hábitats del río. Luego calculó el índice biótico para cada muestra, de manera de evaluar la calidad del agua. En general colectaron 3 Filos y 8 órdenes de macroinvertebrados y se concluye que las aguas del arroyo Yaxchilán presentan contaminación.

En el presente estudio, que se realizó durante un año, se encontró que, según el índice BMWP (Biological Monitoring Working Party), de los diez puntos de muestreo el Nacimiento Argueta contiene aguas muy limpias, los puntos de muestreo de desembocaduras de arroyos tienen agua ligeramente contaminada y los puntos de muestreo sobre el Río Usumacinta presentan aguas moderadamente contaminadas. La metodología para muestreo de macroinvertebrados utilizada fue la de buscar en los diferentes hábitats en las orillas de los ríos, pasando la red entomológica cinco veces en cada hábitat. El esfuerzo fue mucho menor que el que Rodríguez y Loyers hicieron, y Rodríguez encontró que aún realizando un esfuerzo de 150 minutos por sitio no fue suficiente para muestrear todas las especies presentes.

De tal forma que aunque el esfuerzo invertido en cada colecta de macroinvertebrados fue menor, el realizar el muestreo periódico mensualmente a lo largo del año, da una mejor base de cómo se encuentra el río Usumacinta y sus afluentes a lo largo de un año calendario. En general con el presente estudio se colectaron 7 filos de macroinvertebrados, 9 órdenes, 28 familias y 72 especies.

En los macroinvertebrados se considera que la cantidad y variedad de organismos en un punto de muestreo es el que proporciona una idea de la calidad ecológica de esa área. Aún así, se conoce que existen organismos que son poco tolerantes a que se haya alguna alteración, como disminución de corriente de agua ó disminución de la cantidad de oxígeno disuelto. Hay otros organismos que sí pueden sobrevivir en ambientes un poco alterados y hay otros que pueden sobrevivir en cualquier tipo de ambiente. Es importante tomar en cuenta de que hay lugares en que se encuentran la mayoría de macroinvertebrados vulnerables a cambios y existen también macroinvertebrados tolerantes

en el mismo punto de muestreo, este lugar se podría decir que tiene una buena calidad ecológica sin importar que existan macroinvertebrados resistentes. El listado de macroinvertebrados colectados se encuentra a continuación, estos únicamente se identificaron hasta Orden, debido a la dificultad de llegar hasta género y especie y a que el índice BMWP únicamente requiere identificaciones hasta Orden y Familia.

Cuadro No. 9 Macroinvertebrados que se pueden relacionar a la calidad ecológica en donde se encuentran.

Nombre común	Orden	Características del hábitat	Calidad ecológica del agua
Mosca de las piedras	Plecoptera	Se encuentra en aguas muy oxigenadas, con corriente	Buena
Moscas de mayo	Ephemeroptera	En aguas bien oxigenadas con corriente de agua	Buena
Caracoles	Gastropoda	Aguas oxigenadas	Buena
Tricópteras	Trichoptera	Necesita agua oxigenada, sin contaminación	Buena
Corydalidos	Corydalidae	En aguas bien oxigenadas	Buena
Zancudos patas largas	Tipulidae	Viven en aguas no muy bien oxigenadas	Regular
Libélulas y Caballitos del Diablo	Odonata	Viven en aguas tranquilas, no necesitan buena oxigenación	Regular
Almejas	Pelecypoda	Pueden vivir en aguas contaminadas	Regular
Gusanos	Annelida	Vive en aguas contaminadas	Mala
Jején	Simulidae	Larvas viven en aguas con contaminación orgánica	Mala
Mosquitas	Chironomidae	Larvas pueden vivir en agua con contaminación orgánica	Mala

Fuente: FODECYT 013-2007

Al estudiar un río tan caudaloso y con corrientes contrarias como es el caso del Usumacinta, para realizar un estudio de taxa de indicadores de calidad de agua con ictiofauna, nos vimos en la dificultad de no poder realizar la metodología propuesta, que se basaba en realizar capturas mensualmente. Igualmente se trabajo dos capturas una en época

seca y otra en época lluviosa, por medio de trasmallo número 30 con luz de 4 pulg. revisando las agallas para determinar el estado de la salud del pez, identificación y características generales, las cuales fueron recopiladas y colocadas con su fotografía e identificación. (Ver objetivo 1.8.) Donde se obtuvieron 14 especies las cuales son: Arenque (*Clupea harengus*), Machaca (*Brycon guatemalensis*), Bagre (*Cathorops aguadulce*), Jolote (*Ictalurus furcatus*), Plecostomo (*Plecostomus* sp.), Curvina (*Ctenopharyngodon idella*) Plecostomo (*Plecostomus* sp.=*punctatus*), Curvina (*Ctenopharyngodon idella*), pejelagarto (*Lepisosteus* spp), Bagre (*Pimelodus albicans*), Tuso (*Mugil* sp.), Curruco o bagre lacandon (*Potamarius nelsoni*), Pez Coche (*Serranus aurega*), Mojarra Pozolera (*Cichlasoma* sp.), Chopa (*Ictiobus meridionalis*), Pez Dormilon (*Gobiomorus dormitor* Lacepede), Mojarra (*Chiclasoma urophthalmus*). De Acuerdo a los datos de los pescadores las especie que más se consumen son Jolote (*Ictalurus furcatus*) y Mojarra (*Cichlasoma* sp.).

III.1.8 Enriquecer los listados de especies de macroinvertebrados e ictiofauna registrados para la RBM.

Macroinvertebrados

Este estudio se fundamenta en que es importante conocer el estado ecológico de un cuerpo de agua, y para esto se deben comparar los datos de los diferentes puntos de muestreo para determinar cómo se comporta el río a lo largo de su recorrido. Para determinar los puntos que se encuentran más afectados por los factores de presión antropogénica y para poder identificar las acciones a seguir para aminorar este impacto.

En Guatemala hace falta mucho trabajo taxonómico sobre macroinvertebrados acuáticos, esto puede lograrse realizando monitoreos continuos, con apoyo de organizaciones que financien la investigación y de esta manera permita interrelacionar con expertos sobre el tema para conocer la taxonomía de estos organismos.

El estudio de los macroinvertebrados acuáticos en Guatemala puede brindar muchas especies nuevas para la ciencia. Esto se debe a que Guatemala es un área importante como puente entre las dos Américas y se convirtió en una región con alta especiación. Esto se puede ver reflejado en que Ordenes de insectos tan estudiados y vistosos como el de las mariposas y palomillas (*Lepidoptera*), se han encontrado recientemente especies nuevas para la ciencia (Monzón, en preparación). Se esperaría que grupos de poblaciones que no han sido estudiadas a fondo como las de los macroinvertebrados acuáticos puedan proporcionar más especies nuevas. Por lo que el trabajo taxonómico en esta área debe ser incipiente y se debe de hacer conjuntamente con los expertos mundiales de cada uno de los grupos de organismos.

En el caso de Guatemala como el conocimiento de la fauna de macroinvertebrados acuáticos es escaso se propuso utilizar la metodología conocida como Biological Monitoring Working Party BMWP, la cual solo exige un conocimiento taxonómico a nivel de familia. Se considera que con esta metodología se puede empezar

los primeros acercamientos de la calidad del agua (ver anexo 5 y 6). Y mientras avanza el conocimiento taxonómico se puede ir utilizando otras metodologías más especializadas.

Cuadro No. 10 Resultados del índice BMWP, en diez puntos de muestreo en el Río Usumacinta, en el Parque Nacional Sierra Lacandón, La Libertad, Petén.

Punto de muestreo	BMWP	Significado
El Porvenir	51.92	Aguas moderadamente contaminadas
Macabilero desembocadura	99.08	Aguas ligeramente contaminadas
Nacimiento Cruz Azul	92.08	Aguas ligeramente contaminadas
Nacimiento Argueta	109.5	Aguas muy limpias
Yaxchilán campamento	57.50	Aguas moderadamente contaminadas
Ceiba de Oro	43.08	Aguas moderadamente contaminadas
Arroyo Yaxchilán	82.58	Aguas ligeramente contaminadas
La Técnica	39.82	Aguas moderadamente contaminadas
Bethel	37.33	Aguas moderadamente contaminadas
Arroyo la Miseria	56.64	Aguas moderadamente contaminadas

Fuente: FODECYT 013-2007

En el Cuadro No. 10 se presentan los resultados del índice BMWP, además se muestra el significado del índice en cada punto de muestreo. Según el índice BMWP el punto de muestreo con el agua más limpia es el Nacimiento Argueta, esto es bastante lógico, ya que como se mencionó anteriormente en este punto de muestreo la muestra se toma directamente del nacimiento, y se esperaría que esta fuera bastante limpia. Luego los puntos de muestreo Macabilero desembocadura, Nacimiento Cruz Azul, y Arroyo Yaxchilán presentan las aguas ligeramente contaminadas y por último el resto de los puntos tienen las aguas moderadamente contaminadas. Este resultado hay que tomarlo con sus reservas ya que no se logró estandarizar el tipo de metodologías que se utilizó para el monitoreo en cada punto y posiblemente este índice lo que nos indica es que tanta variación estacional existe en los puntos de muestreo. Por ejemplo en la época seca en la que los puntos de muestreo tienen poca profundidad, se forman playas en las orillas, permite que habiten un complejo de poblaciones de macroinvertebrados.

Cuando entra el invierno los mismos puntos de muestreo sufren una gran variación en la profundidad (más de 10m), los organismos adaptados a vivir en las orillas donde hay playas son llevados por las corrientes y empiezan a colonizar organismos diferentes en las pocas áreas entre las ramas de los árboles, en donde el agua es un poco más tranquila.

En el caso del Nacimiento Argueta, que el punto de muestreo está lejos de la desembocadura del río Usumacinta, las condiciones estacionales no son tan marcadas, por lo que el método de muestreo utilizado nos da información más estable para el año. En el caso de los puntos de muestreo Arroyo Yaxchilán, Nacimiento Macabilero, La Miseria y Nacimiento Cruz Azul, que se monitorean los flujos al río Usumacinta, los puntos de

muestreo son en la desembocadura, por lo que los cambios estacionales si afectan a estos puntos.

La metodología de colecta de las muestras es la base para poder utilizar a los macroinvertebrados como indicadores. Ya que como se pudo ver en el Río Usumacinta, en cada uno de los 10 puntos de muestreo los factores cambian y también varía en la época del año. De manera que el monitorear un río tan caudaloso presenta la dificultad de estandarizar de la manera adecuada la metodología de muestreo, de las poblaciones presentes en cada lugar. Esto lo menciona Roldan (2003) como una desventaja del monitoreo de cuerpos de agua con los métodos biológicos. Ya que como se ve en la caracterización de los puntos de muestreo, los puntos de muestreo El Porvenir, Yaxchilán campamento, Ceiba de Oro, La Técnica y Bethel que se encuentran en la orilla del río Usumacinta, que es un río muy caudaloso en donde sus márgenes los ecosistemas son transformados drásticamente dependiendo de la época del año. Por lo que las poblaciones de macroinvertebrados, que habitan en sus orillas, también se modifican dependiendo de las características espaciales del río. Ya que mientras que en verano los márgenes tienen playas con arena, en época de invierno estas playas son inundadas y los márgenes se convierten en área de bosques inundados, por ejemplo en el punto de muestreo Ceiba de Oro la diferencia de profundidad entre época seca y época lluviosa de es más de 10 m. Esto se puede notar con los insectos capturados en cada muestreo que no son comúnmente encontrados en el agua, sino que se ubican principalmente en vegetación.

En el caso de los puntos de muestreo Macabilero, Nacimiento Cruz Azul, Nacimiento Argueta, Arroyo Yaxchilan y Arroyo la Miseria, que son nacimientos de agua o afluentes del río Usumacinta. Las características son un poco más estables, dependiendo si el punto de muestreo se encuentra río arriba o en la desembocadura. Ya que no importa la época del año son ríos con poco a mediano caudal. Esto se refleja en que los macroinvertebrados capturados son principalmente relacionados con cuerpos de agua.

Por lo que se sugiere que para futuros estudios en este río se prueben diferentes metodologías para evaluar cual es la que mejor consigue una muestra representativa de la fauna de macroinvertebrados representativa. Una metodología que se sugiere probar es la de hábitats de fondo, que consiste en construir, de cemento, unidades que puedan ser depositadas en el fondo del río, para probar la colonización de especies de macroinvertebrados acuáticos. Estas unidades deben contar con un banderín o una señal de superficie para que permita que sean localizadas y revisadas mensualmente.

Lo ideal es que todos los estudios tomen a la cuenca hidrográfica como unidad de estudio para ver el estado ecológico de la región. Y la determinación de este estado ecológico se debe realizar de acuerdo a comparaciones de condiciones de referencia con datos de cuencas hidrográficas o ecosistemas acuáticos similares (Prat y Munné, 1999). El inconveniente, es que en Guatemala, no hay estudios de cómo es el comportamiento de las poblaciones en ecosistemas con diferentes niveles de alteración. De manera de tener un río con características similares con baja alteración, antropogénica, otro con mediana alteración y otro con alta alteración, para que sirvan de referencia de las poblaciones de macroinvertebrados que se encontraron en el río Usumacinta. Por lo que se realizó un

primer acercamiento para conocer internamente en el Usumacinta, como se comportan los macroinvertebrados entre diez puntos de muestreo.

Además vale la pena que al realizar un estudio de un cuerpo de agua, se tome no solo el río Usumacinta, en este caso, sino que se incluya a la microcuenca a la que pertenece. De esta forma se puede monitorear el río y además sus principales afluentes. Los afluentes del río Usumacinta, son ríos más pequeños que si permitirían utilizar macroinvertebrados como indicadores.

Con las colectas realizadas durante 12 meses, en cada uno de los diez puntos de muestreo, se logro estudiar aun más el ecosistema acuático que conforma el río, logrando así la realización de una “Guía para la identificación de macroinvertebrados acuáticos, en el Río Usumacinta”, es esta guía se encuentran las características de los tipos de macroinvertebrados que se encontraron, donde se pueden encontrar y en que categoría se encuentran en la clasificación de la calidad de agua. Esta guía se podrá utilizar como referencia para estudios posteriores que sirvan para la identificación de la calidad de agua en ríos caudalosos como lo es el Usumacinta. Uno de los productos de este estudio fue el de tener una Guía para la identificación de macroinvertebrados acuáticos, en el Río Usumacinta, esta herramienta de identificación de especies puede ser utilizada en educación ambiental con niños para que se relacionen con el ecosistema acuático y que representa la presencia de cada uno de los insectos en el cuerpo de agua. (Ver anexo No.9)

Ictiofauna

No existen publicaciones sobre el tema de ictiofauna en el río Usumacinta y las pocas investigaciones que hay no han sido publicadas. En 1996 Miller trabajó peces de aguas continentales en sus estudios, y clasifica posteriormente a la Parte Norte de Guatemala y Sureste de México como la Provincia Ictica del Usumacinta, dentro de está se encuentran unas 200 especies aproximadamente. Esta área se caracteriza por la cantidad de peces marinos (18 especies) que ahora viven permanente en agua dulce; Miller clasifica a esta área como centro de evolución de peces, ya que muestran marcadas diferencias con los del istmo Centro Americano, lo cual muestra que no conforman una unidad (Miller 1996).

El Río Usumacinta es un cuerpo de agua, ahora amenazada de ser un área poblada por invasores lo que sugiere que existirán mayor presión sobre el recurso agua. Los peces juegan un papel importante en la subsistencia de los pobladores del área ya que sirven para subsistencia, además de que constituyen un aporte económico importante en los ingresos de las familias.

El método para la captura de peces consistió en la utilización de un trasmallo No. 30 con luz de 4 pulg. A lo largo del monitoreo de calidad de agua se realizaron únicamente dos colectas, una en época seca y otra en época lluviosa, determinando la salud del pez, identificación y características generales.

El análisis de la identificación de peces fue mediante la medición de aletas, observando presencia de lesiones y revisión de coloración de agallas. Para la captura se conto con el apoyo de pescadores del lugar, así como también de la asesoría de un especialista en peces, Dr. Rolando Wer y un estudiante del CENMA de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

El primer muestreo fue realizado el 12 y 13 de marzo 2008, en época seca, en el Arroyo el Porvenir, donde se colocaron dos puntos de muestreo uno sobre el río y el otro en la desembocadura del arroyo al río. Donde se obtuvieron seis especies las cuales son: Arenque (*Clupea harengus*), Machaca (*Brycon guatemalensis*), Bagre (*Cathorops aguadulce*), Jolote (*Ictalurus furcatus*), Plecostomo (*Plecostomus* sp.), Curvina (*Ctenopharyngodon idella*).

Generalidades y Características del Arenque

Tienen el cuerpo alargado, de color plateado con fondo azulado o azul-verdoso. La talla máxima descrita fue de un ejemplar de 45 cm. Tanto la aleta dorsal como la aleta anal carecen de espinas; escudos sin quilla prominente, opérculo sin huesos radiantes estriados, con el borde de la abertura de las agallas muy redondeado, no presentan manchas oscuras distintivas ni en el cuerpo ni en las aletas.

Habita ambientes bentopelágicos, oceanódromo, pudiendo encontrarse en aguas templadas a frías en un rango de profundidad entre 0 y unos 360 m. Forma grandes cardúmenes en aguas costeras importantes como mecanismo anti-depredador, con complejas migraciones tanto en busca de alimento como para el desove, con calendarios que dependen de cada una de las razas que existen. Se alimenta de pequeños copépodos planctónicos en su primer año de vida, para después llevar una dieta fundamentalmente de copépodos; es filtrador-capturador facultativo de zooplancton, es decir, puede cambiar a voluntad de alimentarse filtrando a alimentarse capturando, en función del tamaño de las partículas que encuentra.

Pasan el día en aguas profundas, pero suben a la superficie de noche; encuentran su comida usando el sentido de la vista. La alimentación y el crecimiento son muy lentos durante el invierno, siendo sexualmente activos a una edad entre los tres y los nueve años. Cada población se reproduce al menos una vez cada año, depositando los huevos sobre el sustrato del fondo. Es muy frecuente encontrar larvas de cestodos y trematodos como parásitos en sus intestinos.



Fotografía No. 36 Arenque (*Clupea harengus*) colectado en el punto de muestreo El Porvenir, Río Usumacinta, La Libertad, Petén

Fuente: FODECYT 013-2007

Generalidades y Características de la Machaca

La Machaca, por lo general es de color plata aunque con la edad se oscurece un poco. No llega a crecer más de 50 cm y es una especie de la vertiente Atlántica aunque existen registros en la vertiente Pacífica.

Las Machacas son de aspecto feroz, debido a que su mandíbula inferior es más larga que la superior, dejando ver sus dientes premaxilares. Su carne es muy apetecida, aún cuando es catalogado como una de los peces que más huesos posee, aunado a que los mismos son del tipo intramuscular, por lo que para su consumo se recomienda realizar cortes verticales muy seguidos.



Fotografía No. 37 Machaca (*Brycon guatemalensis*) colectado en el punto de muestreo El Porvenir, Río Usumacinta, La Libertad, Petén.

Fuente: FODECYT 013-2007

Generalidades y Características del Bagre

Pez nativo de Guatemala, vive en Usumacinta y ha sido encontrado también en el lago de Izabal, en el Atlántico, en el drenaje de los ríos en la cuenca del río Pánuco a México, Lago de Izabal en Guatemala. Su hábitat es tropical. Largo máximo desde la aleta dorsal 22.7cm

Es considerado peligroso para su manipulación ya que posee una aleta posterior que cuando se siente amenazada la extiende, y levanta una espina. Que si se inserta en la mano puede provocar fuertes dolores y fiebre alta.



Fotografía No.38
Bagre (*Cathorops aguadulce*) colectado en El Porvenir, Río Usumacinta, La Libertad, Petén

Fuente: FODECYT 013-2007

Generalidades y Características del Jolote

Tamaño máximo 165 cm, tiempo máximo de vida reportado 21 años. Su distribución es desde América del Norte (Grandes ríos del Mississippi, Missouri y Ohio cuencas), al sur de México y el norte de Guatemala. Habita en aguas profundas de embalses y canales principales y remansos de los ríos medianos y grandes. Prefieren los claros, y lugares donde el agua que fluye fuertemente.



Fotografía No. 39
Jolote (*Ictalurus furcatus*) colectado en el punto de muestreo El Porvenir (UTM 0683011/1900224), río Usumacinta, La Libertad, Petén.

Fuente: FODECYT 013-2007

Generalidades y Características del Plecostomo

Proviene de Sudamérica y pertenece a la familia Loricariidae. Por lo que se considera un pez invasor, en el río Usumacinta es posible que esté dañando a las poblaciones de las especies nativas. Habita en aguas con temperaturas entre 20 y 29 °C, adaptándose a un amplio rango de valores de pH, entre 6 (ácido) y 8 (alcalino). Son peces con boca en forma de ventosa. Son muy territoriales con los de su propia especie, dada su alimentación, además sus hábitos nocturnos pueden molestar a peces sensibles. Pueden atacar a otros peces.

Fotografía No.40 Plecostomo (*Plecostomus sp.=punctatus*) colectado en El Porvenir (UTM 0683011/1900224), Río Usumacinta, La Libertad, Petén



Fuente: FODECYT 013-2007

Generalidades y Características del Curvina

Habitan en clima sub tropical, es una especie introducida en México y en varios países de Centro y Sud América. Es un pez de origen oceánico aunque ahora habita en ríos caudalosos. Es un pez bastante grande y es utilizado para subsistencia de los pobladores de la región.



Fotografía No. 41
Curvina
Ctenopharyngodon idella) colectado en el Río Usumacinta, La Libertad, Petén.

Fuente: FODECYT 013-2007

El segundo muestreo fue realizado el 24 y 25 de noviembre del 2008, época lluviosa, en el Arroyo Macabilero (UTM 734386/ 1858334). En este punto de muestreo se colocaron dos trasmallos ubicados en distintos puntos sobre el arroyo. Se obtuvieron 12 especies de peces las cuales son las siguientes: Pejelagarto (*Lepisosteus* spp), Bagre (*Pimelodus albicans*), Tuso (*Mugil* sp.), Curruco o bagre lacandon (*Potamarius nelsoni*), Jolote (*Ictalurus furcatus*), Machaca (*Brycon guatemalensis*), Pez Coche (*Serranus aurega*), Mojarra Pozolera (*Cichlasoma* sp.), Pez Dormilon (*Gobiomorus dormitor Lacepede*), Mojarra (*Chiclasoma urophthalmus*), Arenque (*Clupea harengus*) y la Chopa (*Ictiobus meridionalis*).

Generalidades y Características de Peje Lagarto

Los pejelagartos están formados por cuatro especies de peces óseos primitivos, entre los más antiguos que aun existen en la actualidad. Habitan los cursos de agua dulce en el sureste mexicano en el estado de Tabasco y en el departamento de Petén en Guatemala. Tienen un hocico alargado, semejante al del lagarto y dientes largos y punzantes. Sus escamas son gruesas; llegan a pesar hasta 45 kg y viven en aguas tranquilas.

Fotografía No. 42 Peje lagarto (*Lepisosteus* spp) colectado en Arroyo Macabilero, Río Usumacinta, La Libertad, Petén.



Fuente: FODECYT 013-2007

Generalidades y Características del Bagre

Las descripciones y generalidades del pez han sido descritas anteriormente.

Fotografía No. 43 Bagre (*Pimelodus albicans*) colectado en Arroyo Macabilero, río Usumacinta, La Libertad, Petén.



Fuente: FODECYT 013-2007

Generalidades y Características del Tuso

Entre este grupo se engloban varias especies muy difíciles de distinguir entre sí. Tiene una coloración gris con tonos azulados o verduscos, posee un brillo metálico. Pueden llegar a medir hasta un metro, pero normalmente sólo alcanzan 50 cm. Se suele confundir muy a menudo con las lubinas, aunque se diferencia claramente por su boca. Los Mugílidos tienen los labios más gruesos y no tienen la mancha negra sobre el opérculo.

Vive muy cerca siempre de la costa y puede aparecer en aguas dulces o salobres, muy a menudo se encuentra en aguas impuras donde se alimentan de residuos orgánicos. Generalmente es de muy mala calidad para comida, ya que muchas veces está en aguas sucias, sin embargo, aquellos ejemplares capturados en aguas limpias suele presentar una calidad buena, sus huevas alcanzan alto valor en mercados extranjeros.

Fotografía No. 44 Tuso (*Mugil* sp.) colectado en Arroyo Macabilero, Río Usumacinta, La Libertad, Petén.



Fuente: FODECYT 013-2007

Fotografía No. 45 Bagre lacandón (*Potamarius nelsoni*) colectado en Arroyo Macabilero.



Fuente: FODECYT 013-2007

Fotografía No. 46 Jolote (*Ictalurus furcatus*) colectado en Arroyo Macabilero, Río Usumacinta, La Libertad, Petén.



Fuente: FODECYT 013-2007

Fotografía No. 47 Machaca (*Brycon guatemalensis*) colectado en Arroyo Macabilero, Río Usumacinta, La Libertad, Petén.



Fuente: FODECYT 013-2007



Fotografía No. 48 Pez Coche (*Serranus aurega*) colectado en Arroyo Macabilero, Río Usumacinta, La Libertad, Petén.

Fuente: FODECYT 013-2007

Generalidades y Características de la Mojarra

Se distribuyen en América Central. Se pueden encontrar en climas tropicales de 26 °C a 30 °C, aguas frescas, el tamaño más grande reportado es de 27cm, el grado de vulnerabilidad esta en bajo a moderado.



Fotografía No. 49 Mojarra Pozolera (*Cichlasoma* sp.) colectado en Arroyo Macabilero, Río Usumacinta, La Libertad, Petén.

Fuente: FODECYT 013-2007

Fotografía No. 50 Arenque (*Clupea harengus*.) colectado en Arroyo Macabilero, Río Usumacinta, La Libertad, Petén.



Fuente: FODECYT 013-2007

Fotografía No. 51 Chopa (*Ictiobus meridionalis*) colectado por pescadores del área de Bethel.



Fuente: FODECYT 13-2007

Generalidades y Características de la Chopa

Habitan en aguas dulces, preferiblemente en clima tropical, el peso máximo publicado: 8.4 kg (Ref. fish base), Su distribución se encuentra en: Centro América, sur de México y Guatemala. Características Generales: Espinas dorsales 3; Radios blandos

dorsales 23; Espinas anales 2; Radios blandos anales: 9. Contar con aleta caudal, 25 rayos suaves.

Fotografía No. 52 Pez Dormilon (*Gobiomorus dormitor* Lacepede) colectado en Arroyo Macabilero, Río Usumacinta, Petén.



Fuente: FODECYT 013-2007

Generalidades y Características del Dormilon

Este pez llega a tener un tamaño de más o menos 60.0 cm, este pez se caracteriza por vivir en zonas Tropicales entre 22°C – 29°C.

Los adultos se reproducen en agua dulce, a menudo tierra adentro. Habitan en las corrientes de agua que fluyen rápidamente. Se encuentran principalmente en la parte inferior donde el agua se mueve más lento, en los arroyos, a veces en troncos o piedras grandes y en restos de hojas o grava. Es un pez carnívoro con bentónicas que se basa en su comportamiento lento y coloración críptica para capturar crustáceos y peces (Greenfield).



Fotografía No. 53
Mojarra
(*Chiclasoma urophthalmus*)
colectado en Arroyo El Porvenir, Río Usumacinta, Petén.

Fuente: FODECYT 013-2007

Características y descripción de la Mojarra

Se distribuye en México en la Península de Yucatán; Belice, Guatemala, Honduras y Nicaragua. Actualmente ha sido introducido en Estados Unidos: Florida; y en México: Oaxaca. Es un pez omnívoro, demostrando preferencia por el alimento de origen animal. En libertad su dieta se compone principalmente de peces, crustáceos, moluscos, invertebrados, insectos y restos de materia vegetal y animal. En cautiverio no dudará en aceptar cualquier alimento comercial; aunque se le debe proporcionar una dieta variada (Greenfield).

En cuanto al uso actual de estos recursos no se observaron muchos pescadores en el área de investigación, fueron encontrados más en el área poblada (Bethel y la Técnica). Los lugares donde se colocaron los trasmallos no son áreas permitidas para la pesca.

En el muestreo en época seca, se encontró una especie que no es exclusiva del río Usumacinta un pez llamado comúnmente por los pescadores “pez diablo”, su nombre científico (*Plecostomus sp.=punctatus*) Familia: Loricáridos. Orden: Siluriformes. Es un pez que se alimenta en su mayoría de algas, sustratos y sedimentos que se quedan incrustados al fondo del cuerpo de agua, en este caso piedras, este pez es proveniente de Sudamérica fue introducido accidentalmente por una empresa mexicana que los emplea para limpieza de tuberías. Este pez es considerado una amenaza en el territorio mexicano de Chiapas, que colinda con ríos que desembocan al Usumacinta, este pez prolifera de tal manera que está acabando con los peces nativos, dado que se alimenta también de la hueva de los otros peces. Se ve la necesidad de investigar esta especie y de cuantificar sus poblaciones en el área, para ver que estrategias se deben implementar para su control.

De las nueve especies encontradas en el muestreo dos, todas son exclusivas del Río Usumacinta y la Parte de Grijalva, México. Se debe tomar en cuenta que con las características de las redes solamente se tomaron ejemplares de tallas medianas y que el muestreo fue en época lluviosa y con el nivel del río alto, lo que incide mucho en la baja densidad de peces, ya que se desplazan hacia otras regiones.

Dentro de las amenazas existentes ya fue mencionado anteriormente que son los asentamientos humanos con la presión sobre todo de los recursos existentes del área, los incendios y la sobre pesca en ciertas épocas del año esto puede acabar con el recurso y poner a ciertas especies en peligro de extinción. En el caso del pez invasor presenta ser una amenaza para los peces nativos del río Usumacinta.

III.1.9 Realizar comparaciones de los datos obtenidos en los diferentes sitios de estudio para diagnosticar el estado actual de estos y los efectos de las acciones antropogénicas.

A continuación se describen y se comparan los parámetros que se midieron y analizaron en este estudio, desde octubre 2007 hasta noviembre 2008. Se generó una base de datos para la caracterización de cada uno de los diez puntos muestreados en el Río

Usumacinta dentro del Parque Nacional Sierra de Lacandón (Anexo No. 1, 2 y 3 y Tabla No. 1).

Profundidad

El Río Usumacinta se caracteriza por las variaciones de profundidad y corrientes fuertes y con remolinos, lo cual dificultó la medición de las profundidades en algunos puntos de muestreo. Para medir la profundidad, se dejó caer una draga con plomos extra (para que esta no sea desviada por las corrientes) hasta el fondo, luego se colocó la lancha de forma perpendicular a la draga y se determinó la distancia sumergida por medio de una cinta con medidas en metros. En algunas ocasiones no fue posible tomar profundidades exactas, tales como Ceiba de Oro, La Técnica, Yaxchilán y Bethel, donde la corriente es muy fuerte y arrastra la draga lo que dificulta tomar la muestra de sedimento del fondo.

En la Cuadro No. 11 se puede observar la variación mensual de la profundidad en cada punto de muestreo. Los meses de enero hasta principios de mayo, se consideran de pocas lluvias o estiaje y los meses de junio a octubre, los meses de mayor precipitación. En el mes de octubre 2008 se presentaron fuertes lluvias que provocaron el desborde de ríos tributarios, y por ende el aumento en el caudal del Usumacinta, provocando un cambio drástico en la morfología de cada punto.

Cuadro No. 11 Comportamiento de la profundidad en los puntos de monitoreo (noviembre 2007 a octubre 2008), Río Usumacinta, La Libertad, Petén.

PROFUNDIDAD DEL RÍO												
SITIO DE MUESTREO	OCT	NOV	DIC	ENE	MAR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
El Porvenir	12	6	8	6	5	12	8	16	7	15	12.5	5
Macabilero	12	4	7	1	2	2	14	11	8	15	11	2
Nac. Cruz Azul	7	11	7	13	8	12	7	11	20	7	9	8
Nac. Argueta	0.8	0.7	0.5	0.7	0.8	0.6	0.6	0.7	0.07	0.10	0.10	0.10
Yaxchilán Campamento	--	16	7	6	6	6	11	7	7	10	8	5
Ceiba de Oro	20	12	8	9	6	4	18	9	8	18	7	10
Arroyo Yaxchilán	10	9	6	3	3	1.5	9	11	4	13	9	3
La Técnica	—	6	6	3	4	3	11	7	8	16	7	4.5
Bethel	—	—	9	5	7	4	11	13	10	14	15	7
Arroyo La Miseria	—	3	3	2	2	0.5	9	7	7	8	7	1.5

Fuente: FODECYT 013-2007

Las variaciones de profundidad son muy marcadas. En la Fotografía No. 54 se observan las marcas rojas trazadas en la torre de control en el puesto Yaxchilán Campamento, el punto de muestreo No. 5, y se compara el lado izquierdo con las marcas en los meses de menor precipitación.

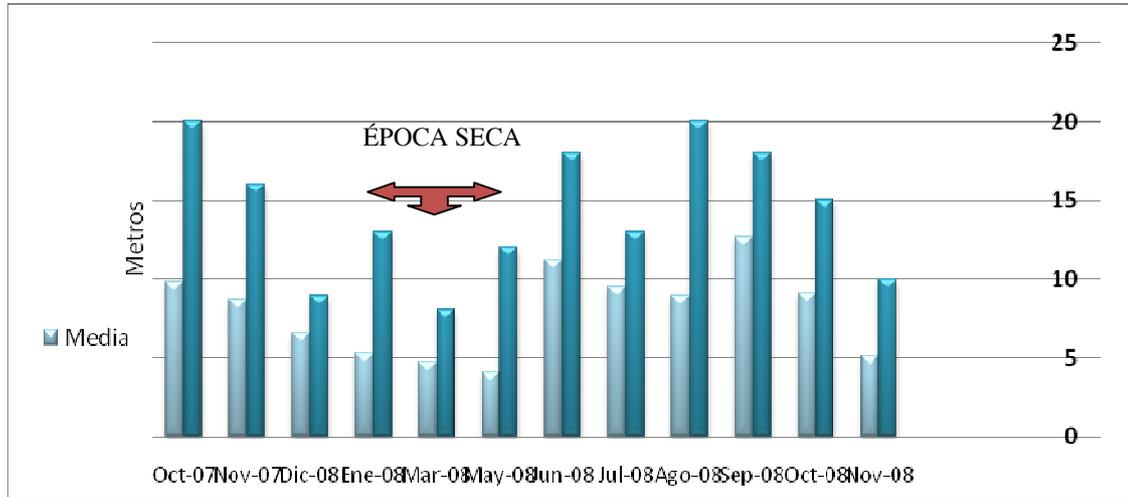
Fotografía No. 54 Comparación del nivel del agua en la torre de control Yaxchilán, Río Usumacinta, La Libertad, Petén en la época seca (fotografía de la izquierda) y la época lluviosa (fotografía de la derecha)



Fuente: FODECYT 013-2007

En varias ocasiones durante el monitoreo del río, se observó la huella de agua en la vegetación que se encuentra en la orilla. La profundidad media para época seca es de cinco metros y en época lluviosa es de diez metros como se puede ver en la Gráfica No. 1

Grafica No.1 Profundidad mensual media y máxima del Río Usumacinta, La Libertad, Petén.



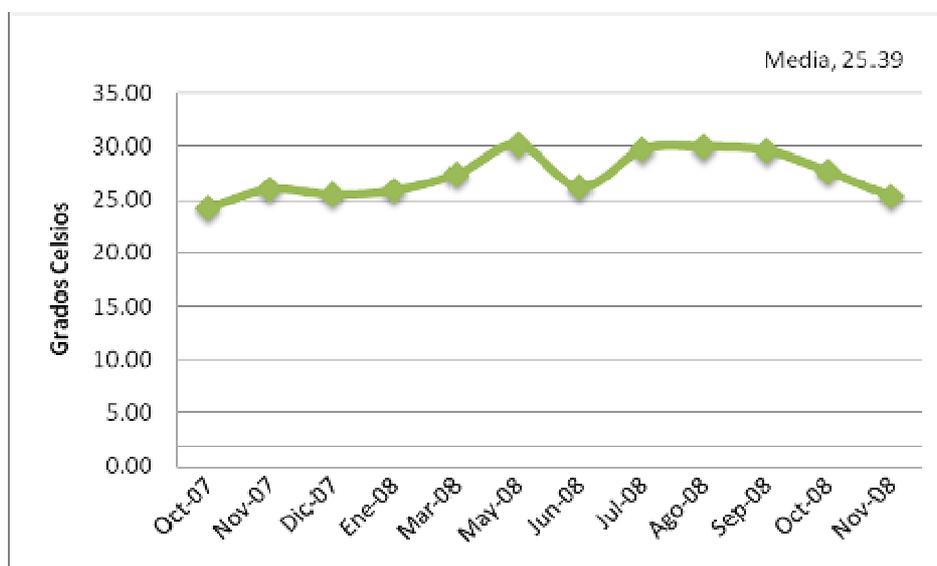
Fuente: FODECYT 013-2007

Temperatura

Uno de los parámetros que más altera las condiciones del ecosistema y el ciclo de los nutrientes, es la temperatura. Según los datos tomados en el estudio, la temperatura no varía mucho en época seca entre 26°C y 30°C, mientras que en época lluviosa, fue de 25°C y 27°C como se puede ver más claramente en la Grafica No. 2. La media de los 12 monitoreos es de 25.39°C. La Solubilidad del oxígeno en el agua está afectada por la temperatura, pues a mayor temperatura menor solubilidad y viceversa. Un cuerpo de agua puede aumentar la solubilidad en cerca de un 40% al bajar la temperatura de 25 a 0 grados centígrados, esto se debe a que en el agua fría, las moléculas se unen más, reteniendo la mayor cantidad de oxígeno. Un cuerpo de agua que posee 14.6 mg/l de oxígeno a 0 grados centígrados puede bajar su concentración a 6.4 mg/l a 40 grados centígrados (Roldan 1988). La temperatura del Río Usumacinta no varió durante el muestreo a excepción de algunos meses en donde la temperatura del agua aumentó drásticamente. (Anexo No. 2)

Algunos factores que pudieron afectar la temperatura son: las corrientes de agua, lluvias de la noche anterior, lluvias durante el monitoreo, temporadas secas continuas, la profundidad a la que fue tomada y la cantidad de nubes ya que esto deja o impide la entrada de rayos de sol.

Gráfica No. 2 Temperatura promedio del agua en los puntos de muestreo, Río Usumacinta, La Libertad, Petén.



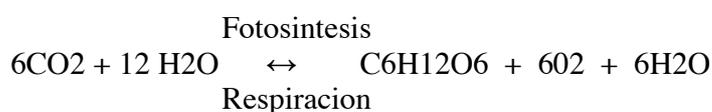
Fuente: FODECYT 013-2007

pH

Dentro del PNSL, se registran cuatro tipos de paisajes, las orillas del Río Usumacinta se consideran como montañas cársticas del Lacandón (Alvarado y Herrera, 2001). Un suelo cárstico se caracteriza por la mayor cantidad de Ca, Mg, Na, Cl, HCO₃ y SO₄. Las piedras calcáreas (carbonatos de calcio y magnesio) son sales hidrosolubles y por lo tanto le confieren características al agua del río, creando mayor fertilidad. Los sulfatos y sal de roca rara vez están expuestos en climas húmedos. Ellos son susceptibles a una rápida disolución durante las lluvias periódicas cuando se encuentran en la superficie de terrenos más secos.

El grado de acidez (pH) del río, caracteriza la composición de un cuerpo de agua, ya que de esto depende la presencia de ciertos organismos, las aguas alcalinas (pH mayor 7) favorecen la proliferación de la vida vegetal y animal. Las mediciones del potencial de hidrógeno (pH) fueron muy similares a lo largo del año monitoreado. El pH promedio para el río fue de 7.27.

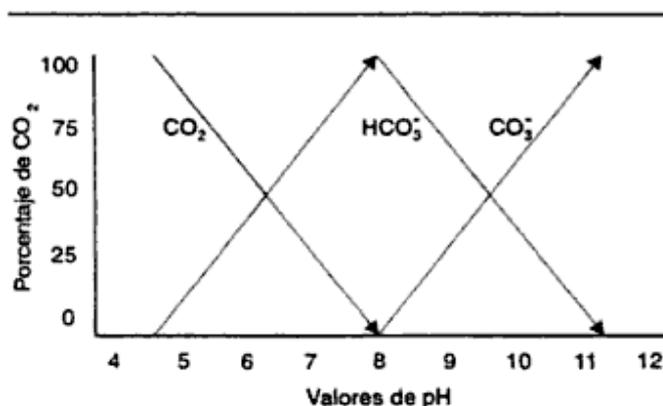
El dióxido de carbono, junto con el oxígeno, son los dos gases más importantes en el agua, y en general para la vida en el planeta. En tanto la reacción química de la fotosíntesis produce oxígeno, la de la respiración constituye el proceso inverso que produce dióxido de carbono:



Tanto la respiración de los seres vivos como la oxidación de la materia orgánica, requieren oxígeno para que se conviertan finalmente en CO_2 y H_2O . A diferencia del oxígeno, cuyo porcentaje en el aire es del 21%, el dióxido de carbono es solo del 0.04% en promedio. Sin embargo, esta cantidad es suficiente para llevarse a cabo los procesos fotosintéticos normales tanto en la tierra como en el agua.

El origen del dióxido de carbono en el agua proviene, por tanto, de la respiración de los organismos y de la oxidación de la materia orgánica. Las lluvias también arrastran el CO_2 atmosférico, incorporándolo en los ecosistemas acuáticos. La fotosíntesis y la respiración son dos fenómenos biológicos antagonistas, pero íntimamente relacionados, como se pudo observar en la reacción química anterior. Así cuando se realiza la fotosíntesis disminuye el CO_2 libre y comienzan a aparecer el bicarbonato y el carbonato. Durante la respiración se presenta el fenómeno contrario. Estos iones fomentan, en el primer caso, el cambio del pH del agua hacia el lado básico; y en el segundo, hacia el lado ácido. La presencia de estos iones determina el concepto de alcalinidad, el cual se expresa como la cantidad de bicarbonatos y carbonatos presentes en el agua. Si el pH es inferior a 8.3, se expresa como alcalinidad bicarbonato; y si es superior, se expresa como alcalinidad carbonato. La alcalinidad se refiere a la capacidad buffer y la basicidad y acidez, al valor del pH.

Figura No. 6 Relación entre dióxido de carbono, el bicarbonato y el pH del agua



Fuente: Roldan 1988

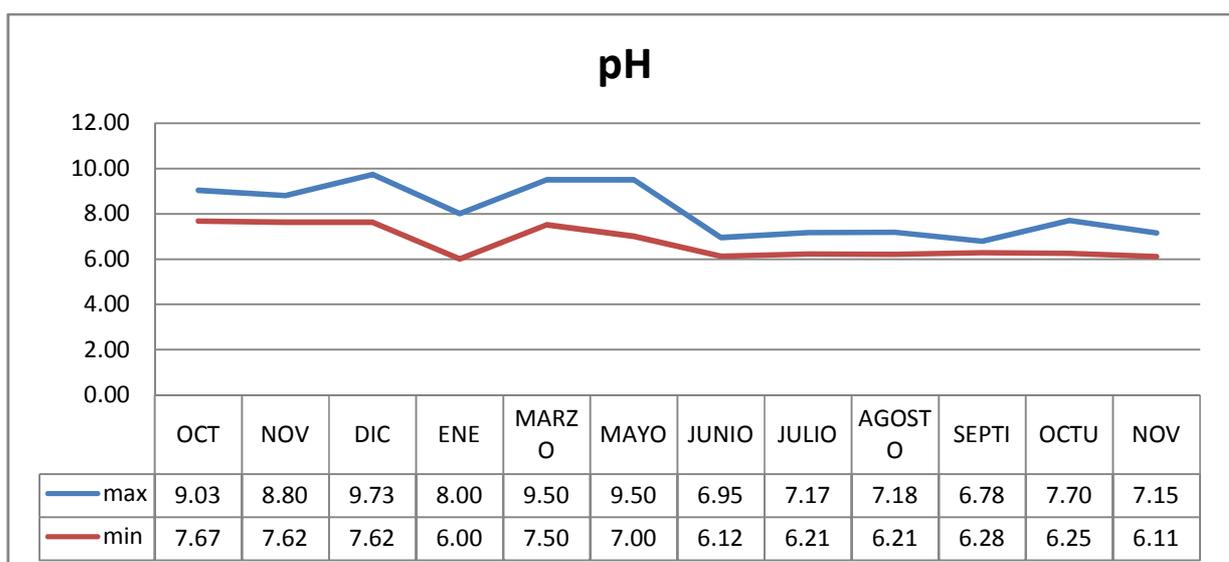
Según los resultados el pH en el Río Usumacinta, en la primera mitad del año, el comportamiento del pH es alcalino por lo que la alcalinidad es bicarbonato; en la segunda mitad del año, el pH supera los 8.3 en la mayoría de los puntos de muestreo por lo que en este caso la alcalinidad está expresada como carbonato. Estos cambios están relacionados con la concentración del sustrato del fondo que es mayor en época seca y el tipo de sólidos disueltos en el agua.

Cuadro No. 12 Comportamiento del pH mensual, en los puntos de muestreo, Río Usumacinta, La Libertad, Petén.

SITIO DE MUESTREO	PH											
	OCT	NOV	DIC	ENE	MAR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
El Porvenir	9.03	8.14	8.20	8.00	7.50	7.80	6.12	6.35	7.18	6.31	6.44	6.36
Macabilero	7.95	7.94	8.11	8.00	7.80	8.00	6.95	7.02	6.88	6.28	6.35	6.11
Nac. Cruz Azul	8.25	8.04	7.97	7.00	7.80	7.00	6.80	6.78	6.30	6.35	6.61	6.37
Nac. Argueta	7.80	7.80	9.16	8.00	8.00	8.00	6.27	6.23	6.36	6.43	6.30	6.45
Yaxchilán Campamento	8.31	8.00	9.50	8.00	8.70	7.50	6.38	6.30	6.21	6.31	6.41	6.44
Ceiba de Oro	8.24	8.36	9.73	7.60	7.90	8.00	6.34	6.22	6.23	6.35	6.35	6.68
Arroyo Yaxchilán	7.95	7.67	8.34	7.50	8.40	8.00	6.18	6.86	6.87	6.59	6.30	6.61
La Técnica	—	8.30	8.38	7.50	7.50	7.00	6.45	6.27	6.27	6.78	7.70	6.76
Bethel	8.12	8.70	8.44	6.00	8.00	8.00	6.37	7.17	6.25	6.46	6.48	7.15
Arroyo La Miseria	—	8.80	7.62	8.00	9.50	9.50	6.35	6.75	6.28	6.64	6.25	6.53

Fuente: FODECYT 013-2007

Gráfica No. 3 Gráfica del comportamiento del PH en el Río Usumacinta, Petén.



Fuente: FODECYT 013-2007

Oxígeno disponible

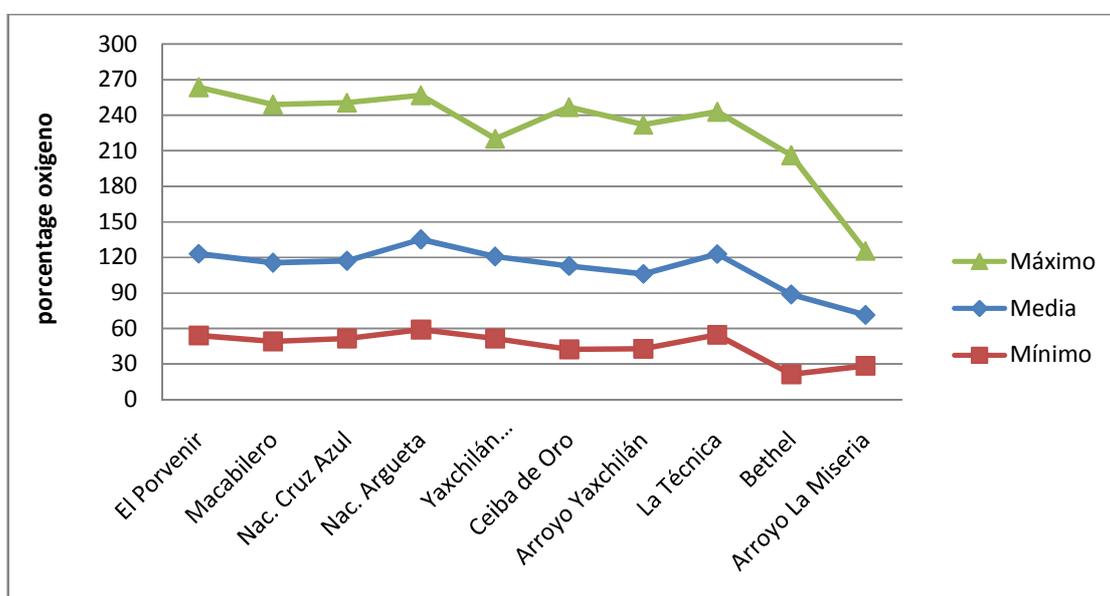
El porcentaje de oxígeno disponible y la concentración disuelta (mg/l) en el agua son parámetros importantes, dado que afecta el comportamiento de macro y microorganismos; es por esta razón que es fundamental conocer la cantidad de gases disueltos que contiene el agua. La fuente principal de oxígeno es el aire, el cual se difunde rápidamente en el agua por la turbulencia del río.

Los valores normales varían entre los 7.0 y 8.0 mg/l (Roldan 2003). A mayor temperatura el agua puede almacenar menor cantidad de oxígeno.

En la Gráfica No. 4 se observa que los niveles de oxígeno, no son tan altos como esperábamos pero si albergan gran cantidad de microorganismos los cuales se verán reflejados más adelante en las graficas de Demanda Biológica de Oxígeno.

Los puntos con mayor disponibilidad de oxígeno son el Nac. Argueta y Ceiba de Oro, mas adelante se describe las condiciones de cada punto de muestreo que favorecen su oxigenacion.

Gráfica No. 4 Comportamiento del % oxígeno disuelto, a un m de profundidad, durante el año de monitoreo, en los puntos de muestreo, Río Usumacinta, La Libertad, Petén.



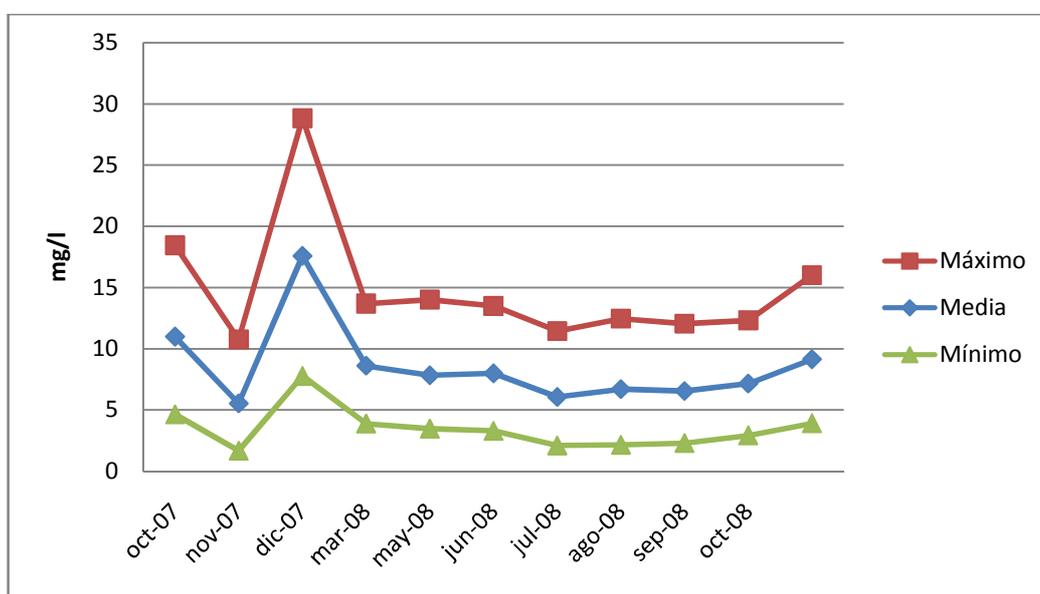
El río en el mes de diciembre presento las cantidades mas altas de oxígeno disuelto. El día que se muestreo las condiciones climáticas fueron un día nublado, con poco viento y corrientes rápidas, había presencia de espuma en la superficie y en varios puntos encontramos bastantes cantidades de materia orgánica flotando. El día anterior llovió toda la noche, lo que oxigena el río con agua de lluvia y mayores corrientes. En general el dato promedio para todo el río es de 64.4 % de Oxígeno Disuelto. El agua del río no está del todo oxigenada al metro de profundidad, pero por la corriente del río es posible que el oxígeno disuelto sea variable según la profundidad y según la corriente.

Si bien el oxígeno disuelto no tiene un efecto directo sobre los usuarios, puede influir en la actividad microbiológica y el estado de oxidación química de varios metales como el hierro.

El oxígeno disuelto es importante para evitar la formación de cantidades indeseables de sulfuro de hidrógeno, el cual es soluble en agua y puede infiltrarse en las capas freáticas por lo que el agua se vuelve inapta para el consumo humano. Una concentración de oxígeno disuelto de más de 80% de saturación es suficiente para obtener aguas bien oxigenadas.

En la Grafica No. 5 se observa el comportamiento del oxígeno disuelto durante el muestreo, por lo que puede notarse que durante los meses secos (marzo y mayo), el oxígeno disuelto esta en pocas cantidades y va aumentando al iniciar los meses de lluvia, pues al disminuir la temperatura, las corrientes aumentan y se producen ondas en el río que mueven y oxigenan el río.

Gráfica No.5 Comportamiento del oxígeno disuelto (mg/l), durante el año de estudio, en los puntos de muestreo en el Río Usumacinta, La Libertad, Petén.



Fuente: FODECYT 013-2007

Conductividad, Salinidad y Sólidos Disueltos Totales

Los Sólidos Disueltos Totales (TDS) describen la cantidad de sólidos disueltos en el agua. La conductividad y la salinidad están estrechamente relacionadas, lo que significa que a mayor cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será la conductividad eléctrica. La temperatura del agua afecta a la conductividad eléctrica de forma que su valor aumenta de 2% a 3 % por grado Celsius.

La conductividad eléctrica en los puntos de muestreo del río, varían entre 6310 μ S/cm y 230 μ S/cm (Cuadro No 13). El máximo valor de conductividad está relacionado directamente con la máxima concentración de sólidos totales disueltos; similar comportamiento se registra para el mínimo valor de conductividad y la mínima concentración de sólidos totales disueltos.

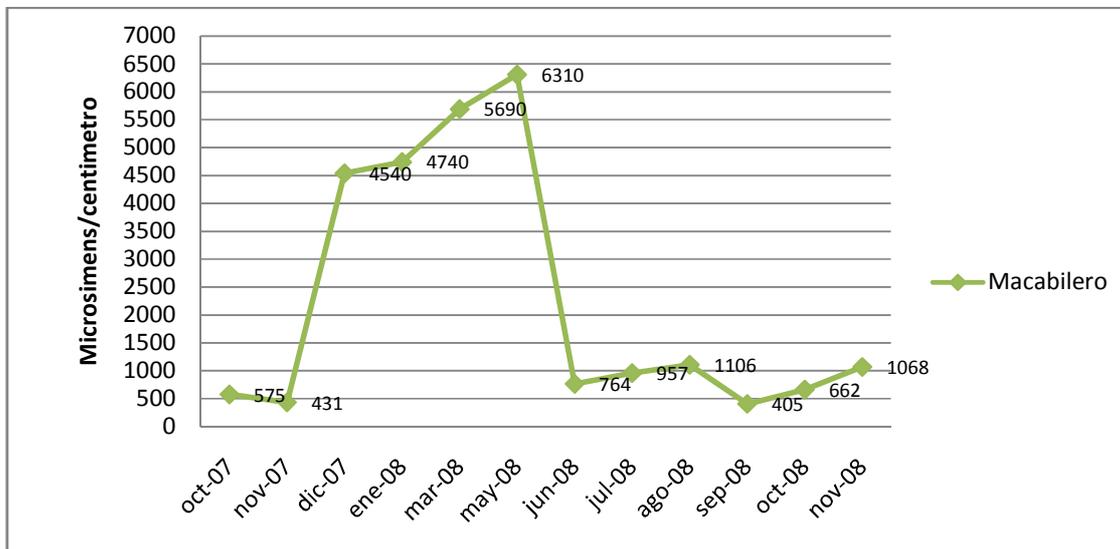
Cuadro No. 13 Comportamiento de la conductividad eléctrica mensual en el Río Usumacinta, La Libertad, Petén

CONDUCTIVIDAD μs/cm												
SITIO DE MUESTREO	OCT	NOV	DIC	ENE	MAR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
El Porvenir	356	1795	1576	2160	1867	2150	288	360	662	242	270	395
Macabilero	5.75	431	4.54	4.74	5.69	6.31	764	957	1106	405	662	1068
Nac. Cruz Azul	575	1746	1505	2.14	1824	6.31	304	713	451	238	267	379
Nac. Argueta	513	1799	1840	1799	1824	1789	523	501	496	365	369	370
Yaxchilán Campamento	313	1729	1505	2.09	1831	2.08	428	668	395	235	264	382
Ceiba de Oro	299	1683	1493	2.9	1822	2.03	286	362	405	236	259	444
Arroyo Yaxchilán	299	246	2.7	2.9	2.92	2.9	489	748	787	399	288	606
La Técnica	—	0.01	1503	2.09	2.68	2.02	276	362	385	233	157.7	374
Bethel	297	1696	1483	2.06	1830	2	557	359	372	230	264	374
Arroyo La Miseria	—	246	2.55	2.49	2.48	334	360	695	884	443	533	374

Fuente: FODECYT 013-2007

El comportamiento de la conductividad, del Arroyo Macabilero son superiores en relación a los otros nueve puntos de muestreo, esto se debe a la morfología del arroyo, acá se forman remansos donde se acumulan grandes cantidades de sustratos que arrastra el río (espuma, vegetación, basura etc.). El comportamiento de la conductividad es igual para la salinidad y sólidos disueltos totales, ya que tienen relación directa. En los meses de menor lluvia enero – mayo la conductividad y por ende los parámetros relacionados aumentan.

Gráfica No.6 Comportamiento de la conductividad eléctrica en el punto de muestreo Arroyo Macabilero, Río Usumacinta, La Libertad, Petén.



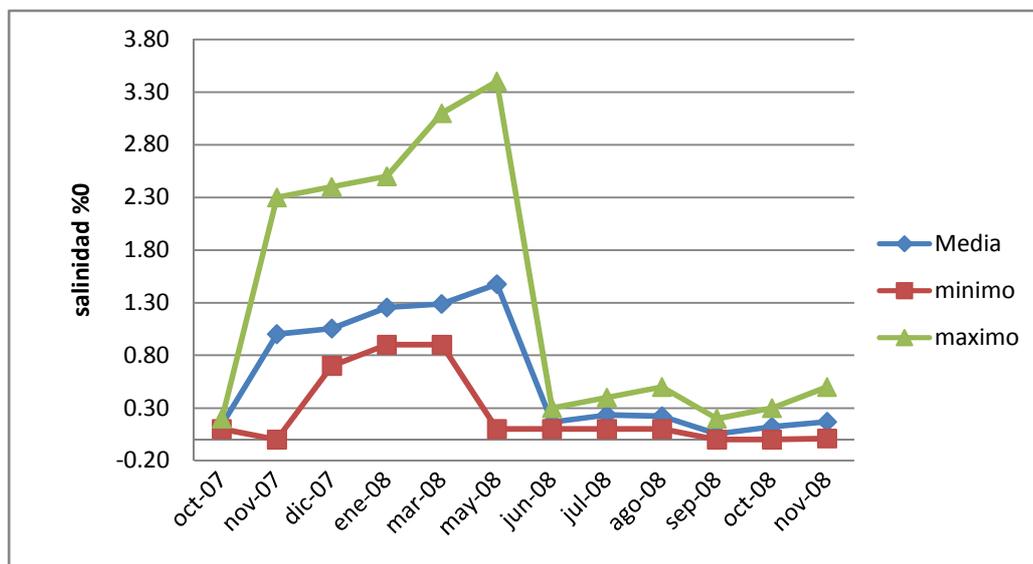
Fuente: FODECYT 013-2007

La conductividad en las aguas superficiales tropicales de montaña por lo regular es muy baja: entre 10 y 50 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Igualmente, las aguas de los ríos de la selva pluvial tropical contienen conductividades muy bajas (menos de 20 $\mu\text{s}/\text{cm}$). Es importante mencionar que un incremento en las sales por actividades humanas en el cuerpo de agua, disminuiría la diversidad de especies que habitan allí.

La salinidad promedio varía entre 1.5‰ y 0.9 ‰ y guarda una relación directa con el máximo valor de la conductividad y la concentración máxima de sólidos totales disueltos. Existe una relación con el aumento de la salinidad en época seca, ya que está relacionado a que es mucho menor el nivel de agua, lo que concentra a los sólidos que arrastra y a las sales. En época lluviosa sucede lo contrario.

La solubilidad del oxígeno también está afectada por un incremento de su salinidad. A 0°C el agua dulce contiene aproximadamente de 2.1 mg/l de Oxígeno disuelto más que el agua de mar, a 15°C, la diferencia es de aproximadamente de 2.1 mg/l. Lo que nos indica que un incremento de salinidad en los ecosistemas de agua dulce sería letal para la mayoría de los organismos que allí habitan (Roldan, 2003). Este factor de salinidad, es muy importante tenerlo en cuenta, ya que un incremento de salinidad en los ecosistemas de agua dulce sería letal para la mayoría de los organismos que allí habitan.

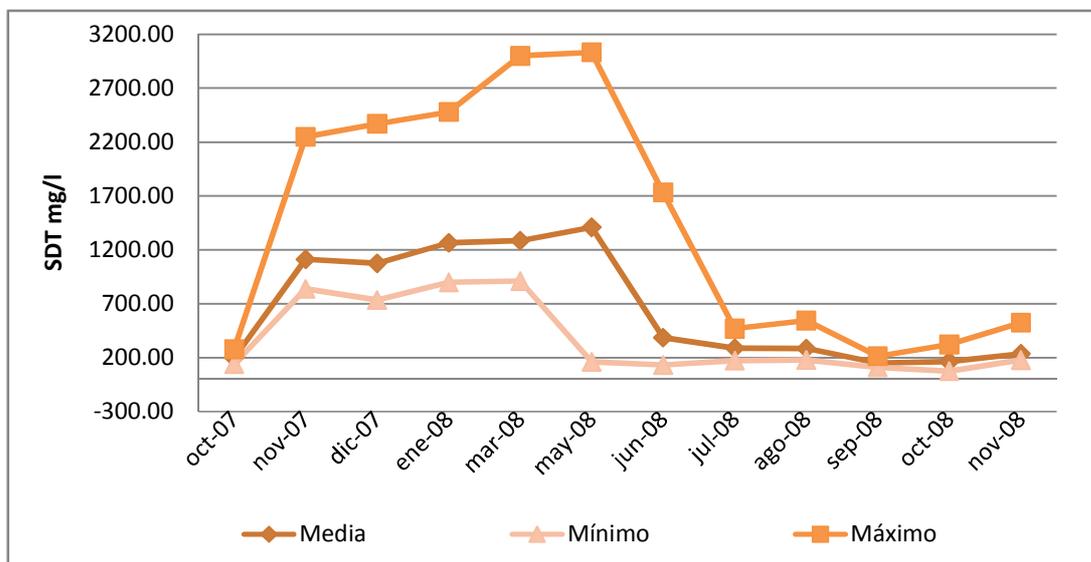
Gráfica No.7 Comportamiento de la salinidad % mensual, en el Río Usumacinta, La Libertad, Petén.



Fuente: FODECYT 013-2007

En la Gráfica No. 8 se observa el comportamiento de los solidos disueltos totales durante los muestreos mensuales. En época mas seca (Noviembre a Mayo) se nota un aumento, esto se puede deber a que en época seca es menor el nivel del agua, y este río siempre tiende a tener fuertes corrientes por lo que el sustrato del fondo esta en continuo movimiento y la cantidad de solidos disueltos totales aumenta al igual que los parametros relacionados a este. El valor de SDT en época seca varia entre 3034mg/l y 912mg/l. En los meses de mas precipitaciones varia entre 2250mg/l y 178.20 mg/l.

Gráfica No.8 Comportamiento SDT (mg/l) mensual en el Río Usumacinta, La Libertad, Petén.



Fuente: FODECYT 013-2007

Transparencia (m)

La turbiedad define el grado de opacidad producido en el agua por la materia en suspensión. Los materiales que provocan la turbiedad son los responsables del color, la concentración de las sustancias determina la transparencia del agua, puesto que limita el paso de la luz a través de ella. La turbiedad originada por materiales externos al ecosistema se denomina aloctona y la producida dentro del mismo cuerpo de agua se denomina autóctona. La turbiedad es una medida visual de contaminación (Roldan 2003). La medida contraria a la turbiedad es la transparencia, y es lo que se midió en el río Usumacinta.

La transparencia se midió por medio de un tubo de transparencia (cilindro de 1.2m) que contiene un disco sequi en el fondo, el cual es utilizado en ríos caudalosos. La mayor transparencia en todos los puntos de muestreo se obtuvo en los meses de poca lluvia enero a mayo. En el caso de los puntos de muestreo Yaxchilán campamento y Ceiba de oro en el mes de Agosto se observan valores de transparencia muy altos (0.80 metros y 0.90 metros respectivamente) esto se puede deber a que hay mayor cantidad de agua en el río y son puntos donde se presentan las mayores profundidades. Gran parte de la turbidez que presenta el río puede ser de origen aloctona, debido a las corrientes tan fuertes que arrastran todo tipo de sedimentos de los bordes.

Cuadro No. 14 Transparencia de los puntos de muestreo en Río Usumacinta, La Libertad, Petén.

TRANSPARENCIA (m)												
SITIO DE MUESTREO	OCT	NOV	DIC	ENE	MAR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
El Porvenir	0.13	0.47	0.27	0.65	0.47	0.67	0.14	0.13	0.25	0.10	0.28	0.26
Macabilero	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	0.40	0.55	0.30	0.58	1.20
Nac. Cruz Azul	0.11	0.63	0.37	0.54	0.50	0.70	0.14	0.15	0.19	0.14	0.27	0.28
Nac. Argueta	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Yaxchilán Campamento	0.15	0.49	0.34	0.71	0.65	0.42	0.14	0.15	0.80	0.12	0.25	0.26
Ceiba de Oro	0.12	0.47	0.34	0.59	0.62	0.65	0.12	0.14	0.90	0.11	0.26	0.22
Arroyo Yaxchilán	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	0.33	0.30	0.52	0.35	0.51
La Técnica	—	0.44	0.03	0.70	0.64	0.68	0.11	0.15	0.11	0.14	0.28	0.31
Bethel	0.16	0.45	0.03	0.57	0.69	0.65	0.10	0.16	0.15	0.13	0.25	0.36
Arroyo La Miseria	—	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	0.26	0.53	1.20	0.87	0.80	0.21

Fuente: FODECYT 013-2007

Los sitios de muestreo con mayor transparencia del agua, son los Arroyos y Nacimientos. El Arroyo Macabilero, presenta aguas que parecieran ser negras, pero cuando se sacan son muy claras con una pigmentación amarillenta por la presencia de ácidos húmicos. Lo que ocurre es que el sustrato del fondo está compuesto por materia orgánica en descomposición y esto da la apariencia de agua de color negro. El arroyo Yaxchilán igualmente en los meses de menor precipitación presento siempre agua muy cristalina. El arroyo la Miseria presenta color turquesa, debido fondo del tipo cárstico, este pigmento permite ver el fondo del arroyo.

En el nacimiento Cruz Azul, la muestra no se toma directamente del nacimiento, el punto es sobre el río, debido a que el nacimiento no se ve durante todo el año, únicamente en época seca por lo que el punto se toma frente al nacimiento lo que explica la diferencia entre los otros nacimientos, ya que este punto ya lleva agua cristalina del nacimiento revuelta con agua del río que lleva mayor cantidad de sólidos disueltos en el agua.

Análisis de Nutrientes en las muestras de agua en los diferentes puntos de monitoreo

Los nutrientes analizados se encuentran de forma natural en este monitoreo. Las formas iónicas (reactivas) de nitrógeno inorgánico más comunes en los ecosistemas acuáticos son el amonio (NH_4^+), el nitrito (NO_2^-) y el nitrato (NO_3^-). Estos iones pueden estar presentes de manera natural en el medio acuático como consecuencia de la deposición atmosférica, la escorrentía superficial y subterránea, la disolución de depósitos geológicos ricos en nitrógeno, la descomposición biológica de la materia orgánica, y la fijación de nitrógeno por ciertos procariontes (Roldan 2003).

Las actividades humanas alteran de manera significativa el ciclo global del nitrógeno. El Río Usumacinta está afectado por las siguientes actividades: residuos y vertidos de granjas de animales y de aguas domesticas, procesos de escorrentía e infiltración en basureros clandestinos y campos de cultivo, infiltración en praderas y

bosques quemados, presencia de combustibles y aceites de lanchas, emisiones a la atmósfera provenientes del uso de combustibles fósiles y fertilizantes y la posterior deposición atmosférica sobre las aguas superficiales.

Los fosfatos son incrementados por la utilización de fertilizantes que los contienen y detergentes a base de estos. Estas prácticas provocan un efecto destructor en el medio ambiente porque aceleran el proceso de eutrofización del agua del río, provocan el agotamiento del oxígeno disuelto en la capa superficial de agua, además de cambios que no toleran los organismos que ahí habitan. La presencia de nitritos y de amonio, es un indicio de reciente contaminación orgánica o de que existen procesos reductivos predominantes.

Ortofosfato PO_4^{3-} (mg/L)

En el Cuadro No. 15 se describe el comportamiento del ortofosfato en puntos de muestreo, donde la presencia humana es constante. Los puntos con mayor incremento de este nutriente son El Porvenir con una máxima en el mes de marzo con 1.60 mg/L PO_4^{3-} y Bethel con 1 mg/l. en el mes de junio. También hubo un incremento de todos los puntos muestreados, esto debido a los desbordamientos que provocaron las lluvias fuertes y continuas. Además las corrientes tan fuertes arrastraron con todo tipo de sedimentos y lavaron los suelos donde se encuentran cultivos. Tanto en las comunidades como en los puestos de control, se utilizan las orillas del río para lavar utensilios, y ducharse, por lo que el uso de detergentes y jabones es continuo.

Cuadro No. 15 Comportamiento de ortofosfato, PO_4^{3-} (mg/l) en los puntos de muestreo con presencia humana permanente, Río Usumacinta, La Libertad, Petén

SITIO DE MUESTREO	FOSFATO PO_4^{3-} mg/L											
	OCT	NOV	DIC	ENE	MAR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
El Porvenir Yaxchilán Campamento	debajo gama	debajo gama	0.17	0.21	1.60	0.13	0.56	0.16	0.19	0.55	0.08	0.10
Ceiba de Oro La Técnica	0.10	0.10 debajo gama	0.12	0.38	0.10	0.16	1.09	0.19	0.38	0.13	0.08	0.15
Bethel	0.42	0.19	0.05	0.22	0.90	0.15	0.34	0.16	0.11	0.23	0.13	0.03
	—		0.18	0.39	0.05	0.98	0.41	0.421	0.17	0.3	0.07	0.09
	0.10	0.08	0.07	0.54	debajo gama	0.72	1.09	0.96	0.22	0.09	0.10	0.25

Fuente: FODECYT 013-2007

En el Cuadro No. 16 se muestran los puntos de muestreo que son nacimientos y arroyos. El punto de muestreo con mayor ortofosfato, es arroyo Macabilero. Esto se debe a que en la entrada del macabilero se forma un remanso donde se acumula espuma, basura y demás sedimentos arrastrados por las corrientes, alrededor de este punto se encuentran ubicadas varias comunidades del lado de México donde las personas utilizan el agua para todo tipo de usos. El nacimiento Cruz Azul, en el mes de mayo tiene un incremento

significativo con 1.30 mg/L. el comportamiento en este punto no es constante, ya que presenta incrementos y disminuciones. Esto no tiene relacion con las temporadas secas o lluviosas, tampoco con la temperatura. Posiblemente tiene relacion con los fertilizantes, jabones y detergentes que llegan a estar en contacto con el cuerpo de agua.

Cuadro No. 16 Comportamiento de PO_4^{3-} (mg/l) en nacimientos y arroyos, Río Usumacinta, La Libertad, Petén.

SITIO DE MUESTREO	FOSFATO PO_4^{3-} mg/L											
	OCT	NOV	DIC	ENE	MAR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
Macabillero	debajo gama	2.41	0.07	0.07	0.86	0.54	1.64	0.12	0.18	2.86	0.06	0.11
Nac. Cruz Azul	0.25	0.25	0.13	0.08	0.10	1.30	0.45	0.18	0.08	0.25	0.34	0.13
Nac. Argueta	0.04	0.37	0.19	0.44	0.14	0.18	0.38	0.12	0.07	0.10	0.34	0.07
Arroyo Yaxchilán	0.12	debajo gama	0.11	0.76	0.01	0.26	0.32	0.77	0.08	0.13	0.13	0.08
Arroyo La Miseria	—	debajo gama	0.23	0.49	0.04	0.01	0.10	0.09	0.11	0.21	0.07	0.11

Fuente: FODECYT 013-2007

Nitrogeno-Amoniaco NH_3^+N (mg/L)

Al analizar el nitrógeno amoniacal, la mayoría de resultados eran menores a cero o igual a cero como se puede en el cuadro No. 17. El único punto de muestreo entre los arroyos y nacimientos que si tuvo un incremento significativo, es el Nac. Cruz Azul en el mes de Agosto con 0.090 mg/l, donde el siguiente mes disminuyo con 0.070 mg/l. Recordando que este punto de muestreo se encuentra sobre el río por lo que recibe mayor descarga de nutrientes por filtraciones y corrientes río arriba. El Nacimiento Argueta tiene un incremento en el mes de Septiembre con 0.050 mg/l, este nacimiento no tiene cultivos cercanos, ni debería de tener contaminación por nutrientes, se piensa que el resultado sea por origen natural (excreciones animales o descomposición).

Cuadro No. 17 Comportamiento de NH_3^+N (mg/L) en nacimientos y arroyos, Río Usumacinta, La Libertad, Petén.

SITIO DE MUESTREO	NITROGENO NH_3^+N mg/L											
	OCT	NOV	DIC	ENE	MAR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
Macabillero	0.030	0.000	0.000	debajo gama	-0.010	0.020	0.004	0.010	-0.010	0.030	0.000	0.000
Nac. Cruz Azul	0.030	-0.030	-0.010	0.020	0.020	0.040	0.007	0.060	0.090	0.070	0.030	0.010
Nac. Argueta	0.000	-0.010	-0.040	0.010	-0.020	-0.010	-0.002	0.000	0.000	0.050	-0.020	0.020
Arroyo Yaxchilán	0.020	0.000	0.000	debajo gama	0.000	0.000	0.050	0.000	0.000	0.031	0.000	0.010
Arroyo La Miseria	—	0.000	-0.030	0.010	0.000	0.000	0.010	-0.020	0.000	0.060	-0.030	0.010

Fuente: FODECYT 013-2007

Existe un incremento mayor entre los puntos de muestreo que hay presencia humana la mayoría del tiempo, en el caso de Yaxchilan campamento hay cultivos alrededor donde se creeria por medio de infiltracion o escorrentias llega el amoniaco al agua. Igualmente el incremento del mes de junio y julio es debido a las lavadas de los suelos, ocasionas por las lluvias que arrastran grandes cantidades de nutrientes al cuerpo de agua. La fuente principal de nitrógeno es el aire, el cual representa un 79% de volumen, el nitrógeno atmosférico llega al agua a través de las descargas eléctricas y por la acción reductora de ciertas bacterias (Roldan 2003).

Cuadro No. 18 Comportamiento de NH^3N (mg/L) en los puntos de muestreo con presencia humana permanente, Río Usumacinta, La Libertad, Petén.

NITROGENO NH^3N mg/L												
SITIO DE MUESTREO	OCT	NOV	DIC	ENE	MAR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
El Porvenir	-0.010	-0.040	-0.010	0.010	-0.020	-0.030	0.009	0.060	-0.010	0.040	0.020	0.03
Yaxchilán Campamento	0.030	-0.010	-0.020	-0.010	0.070	0.000	0.060	0.040	0.080	-0.030	0.000	0.030
Ceiba de Oro	0.080	-0.010	-0.020	-0.010	0.010	-0.010	0.060	0.020	0.040	0.060	0.010	-0.040
La Técnica	—	-0.020	-0.030	0.000	-0.020	0.000	0.050	0.040	0.040	0.070	0.030	0.020
Bethel	0.070	0.000	0.020	0.040	0.040	-0.020	0.110	0.010	0.030	0.010	-0.030	0.000

Fuente: FODECYT 013-2007

Nitrato NO^3N (mg/L)

Las descargas eléctricas, las algas cianofíceas, fertilizantes, bacterias oxidantes de nitritos, son fuentes puntuales de incrementos de nitrato en el río. En un ambiente como el del Río Usumacinta, se espera encontrar la mayoría de del nitrógeno como nitratos. El nacimiento Cruz Azul tiene un incremento que llega a los 11 mg/l en el mes de junio, donde como ya se describió ocurrieron en este mes grandes temporadas de lluvia y tormentas, al igual que en el mes de septiembre y octubre. En el mes de septiembre se presentó el incremento de los puntos Nacimiento Cruz Azul y de Nacimiento Argueta con 8.5 mg/l.

Cuadro No.19 Comportamiento de NO^3N (mg/L.) en nacimientos y arroyos muestreados en el Río Usumacinta, La Libertad, Petén.

Fuente: FODECYT 013-2007

NITRATO NO^3N mg/L												
SITIO DE MUESTREO	OCT	NOV	DIC	ENE	MAR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
Macabilero	2.40	2.40	1.20	0.70	1.30	1.44	3.00	2.00	1.80	2.70	1.80	1.50
Nac. Cruz Azul	2.90	1.60	1.60	0.78	2.10	0.20	10.90	3.00	2.40	6.80	2.10	1.80
Nac. Argueta	1.20	0.90	1.30	0.50	1.60	1.84	1.80	2.60	2.10	8.60	4.40	1.10
Arroyo Yaxchilán	1.00	3.70	2.80	1.70	7.70	2.40	2.30	2.10	1.80	2.4	2.40	1.50
Arroyo La Miseria	—	1.90	2.60	1.80	1.80	1.20	2.60	1.20	2.00	2.10	9.40	0.30

Los puntos con mayor incremento de nitrato, son los puntos cercanos a comunidades y puestos de control. El punto de monitoreo el Porvenir con 38.80 mg/l en el mes de marzo y en mayo baja con 25 mg/l.

Cuadro No. 20 Comportamiento de NO³N (mg/L) en los puntos de muestreo con presencia humana constante en el Río Usumacinta, La Libertad, Petén.

NITRATO NO ³ N mg/L												
SITIO DE MUESTREO	OCT	NOV	DIC	ENE	MAR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
El Porvenir	-0.40	1.30	1.90	3.90	38.80	25.20	5.80	1.70	4.70	4.30	1.60	2.60
Yaxchilán Campamento	2.40	1.10	1.20	2.10	1.60	0.56	5.60	1.30	13.00	3.80	1.00	2.10
Ceiba de Oro	2.30	1.30	0.30	1.30	1.20	2.60	10.20	2.10	7.20	3.30	1.20	2.10
La Técnica	—	1.30	20.2	6.4	1	5.8	12.7	2.7	2.3	7.3	6.1	1.4
Bethel	0.80	0.80	1.80	2.40	1.70	1.90	4.30	1.80	2.50	2.50	2.50	3.90

Fuente: FODECYT 013-2007

Nitrito NO²N (mg/L)

En el Cuadro No. 21, se observa el comportamiento de los puntos de muestreo con presencia humana constante, donde las cantidades de nitritos se presentan por punto de muestreo. El punto Porvenir tiene un máximo de 0.080 mg/l en el mes de octubre, y el resto del año tiene una disminución menor al 0.010 mg/l. Bethel tiene un comportamiento con un mínimo de 0.005 mg/l y una máxima de 0.012 mg/l. Yaxchilán tiene un comportamiento interesante de subidas y bajadas con un mínimo de 0.002 mg/l en el mes de octubre 2007 y un máximo de 0.047mg/l en el mes de agosto. La Técnica tiene un mínimo de 0.00mg/l en el mes de octubre, noviembre, diciembre y octubre 2008 y un máximo de 0.050 en el mes de Septiembre. Ceiba de Oro tiene un mínimo de 0.002 mg/l en varios meses, enero, mayo, octubre; y una máxima de 0.015 en los meses de diciembre y junio. En el punto de muestreo del nacimiento Argueta, el mes de marzo el nitrito analizado tubo un incremento grande, rebazando a los puntos con incidencia humana con un valor de 0.120 mg/l. Esto se puede deberse a un mal funcionamiento del equipo, por la poca presencia humana del punto y que no existen descargas hacia el nacimiento.

Cuadro No. 21 Comportamiento de NO²N (mg/L) en los puntos de muestreo con presencia humana constante en el río Usumacinta, La Libertad, Petén.

NITRITO NO ² N mg/L												
SITIO DE MUESTREO	OCT	NOV	DIC	ENE	MARZO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTI	OCTU	NOV
El Porvenir	0.080	0.006	0.005	0.006	0.006	0.013	0.007	0.007	0.013	0.024	0.008	0.004
Yaxchilán Campamento	0.001	0.002	0.011	0.003	0.011	0.001	0.001	0.014	0.046	0.027	0.007	0.020
Ceiba de Oro	0.005	0.005	0.015	0.002	0.009	0.002	0.015	0.000	0.012	-0.001	0.002	0.013
La Técnica	—	-0.004	-0.001	0.02	0.001	0.006	0.005	0.025	0.008	0.051	-0.001	0.012
Bethel	0.013	0.004	0.004	0.003	0.004	0.011	0.006	0.004	0.007	0.010	0.011	0.007

Fuente: FODECYT 013-2007

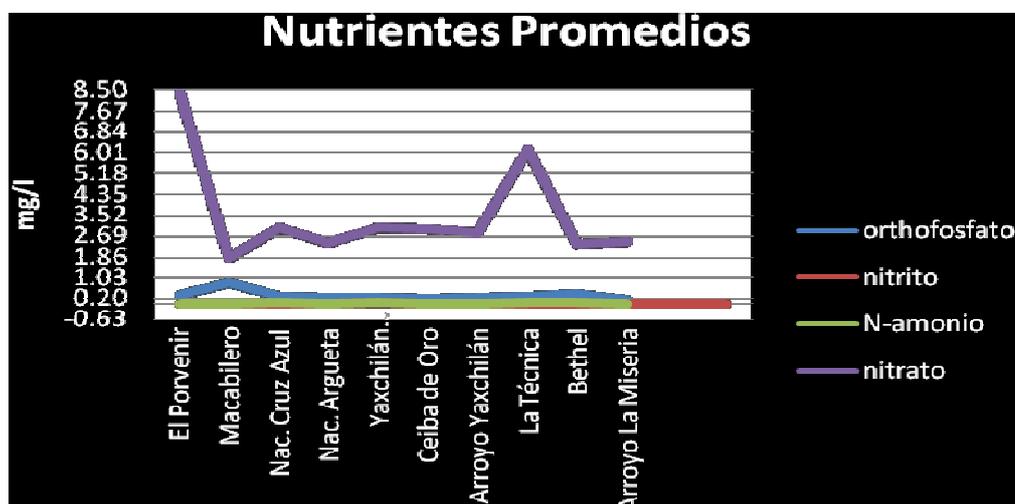
Cuadro No. 22 Comportamiento de NO²-N mg/l puntos de muestreo Nacimientos y Arroyos, Río Usumacinta, La Libertad, Petén.

SITIO DE MUESTREO	NITRITO NO ² -N mg/L											
	OCT	NOV	DIC	ENE	MARZO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTI	OCTU	NOV
Macabillero	debajo gama	0.001	0.004	0.006	0.008	0.006	0.004	0.007	0.007	0.004	0.001	0.003
Nac. Cruz Azul	0.020	0.004	0.002	0.004	0.001	0.002	0.016	0.031	0.008	0.009	0.002	0.005
Nac. Argueta	0.020	0.003	0.009	0.013	0.120	0.005	0.007	0.001	0.015	0.002	0.010	0.012
Arroyo Yaxchilán	-0.001	0.000	0.001	0.000	0.015	0.005	0.008	0.002	0.008	0.011	0.009	0.011
Arroyo La Miseria	—	0.002	0.003	0.009	0.004	0.005	0.024	0.014	0.007	0.023	0.006	0.009

Fuente: FODECYT 013-2007

En la Grafica No. 9, se colocaron los datos promedios de cada nutrientes para una mejor representacion del ciclo del Nitrogeno, y poder observar en que proporcion se encuentran en los puntos de muestreo, el nitrogeno atmosferico llega al agua a travez de descargas electricas y por la acción reductora de ciertas bacterias, plantas y algas lo toman como nitratos durante la sintesis de proteinas y lo incorporan en sus tejidos. Cuando mueren los organismos, las proteinas se descomponen primero en amonio, luego en nitritos y por ultimo en nitratos. En cada una de las reacciones interviene un grupo de bacterias (Roldan, 2003). En un medio natural como el río Usumacinta, se espera encontrar la mayoría del nitrogeno como nitratos, en lugar de las formas oxidadas.

Gráfica No. 9 Comportamiento de Nutrientes, en los puntos de muestreo, Río Usumacinta, La Libertad, Petén.



Fuente: FODECYT 013-2007

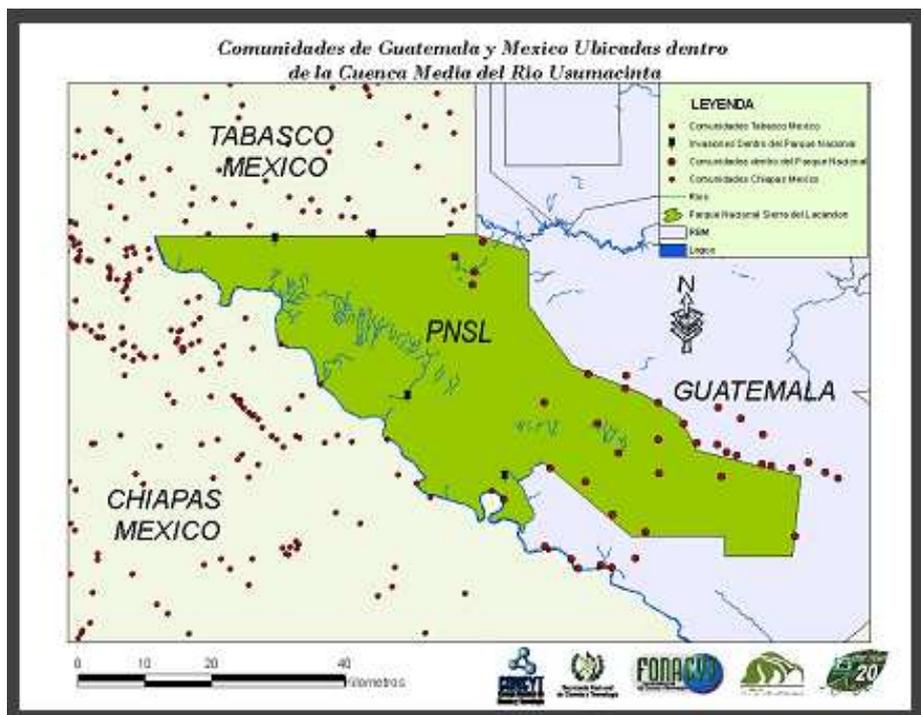
Análisis microbiológico

Coliformes Totales

Las bacterias coliformes, se encuentran principalmente en el intestino de los humanos y de los animales de sangre caliente, pero también están distribuidos en la naturaleza, ya que hay algunos coliformes que son de vida libre.

En el caso del río Usumacinta, la cantidad de coliformes es alta (Cuadro No. 23). El comportamiento va de acuerdo a las actividades humanas que se realicen cerca al punto de muestreo. En el Mapa No. 7 se pueden observar las comunidades mexicanas y guatemaltecas que se encuentran cercanas al río y tienen un efecto sobre éste. Los datos Arroyo La Miseria y La Técnica, no aparecen en el mes de octubre 2007, ya que se empezó el monitoreo en estos puntos de muestreo desde noviembre 2007.

Mapa No. 7 Comunidades de Guatemala y México ubicadas en la cuenca media del Río Usumacinta, Petén.



Fuente: FODECYT 013-2007

Cuadro No. 23 Puntos de muestreo con asentamientos humanos (puestos de control y comunidades) y el comportamiento de coliformes totales NMP en 100ml.
Río Usumacinta, La Libertad, Petén.

COLIFORMES TOTALES <u>Nmp</u> 100ml												
SITIO DE MUESTREO	OCT	NOV	DIC	ENE	MAR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
El Porvenir	1011.20	134.10	1046.20	132.40	1046.20	>2419.6	>2419.6	>2419.6	>2419.6	24129.6	727	245.80
Yaxchilán Campamento	1119.90	101.90	870.40	342.80	1119.90	136.40	691.00	>2419.6	2419.6	791.5	328.2	1732.9
Ceiba de Oro	1203.30	488.40	161.50	1119.90	328.20	77.10	> 2419.6	372.40	263.1	616.7	272.3	324.1
La Técnica	—	100.00	288.7	920.8	145	45.5	> 2419.6	59.2	114.2	533.5	408.3	1119.9
Bethel	>2419.6	44.30	135.40	1119.90	168.60	76.30	223.00	76.30	173.3	>2419.6	145	613.1

Fuente: FODECYT 013-2007

En el Cuadro No.24 , se presentan los puntos de muestreo que no tienen asentamientos humanos permanentes, los cuales deberían de estar con menor contaminación bacteriológica, aunque no fue así. Esto se le atribuye a que las lluvias por lavado del suelo ingresaron excretas a las aguas del río, por lo que se dió el incremento bacteriológico en estos puntos. Además hay que tener en cuenta que los coliformes totales y abarcan gran cantidad de microorganismos.

Cuadro No. 24 Comportamiento de coliformes totales NMP en 100ml, en los puntos de muestreo que son nacimientos y arroyos, Río Usumacinta, La Libertad, Petén.

COLIFORMES TOTALES <u>Nmp</u> 100ml												
SITIO DE MUESTREO	OCT	NOV	DIC	ENE	MAR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
Macabilero	129.90	117.80	243.60	331.40	866.40	1986.30	> 2419.6	>2419.6	2419.6	829.7	549.3	364.9
Nac. Cruz Azul	1986.30	118.50	251.00	81.50	816.40	>2419.68	>2419.68	>2419.68	>2419.6	640.5	1119.9	166.5
Nac. Argueta	91.40	218.50	424.50	207.70	387.30	148.30	616.70	2419.60	2419.6	148.3	261.3	322.3
Arroyo Yaxchilán	209.10	157.60	188.70	>2419.6	185.20	60.50	> 2419.6	241.10	125.1	315.1	549.3	1986.3
Arroyo La Miseria	—	126.40	250.40	>2419.6	980.40	194.70	> 2419.6	108.90	325.7	2419.60	222.40	579.40

Fuente: FODECYT 013-2007

Escherichia coli

E. coli puede causar infecciones intestinales y extra-intestinales generalmente severas, tales como infecciones del aparato excretor, meningitis, peritonitis, mastitis, septicemia y neumonía Gram-negativa. Por tanto, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura.

La situación actual en la Selva Lacandona en donde se encuentran los nacimientos Argueta, Cruz Azul, Arroyo la Miseria, Macabilero y Arroyo Yaxchilán, están siendo afectados por invasiones de personas. . Por lo que hay que tomar las medidas necesarias para proteger estos cuerpos de agua de bacterias como *E. coli*, que únicamente se encuentran en las excretas humanas.

En el Cuadro No. 25 se agruparon los puntos de muestreo en donde hay presencia constante de personas cerca del agua. En los meses secos baja considerablemente la contaminación por esta bacteria, en el mes de junio vuelve a subir, debido a las contínuas lluvias que desbordaron el Río Sayaxché, Río tributario del Usumacinta.

Cuadro No. 25 Comportamiento de *E. coli* (NMP en 100ml) en los puntos de muestreo donde hay asentamientos humanos permanentes, Río Usumacinta, La Libertad, Petén.

COLIFORMES TOTALES <i>Nmp.</i> 100ml												
SITIO DE MUESTREO	OCT	NOV	DIC	ENE	MAR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
El Porvenir	1011.20	134.10	1046.20	132.40	1046.20	>2419.6	>2419.6	>2419.6	>2419.6	24129.6	727	245.80
Yaxchilán Campamento	1119.90	101.90	870.40	342.80	1119.90	136.40	691.00	>2419.6	2419.6	791.5	328.2	1732.9
Ceiba de Oro	1203.30	488.40	161.50	1119.90	328.20	77.10	> 2419.6	372.40	263.1	616.7	272.3	324.1
La Técnica	—	100.00	288.7	920.8	145	45.5	> 2419.6	59.2	114.2	533.5	408.3	1119.9
Bethel	>2419.6	44.30	135.40	1119.90	168.60	76.30	223.00	76.30	173.3	>2419.6	145	613.1

Fuente: FODECYT 013-2007

Indices de Calidad de Agua

Los índices de calidad de agua son utilizados para homogenizar una serie de parámetros a medir en una sola variable, la cual aumenta o disminuye dependiendo de la variación de estos parámetros. Permite generalizar las variables específicas a obtener en mediciones de campo. Uno de los más utilizados es el Índice de Calidad General de Agua (ICA) que es un índice modificado de NSF (National Sanitation Foundation). Este índice se define como una escala de 1 a 100 puntos producto de la sumatoria del total de nueve diferentes medidas a las cuales se les asignan ponderaciones diferentes según el impacto que estos parámetros tienen en la calidad del agua. Los parámetros en que se basa este índice son :% de Oxígeno disuelto, Coliformes fecales, pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Cambio de temperatura, Fosfato, Nitrato, Turbidez y sólidos Totales.

Para calificar la calidad de agua de los ríos en estudio se aplica el Índice ICA, el cual está diseñado para evaluar la amenaza que representa el agua contaminada a la población que tiene contacto con esta y las características del agua aptas para el desarrollo de vida acuática. La ventaja de la utilización de este tipo de índices es que permite tener un valor que representa la interrelación entre los parámetros que se relacionan directamente con la calidad de agua. Este valor permite que se puedan hacer comparaciones entre los diferentes puntos en un río o ver a lo largo del tiempo como va variando la calidad del agua.

Para evaluar el parámetro de diferencia de temperatura se utilizaron los valores del INSIVUMEH de las estaciones meteorológicas El Porvenir y Bethel (ver anexo No. 5). En el trabajo de campo se midió la transparencia en lugar de la turbidez, debido a que no se contaba con el equipo necesario para su medición, por lo que en el laboratorio se realizaron pruebas simulando la transparencia que si obtuvo en el campo y con eso se midió la

turbidez. Este método de simulación puede dar errores en la medición de la turbidez porque puede estar afectada por la estacionalidad de los residuos que se encontraban en el lugar. Pero en este caso los valores del Índice de calidad de agua ICA, sirve principalmente para evaluar cómo se encuentra la calidad de agua en los diferentes puntos del río, ya que se calculó el índice con las mismas variables. En el anexo No. 4 se presentan los datos de los índices ICA analizados para cada punto de muestreo.

Según el índice de calidad de agua todos los puntos de muestreo con excepción del Nacimiento Argueta, se encuentran ubicados en el rango de ICA entre 51 a 70, en la calidad de agua regular. Este rango significa que el agua está amenazada y está afectando la diversidad de algunos organismos que son susceptibles a la contaminación. El punto de muestreo El Porvenir es el que tiene el valor de ICA más bajo (57.4), por lo que habría que detectar que factores son los que están contaminando el río arriba de este punto de muestreo, si observamos el mapa de poblaciones dentro de la cuenca del Río Usumacinta, podremos entender que la contaminación puede provenir de varios puntos tanto de poblaciones guatemaltecas como de mexicanas que se encuentran a lo largo del río El nacimiento Argueta es el único punto de muestreo que según el índice de calidad de agua está en el rango de calidad de agua buena, esto se debe a que es un nacimiento que se monitorea muy cercano a su punto de origen, lejos de la desembocadura con el río Usumacinta.

Cuadro No. 26 Resultados promedios del Índice de Calidad de Agua (ICA) de los 10 puntos de muestreo, durante el año de monitoreo en el Río Usumacinta, La Libertad, Petén

SITIO DE MUESTREO	INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)											
	Oct-07	Nov-07	Dic-07	Ene-07	Mar-08	May-08	Jun-08	Jul-08	Ago-08	Oct-08	Nov-08	Dic-08
El Porvenir	57.8	57.81	57.36	51.03	54.51	52.25	49.79	55.56	60.25	56.11	63.48	62.1
Macabilero	76.05	59.31	67.14	58.195	59.27	64.25	58.68	56.76	55.44	52.4	59.81	61.35
Nac. Cruz Azul	55.17	62.42	63.22	54.744	61.98	55.08	56.97	58.64	61.82	59.11	60.95	63.38
Nac. Argueta	76.82	61.11	69.5	54.55	66.2	69.28	68.3	68.29	70.38	70.74	71.32	81.24
Yaxchilán	64.51	63.33	59.26	51.45	64.58	70.48	53	64.01	56.86	61.14	67.2	73.67
Ceiba de Oro	62.36	53.94	60.48	51.71	63.73	64.33	58.19	65.86	59.88	64.19	62.85	70.85
A. Yaxchilán	67.54	67.83	66.6	51.61	60.95	72.47	58.94	59.55	66.43	62.76	65.26	67.98
La Técnica	—	51.04	60.4	50.11	70.86	61.54	52.03	69.48	64.74	61.86	72.07	70.65
Bethel	64.62	51.03	65.9	46.04	67.29	65.69	54.71	66.38	64.36	60.1	69.09	70.54
La Miseria	—	59.76	57.43	52.69	54.52	62.48	47.17	60.73	57.52	62.66	63.08	67.71

Fuente: FODECYT 013-2007

En el Cuadro No. 27 se muestran los valores del Índice de Calidad de agua de los puntos de muestreo en donde hay mayor presión por presencia humana. En esta figura se puede observar que en su mayoría durante todo el año la calidad de agua se encuentra según el ICA entre el rango de 51 a 70, lo que corresponde a una calidad de agua regular.

Cuadro No. 27 Resultados por mes de muestreo del Índice de Calidad de Agua (ICA) de 6 puntos de muestreo que se encuentran con presencia humana, en el Río Usumacinta, La Libertad, Petén.

INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)												
SITIO DE MUESTREO	Oct-07	Nov-07	Dic-07	Ene-07	Mar-08	May-08	Jun-08	Jul-08	Ago-08	Oct-08	Nov-08	Dic-08
El Porvenir	57.8	57.81	57.36	51.03	54.51	52.25	49.79	55.56	60.25	56.11	63.48	62.1
Yaxchilán	64.51	63.33	59.26	51.45	64.58	70.48	53	64.01	56.86	61.14	67.2	73.67
Ceiba de Oro	62.36	53.94	60.48	51.71	63.73	64.33	58.19	65.86	59.88	64.19	62.85	70.85
La Técnica	—	51.04	60.4	50.11	70.86	61.54	52.03	69.48	64.74	61.86	72.07	70.65
Bethel	64.62	51.03	65.9	46.04	67.29	65.69	54.71	66.38	64.36	60.1	69.09	70.54

Fuente: FODECYT 013-2007

En el Cuadro No. 28 se muestran los valores del Índice de Calidad de agua de los puntos de muestreo en donde no hay tanta presión humana. En esta figura se puede observar que en su mayoría durante todo el año la calidad de agua se encuentra según el ICA entre el rango de 51 a 80, lo que corresponde a un rango de calidad de agua regular y buena. En algunos puntos como el Nacimiento Argueta la calidad de agua a lo largo del año se califica como buena, aunque hubo algunos meses que la calidad del agua disminuyó debido a presencia humana en los alrededores del Nacimiento.

Cuadro No. 28 Resultados por mes de muestreo del Índice de Calidad de Agua (ICA) de cuatro puntos de muestreo que se encuentran sin presencia humana, en el Río Usumacinta, La Libertad, Petén.

INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)												
SITIO DE MUESTREO	Oct-07	Nov-07	Dic-07	Ene-07	Mar-08	May-08	Jun-08	Jul-08	Ago-08	Oct-08	Nov-08	Dic-08
Macabilerio	76.05	59.31	67.14	58.195	59.27	64.25	58.68	56.76	55.44	52.4	59.81	61.35
Nac. Cruz Azul	55.17	62.42	63.22	54.744	61.98	55.08	56.97	58.64	61.82	59.11	60.95	63.38
Nac. Argueta	76.82	61.11	69.5	54.55	66.2	69.28	68.3	68.29	70.38	70.74	71.32	81.24
A. Yaxchilán	67.54	67.83	66.6	51.61	60.95	72.47	58.94	59.55	66.43	62.76	65.26	67.98
La Miseria	—	59.76	57.43	52.69	54.52	62.48	47.17	60.73	57.52	62.66	63.08	67.71

Fuente: FODECYT 013-2007

Sedimentos

El ecosistema del Río Usumacinta es un ambiente dinámico con una gran variedad de sedimentos. Los sedimentos se originan de los procesos de erosión y deposición que se dan en sus bordes y que son acarreados por la escorrentía. Los sedimentos orgánicos están compuestos principalmente de derivados de organismos tanto plantas como animales. En general, los sedimentos dan información sobre la composición del río y características del área. Los factores físicos se relacionan con la pendiente, la forma y tamaño de los bordes del río, la velocidad y dirección de las corrientes. Además de esto los sedimentos dan información de algunas actividades que se dan en los bordes del río (Salazar, *et al.* 2004).

Existen muchas dificultades en el estudio de ecosistemas acuáticos tanto por su complejidad como por los cambios en el flujo y química del agua. Las crecidas y los cambios del río pueden drásticamente afectar a la configuración del lecho del mismo, así como a la distribución del sedimento, plantas y fauna (Ruiz, *et al.* 1994).

No obstante, cambios estacionales de algunas especies químicas disueltas en corrientes calcáreas han sido adscritas a ciclos de producción primaria. Los procesos naturales y los cambios inducidos por el hombre producen variaciones en el pH del agua, salinidad y condiciones redox, que pueden provocar movilización de especies químicas acumuladas en los sedimentos. En ríos de tipo torrencial, como es el caso del Usumacinta, los fenómenos de erosión, transporte y sedimentación son factores que van a determinar el comportamiento del sistema (Ruiz, *et al.* 1994).

El transporte de sedimentos está fuertemente relacionado con la hidrología y la geomorfología de la cuenca. Las variaciones que se producen son espaciales y temporales. La variación espacial viene marcada, sobre todo, por la naturaleza y el tamaño del sedimento, ya que los tamaños gruesos (grava y arena) tendrán menor movilidad que los finos (limos y arcillas) que son transportados como carga suspendida.

El análisis de los sedimentos no estaba contemplado en los objetivos del presente proyecto de investigación, pero gracias al apoyo que la Universidad Técnica de Braunschweig de Alemania, por medio de la Lic. Liseth Pérez, estudiante de doctorado, se logró realizar la caracterización de los sedimentos del Río Usumacinta. El estudio de los sedimentos es de mucha utilidad para proponer modelos para estudiar un río torrencial como el Usumacinta. Además que permite reconocer algunos indicadores que se pueden utilizar para evaluar una alteración en las riveras del río, así como de actividades que afectan su cauce.

Para la toma de muestras de sedimentos se utilizaron los mismos diez puntos de muestreo del análisis de la calidad del agua. El muestreo se realizó mensualmente durante un año (2007-2008) aunque solo pudieron ser analizados los sedimentos de los meses de noviembre 2007 y marzo 2008, esto debido a que el proyecto no contaba con suficientes fondos para analizar todas las muestras de sedimentos tomadas, las dos muestras analizadas fueron gracias al apoyo de la Universidad de Braunschweig. Los datos con que contamos de los sedimentos corresponden a época seca en marzo y época lluviosa en noviembre, por lo que proporcionan una idea general de cómo fluctúan (ver anexo 7).

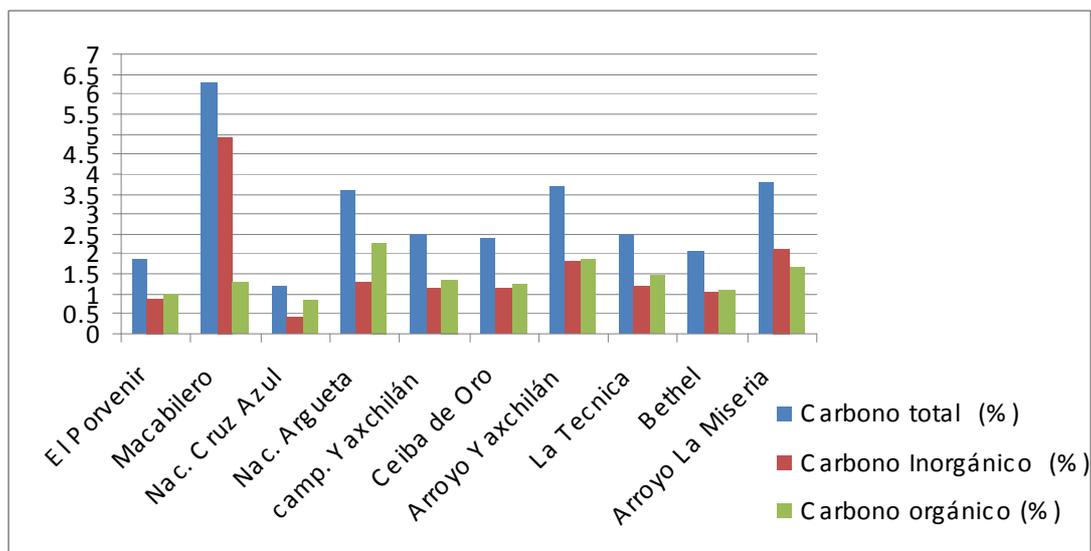
Uno de los análisis que se realizaron en los sedimentos es el contenido de carbono total, orgánico e inorgánico. Los sedimentos de los ríos se caracterizan por presentar altas concentraciones de carbono orgánico ya que se trata de ambientes muy productivos y ricos en materia orgánica. El contenido en carbono inorgánico suele representar a las conchas de organismos bentónicos, por lo que puede utilizarse como un indicador de vida acuática (López 2006).

El contenido de materia orgánica es muy importante porque puede funcionar como absorbente de sustancias tóxicas como agroquímicos o sus metabolitos, por lo que conocer las características de un sedimento, entre ellas su contenido de partículas finas (arcillas y limos) y de carbono orgánico, permite determinar si un residuo tóxico puede ser retenido y además inferir posibles acumulamientos a lo largo de un Río (Masís, *et al.* 2008). Por lo tanto se recomienda que en un futuro se realicen pruebas ecotoxicológicas para conocer si el carbono total en los sedimentos han retenido material tóxico.

En la Gráfica No. 10 se muestran los porcentajes de Carbono encontrados en los sedimentos. En el Arroyo Macabilero se presenta la mayor cantidad de Carbono total, esto puede relacionarse con el color negro de sus aguas, por el alto contenido de ácido húmico que contiene debido a que en los bordes del Río existe gran cantidad de materia vegetal que acumula materia orgánica que se deposita en el fondo del arroyo. El Nacimiento Argueta es el punto de muestreo que presenta el mayor porcentaje de carbono inorgánico, esto se puede relacionar con la cantidad de carbonato de calcio en el nacimiento. En este nacimiento como se mencionó en la descripción de los puntos de muestreo, se pueden observar conchas de organismos calcificados, y esto se relaciona directamente con el carbono inorgánico.

Para futuros estudios sería importante también analizar la cantidad de sulfuros que se encuentran en los sedimentos. Ya que el carbono orgánico disponible en el sedimento se puede relacionar con la actividad bacteriana. Esto es porque los microorganismos utilizan la el carbono orgánico y lo reducen, liberando sulfuros.

Gráfica No. 10 Porcentaje promedio de Carbono total, Carbono inorgánico y Carbono orgánico encontrado en las muestras de sedimento de los puntos de muestreo, Río Usumacinta, La Libertad, Peten.



Fuente: FODECYT 013-2007

Como se puede ver en la Gráfica No. 11, el Manganeso es el elemento que más se encuentra en los sedimentos de los puntos de muestreo. El Manganeso es un elemento ampliamente distribuido en la naturaleza y es de importancia considerable en sistemas acuáticos naturales puesto que es un nutriente esencial para las plantas. El Manganeso es capaz de absorber los metales como cobre, arsénico, cromo y plomo, entre otros. Sin embargo, algunas corrientes acuosas conteniendo compuestos orgánicos naturales tales como oxalatos y citratos, hidroquinona y otras sustancias hidroxiaromáticas pueden promover la liberación de los metales y, consecuentemente, incrementar su movilidad y biodisponibilidad (Universidad de Guadalajara, s.f.).

Los metales pesados como cobre, cinc y manganeso son micronutrientes esenciales para el crecimiento de los organismos acuáticos. Por eso es que se encuentran en forma natural en los sedimentos en el río Usumacinta.

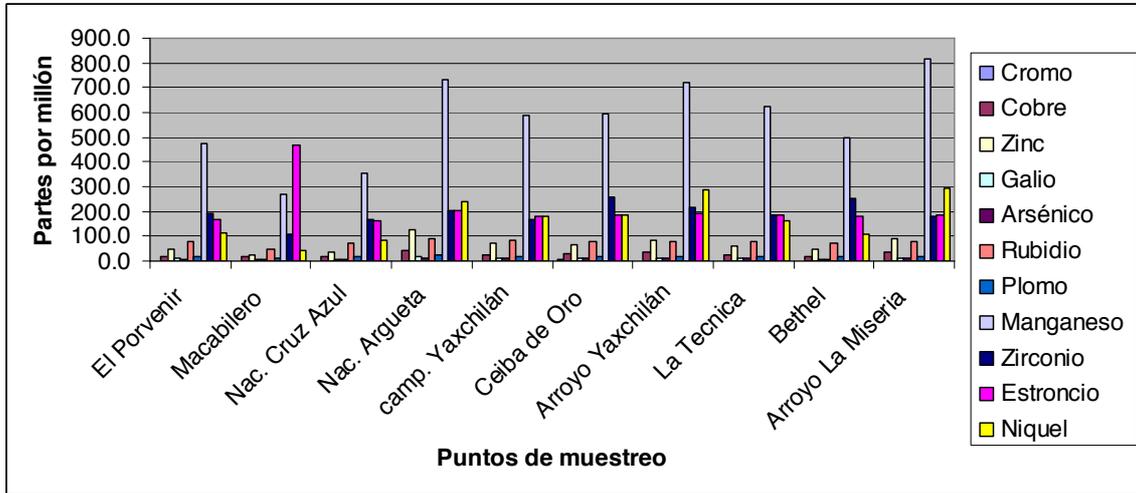
Pero la cantidad de los metales pesados puede aumentar por las actividades humanas (industriales, agrícolas y domésticas). Además que se pueden introducir otros metales como mercurio, plata, plomo y cadmio que no son requeridos para el metabolismo y son tóxicos hasta en pequeñas concentraciones. Dependiendo de su concentración, todos los metales son tóxicos (Álvarez y Trento, 2004).

Algunos volátiles como el cadmio, cinc, mercurio y plomo pueden ser transportados por gases y cenizas suspendidas en el aire y depositarse tanto en el agua como en el suelo, arrastrados por el escurrimiento sobre las superficies de las cuencas, transportados por canales y arroyos hasta los ríos y finalmente conducidos hasta los estuarios, que suelen ser sus principales receptores. De tal modo, los cursos de agua y en especial los sedimentos, tanto de fondo como suspendidos no sólo actúan como vehículos del transporte de metales sino que constituyen una gran fuente de acumulación de metales pesados en el ambiente acuático (Álvarez y Trento 2004).

Las concentraciones naturales de metales pesados están relacionadas con las actividades volcánicas y los procesos de erosión de los suelos. Dentro de los contaminantes tóxicos prioritarios enumerados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Registro Internacional de Sustancias Potencialmente Tóxicas (IRPTC), se encuentran los metales, su interés se centra en el arsénico, cadmio, plomo y mercurio, a causa de sus posibles efectos carcinogénicos para los seres humanos. Los metales pesados son transportados sobre el material particulado. Cuando éste está depositado, constituye un reservorio que es en potencia contaminante para la biota a través del contacto directo o por la liberación de contaminantes al cuerpo de agua (Hernández, et al. 1999). En las Figuras No. 76 y 77 Se encuentran metales en trazas tales como el Zirconio, Estroncio, Rubidio, Níquel, Hierro, Titanio, Arsénico, Potasio etc. estos se incorporan en el sedimento por medio del rompimiento de rocas que se destruyen en la turbulencia del Río Usumacinta o por escorrentía.

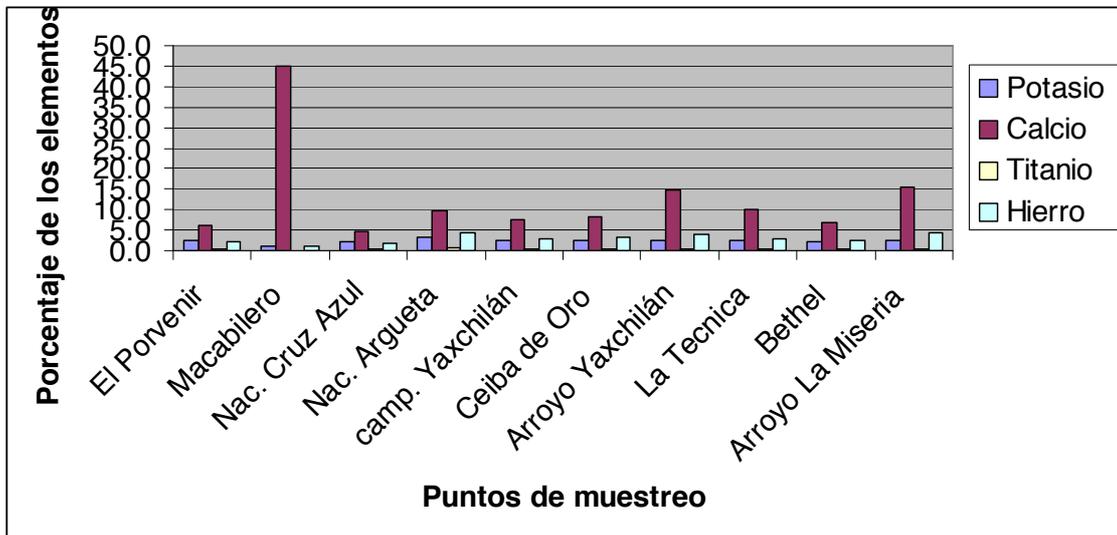
En la Gráfica No. 11, se representa que el Calcio es un elemento que se encuentra en altos porcentajes, esto se explica probablemente a componentes del terreno ricos en Bicarbonato Cálcico.

Gráfica No. 11 Resultados promedios de los análisis químicos de los sedimentos, en partes por millón, de las muestras de sedimento de los puntos de muestreo, Río Usumacinta, La Libertad, Petén.



Fuente: FODECYT 013-2007

Gráfica No. 12 Resultados de análisis químico de los sedimentos, Río Usumacinta, La Libertad, Petén



Fuente: FODECYT 013-2007

III.1.10 Según los resultados, hacer recomendaciones para mejorar el manejo de los cuerpos de agua estudiados.

1. Los puntos de muestreo presentan contaminación microbiológica, esto se debe a deposiciones animales o humanas directas o por escorrentía. Por lo que se recomienda el capacitar, ayudar e incentivar, a las comunidades cercanas en la construcción de unidades para el tratamiento de aguas negras y residuales.
2. Basados en las limitaciones que se detectaron en el presente estudio sobre las metodologías de monitoreo de macroinvertebrados, se propone estandarizar esta metodología en todos los afluentes del río Usumacinta.
3. Que se apoyen esfuerzos de estudios en taxonomía y ecología de macroinvertebrados acuáticos. Ya que estos son indicadores del estado ecológico de cuerpos de agua. Esta metodología permitiría que una persona capacitada determine el estado de los cuerpos de agua. Esta metodología es de bajo costo y es ampliamente utilizada y validada en Europa y Estados Unidos.
4. Analizar en los sedimentos la toxicidad del carbono orgánico utilizando pruebas de ecotoxicología, para ver si han funcionado como absorbentes de sustancias tóxicas. Realizar estudios de sulfuros en los sedimentos para conocer la actividad microbiológica.
5. Realizar una investigación a fondo a cerca de la población y amenazas que esta ocasionando el pez invasor (*Plecostomus sp. = punctatus*) en el río Usumacinta, así como también en los ríos contribuyentes.
6. Se recomienda la colocación de información de ciclos de veda de los peces de interés alimenticio, así como también que técnicas son las más adecuadas para evitar daños al ecosistema acuático del río y evitar poner en riesgo la población de especies de interés.
7. Realizar un programa de manejo de desechos sólidos en las poblaciones cercanas al río Usumacinta, y promover la reducción, reuso y reciclaje de los materiales aptos para esto.
8. Dar Seguimiento al programa de educación ambiental sobre la conservación de agua, en las diferentes escuelas de las comunidades que se ubican en las orillas del río Usumacinta que fueron establecidas en el programa. Además de las que se encuentran establecidas dentro del Parque Nacional Sierra de Lacandón, para concientizar sobre el manejo de las fuentes de agua en especial de los nacimientos.
9. Realizar evaluaciones dirigidas a maestro y niños de las escuelas establecidas dentro del proyecto para conocer como se ha mejorado el conocimiento de la conservación de agua, en las diferentes comunidades del PNSL.

III.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

III.2.1 Comparación de Resultados

En el Parque Nacional Sierra del Lacandón en el año 2006 (Julio a Diciembre), se realizó un diagnóstico fisicoquímico de la calidad del agua y la prevalencia de enfermedades en dos comunidades (Yaxchilán y Bethel), este diagnóstico duro únicamente tres días (10,11 y 12 de Octubre) y se analizaron los siguientes parámetros, estos son los únicos que pueden ser comparados con resultados del presente proyecto. Los resultados pueden ser observados en el Cuadro No. 29.

Cuadro No. 29 Parámetros analizados año 2006

Parámetro	Unidad de medida
Temperatura	°C
Conductividad	µs/cm
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg/l
Salinidad	(o/oo)
Oxígeno disuelto (OD)	mg/l
Porcentaje de OD	%
pH	pH o mV
Turbidez	Metros
DBO	mg/l
DQO	mg/l
Nitratos	mg/l
Nitritos	mg/l
Fosfatos	mg/l

Fuente: Defensores de la Naturaleza/PNSL

Cuadro No. 30 Parámetros analizados en el año 2006

	muestreo 10/10/06			muestreo 11/10/06		muestreo 11/10/06		muestreo 12/10/06	
Parámetro	Yaxchilan	Bethel	Bethel	Yaxchilan	Bethel	Yaxchilan	Bethel	Yaxchilan	Bethel
Hora	12:35 p.m.	08:40 a.m.	02:55 p.m.	09:45 a.m.	01:40 p.m.	12:15 p.m.	07:32 a.m.	07:05 a.m.	08:25 a.m.
Físicos									
Color	Clara	Agua turbia, lodosa	Agua turbia, lodosa	clara	Agua turbia, lodosa	clara	Agua turbia, lodosa	mas turbia	Agua turbia, lodosa
Olor	Ninguno	Ninguno	Ninguno	ninguno	Ninguno	ninguno	Ninguno	ninguno	Ninguno
Condiciones climáticas	Parcialmente nublado	Nublado	Claro, despejado	Parcialmente nublado	Claro, poco nublado	Despejado, soleado	Parcialmente nublado	Nublado	Nublado
Condiciones climáticas recientes		lluvia anoche	Nublado en la mañana	lluvia anoche	mas nublado en la mañana	Parcialmente nublado en la mañana	lluvia fuerte anoche (1:00 pm)	Lluvia fuerte anoche	Lluvia anoche
Condiciones de la superficie	Mucha agitación	Mucha corriente, presencia de remolinos	Mucha corriente, presencia de remolinos	Mucha agitación	Mucha corriente, presencia de remolinos	Mucha agitación	Mucha corriente, presencia de remolinos	Mucha agitación	Mucha corriente, presencia de remolinos
Condición del área de muestra	Presencia de peces, mucha vegetación en las orillas	Materia orgánica (ramas de árboles) flotando.	Materia orgánica (ramas de árboles) flotando, desechos plásticos.	Presencia de peces, mucha vegetación en las orillas	Mucha materia orgánica, arboles, ramas flotando en el agua.	Presencia de peces, mucha vegetación en las orillas	Materia orgánica (ramas de árboles) flotando, desechos plásticos.	Presencia de peces, mucha vegetación en las orillas	Materia orgánica (ramas de árboles) flotando.
Turbidez (cm)	106	12	20	106	16.5	106	18	106	19
Temperatura (°C)	24.9	24.3	24.6	25	25.4	25.2	24.5	25.1	25.1
Químicos									
DQO	688 mg/l	790 mg/l							
DBO	75 mg/l	88 mg/l							
OD (mg/l)	9.1	10.98	11.39	9.59	13.26	9.16	10.31	9.39	12.58
Ph	9.269	9.428	9.588	8.8	8.891	6.387	6.385	8.011	6.351
Conductividad (µs/cm)	520	10.93	0.87	546	178.2	550	269	542	14.16
Salinidad (‰)	0.2	0.1	0.1	0.3	0	0.3	0.1	0.3	0
TDS (mg/l)	252	126.9	4	263	125.7	267	129.2	263	130.6
Nutrientes									
Fosfatos (mg/l)	0.79	0.53	0.26	1.37	0.87	1.89	2.19		-
Nitratos (mg/l)	0.4	0.9	2.6	0.1	0.4	0.1	0.4		-
Nitritos (mg/l)	0.004	0.003	0.008	0.001	0.004	0.001	0.002		

Fuente: Análisis realizados por Typhaine Loyer, 2006

Los datos que se presentan en el cuadro No. 30 son los datos obtenidos durante los muestreos de los meses de Octubre del año 2007 y 2008, estos meses son los únicos que pueden ser comparados, debido a que durante el diagnóstico realizado en el 2006 únicamente se trabajó durante este mes. Al realizar esta comparación se pudo observar cambios en el transcurso de los tres años durante el mismo mes.

De acuerdo a los datos analizados por Loyer 2006 se puede observar que algunos datos como Conductividad y Ph presentan datos muy alterados que en comparación con los datos obtenidos durante el año 2007 y 2008 se hace evidente que el equipo no estaba calibrado adecuadamente, pues los datos son muy distintos y no reflejan un dato confiable. En el punto de muestreo Yaxchilán en el parámetro de Ph los días 10 y 11 del 2006 se mostró alcalino; con un promedio de 7.9. La salinidad durante el año 2006 se mantuvo con 0.3 ‰, lo que tiene relación con una conductividad en promedio de $540\mu\text{S/cm}$, en cambio en el año 2007 y 2008 la salinidad fue de 0.1 ‰ y la conductividad se mantuvo entre 299 y $399\mu\text{S/cm}$. La conductividad y la salinidad tienen relación directa con los sólidos disueltos totales, los cuales en el año 2006 se encuentran entre 250 mg/lt y 267mg/lt, mientras que en el año 2007 y 2008 disminuyeron de 192 a 142 mg/lt

La transparencia en los años 2006 y 2007 se mantuvo estable con un promedio de 1.6 m y en el año 2008 bajó a una visibilidad de 0.5 m, esto se debió principalmente a que en Octubre del 2008 el departamento de Petén fue afectado por la tormenta tropical No. 16 lo que arrastró muchos sedimentos y disminuyó la visibilidad considerablemente.

En el caso del oxígeno disueltos, según Loyer 2006 presenta en promedio 9.3 mg/lt, lo que es considerablemente más alto en comparación a los datos obtenidos en el año 2007 con 4.6 mg/lt y en el año 2008 3.1mg/lt, esto puede ser debido a que aumentó la cantidad de materia orgánica o microorganismos que utilizan el oxígeno y lo convierten en CO_2 .

En el caso de los nutrientes evaluados, los nitratos en el año 2006 según los datos analizados están en menor cantidad, llegando a un máximo de 0.40mg/lt, en el 2007 1mg/lt y en 2008 2.4 mg/lt, lo que hace evidente el aumento de este nutriente en el cuerpo de agua. Esto puede ser debido al aumento en desechos que contengan alto contenido de nitrógeno, como fertilizantes, contaminación orgánica y a la presencia de bacterias oxidantes. Es necesario controlar los resultados de estos nutrientes ya que un exceso de nitrógeno puede desencadenar un proceso de eutrofización.

En el caso de los fosfatos en el 2006 se determinó a partir de los análisis en promedio 1.5 mg/lt, en cambio en el 2007 y 2008 hubo una disminución de fosfatos llegando a 0.12mg/lt. La principal causa de la presencia de fosfatos son fertilizantes derivados de la agricultura en la rivera del río y jabones, los cuales son utilizados para lavar ropa y bañarse.

En la Comunidad de Bethel los datos son muy similares a los del Arroyo Yaxchilán ya que se llevan a cabo las mismas actividades antropogénicas en los dos cuerpos de agua, con tan pocos parámetros que pueden compararse no se observaron diferencias significativas. En el caso de la conductividad solo podrán ser comparables los datos obtenidos en el día 11 de Octubre del 2006, debido a que los otros datos están muy

alterados, probablemente a la mala calibración del equipo. El dato se mantuvo con un promedio de $280\mu\text{S}/\text{cm}$ esto está estrechamente relacionado con los sólidos disueltos que tiene aproximadamente $130\text{ mg}/\text{lt}$ y una salinidad 0.1% .

La transparencia en este punto, durante los tres años muestreados, se mantiene con 0.2m , debido a que el Río presenta muchas corrientes, arrastra muchos sedimentos y tiene un color chocolate, lo cual limita la visibilidad del fondo del Río.

Con respecto al Oxígeno Disuelto, en el año 2006 con un dato de $10.5\text{mg}/\text{lt}$ y en el año 2007 hubo una disminución de $7.5\text{mg}/\text{lt}$ y en el 2008 disminuyó aun mas con $4.6\text{mg}/\text{lt}$, esto pone en evidencia que la cantidad de Oxígeno Disuelto en el agua es cada vez menor, lo que puede provocar la aparición de nuevos organismos que si están adaptados a niveles bajos de oxígeno y origina una competencia la cual provoca que organismos residentes reduzcan sus poblaciones o desaparezcan del ecosistema.

Con respecto a los nutrientes, en los años 2006 y 2007 los datos permanecieron estables, en el 2008 hubo un incremento en $2.5\text{mg}/\text{lt}$, los nitritos también tuvieron un incremento considerable de $0.004\text{mg}/\text{lt}$ en el año 2006 a un $0.010\text{ mg}/\text{lt}$ en el año 2008. Como lo mencionamos anteriormente esto se debe principalmente a la escorrentía de los fertilizantes utilizados en las áreas agrícolas y esto también es debido a que los pobladores no llevan un manejo adecuado de los desechos sólidos, los cuales son depositados en las riveras del río.

En el año 2006 los datos de fosfatos estuvieron entre 0.26 y $0.87\text{mg}/\text{lt}$, en el 2007 los datos reflejaron una disminución de $0.10\text{mg}/\text{lt}$ y para el 2008 disminuyó aun mas a $0.09\text{mg}/\text{lt}$. Hay que recordar que estos análisis son una fotografía de ese momento y no refleja datos comparativos en el tiempo debido a que es un río con corrientes muy fuertes, por lo que los datos no pueden ser constantes.

III.2.2 Discusión de análisis del Río Usumacinta

Según las muestras de agua colectadas y la realización de los análisis durante los doce meses iniciando en Octubre 2007 y finalizando en Noviembre 2008, se determino por medio del índice de calidad de agua "ICA" (Índice de Calidad General de Agua) el cual engloba todos los datos de los parámetros medidos; es una metodología fácil que permite determinar la categoría en la que se encuentra el cuerpo de agua estudiado, y que se puede utilizar como una herramienta que simplifique la base de datos y sea más fácil de identificar los cambios que ocurren. Los puntos de muestreo que se encuentran sobre el Río, El Provenir, Nacimiento Cruz Azul (este punto por ejemplo presenta características similares cuando el río esta crecido, ya que el nacimiento únicamente puede observarse durante la época seca cuando el río esta bajo), Yaxchilán, Ceiba de Oro, Arroyo Yaxchilán, La Técnica y Bethel, se encuentran ubicados en el rango de ICA entre 51 a 70, en la calidad de agua regular. El tener un agua de calidad regular quiere decir que hay presiones sobre el curso del agua que están afectando la diversidad de algunos organismos que son los más susceptibles a la contaminación.

El nacimiento Argueta es el único punto de muestreo que según el índice de calidad de agua está en el rango de calidad de agua Buena, esto se debe principalmente a que es un nacimiento que se monitorea muy cercano a su punto de origen, lejos de la desembocadura con el río Usumacinta, por lo que no contiene en cantidades grandes elementos que puedan contaminar el agua.

En el caso de los análisis microbiológicos que se realizaron en todos los puntos de muestreo durante la época lluviosa fue mayor la cantidad Coliformes y de *E. coli* detectados en 100ml, por lo que se debe de tomar en cuenta para informarles a las comunidades que hacen uso de esta que deben de tomar las precauciones necesarias para no contagiarse de enfermedades gastrointestinales.

Las aguas superficiales con corrientes como arroyos y ríos, son sistemas acuáticos que albergan una amplia variedad de organismos, entre los cuales podemos encontrar a los macroinvertebrados, los cuales por estar en contacto directo con el medio acuático son un reflejo real de las condiciones de los ecosistemas. La contaminación es esencialmente un fenómeno biológico por lo que su efecto será directamente hacia los seres vivos del ambiente acuático, por lo que considerando la abundancia y el tipo de organismos en relación con los sistemas antropogénicos es posible utilizarlos como indicadores, debido a la sensibilidad a la contaminación orgánica.

Los macroinvertebrados colectados durante este monitoreo nos proporciona una idea de la calidad ecológica de cada punto de muestreo. Durante el monitoreo se logró coleccionar 7 Filum, 9 Ordenes y 28 familias de macroinvertebrados. Esto logró identificar familias de macroinvertebrados que son representativas de un tipo de calidad ecológica de agua. Por ejemplo en el Nacimiento Argueta, según los parámetros fisicoquímicos y de nutrientes la calidad del agua es Buena, esto se complementa con la colecta de macroinvertebrados, donde encontramos familias como Perlidae, Gastropodos, Ephemeropteras como los Baetidae, estos organismos nos permiten identificar que el lugar en donde habita son de aguas oxigenadas con corrientes y no presentan mayor grado de contaminación, estos organismos son bioindicadores ya que no toleran cambios drásticos en su hábitat.

Por otro lado en el caso de La Técnica, según el resultado del índice BMWP que indica el estado de salud real del cuerpo de agua a través del tiempo fue el que mayor grado de contaminación presentaba, en este punto se encontraron macroinvertebrados del Orden Chironomidae, Annelidae, Simuliidae y Odonata, los cuales son representativos de organismos de organismos que toleran aguas contaminadas y la calidad ecológica del agua es mala.

En el caso de la Ictiofauna, uno de los objetivos del proyecto era evaluar taxa de indicadores de calidad de agua, lo cual no se logró realizar debido a las características del río (corrientes, poca visibilidad, etc.), por lo que únicamente se enriqueció los listados de ictiofauna de la RBM. Durante las colectas se logró identificar que existe una gran variedad de ictiofauna, unas de las especies que se encontró en mayor cantidad fueron *Cichlasoma* sp o mojarra y *Ictalurus furcatus* o jolote, especies que son importantes para el consumo humano.

También se logró identificar una especie de pez exótica e invasora, *Plecostomus* sp = *punctatus*, especie importante debido al daño que puede causar a las poblaciones de peces y otras especies residentes del Río Usumacinta, ya que esta especie puede disminuir la riqueza de especies endémicas del lugar, por lo que se necesita de continuar con el estudio de este pez y evitar que aumente su población.

Al mismo tiempo en que se llevaban a cabo los monitoreos de calidad de agua, se realizaban charlas ecológicas con ayuda de los kits educativos elaborados durante el proyecto. Las charlas se llevaron a cabo en nueve comunidades, La Felicidad con 150 participantes, Yanahí con 40 alumnos, Monte Sinaí con 60 alumnos, La Lucha con 144 alumnos, Retalteco con 300 alumnos, Unión Maya Itzá con 150 alumnos y Cooperativa Bethel con 60 participantes, Cooperativa Técnica con 30 participantes y el Puesto de Control Bethel con 30 participantes, haciendo un total de 934 personas a las cuales se les impartió el taller de educación ambiental, cada taller contenía seis módulos sobre la importancia del ecosistema acuático.

Estas charlas tienen como objetivo que tanto los maestros como a los alumnos que recibieron estos talleres, transmitan los conocimientos adquiridos hacia otros pobladores de las comunidades en donde habitan, para que de esta manera puedan hacer un uso racional del agua y lleven a cabo un manejo adecuado de los desechos orgánicos e inorgánicos y contribuir de esta manera a que el agua pueda ser utilizada adecuadamente.

Cuadro No. 31 Comparación de Resultados de análisis de Calidad de Agua de los años 2006, 2007 y 2008

Localidad	Muestreo	Hora del muestreo	Cond (μS/cm)	T °C	pH	Sal %0	Turbidez m	Oxígeno disuelto mg/L	Sólidos disueltos totales mg/L	Nitrato NO ³ -N mg/L	Nitrito NO ² -N mg/L	Fosfato PO ₄ ³⁻ mg/L	tipo de corriente
Yaxchilan	12/10/2006	7:05 AM	542.0	25.1	2.0	0.3	1.6	9.3	263.0				remolinos
	11/10/2006	12:15 PM	550.0	25.2	6.3	0.3	1.6	9.1	267.0	0.10	0.001	1.89	remolinos
	11/10/2006	9:45 AM	546.0	25.0	2.8	0.3	1.6	9.5	263.0	0.10	0.001	1.37	remolinos
	10/10/2006	12:35 PM	520.0	24.9	9.2	0.2	1.6	9.0	252.0	0.40	0.004	0.79	remolinos
	25-10-07	2:07 PM	299.0	23.8	8.0	0.1	1.2	4.6	143.6	1.00	-0.001	0.12	poca
	10-10-08	12:18 PM	399.0	32.3	6.6	0.1	0.5	3.1	192.6	2.4	0.011	0.13	poca
Bethel	10-10-06	8:40 AM	178.9	25.4	9.42	0.1	0.2	13.2	125.7	0.4	0.004	0.87	Remolinos
	11-10-06	1:40 PM	269.0	24.5	8.89	0.1	0.2	10.3	129.0	0.4	0.002	2.19	remolinos
	11-10-06	7:30 AM	0.9	24.6	6.38	0.1	0.2	11.3	4.0	2.6	0.008	0.26	remolinos
	12-10-06	8:25 AM	10.9	24.3	6.35	0.1	0.1	10.9	126.9	0.9	0.003	0.53	remolinos
	25-10-07	2:30 PM	297.0	24.6	8.1	0.1	0.2	7.5	142.9	0.80	0.013	0.10	moderada
	10-10-08	2:15 PM	230.0	33.1	6.5	0.0	0.1	4.6	110.4	2.50	0.010	0.09	moderada

PARTE IV.

IV.1 CONCLUSIONES

1. Con base en el monitoreo realizado en el Río Usumacinta durante un año (Octubre 2007 a Noviembre 2008) se creó una línea base para el monitoreo de calidad de agua por medio de la medición de variables físico-químicas y de nutrientes, en el Río Usumacinta.
2. Se elaboraron seis kits educativos para ejecutar un programa de educación ambiental, en las comunidades que utilizan el agua del Río Usumacinta; Cooperativa la Felicidad, Cooperativa Yanahi, Cooperativa La Técnica, Cooperativa Bethel, Cooperativa Monte Sinaí, Cooperativa La Lucha, Cooperativa Retalteco y Cooperativa Unión Maya Itzá, con el fin de concientizar a la población sobre el uso racional del agua y el manejo de los desechos sólidos.
3. A los maestros de las escuelas se les otorgó material didáctico, el cual incluye hojas de trabajo, dinámicas, títeres y manualidades sobre el agua para que de esta manera den a conocer a los estudiantes la importancia de los cuerpos de agua y de llevar a cabo un uso racional del agua.
4. Durante los talleres realizados en las escuelas se les informaba a los alumnos sobre los resultados parciales del monitoreo de calidad de agua, con el fin de darles a conocer la importancia del agua, de los cuerpos de agua y sobre todo del estado actual del Río Usumacinta con el fin de generar conciencia para su conservación.
5. Durante el monitoreo de calidad de agua, se capacitó a personal guardarecurso y técnicos del PNSL en la utilización del equipo para monitoreo de calidad de agua, en la forma correcta de toma de muestras, colecta de peces y de macroinvertebrados, etc. Así como también participaron en un taller para aprender a utilizar el material educativo.
6. Se creó la base de datos de los resultados de los monitoreos mensuales de aspectos físico-químicos y de nutrientes, con el fin de crear la línea base de la calidad del agua del Río Usumacinta.
7. Se realizaron colectas de ictiofauna para determinar posibles taxa indicadores, pero debido a las características del Río, la colocación de trasmallos y el uso de atarrayas fue muy dificultoso, por lo que no se logró determinar un taxa que se pudiera asociar con los parámetros fisicoquímicos medidos.
8. Se colectaron macroinvertebrados para determinar taxa indicadores de la calidad de agua del Río, esto debido a que algunos de estos organismos son muy sensibles a cambios en el estado de salud del agua, en cada punto se determinó que especies se encontraban en el lugar y se compararon con los parámetros físico-químicos, encontrando que especies del Orden Perlidae, Gastropodos y Ephemeropteros indican una buena calidad de agua y especies del Orden Chironomidae, Annelidae, Simulidae y Odonata indican que la calidad del agua es mala.
9. Se realizó una base de datos de ictiofauna y de macroinvertebrados con el fin de enriquecer los listados de especies registrados para la RBM.
10. Se realizaron comparaciones de los puntos de muestreo para evaluar el estado actual del Río Usumacinta, por lo cual se concluyó que únicamente los puntos de muestreo ubicados en nacimientos o lejanos a asentamientos humanos fueron lo que contenían muy poca contaminación, en cambio en áreas en donde existen

poblaciones cercanas, la contaminación aumentaba principalmente en nutrientes y coliformes.

11. La información existente con respecto a los recursos hídricos de la cuenca del Río Usumacinta es escasa y de corto plazo. Sin embargo el análisis de la información fisicoquímica, nutrientes, microbiológicos, sedimentos y bioindicadores (macro invertebrados) generada en este estudio dentro del PNSL, se constituyen en un punto de partida para la implementación de la línea base de calidad de agua como instrumento comparativo de tiempo y uso para mejoras del recurso. Así también se generó conocimientos nuevos a cerca del comportamiento del río y del estado de cada punto de muestreo. Se logro incrementar en las comunidades cercanas al río el conocimiento de las interacciones que sus actividades tienen con el río. Esto se realizó por medio de la educación ambiental que se impartió en la cual se hacía énfasis en el recurso hídrico, manejo, conservación y buen uso del mismo.
12. Por medio de las mediciones a lo largo de un año, se logró determinar algunas características distintivas de este río. La profundidad media en época seca es de cinco metros y en época lluviosa es de diez metros, excluyendo el nacimiento Argueta que no supera los 30cm. La temperatura en época seca fue entre 26°C y 30°C, mientras que en época de lluvia, fue de 25°C y 27°C. El pH promedio para el Río fue de 7.27, con variaciones estacionales relacionadas con la concentración del sustrato y del tipo de sólidos disueltos en el agua. El oxígeno disuelto y el % disponible varían en cada punto cada mes, en general el dato promedio para todo el río es de 64.4 % de Oxígeno Disuelto a un metro de profundidad del río. La conductividad eléctrica, varían entre 6310µS/cm época lluviosa y 230 µS/cm época con menor precipitación. La salinidad promedio varía entre 1.5‰ y 0.9 ‰. Los Sólidos Disueltos Totales en época seca varían entre 3034mg/l y 912mg/l. En los meses de mas precipitaciones varía entre 2250mg/l y 178.20 mg/l. Los sitios de muestreo con mayor transparencia del agua, son los Arroyos y Nacimientos. Gran parte de la turbidez que presenta el Río puede ser de origen aloctona, debido a las corrientes tan fuertes arrastran todo tipo de sedimentos de los bordes.
13. Los Coliformes totales y fecales se detectaron en todos los puntos de muestreo, por lo que el agua en las localidades monitoreadas no se puede utilizar directamente para consumos humano, es necesario hacerle algún tratamiento de desinfección. Los Coliformes totales y fecales se ven aumentados en la época lluviosa, esto provocado por la escorrentía.
14. Con la ejecución de este programa se logro la concientización de los pobladores sobre el manejo que se le debe dar al vital líquido para evitar su contaminación. Siendo una actividad paralela a la investigación en campo, contribuyendo en la divulgación de los resultados de la misma.

IV.3 RECOMENDACIONES

1. Para lograr obtener mayor información de la calidad del agua del Río Usumacinta y de sus afluentes es necesario monitorear los cambios que ocurren en el cuerpo de agua y realizar acciones que mitiguen o disminuyan la contaminación del río, continuando con los talleres de educación ambiental y desarrollar un plan para el manejo de los desechos sólidos en las comunidades cercanas al río.
2. Las capacitaciones con apoyo de los kits educativos durante los talleres han demostrado ser muy importantes para concientizar a las personas por medio de dinámicas las cuales nos ayudan a comprender con mayor facilidad la importancia del agua, por lo que se recomienda continuar ejecutando el programa de educación ambiental no solo en las comunidades del PNSL, sino también en áreas aledañas y en el área central del departamento de Petén.
3. Darle continuidad al trabajo con maestros que fueron dotados con material didáctico y aumentar el número de maestros con este tipo de material con el fin de concientizar a más niños y jóvenes del departamento de Petén.
4. Se debe involucrar a todas las personas de las comunidades y darles a conocer los resultados de la investigación para que observen la calidad de agua que están utilizando y concientizarlos sobre el cuidado del agua.
5. Continuar con los monitoreos y continuar construyendo la base de datos de calidad de agua del Río Usumacinta y sus afluentes para ir observando los cambios que se den dentro del cuerpo de agua y de esta manera tomar las medidas necesarias para su conservación.
6. Es necesario continuar con un estudio enfocado a la ictiofauna y macroinvertebrados del Río Usumacinta y sus afluentes para poder determinar posibles taxa indicadores de la calidad del agua, al mismo tiempo para conocer los ciclos de vida de los peces de interés económico en el lugar para determinar ciclos de veda.
7. Se recomienda continuar con la metodología de ICA, ya que esta genera información de una forma simplificada, lo que permite tener una mejor comparación de la calidad de agua, e involucra nueve parámetros que son necesarios para conocer el estado en el que se encuentra el punto que se está analizando.

IV.4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alba Tercerdor, J.** y Sánchez Ortega, A. (1988). Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Helawell. *Limnética 4*: 51-56. Madrid.
- Alba Tercerdor, J.** y Sanchez Ortega, A. (2002). Caracterización de cuencas mediterraneas españolas en base al índice español SBMWP como paso previo al establecimiento del estado ecológico de sus cursos de agua. XI Congreso de la Asociación Española de Limnología y III Congreso Ibérico de Limnología. Madrid, 17-21 de junio de 2002.
- Álvarez, A.** y A. Trento. (2004). Transporte de metales pesados en cursos fluviales. Mecánica computacional Vol XXIII. Pp1151-1165. Bariloche, Argentina. En línea, consultado 1 de Julio 2009. Disponible en: <http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/314/301>
- Álvarez del Villar, J.** 1970. Claves taxonómicas para peces. Dic, Mexico. 166 pp.
- American Public Health Association,** American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. (1995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19 ed. pp 5-2 a 5-12.
- Castellanos E.,** Girón de Masaya N., Alvarez de Mejía M., España M. (2000). Calidad del Agua del Lago Atitlán, Guatemala. 45 pp. Informe TNC.
- Castro-Aguirre, J. L.** (1978). Catalogo sistemático de los peces marinos que penetran a las aguas continentales con aspectos zoográficos. Dir. Gral. Nac. Pesca, México.
- COGUANOR** (Comisión guatemalteca de normas). (2006). Norma guatemalteca obligatoria de agua potable. Cartilla Ambiental No.9. Cuidado de la salud y el ambiente. Ministerio de Salud Pública. Editorial DRPSA.
- Columbia Analytical Services, Inc.** (2009). Test method Colilert. (En línea). Disponible en : <http://www.caslab.com/Test-Method-Colilert/>
- Comisión Internacional de Límites y aguas (CILA).** (1987). Atlas físico de las cuencas de los ríos internacionales entre México y Guatemala. 20 pp.
- Figuroa, R.,** A. Palma, V. Ruiz y X. Niell. (2007). Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile, Río Chillán, VIII región. Revista chilena de historia natural 80: 225-242.
- Fundación Defensores de la Naturaleza.** (s.f.). Plan de Manejo del Parque Nacional Sierra del Lacandón (2006-2011). Guatemala, en proceso de publicación.
- Gaujous, D.** (1995). La pollution des milieux aquatiques: aide mémoire. France, 219 pp.

- Genin, B., Chauvin, C. y Ménard, F. (2003).** Cours d'eau et indices biologiques. France, 223 pp.
- Girón, N. (2004).** Guía de análisis químicos y físicos de muestras de agua. Universidad Rafael Landívar. Guatemala, 30 pp.
- Golterman, H.L., Clymo, R.S. y Ohnstad, M.A.M. (1978).** Methods for physical and chemical analysis of fresh waters. Blackwell scientific publications, 211 pp.
- Greenfield, D.W. and J.E. Thomerson (1997).** Fishes of the continental waters of Belize. *Ictalurus furcatus*. Pag 16
- Hernández, M. T., M. García, R. Cañas y O. Sardiñas. (1999).** Fracciones biodisponibles de arsénico, plomo, cadmio y mercurio en sedimentos de corrientes superficiales seleccionadas. *Rev Cubana Hig Epidemiol* 1999;37(3):132-5. En línea, consultado 1 de julio 2009. Disponible en: <http://www.ilustrados.com/publicaciones/EpZZuAkEpuLiVaAMyM.php>
- Lamotte. (1997).** Smart colorimeter: individual test instructions for the smart Colorimeter. USA, 200 pp.
- López, N. J. Borrego, J. A. Morales y B. Carro. (2006).** Variación estacional de los contenidos en carbono orgánico, inorgánico y azufre en los sedimentos del estuario de los ríos Tinto y Odiel (SO España). *Geogaceta*, 40: 295-298. En línea consultado 1 de julio 2009, Disponible en: <http://www.sociedadgeologica.es/archivos/geogacetas/Geo40/Geo40-74.pdf>
- Loyer, T. (2006).** Diagnóstico del uso y calidad del agua y su relación con la prevalencia de enfermedades en las comunidades de la Unión Maya Itzá y Bethel, ubicadas en el Parque Nacional Sierra de Lacandón, Petén, Guatemala. Fundación Defensores de la Naturaleza. Guatemala, 59 pp.
- Masís, F., J. Valdéz, T. Coto y S. León. (2008).** Residuos de agroquímicos en sedimentos de ríos Poas, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 32(1):113-123. En línea, consultado el 1 de julio 2009. Disponible en: www.mag.go.cr/rev_agr/inicio.htm
- Mejía, L. (2001).** Calidad del agua de los cenotes del área de Macabilero, Parque Nacional Sierra del Lacandón. Fundación Defensores de la Naturaleza. Guatemala, 28 pp.
- Mexicotm. (1994).** actualizado 2003. Proyecto Binacional Boca del Cerro, Chiapas-Tabasco y Guatemala. Última actualización mayo del 2003. Página visitada en marzo del 2004. Dirección: http://www.mexicotm.com/interior/p/p_boca_cerro.html

- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales Delegación Departamental de Petén.** (2006). Informe Análisis físico químico de aguas superficiales arroyos de Flores(Santa Elena) y San Benito, al Lago Petén Itzá. Guatemala, 41 pp.
- Mitchell F. y C. Stapp.** (1992). Field Manual for Water Quality Monitoring.
- Morales, R.** (2004). Metodología para identificación de biodiversidad y procesos ecológicos clave del Río Usumacinta colindante con el Parque Nacional Sierra del Lacandón. Fundación Defensores de la Naturaleza y CONAP. Guatemala, 10 pp.
- Munné, A.; Solá, C. y Prat, N.** (1998). QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. Tecnología del Agua, 175: 20-37.
- Munné, A.; Solá, C.; Rieradevall, M. & Prat, N.** (1998). *Índex QBR. Mètode per a l'avaluació de la qualitat dels ecosistemes de ribera*. Estudis de la Qualitat Ecològica dels Rius (4). Diputació de Barcelona. Àrea de Medi Ambient.
- Pacas, L. R.** (2000). Calidad de agua en refugio de vida silvestre Bocas del Polochic, Guatemala. 54 pp.
- Plan Regional de Pesca y Acuicultura Continental, Abril.** (2005). Inventario de cuerpos de aguas continentales de Guatemala con énfasis en la pesca y la acuicultura.
- Pringle, C. M. y F.N. Scatena.** (1999). Aquatic ecosystem deterioration in Latin America and the Caribbean. Pág. 104-113 en: L.U. Hatch y M.E. Swisher (eds.),
- Puig, A.** (s.f.). Indicadores biológicos. (En línea) Disponible en: <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Bioindic.htm>
- Rodríguez, G.** (2004). Identificación de biodiversidad y calidad de agua del Río Usumacinta y afluentes, colindantes con el Parque Nacional Sierra del Lacandón. The Nature Conservancy, Fundación Defensores de la Naturaleza y CONAP. Guatemala, 34 pp.
- Roldán, G.** (1988). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Centro de investigaciones, Universidad de Antioquia. 217 pp.
- Ruiz, E., A. Echeandía y F. Romero.** (1994). Relaciones entre agua y sedimentos en ríos de origen torrencial. Limnética, 10 (1): 101-107 (1994) Asociación Española de Limnología, Madrid. España. (citado 15 Marzo 2009). Disponible en [http://www.limnetica.com/Limnetica/Limne10-1/Limnetica-vol10\(1\)-pag101-107.pdf](http://www.limnetica.com/Limnetica/Limne10-1/Limnetica-vol10(1)-pag101-107.pdf)
- Salazar, A. G., Lizano, O. y J. Alfaro.** (2004). Composición de sedimentos en las zonas costeras de Costa Rica utilizando Fluorescencia de Rayos-X (FRX). *Rev. biol. trop.* [online]. dic. 2004, vol.52 supl.2 [citado 15 Marzo 2009], p.61-75. Disponible en la World Wide Web:

http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442004000600007&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0034-7744.

Smith Sebasto, N.J. (1997). Environmental Issues. Information Sheet EI-2. University of Illinois Cooperative Extensión Service. (En línea) disponible en: <http://www.nres.uiuc.edu/outreach/pubs/ei9709.pdf>.)

SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales). (S.F.). Índice de calidad del agua general "ICA". Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, San Salvador.

Universidad de Guadalajara. (s.f.). Análisis de metales y compuestos orgánicos presentes en los sedimentos y aguas de los ríos Verde y Santiago. Comisión estatal de agua. En línea consultado 1 de julio 2009. Disponible en: http://www.transparencia.udg.mx/html/estatico/rio_verde_santiago/2%20-%20Chap2.pdf

Vindimian, E. y Garric, J. (1993). Bio-essais et bio-indicateurs dans le milieu naturel. CEMAGREF, Lyon. 54 pp.

IV.4 ANEXOS

Anexo No. 1 Matriz de la caracterización de los 10 puntos de muestreo del río Usumacinta, durante una año, La Libertad, Petén

Localidad	Número de monitoreo	coordenadas UTM		Muestreo	Hora del muestreo	OBSERVACIONES GENERALES			
		X	Y			Condiciones climáticas	viento	vegetación en las orillas	tipo de corriente
El Porvenir	1	1900272	683061	25x2007	7:03 AM	nublado	Poco	bosque 1°	Moderada
	2	1900164	683050	23xi2007	7:15 AM	soleado	Poco	bosque 1°	Poca
	3			06xii2007	6:45 AM	1/2 nublado	Poco	bosque 1°	Moderada
	4			22i2008	7:43 AM	nublado	Poco	bosque 1°	Moderada
	5			14iii2008	6:05 AM	amaneciendo	Poco	bosque 1°	Poca
	6			7v2008	6:30 AM	amaneciendo	moderado	bosque 1°	Moderada
	7			2 VI 2008	7:26 AM	nublado	Poco	bosque 1°	Rápida
	8			30 VII 2008	6:18 AM	1/2 nublado	Poco	bosque 1°	Moderada
	9			28 VIII 2008	7:20 AM	soleado	Poco	bosque 1°	Moderada
	10			10 X 2008	6:50 AM	nublado	Poco	bosque 1°	Moderada
	11			6 XI 2008	7:05 AM	nublado	moderado	bosque 1°	Moderada
	12			27 XI 2008	7:20 AM	nublado	moderado	bosque 1°	Moderada
Macabilero desemboca-dura	1	1886345	690633	25x2007	9:00 AM	nublado	moderado	bosque 2°	Poca
	2	1886309	690609	23xi2007	8:55 AM	soleado	Poco	bosque 2°	Poca
	3			06xii2007	8:10 AM	nublado	Poco	bosque 2°	Poca
	4			22i2008	9:15 AM	1/2 nublado	Poco	bosque 2°	Poca
	5			14iii2008	7:25 AM	soleado	Poco	bosque 2°	Moderada
	6			7v2008	8:00 AM	1/2 soleado	Poco	bosque 2°	Moderada
	7			2 VI 2008	8:34 AM	nublado	moderado	bosque 2°	Rápida
	8			30 VII 2008	7:37 AM	soleado	Poco	bosque 2°	Poca
	9			28 VIII 2008	8:35 AM	soleado	Poco	bosque 2°	Poca

	10			10 X 2008	8:09 AM	soleado	Poco	bosque 2°	Poca
	11			6 XI 2008	8:10 AM	nublado	Poco	bosque 2°	Poca
	12			27 XI 2008	8:15 AM	soleado	Poco	bosque 2°	Rápida
Nacimiento Cruz Azul	1	1884721	692240	25x2007	9:52 AM	nublado	Poco	bosque 1° y caña	Poca
	2	1884661	692223	23xi2007	9:50 AM	soleado	Poco	bosque 1°	Poca
	3			06xii2007	8:45 AM	1/2 soleado	moderado	bosque 1°	Moderada
	4			22i2008	9:52 AM	soleado	Poco	bosque 1°	Rápida
	5			14iii2008	7:50 AM	soleado	Poco	bosque 1°	Rápida
	6			7v2008	8:45 AM	soleado	Poco	bosque 1°	Moderada
	7			2 VI 2008	9:18 AM	1/2 soleado	Poco	bosque 1°	Moderada
	8			30 VII 2008	8:15 AM	soleado	Poco	bosque 1°	Rápida
	9			28 VIII 2008	8:53 AM	soleado	Poco	bosque 1°	Rápida
	10			10 X 2008	8:40 AM	soleado	Poco	bosque 1°	Moderada
	11			6 XI 2008	8:38 AM	1/2 soleado	Poco	bosque 1°	Rápida
	12			27 XI 2008	8:50 AM	soleado	moderado	bosque 1°	Rápida
Nacimiento Argueta	1	1880811	699793	25x2007	11:00 AM	nublado	Poco	bosque 1°	Rápida
	2	1880809	699824	23xi2007	10:45 AM	nublado	Poco	bosque 1°	Rápida
	3			06xii2007	9:48 AM	soleado	Poco	bosque 1°	Rápida
	4			22i2008	10:50 AM	soleado	Poco	bosque 1°	Rápida
	5			14iii2008	8:40 AM	soleado	Poco	bosque 1°	Rápida
	6			7v2008	9:52 AM	soleado	Poco	bosque 1°	Rápida
	7			2 VI 2008	10:14 AM	nublado	Poco	bosque 1°	Rápida
	8			30 VII 2008	9:10 AM	soleado	Poco	bosque 1°	Rápida
	9			28 VIII 2008	9:45 AM	soleado	Poco	bosque 1°	Rápida
	10			10 X 2008	9:20 AM	nublado	Poco	bosque 1°	Rápida
	11			6 XI 2008	9:30 AM	soleado	Poco	bosque 1°	Rápida

	12			27 XI 2008	9:28 AM	soleado	Poco	bosque 1°	Rápida
Yaxchilán campamento	1	1868809	709086	25x2007	12:18 PM	nublado	Poco	caña y bosque 1°	Rápida
	2	1868786	709069	23xi2007	12:00 PM	soleado	Poco	caña y bosque 1°	Rápida
	3			06xii2007	10:50 AM	soleado	Poco	caña y bosque 1°	Rápida
	4			22i2008	11:45 AM	nublado	Poco	caña y bosque 1°	Rápida
	5			14iii2008	10:00 AM	soleado	Poco	caña y bosque 1°	Rápida
	6			7v2008	10:56 AM	soleado	Poco	caña y bosque 1°	Rápida
	7			2 VI 2008	11:17 AM	nublado	Poco	caña y bosque 1°	Rápida
	8			30 VII 2008	10:03 AM	soleado	Poco	caña y bosque 1°	Rápida
	9			28 VIII 2008	10:41 AM	soleado	Poco	caña y bosque 1°	Rápida
	10			10 X 2008	10:20 AM	soleado	Poco	caña y bosque 1°	Rápida
	11			6 XI 2008	10:20 AM	soleado	Poco	caña y bosque 1°	Rápida
	12	1868791	709075	27 XI 2008	10:27 AM	soleado	Poco	caña y bosque 1°	Rápida
Ceiba de Oro	1	1865381	715969	25x2007	1:27 PM	nublado	Poco	caña y bosque 2°	Rápida
	2	1865322	715888	23xi2007	1:00 PM	soleado	Poco	caña y bosque 2°	Moderada
	3			06xii2007	12:05 PM	soleado	Poco	caña y bosque 2°	con espuma
	4			22i2008	1:22 PM	nublado	Poco	caña y bosque 2°	Rápida
	5			14iii2008	12:37 PM	soleado	Poco	caña y bosque 2°	Rápida
	6			7v2008	12:48 PM	soleado	Poco	caña y bosque 2°	Rápida
	7			2 VI 2008	1:31 PM	nublado	Poco	caña y bosque 2°	Rápida
	8			30 VII 2008	12:15 PM	soleado	Poco	caña y bosque 2°	Rápida
	9			28 VIII 2008	11:52 AM	soleado	Poco	caña y bosque 2°	Rápida
	10			10 X 2008	11:30 AM	soleado	Poco	caña y bosque 2°	Rápida
	11			6 XI 2008	11:30 AM	soleado	Poco	caña y bosque 2°	con espuma
	12	1865371	715866	27 XI 2008	11:15 AM	soleado	Poco	caña y bosque 2°	Rápida
Arroyo Yaxchilán	1	1865299	761222	25x2007	2:07 PM	nublado	Poco	jimbales y bosque	Poca

	2			23xi2007	1:47 PM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Poca
	3			06xii2007	12:45 PM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Poca
	4			22i2008	2:00 PM	nublado	Poco	jimbales y bosque	Moderada
	5			14iii2008	1:27 PM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Rápida
	6			7v2008	1:36 AM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Rápida
	7			2 VI 2008	2:06 AM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Moderada
	8			30 VII 2008	12:54 PM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Moderada
	9			28 VIII 2008	12:21 PM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Moderada
	10			10 X 2008	12:18 PM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Poca
	11			6 XI 2008	12:15 PM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Poca
	12	1864116	720468	27 XI 2008	12:00 PM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Rapida
La Técnica	1			25x2007	—				
	2			23xi2007	2:30 PM	soleado	Poco	guamil	Moderada
	3			06xii2007	12:45 PM	soleado	Poco	guamil	Rápida
	4			22i2008	2:32 PM	nublado	Poco	guamil	Rápida
	5			14iii2008	2:08 PM	soleado	Poco	guamil	Moderada
	6			7v2008	2:32 PM	soleado	Poco	guamil	Moderada
	7			2 VI 2008	2:57 PM	nublado	mucho	guamil	Rápida
	8			30 VII 2008	1:26 AM	soleado	Poco	guamil	Rápida
	9			28 VIII 2008	1:10 AM	soleado	Poco	guamil	Rápida
	10			10 X 2008	12:57 PM	soleado	Poco	guamil	Rápida
	11			6 XI 2008	12:45 PM	soleado	Poco	guamil	Rápida
	12	1860977	722938	27 XI 2008	12:45 PM	soleado	Poco	guamil	Rápida
Bethel	1	1858328	732331	25x2007	2:30 PM	medio nublado	Poco	jimbales y bosque	Moderada
	2			23xi2007	3:20 PM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Rapida
	3			06xii2007	1:55 PM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Rapida

	4			22i2008	3:35 PM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Rapida
	5			14iii2008	2:55 PM	nublado	Poco	jimbales y bosque	Rapida
	6			7v2008	3:35 PM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Rápida
	7			2 VI 2008	3:27 PM	nublado	Poco	jimbales y bosque	Rápida
	8			30 VII 2008	2:33 PM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Rápida
	9			28 VIII 2008	2:16 PM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Rápida
	10			10 X 2008	2:15 PM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Moderada
	11			6 XI 2008	1:52 PM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Rapida
	12	1858372	732167	27 XI 2008	1:30 PM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Rapida
Arroyo la Miseria	1			25x2007	—				
	2			23xi2007	3:35 PM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Poca
	3			06xii2007	2:15 AM	soleado	Poco	guamil y jimbales	Moderada
	4			22i2008	3:15 PM	nublado	Poco	jimbales y bosque	Moderada
	5			14iii2008	3:15 PM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Rapida
	6			7v2008	4:15 PM	lluvia	moderado	jimbales y bosque	Rapida
	7			2 VI 2008	3:50 PM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Poca
	8			30 VII 2008	2:10 AM	nublado	moderado	jimbales y bosque	Rapida
	9			28 VIII 2008	1:49 AM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Moderada
	10			10 X 2008	1:45 AM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Poca
	11			6 XI 2008	1:22 PM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Poca
	12	1858337	734367	27 XI 2008	2:00 PM	soleado	Poco	jimbales y bosque	Moderada

Anexo No.2 Matriz de los parámetros físicos monitoreados en los 10 puntos de muestreo del río Usumacinta, durante una año, La Libertad, Petén.

PARAMETROS FISICOS IN-SITU										
Localidad	Numero de monitoreo	Profundidad (m)	Conductividad (μ S/cm)	Temperatura del agua °C	pH	Salinidad %	Transparencia cm	Oxígeno disuelto mg/L	Oxígeno disuelto %	Sólidos disueltos totales mg/L
El Porvenir	1	12	356	25	9.03	0.1	13.40	5.35	65.00	171.5
	2	6	1795	25.2	8.14	0.9	47.00	4.54	55.40	949.0
	3	8	1576	23	8.20	0.8	27.00	11.97	140.50	787.0
	4	6	2160	24.3	8.00	1.1	64.80	1.79	22.60	1091.0
	5	5	1867	24.6	7.50	0.9	47.00	5.27	63.70	935.0
	6	12	2150	26.1	7.80	1.1	67.00	4.29	54.20	1086.0
	7	8	288	25.5	6.12	0.1	14.00	5.35	66.00	138.5
	8	16	360	25.9	6.35	0.1	13.00	5.07	63.20	173.3
	9	7	662	28.2	7.18	0.3	25.00	4.82	62.80	322.0
	10	15	242	25.2	6.31	0.1	10.00	4.61	56.60	116.0
	11	12.5	270	22.8	6.44	0.1	28.00	4.61	65.90	129.4
	12	5	395	21.6	6.36	0.2	26.00	5.68	64.90	190.4
Macabilero desemboca-dura	1	12	5.75	23.8	7.95	0.2	1.20.00	6.30	82.00	279
	2	4	431	25.5	7.94	2.3	1.20.00	5.24	65.00	2250
	3	7	4.54	23.5	8.11	2.4	1.20.00	11.25	133.60	2370
	4	1	4.74	23.8	8.00	2.5	1.20.00	0.29	3.50	2480
	5	2	5.69	23.4	7.80	3.1	1.20.00	4.12	50.00	3000
	6	2	6.31	25.6	8.00	3.4	1.20.00	3.97	49.10	3034
	7	14	764	26.4	6.95	0.3	1.20.00	4.52	56.70	373
	8	11	957	27.2	7.02	0.4	40.00	4.01	51.10	469

	9	8	1106	28.7	6.88	0.5	55.00	4.83	64.60	544
	10	15	405	25.7	6.28	0.1	30.00	4.39	54.20	196
	11	11	662	23	6.35	0.3	58.00	4.88	57.30	322
	12	2	1068	22.9	6.11	0.5	1.20.00	5.68	65.90	525
Nacimiento Cruz										
Azúl	1	7	575	25.5	8.25	0.2	10.50	5.41	66.00	279.0
	2	11	1746	26.3	8.04	0.9	63.00	4.12	54.20	872.0
	3	7	1505	23.6	7.97	0.7	37.00	11.25	133.60	748.0
	4	13	2.14	27.9	7.00	1.1	54.40	0.21	2.70	1079.0
	5	8	1824	25.8	7.80	0.9	50.00	4.82	62.90	913.0
	6	12	6.31	25.6	7.00	3.4	70.00	3.78	52.60	3034.0
	7	7	304	25.6	6.80	0.1	14.00	4.99	62.00	146.3
	8	11	713	28.3	6.78	0.3	15.00	4.02	52.30	347.0
	9	20	451	29.4	6.30	0.2	19.00	5.21	70.60	218.0
	10	7	238	26.7	6.35	0	14.00	4.59	58.10	114.1
	11	9	267	24.4	6.61	0.1	27.00	4.23	51.60	128.0
	12	8	379	24.6	6.37	0.01	28.00	4.66	55.60	182.5
Nacimiento										
Argueta	1	0.08	513	23.9	7.80	0.2	1.20.00	6.49	78.30	248.0
	2	0.07	1799	25.2	7.80	0.9	1.20.00	0.04	1.10	900.0
	3	0.05	1840	24.6	9.16	0.9	1.20.00	10.10	121.70	921.0
	4	0.07	1799	25	8.00	0.9	1.20.00	0.21	2.70	900.0
	5	0.08	1824	25.8	8.00	0.9	1.20.00	4.78	59.10	913.0
	6	0.06	1789	24.4	8.00	0.9	1.20.00	6.20	81.50	895.0
	7	0.06	523	24.7	6.27	0.2	1.20.00	5.37	66.30	253.0
	8	0.07	501	25.8	6.23	0.2	1.20.00	5.39	67.30	242.0
	9	0.07	496	26	6.36	0.2	1.20.00	5.76	74.30	240.0
	10	0.10	365	25.3	6.43	0.1	1.20.00	5.51	67.60	176.5

	11	0.10	369	24.1	6.30	0.1	1.20.00	5.17	62.40	177.7
	12	0.10	370	24.2	6.45	0.1	1.20.00	6.87	81.80	178.2
Yaxchilán										
campamento	1	0	313	24.4	8.31	0.1	15.00	6.65	80.50	150.7
	2	16	1729	26.1	8.00	0.9	49.00	5.05	68.80	863.0
	3	7	1505	24.9	9.50	0.7	34.10	7.78	99.40	748.0
	4	6	2.09	26.3	8.00	1.00	71.10	0.24	3.00	1050.0
	5	6	1831	28.6	8.70	0.9	65.00	4.85	68.40	916.0
	6	6	2.08	31.9	7.50	1.00	42.00	4.52	76.20	1045.0
	7	11	428	27.00	6.38	0.2	14.00	5.04	64.10	207.0
	8	7	668	27.70	6.30	0.3	15.00	4.11	53.10	325.0
	9	7	395	29.40	6.21	0.1	8.00	4.82	65.60	190.3
	10	10	235	28.30	6.31	0	12.00	4.40	57.80	112.8
	11	8	264	24.50	6.41	0.1	25.00	4.25	51.60	126.7
	12	5	382	24.80	6.44	0.1	26.00	6.15	75.90	184.2
Ceiba de Oro										
	1	20	299	24	8.24	0.1	12.00	7.41	89.60	143.6
	2	12	1683	26.2	8.36	0.8	47.00	4.09	53.40	840.0
	3	8	1493	27.3	9.73	0.7	34.20	10.48	134.30	742.0
	4	9	2.9	25.2	7.60	1	59.00	0.34	4.50	1052.0
	5	6	1822	30.8	7.90	0.9	62.00	5.02	71.10	912.0
	6	4	2.03	37.9	8.00	1	65.00	3.79	58.60	1021.0
	7	18	286	28.7	6.34	0.1	12.00	5.53	73.40	137.4
	8	9	362	31.2	6.22	0.1	14.00	4.42	60.70	174.3
	9	8	405	31.2	6.23	0.1	9.00	4.58	63.10	195.4
	10	18	236	32.3	6.35	0	11.00	4.54	63.70	113.0
	11	7	259	34.3	6.35	0.1	26.00	2.93	42.40	124.0
	12	10	444	25	6.68	0.2	22.00	4.77	62.20	214.0

Arroyo Yaxchilán	1	10	299	23.8	7.95	0.1	1.20.00	4.64	55.80	143.6
	2	9	246	26.3	7.67	1.2	1.20.00	3.41	42.90	1249.0
	3	6	2.7	24.6	8.34	1.4	1.20.00	9.65	125.90	1368.0
	4	3	2.9	26.2	7.50	1.5	1.20.00	0.34	4.40	1484.0
	5	3	2.92	28.1	8.40	1.5	1.20.00	4.99	65.80	1490.0
	6	1.5	2.9	31.6	8.00	1.5	1.20.00	4.65	70.70	1481.0
	7	9	489	27.8	6.18	0.2	1.20.00	3.46	45.00	237.0
	8	11	748	33.5	6.86	0.3	33.00	3.63	52.00	365.0
AGOSTO	9	4	787	30.7	6.87	0.3	30.00	4.99	68.20	384.0
SEPTIEMBRE	10	13	399	32.3	6.59	0.1	52.00	3.14	44.10	192.6
OCTUBRE	11	9	288	31.7	6.30	0.1	35.00	3.99	54.80	138.4
NOVIEMBRE	12	3	606	27.2	6.61	0.3	51.00	5.29	70.10	294.0
La Técnica	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2	6	0.01	26.2	8.30	0	44.00	0.19	2.30	960.0
	3	6	1503	28.8	8.38	0.7	3.00	9.11	120.00	747.0
	4	3	2.09	26.3	7.50	1	69.80	0.32	4.20	1049.0
	5	4	2.68	30	7.50	1.2	64.00	4.80	68.20	1258.0
	6	3	2.02	33.5	7.00	1	68.00	4.32	62.50	1013.0
	7	11	276	26.0	6.45	0.1	11.00	4.93	60.80	132.3
	8	7	362	30.1	6.27	0.1	15.00	3.79	58.10	174.5
	9	8	385	33.4	6.27	0.1	11.00	4.14	59.40	185.5
	10	16	233	32.9	6.78	0	14.00	4.61	65.50	111.6
	11	7	157.7	31.1	7.70	0	28.00	3.99	54.80	75.2
	12	4.5	374	25.3	6.76	0.1	31.00	4.40	63.30	180.4
Bethel	1	—	297	24.6	8.12	0.1	16.20	7.47	92.80	142.9
	2	—	1696	26.5	8.70	0.8	45.00	1.68	21.50	846.0

	3	9	1483	25.7	8.44	0.7	3.00	8.69	117.30	736.0
	4	5	2.06	27.4	6.00	1	56.80	0.18	2.30	1035.0
	5	7	1830	28.7	8.00	0.9	69.00	5.09	71.90	916.0
	6	4	2	31.9	8.00	1	65.00	4.34	62.90	1007.0
	7	11	557	24.9	6.37	0.2	10.00	5.03	61.80	270.0
	8	13	359	34.00	7.17	0.1	16.00	3.97	57.60	172.8
	9	10	372	31.90	6.25	0.1	15.00	4.27	64.50	179.4
	10	14	230	33.10	6.46	0	13.00	4.61	65.90	110.4
	11	15	264	28.10	6.48	0.1	25.00	4.60	60.00	126.8
	12	7	374	26.40	7.15	0.1	36.00	5.18	64.40	180.0
Arroyo la Miseria	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2	3	246	26.3	8.80	1.2	1.20.00	3.29	42.10	1247.0
	3	3	2.55	27.1	7.62	1.3	1.20.00	0.19	2.50	1297.0
	4	2	2.49	25.4	8.00	1.3	1.20.00	0.28	3.50	1272.0
	5	2	2.48	25.9	9.50	1.3	1.20.00	3.89	53.70	1258.0
	6	0.5	334	29.1	9.50	0.1	1.20.00	3.48	50.80	161.0
	7	9	360	25.2	6.35	0.1	26.00	3.29	42.10	1733.0
	8	7	695	29.9	6.75	0.3	53.00	2.11	28.50	339.0
	9	7	884	29.1	6.28	0.4	1.20.00	2.16	33.90	433.0
	10	8	443	30.1	6.64	0.2	87.00	2.30	31.80	214.0
	11	7	533	28.4	6.25	0.2	80.00	3.88	50.90	258.0
	12	1.5	374	28.1	6.53	0.1	21.00	3.92	53.90	180.0

Anexo No.3 Matriz de los parámetros Químicos y Microbiológicos monitoreados en los 10 puntos de muestreo del río Usumacinta, durante un año, La Libertad, Petén.

Localidad	Numero del monitoreo	DBO ₅ mg/L	DQO	NUTRIENTES				BACTERIOLOGICO	
				Nitrógeno NH ³ -N mg/L	Nitrato NO ³ -N mg/L	Nitrito NO ² -N mg/L	Fosfato PO ⁴ mg/L	Coliformes en 100ml	<i>E.coli</i> en 100ml
El Porvenir	1	< 10	15	-0.010	-0.40	0.080	debajo gama	1011.20	866.40
	2	—	20	-0.040	1.30	0.006	debajo gama	134.10	24.60
	3	< 10	23	-0.010	1.90	0.005	0.17	1046.20	167.00
	4	—	22	0.010	2.50	0.006	0.21	132.40	8.60
	5	—	—	-0.020	24.80	0.006	0.64	1046.20	73.80
	6	< 10	22	-0.030	25.20	0.009	0.08	2419.60	14.50
	7	< 10	23	0.009	5.80	0.007	0.36	2419.60	261.30
	8	< 10	20	0.060	1.70	0.007	0.16	2419.60	46.40
	9	< 10	20	-0.010	4.70	0.013	0.19	>2419.6	135.4
	10	< 10	18	0.040	4.30	0.024	0.55	24129.6	66.9
	11	< 10	17	0.020	1.60	0.008	0.08	727	50.4
	12	< 10	18.00	0.03	2.60	0.00	0.10	245.80	29.20
Macabilero desembocadura	1	< 10	20	0.030	2.40	debajo gama	debajo gama	129.90	42.60
	2	—	9	0.000	2.40	0.001	2.41	117.80	70.30
	3	< 10	debajo gama	0.000	1.20	0.004	0.07	243.60	145.50
	4	—	12	debajo gama	0.70	0.006	0.07	331.40	33.60
	5	—	—	-0.010	1.30	0.008	0.86	866.40	83.60
	6	< 10	24	0.020	1.44	0.006	0.54	1986.30	29.50

	7	< 10	22	0.004	3.00	0.004	1.05	> 2419.6	37.90
	8	< 10	21	0.010	2.00	0.007	0.12	>2419.6	38.40
	9	< 10	20	-0.010	1.80	0.007	0.18	2419.6	325.5
	10	< 10	18	0.030	2.70	0.004	1.83	829.7	146.7
	11	< 10	18	0.000	1.80	0.001	0.06	549.3	25.3
	12	< 10	10.000	0.000	1.50	0.003	0.11	364.9	50.4
Nacimiento Cruz Azul	1	< 10	20	0.030	2.90	0.020	0.25	1986.30	1732.90
	2	—	18	-0.030	1.60	0.004	0.25	118.50	33.70
	3	< 10	11	-0.010	1.60	0.002	0.13	251.00	218.70
	4	—	14	0.020	0.50	0.004	0.08	81.50	14.60
	5	—	—	0.020	2.10	0.001	0.10	816.40	13.40
	6	< 10	20	0.040	0.20	0.002	0.83	2419.68	9.70
	7	< 10	18	0.007	10.90	0.016	0.45	2419.68	121.10
	8	< 10	15	0.060	3.00	0.031	0.18	2419.68	22.30
	9	< 10	16	0.090	2.40	0.008	0.08	>2419.6	313
	10	< 10	18	0.070	6.80	0.009	0.16	640.5	344.8
	11	< 10	16	0.030	2.10	0.002	0.34	1119.9	35.9
	12	< 10	15	0.010	1.80	0.005	0.13	166.5	13.4
Nacimiento Argueta	1	< 10	5	0.000	1.20	0.020	0.04	91.40	36.90
	2	—	6	-0.010	0.90	0.003	0.37	218.50	12.10
	3	< 10	debajo gama	-0.040	1.30	0.009	0.19	424.50	33.60
	4	—	5	0.010	0.50	0.013	0.44	207.70	26.20
	5	—	—	-0.020	1.60	0.120	0.14	387.30	16.40
	6	< 10	12	-0.010	1.84	0.005	0.18	148.30	29.20
	7	< 10	debajo gama	-0.002	1.80	0.007	0.38	616.70	22.80

	8	< 10	5	0.000	2.60	0.001	0.12	2419.60	40.20
	9	< 10	6	0.000	2.10	0.015	0.07	2419.6	32.3
	10	< 10	4	0.050	8.60	0.002	0.10	148.3	10.8
	11	< 10	2	-0.020	4.40	0.010	0.34	261.3	5.2
	12	< 10	debajo gama	0.020	1.10	0.012	0.07	322.3	3.1
Yaxchilán campamento	1	< 10	17	0.030	2.40	0.001	0.10	1119.90	1046.20
	2	—	12	-0.010	1.10	0.002	0.10	101.90	54.10
	3	< 10	debajo gama	-0.020	1.20	0.011	0.12	870.40	261.30
	4	—	16	-0.010	2.10	0.003	0.15	342.80	25.30
	5	—	—	0.070	1.60	0.011	0.10	1119.90	12.00
	6	< 10	20	0.000	0.56	0.001	0.16	136.40	4.10
	7	< 10	22	0.060	5.60	0.001	1.09	691.00	139.60
	8	< 10	24	0.040	1.30	0.014	0.19	>2419.6	43.50
	9	< 10	18	0.080	13.00	0.046	0.38	2419.6	240
	10	< 10	20	-0.030	3.80	0.027	0.13	791.5	259.5
	11	< 10	17	0.000	1.00	0.007	0.08	328.2	20.4
	12	< 10	19	0.030	2.10	0.020	0.15	1732.9	10.8
Ceiba de Oro	1	< 10	26	0.080	2.30	0.005	0.42	1203.30	1046.20
	2	—	20	-0.040	1.30	0.006	—	22.20	488.40
	3	< 10	24	-0.020	0.30	0.015	0.05	161.50	147.00
	4	—	18	-0.010	1.30	0.002	0.14	1119.90	25.60
	5	—	—	0.010	1.20	0.009	0.90	328.20	10.90
	6	< 10	26	-0.010	2.60	0.002	0.15	77.10	4.10
	7	< 10	27	0.060	10.20	0.015	0.34	> 2419.6	436.00
	8	< 10	22	0.020	2.10	0.000	0.16	372.40	44.80

	9	< 10	25	0.040	7.20	0.012	0.11	263.1	169.1
	10	< 10	29	0.060	3.30	-0.001	0.23	616.7	435.2
	11	< 10	23	0.010	1.20	0.002	0.13	272.3	18.7
	12	< 10	22	-0.040	2.10	0.013	0.03	324.1	2
Arroyo Yaxchilán	1	< 10	20	0.020	1.00	-0.001	0.12	209.10	98.50
	2	—	22	0.000	3.70	0.000	debajo gama	157.60	39.40
	3	< 10	debajo gama	0.000	2.80	0.001	0.11	188.70	168.20
	4	—	17	—	1.70	0.000	0.76	>2419.6	191.80
	5	—	—	0.000	7.70	0.015	0.01	185.20	122.20
	6	< 10	20	0.000	2.40	0.005	0.26	60.50	22.80
	7	< 10	23	0.050	2.30	0.008	0.32	> 2419.6	71.70
	8	< 10	20	0.000	2.10	0.002	0.77	241.10	88.40
AGOSTO	9	< 10	22	0.000	1.80	0.008	0.08	125.1	62.2
	10	< 10	20	0.02	2.4	0.011	0.13	315.1	56.1
SEPTIEMBRE	11	< 10	26	0.000	2.40	0.009	0.13	549.3	39.3
OCTUBRE	12	< 10	18	0.010	1.50	0.011	0.08	1986.3	128.1
NOVIEMBRE	1	—	—	—	—	—	—	—	—
	2	—	20	-0.020	1.30	-0.004	0.19	100.00	47.90
	3	< 10	16	-0.030	20.2	-0.001	0.18	287.8	190.4
	4	—	13	0.000	4.1	0.02	0.25	920.8	35.9
	5	—	—	-0.020	1	0.001	0.05	145	3
	6	< 10	20	0.000	5.8	0.006	0.98	45.5	4.1
	7	< 10	22	0.050	12.7	0.005	0.41	> 2419.6	1046.2
	8	< 10	24	0.040	2.7	0.025	0.27	59.2	22.6
	9	< 10	17	0.040	2.3	0.008	0.17	114.2	100.9

	10	< 10	20	0.070	7.3	0.051	0.3	533.5	242.7
	11	< 10	23	0.030	6.1	-0.001	0.07	408.3	23.5
	12	< 10	18	0.020	1.4	0.012	0.09	1119.9	14.6
Bethel	1	< 10	22	0.070	0.80	0.013	0.10	2419.60	2419.60
	2	—	18	0.000	0.80	0.004	0.08	44.30	113.30
	3	< 10	11	0.020	1.80	0.004	0.07	135.40	61.40
	4	—	—	0.040	2.40	0.003	0.54	1119.90	44.10
	5	—	—	0.040	1.70	0.004	debajo gama	168.60	13.00
	6	< 10	20	-0.020	1.90	0.011	0.46	76.30	6.30
	7	< 10	22	0.110	4.30	0.006	0.70	223.00	173.10
	8	< 10	25	0.010	1.80	0.004	0.96	76.30	28.10
	9	< 10	20	0.030	2.50	0.007	0.22	173.3	139.2
	10	< 10	23	0.010	2.50	0.010	0.09	2419.6	1203.3
	11	< 10	22	-0.030	2.50	0.011	0.10	145	22.6
	12	< 10	22	0.000	3.90	0.007	0.25	613.1	15.6
Arroyo la Miseria	1	—	—	—	—	—	—	—	—
	2	—	12	0.000	1.90	0.002	debajo gama	126.40	27.50
	3	< 10	8	-0.030	2.60	0.003	0.23	250.40	190.40
	4	—	10	0.010	1.80	0.009	0.49	>2419.6	90.80
	5	—	—	0.000	1.80	0.004	0.04	980.40	101.90
	6	< 10	18	0.000	1.20	0.005	0.01	194.70	35.50
	7	< 10	17	0.010	2.60	0.024	0.10	> 2419.6	648.80
	8	< 10	16	-0.020	1.20	0.014	0.09	108.90	42.20
	9	< 10	20	0.000	2.00	0.007	0.11	325.7	187.3
	10	< 10	17	0.060	2.10	0.023	0.21	2419.60	42.80
	11	< 10	15	-0.030	9.40	0.006	0.07	222.40	18.70

12

< 10

19

0.010

0.30

0.009

0.11

579.40

32.30

Anexo No.4 Índice de calidad de agua ICA en los 10 puntos de muestreo del río Usumacinta, durante una año, La Libertad, Petén.

El porvenir

Col	Coliformes fecales				pH				DBO				Nitratos				Fosfatos				Temperatura				Turbidez				Sólidos disueltos				oxígeno disuelto				ICA							
	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valo	Sub	i	Wi	Total	Valo	Sub	i	Wi	Total	Valo	Sub	i	Wi	Total	Valo	Sub	i	Wi	Total	de	Dif.	Sub	Wi	Total	de	Sub	i	Wi	Total	de		Sub	i	Wi	Total	de	Sub	i
1	866	24	0.2	3.6	9	40	0.1	4.8	10	55	0.1	5.5	-0	98	0.1	9.8	0	99	0.1	9.9	25	30	4.7	48	0.1	4.8	83	23	0.1	1.8	171.5	75	0.1	6	65	68	0.2	12	57.8					
2	24.6	61	0.2	9.2	8.1	75	0.1	9	10	55	0.1	5.5	1.3	91	0.1	9.1	0	99	0.1	9.9	25	30	5.2	42	0.1	4.2	63	32	0.1	2.6	949	3	0.1	0.2	55	48	0.2	8.2	57.8					
3	167	42	0.2	6.3	8.2	74	0.1	8.9	10	55	0.1	5.5	1.9	88	0.1	8.8	0.2	91	0.1	9.1	23	29	6.4	32	0.1	3.2	79	26	0.1	2.1	787	3	0.1	0.2	141	78	0.2	13	57.4					
4	8.6	75	0.2	11	8	85	0.1	10	10	55	0.1	5.5	2.5	80	0.1	8	0.2	81	0.1	8.1	24	33	8.3	24	0.1	2.4	57	37	0.1	3	1091	3	0.1	0.2	141	78	0.2	13	61.9					
5	73.8	76	0.2	11	7.5	92	0.1	11	10	55	0.1	5.5	2.5	32	0.1	3.2	0.6	68	0.1	6.8	25	34	9.4	23	0.1	2.3	63	33	0.1	2.6	935	3	0.1	0.2	64	67	0.2	11	54.5					
6	14.5	66	0.2	9.9	7.8	90	0.1	11	10	55	0.1	5.5	2.5	32	0.1	3.2	0.1	99	0.1	9.9	26	35	9.3	23	0.1	2.3	57	26	0.1	2.1	1086	3	0.1	0.2	54	49	0.2	8.3	52.3					
7	261	35	0.2	5.3	6.1	55	0.1	6.6	10	55	0.1	5.5	5.8	73	0.1	7.3	0.4	79	0.1	7.9	26	32	6.6	36	0.1	3.6	83	23	0.1	1.8	138.5	3	0.1	0.2	66	68	0.2	12	49.8					
8	46.4	55	0.2	8.3	6.4	62	0.1	7.4	10	55	0.1	5.5	1.7	88	0.1	8.8	0.2	91	0.1	9.1	26	33	7.1	30	0.1	3	83	23	0.1	1.8	173.3	3	0.1	0.2	63	67	0.2	11	55.6					
9	135	41	0.2	6.2	7.2	90	0.1	11	10	55	0.1	5.5	4.7	76	0.1	7.6	0.2	91	0.1	9.1	28	34	6.2	34	0.1	3.4	78	26	0.1	2.1	322	55	0.1	4.4	63	66	0.2	11	60.3					
10	66.9	50	0.2	7.5	6.3	66	0.1	7.9	10	55	0.1	5.5	4.3	77	0.1	7.7	0.6	65	0.1	6.5	25	30	4.8	45	0.1	4.5	92	21	0.1	1.7	116	81	0.1	6.5	57	49	0.2	8.3	56.1					
11	50.4	54	0.2	8.1	6.4	67	0.1	8	10	55	0.1	5.5	1.6	88	0.1	8.8	0.1	99	0.1	9.9	23	30	7	31	0.1	3.1	78	26	0.1	2.1	129.4	80	0.1	6.4	66	68	0.2	12	63.5					
12	29.2	60	0.2	9	6.4	66	0.1	7.9	10	55	0.1	5.5	2.6	80	0.1	8	0.1	91	0.1	9.1	22	29	7	31	0.1	3.1	79	27	0.1	2.2	190.4	72	0.1	5.8	65	68	0.2	12	62.1					
																								Promedio ICA				57.4																

Macabilero desemboca-dura

Col	Coliformes fecales				pH				DBO				Nitratos				Fosfatos				Temperatura				Turbidez				Sólidos disueltos				oxígeno disuelto				ICA		
	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valo	Sub	i	Wi	Total	Valo	Sub	i	Wi	Total	Valo	Sub	i	Wi	Total	de	Dif.	Sub	Wi	Total	de	Sub	i	Wi	Total	de	Sub	i	Wi	Total	de		Sub	i
1	42.6	55	0.2	8.3	8	88	0.1	11	10	55	0.1	5.5	2.4	86	0.1	8.6	0	99	0.1	9.9	24	30	5.9	38	0.1	3.8	0.3	99	0.1	7.9	279	82	0.1	6.6	82	88	0.2	15	76.1
2	70.3	59	0.2	8.9	7.9	88	0.1	11	10	55	0.1	5.5	2.4	86	0.1	8.6	2.4	25	0.1	2.5	26	30	4.9	46	0.1	4.6	0.3	99	0.1	7.9	2250	3	0.1	0.2	65	62	0.2	11	59.3
3	146	44	0.2	6.6	8.1	81	0.1	9.7	10	55	0.1	5.5	1.2	89	0.1	8.9	0.1	95	0.1	9.5	24	29	5.9	38	0.1	3.8	0.3	99	0.1	7.9	2370	3	0.1	0.2	134	88	0.2	15	67.1
4	33.6	85	0.2	13	8	85	0.1	10	10	55	0.1	5.5	0.7	95	0.1	9.5	0.1	95	0.1	9.5	24	33	8.8	25	0.1	2.5	0.3	99	0.1	7.9	2480	3	0.1	0.2	134	88	0.2	15	73.1
5	83.6	47	0.2	7.1	7.8	91	0.1	11	10	55	0.1	5.5	1.3	89	0.1	8.9	0.9	96	0.1	9.6	23	34	11	20	0.1	2	0.3	99	0.1	7.9	3000	3	0.1	0.2	50	42	0.2	7.1	59.3
6	29.5	97	0.2	15	8	85	0.1	10	10	55	0.1	5.5	1.4	90	0.1	9	0.5	75	0.1	7.5	26	35	9.8	22	0.1	2.2	0.3	99	0.1	7.9	3034	3	0.1	0.2	49	42	0.2	7.1	64.3
7	37.9	46	0.2	6.9	7	89	0.1	11	10	55	0.1	5.5	3	75	0.1	7.5	1.1	40	0.1	4	26	32	5.7	36	0.1	3.6	0.3	99	0.1	7.9	373	51	0.1	4.1	57	50	0.2	8.5	58.7

8	38.4	46	0.2	6.9	7	90	0.1	11	10	55	0.1	5.5	2	80	0.1	8	0.1	92	0.1	9.2	27	33	5.8	37	0.1	3.7	65	31	0.1	2.5	469	38	0.1	3	51	42	0.2	7.1	56.8
9	326	32	0.2	4.8	6.9	84	0.1	10	10	55	0.1	5.5	1.8	79	0.1	7.9	0.2	91	0.1	9.1	29	34	5.7	36	0.1	3.6	59	46	0.1	3.7	544	3	0.1	0.2	65	62	0.2	11	55.4
10	147	44	0.2	6.6	6.3	66	0.1	7.9	10	55	0.1	5.5	2.7	86	0.1	8.6	1.8	29	0.1	2.9	26	30	4.3	54	0.1	5.4	78	26	0.1	2.1	196	74	0.1	5.9	54	44	0.2	7.5	52.4
11	25.3	60	0.2	9	6.4	67	0.1	8	10	55	0.1	5.5	1.8	85	0.1	8.5	0.1	94	0.1	9.4	23	30	6.8	34	0.1	3.4	59	46	0.1	3.7	322	58	0.1	4.6	57	45	0.2	7.7	59.8
12	50.4	54	0.2	8.1	6.1	62	0.1	7.4	10	55	0.1	5.5	1.5	84	0.1	8.4	0.1	91	0.1	9.1	23	29	5.7	36	0.1	3.6	0.3	99	0.1	7.9	525	3	0.1	0.2	66	65	0.2	11	61.4
Promedio ICA																												62.0											

Nacimiento Cruz Azul

III	Coliformes fecales				pH				DBO				Nitratos				Fosfatos				Temperatura				Turbidez				Sólidos disueltos				oxígeno disuelto				ICA		
	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor		Sub	i
1	1733	3	0.2	0.5	8.3	82	0.1	9.8	10	55	0.1	5.5	2.9	80	0.1	8	0.3	84	0.1	8.4	26	30	4.2	54	0.1	5.4	83	23	0.1	1.8	279	65	0.1	5.2	66	62	0.2	11	55.2
2	33.7	86	0.2	13	8	85	0.1	10	10	55	0.1	5.5	1.6	99	0.1	9.9	0.3	84	0.1	8.4	26	30	4.1	56	0.1	5.6	57	36	0.1	2.9	872	3	0.1	0.2	54	40	0.2	6.8	62.4
3	219	46	0.2	6.9	8	86	0.1	10	10	55	0.1	5.5	1.6	99	0.1	9.9	0.1	99	0.1	9.9	24	29	5.8	37	0.1	3.7	65	31	0.1	2.5	748	3	0.1	0.2	134	84	0.2	14	63.2
4	14.6	73	0.2	11	7	90	0.1	11	10	55	0.1	5.5	0.5	100	0.1	10	0.1	100	0.1	10	28	33	4.7	45	0.1	4.5	59	34	0.1	2.7	1079	3	0.1	0.2	134	84	0.2	14	69
5	13.4	74	0.2	11	7.8	86	0.1	10	10	55	0.1	5.5	2.1	86	0.1	8.6	0.1	99	0.1	9.9	26	34	8.2	28	0.1	2.8	63	33	0.1	2.6	913	3	0.1	0.2	63	64	0.2	11	62
6	9.7	74	0.2	11	7	90	0.1	11	10	55	0.1	5.5	0.2	100	0.1	10	0.8	53	0.1	5.3	26	35	9.8	22	0.1	2.2	57	35	0.1	2.8	3034	3	0.1	0.2	53	42	0.2	7.1	55.1
7	121	45	0.2	6.8	6.8	85	0.1	10	10	55	0.1	5.5	11	50	0.1	5	0.5	72	0.1	7.2	26	32	6.5	32	0.1	3.2	83	23	0.1	1.8	146.3	80	0.1	6.4	62	64	0.2	11	57
8	22.3	72	0.2	11	6.8	62	0.1	7.4	10	55	0.1	5.5	3	80	0.1	8	0.2	99	0.1	9.9	28	33	4.7	45	0.1	4.5	83	23	0.1	1.8	347	44	0.1	3.5	52	42	0.2	7.1	58.6
9	313	44	0.2	6.6	6.3	59	0.1	7.1	10	55	0.1	5.5	2.4	84	0.1	8.4	0.1	100	0.1	10	29	34	5	44	0.1	4.4	83	23	0.1	1.8	218	72	0.1	5.8	71	72	0.2	12	61.8
10	345	43	0.2	6.5	6.4	59	0.1	7.1	10	55	0.1	5.5	6.8	64	0.1	6.4	0.2	99	0.1	9.9	27	30	3.3	63	0.1	6.3	83	23	0.1	1.8	114.1	85	0.1	6.8	58	52	0.2	8.8	59.1
11	35.9	71	0.2	11	6.6	68	0.1	8.2	10	55	0.1	5.5	2.1	86	0.1	8.6	0.3	85	0.1	8.5	24	30	5.4	40	0.1	4	83	23	0.1	1.8	128	82	0.1	6.6	52	42	0.2	7.1	61
12	13.4	73	0.2	11	6.4	59	0.1	7.1	10	55	0.1	5.5	1.8	83	0.1	8.3	0.1	99	0.1	9.9	25	29	4	54	0.1	5.4	78	27	0.1	2.2	182.5	72	0.1	5.8	56	49	0.2	8.3	63.4
Promedio ICA																												60.6											

Nacimiento Argueta

Col	Coliformes fecales				pH				DBO				Nitratos				Fosfatos				Temperatura				Turbidez				Sólidos disueltos				oxígeno disuelto				ICA		
	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	de	Agu	Dif.	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi		Total	
1	36.9	58	0.2	8.7	7.8	90	0.1	11	10	55	0.1	5.5	1.2	97	0.1	9.7	0	100	0.1	10	24	29	5.1	44	0.1	4.4	0.3	100	0.1	8	248	68	0.1	5.4	78	84	0.2	14	76.8
2	12.1	70	0.2	11	7.8	90	0.1	11	10	55	0.1	5.5	0.9	99	0.1	9.9	0.4	99	0.1	9.9	25	29	3.8	61	0.1	6.1	0.3	100	0.1	8	900	3	0.1	0.2	122	84	0.2	14	75.2
3	33.6	56	0.2	8.4	9.2	48	0.1	5.8	10	55	0.1	5.5	1.3	96	0.1	9.6	0.2	91	0.1	9.1	25	27	2.4	76	0.1	7.6	0.3	100	0.1	8	921	3	0.1	0.2	122	90	0.2	15	69.5
4	26.2	62	0.2	9.3	8	85	0.1	10	10	55	0.1	5.5	0.5	100	0.1	10	0.4	72	0.1	7.2	25	30	5	36	0.1	3.6	0.3	100	0.1	8	900	3	0.1	0.2	122	90	0.2	15	69.3
5	16.4	68	0.2	10	8	85	0.1	10	10	55	0.1	5.5	1.6	94	0.1	9.4	0.1	92	0.1	9.2	26	32	6.2	36	0.1	3.6	0.3	100	0.1	8	913	3	0.1	0.2	59	58	0.2	9.9	66.2
6	29.2	59	0.2	8.9	8	85	0.1	10	10	55	0.1	5.5	1.8	95	0.1	9.5	0.2	94	0.1	9.4	24	33	8.6	28	0.1	2.8	0.3	100	0.1	8	895	3	0.1	0.2	82	87	0.2	15	69.3
7	22.8	63	0.2	9.5	6.3	58	0.1	7	10	55	0.1	5.5	1.8	95	0.1	9.5	0.4	82	0.1	8.2	25	30	5.3	42	0.1	4.2	0.3	100	0.1	8	253	68	0.1	5.4	66	65	0.2	11	68.3

8	40.2	57	0.2	8.6	6.2	58	0.1	7	10	55	0.1	5.5	2.6	84	0.1	8.4	0.1	91	0.1	9.1	26	30	4.2	52	0.1	5.2	0.3	100	0.1	8	242	67	0.1	5.4	67	66	0.2	11	68.3
9	32.3	58	0.2	8.7	6.4	60	0.1	7.2	10	55	0.1	5.5	2.1	88	0.1	8.8	0.1	100	0.1	10	26	32	6	34	0.1	3.4	0.3	100	0.1	8	240	69	0.1	5.5	74	78	0.2	13	70.4
10	10.8	74	0.2	11	6.4	60	0.1	7.2	10	55	0.1	5.5	8.6	58	0.1	5.8	0.1	95	0.1	9.5	25	29	3.7	60	0.1	6	0.3	100	0.1	8	176.5	76	0.1	6.1	68	68	0.2	12	70.7
11	5.2	80	0.2	12	6.3	58	0.1	7	10	55	0.1	5.5	4.4	75	0.1	7.5	0.3	86	0.1	8.6	24	28	3.9	58	0.1	5.8	0.3	100	0.1	8	177.7	76	0.1	6.1	62	64	0.2	11	71.3
12	3.1	86	0.2	13	6.5	60	0.1	7.2	10	55	0.1	5.5	1.1	98	0.1	9.8	0.1	100	0.1	10	24	27	2.8	68	0.1	6.8	0.3	100	0.1	8	178.2	76	0.1	6.1	82	88	0.2	15	81.2
Promedio ICA																													71.4										

Yaxchilán campamento

Col	Coliformes fecales				pH				DBO				Nitratos				Fosfatos				Temperatura				Turbidez				Sólidos disueltos				oxígeno disuelto				ICA		
	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor		Sub	i
1	1046	21	0.2	3.2	8.3	81	0.1	9.7	10	55	0.1	5.5	2.4	86	0.1	8.6	0.1	99	0.1	9.9	24	30	5.9	46	0.1	4.6	83	23	0.1	1.8	150.7	78	0.1	6.2	81	88	0.2	15	64.5
2	54.1	55	0.2	8.3	8	85	0.1	10	10	55	0.1	5.5	1.1	95	0.1	9.5	0.1	99	0.1	9.9	26	30	4.2	52	0.1	5.2	63	33	0.1	2.6	863	3	0.1	0.2	69	70	0.2	12	63.3
3	261	36	0.2	5.4	9.5	32	0.1	3.8	10	55	0.1	5.5	1.2	95	0.1	9.5	0.1	98	0.1	9.8	25	29	4	55	0.1	5.5	65	31	0.1	2.5	748	3	0.1	0.2	99	100	0.2	17	59.3
4	25.3	62	0.2	9.3	8	85	0.1	10	10	55	0.1	5.5	2.1	88	0.1	8.8	0.2	97	0.1	9.7	26	32	5.5	40	0.1	4	48	40	0.1	3.2	1050	3	0.1	0.2	99	100	0.2	17	67.9
5	12	71	0.2	11	8.7	72	0.1	8.6	10	55	0.1	5.5	1.6	94	0.1	9.4	0.1	99	0.1	9.9	29	33	4.4	53	0.1	5.3	57	36	0.1	2.9	916	3	0.1	0.2	68	71	0.2	12	64.6
6	4.1	84	0.2	13	7.5	94	0.1	11	10	55	0.1	5.5	0.6	99	0.1	9.9	0.2	90	0.1	9	32	36	3.8	58	0.1	5.8	63	32	0.1	2.6	1045	3	0.1	0.2	76	80	0.2	14	70.5
7	140	44	0.2	6.6	6.4	61	0.1	7.3	10	55	0.1	5.5	5.6	68	0.1	6.8	1.1	39	0.1	3.9	27	32	4.6	44	0.1	4.4	83	23	0.1	1.8	207	72	0.1	5.8	64	64	0.2	11	53
8	43.5	85	0.2	13	6.3	61	0.1	7.3	10	55	0.1	5.5	1.3	97	0.1	9.7	0.2	96	0.1	9.6	28	32	4.7	50	0.1	5	83	23	0.1	1.8	325	56	0.1	4.5	53	46	0.2	7.8	64
9	240	38	0.2	5.7	6.2	60	0.1	7.2	10	55	0.1	5.5	13	48	0.1	4.8	0.4	88	0.1	8.8	29	34	4.6	57	0.1	5.7	92	21	0.1	1.7	190.3	74	0.1	5.9	66	68	0.2	12	56.9
10	260	36	0.2	5.4	6.3	62	0.1	7.4	10	55	0.1	5.5	3.8	80	0.1	8	0.1	96	0.1	9.6	28	30	1.8	84	0.1	8.4	83	23	0.1	1.8	112.8	85	0.1	6.8	58	48	0.2	8.2	61.1
11	20.4	92	0.2	14	6.4	68	0.1	8.2	10	55	0.1	5.5	1	95	0.1	9.5	0.1	99	0.1	9.9	25	29	4.6	44	0.1	4.4	78	26	0.1	2.1	126.7	84	0.1	6.7	52	42	0.2	7.1	67.2
12	10.8	98	0.2	15	6.4	68	0.1	8.2	10	55	0.1	5.5	2.1	85	0.1	8.5	0.2	97	0.1	9.7	25	28	3.6	56	0.1	5.6	78	26	0.1	2.1	184.2	75	0.1	6	76	79	0.2	13	73.7
Promedio ICA																													63.8										

Ceiba de Oro

Col	Coliformes fecales				pH				DBO				Nitratos				Fosfatos				Temperatura				Turbidez				Sólidos disueltos				oxígeno disuelto				ICA		
	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor		Sub	i
1	1046	22	0.2	3.3	8.2	80	0.1	9.6	10	55	0.1	5.5	2.3	90	0.1	9	0.4	76	0.1	7.6	24	30	6.3	34	0.1	3.4	83	23	0.1	1.8	143.6	81	0.1	6.5	90	92	0.2	16	62.4
2	488	28	0.2	4.2	8.4	80	0.1	9.6	10	55	0.1	5.5	1.3	94	0.1	9.4	—	99	0.1	9.9	26	30	4.1	54	0.1	5.4	63	32	0.1	2.6	840	3	0.1	0.2	53	42	0.2	7.1	53.9
3	147	46	0.2	6.9	9.7	27	0.1	3.2	10	55	0.1	5.5	0.3	99	0.1	9.9	0.1	98	0.1	9.8	27	29	1.6	84	0.1	8.4	65	32	0.1	2.6	742	3	0.1	0.2	134	82	0.2	14	60.5
4	25.6	60	0.2	9	7.6	92	0.1	11	10	55	0.1	5.5	1.3	94	0.1	9.4	0.1	96	0.1	9.6	25	32	6.6	32	0.1	3.2	59	36	0.1	2.9	1052	3	0.1	0.2	134	82	0.2	14	64.8
5	10.9	71	0.2	11	7.9	92	0.1	11	10	55	0.1	5.5	1.2	95	0.1	9.5	0.9	42	0.1	4.2	31	33	2.2	73	0.1	7.3	57	34	0.1	2.7	912	3	0.1	0.2	71	74	0.2	13	63.7
6	4.1	82	0.2	12	8	85	0.1	10	10	55	0.1	5.5	2.6	85	0.1	8.5	0.2	92	0.1	9.2	38	36	-2.2	70	0.1	7	57	34	0.1	2.7	1021	3	0.1	0.2	59	51	0.2	8.7	64.3
7	436	26	0.2	3.9	6.3	62	0.1	7.4	10	55	0.1	5.5	10	50	0.1	5	0.3	84	0.1	8.4	29	32	2.9	68	0.1	6.8	83	23	0.1	1.8	137.4	82	0.1	6.6	73	75	0.2	13	58.2

8	44.8	56	0.2	8.4	6.2	62	0.1	7.4	10	55	0.1	5.5	2.1	86	0.1	8.6	0.2	94	0.1	9.4	31	32	1.2	84	0.1	8.4	83	23	0.1	1.8	174.3	76	0.1	6.1	61	60	0.2	10	65.9
9	169	40	0.2	6	6.2	63	0.1	7.6	10	55	0.1	5.5	7.2	58	0.1	5.8	0.1	98	0.1	9.8	31	34	2.8	69	0.1	6.9	92	21	0.1	1.7	195.4	72	0.1	5.8	63	64	0.2	11	59.9
10	435	47	0.2	7.1	6.4	62	0.1	7.4	10	55	0.1	5.5	3.3	84	0.1	8.4	0.2	90	0.1	9	32	30	-2.2	72	0.1	7.2	83	23	0.1	1.8	113	86	0.1	6.9	64	64	0.2	11	64.2
11	18.7	64	0.2	9.6	6.4	63	0.1	7.6	10	55	0.1	5.5	1.2	95	0.1	9.5	0.1	98	0.1	9.8	34	30	-4.3	63	0.1	6.3	78	26	0.1	2.1	124	82	0.1	6.6	42	35	0.2	6	62.9
12	2	91	0.2	14	6.7	71	0.1	8.5	10	55	0.1	5.5	2.1	86	0.1	8.6	0	99	0.1	9.9	25	28	3.4	63	0.1	6.3	78	26	0.1	2.1	214	72	0.1	5.8	62	62	0.2	11	70.9
Promedio ICA																													62.6										

Arroyo Yaxchilán

Col	Coliformes fecales				pH				DBO				Nitratos				Fosfatos				Temperatura				Turbidez				Sólidos disueltos				oxígeno disuelto				ICA				
	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	de	Agu	Dif.	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi		Total	Valor	Sub	i
1	98.5	46	0.2	6.9	8	87	0.1	10	10	55	0.1	5.5	1	98	0.1	9.8	0.1	94	0.1	9.4	24	30	6.5	32	0.1	3.2	0.3	99	0.1	7.9	143.6	82	0.1	6.6	56	46	0.2	7.8	67.5		
2	39.4	85	0.2	13	7.7	95	0.1	11	10	55	0.1	5.5	3.7	86	0.1	8.6	0	99	0.1	9.9	26	30	4	54	0.1	5.4	0.3	99	0.1	7.9	1249	3	0.1	0.2	43	36	0.2	6.1	67.8		
3	168	40	0.2	6	8.3	78	0.1	9.4	10	55	0.1	5.5	2.8	85	0.1	8.5	0.1	98	0.1	9.8	25	29	4.3	50	0.1	5	0.3	99	0.1	7.9	1368	3	0.1	0.2	126	84	0.2	14	66.6		
4	192	38	0.2	5.7	7.5	95	0.1	11	10	55	0.1	5.5	1.7	94	0.1	9.4	0.8	68	0.1	6.8	26	32	5.6	38	0.1	3.8	0.3	99	0.1	7.9	1484	3	0.1	0.2	126	84	0.2	14	65		
5	122	44	0.2	6.6	8.4	66	0.1	7.9	10	55	0.1	5.5	7.7	62	0.1	6.2	0	99	0.1	9.9	28	33	4.9	46	0.1	4.6	0.3	99	0.1	7.9	1490	3	0.1	0.2	66	71	0.2	12	61		
6	22.8	90	0.2	14	8	85	0.1	10	10	55	0.1	5.5	2.4	84	0.1	8.4	0.3	89	0.1	8.9	32	36	4.1	54	0.1	5.4	0.3	99	0.1	7.9	1481	3	0.1	0.2	71	73	0.2	12	72.5		
7	71.7	50	0.2	7.5	6.2	59	0.1	7.1	10	55	0.1	5.5	2.3	84	0.1	8.4	0.3	85	0.1	8.5	28	32	3.8	60	0.1	6	65	37	0.1	3	237	69	0.1	5.5	45	44	0.2	7.5	58.9		
8	88.4	47	0.2	7.1	6.9	82	0.1	9.8	10	55	0.1	5.5	2.1	85	0.1	8.5	0.8	62	0.1	6.2	34	32	-1.1	84	0.1	8.4	78	26	0.1	2.1	365	52	0.1	4.2	52	46	0.2	7.8	59.6		
9	62.2	52	0.2	7.8	6.9	82	0.1	9.8	10	55	0.1	5.5	1.8	90	0.1	9	0.1	97	0.1	9.7	31	34	3.3	63	0.1	6.3	59	33	0.1	2.6	384	49	0.1	3.9	68	69	0.2	12	66.4		
10	56.1	54	0.2	8.1	6.6	71	0.1	8.5	10	55	0.1	5.5	2.4	84	0.1	8.4	0.1	98	0.1	9.8	32	30	-2.2	76	0.1	7.6	65	37	0.1	3	192.6	72	0.1	5.8	44	36	0.2	6.1	62.8		
11	39.3	58	0.2	8.7	6.3	66	0.1	7.9	10	55	0.1	5.5	2.4	84	0.1	8.4	0.1	98	0.1	9.8	32	29	-2.6	74	0.1	7.4	59	33	0.1	2.6	138.4	80	0.1	6.4	55	50	0.2	8.5	65.3		
12	128	44	0.2	6.6	6.6	74	0.1	8.9	10	55	0.1	5.5	1.5	91	0.1	9.1	0.1	99	0.1	9.9	27	28	1.2	84	0.1	8.4	63	31	0.1	2.5	294	61	0.1	4.9	70	72	0.2	12	68		
Promedio ICA																													65.1												

La Técnica

Col	Coliformes fecales				pH				DBO				Nitratos				Fosfatos				Temperatura				Turbidez				Sólidos disueltos				oxígeno disuelto				ICA									
	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	de	Agu	Dif.	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi		Total	Valor	Sub	i	Wi	Total			
1	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—
2	47.9	55	0.2	8.3	8.3	78	0.1	9.4	10	55	0.1	5.5	1.3	96	0.1	9.6	0.2	97	0.1	9.7	26	30	4.1	54	0.1	5.4	63	31	0.1	2.5	960	3	0.1	0.2	2.3	3	0.2	0.5	51							
3	190	38	0.2	5.7	8.4	78	0.1	9.4	10	55	0.1	5.5	20	38	0.1	3.8	0.2	97	0.1	9.7	29	29	0.1	92	0.1	9.2	92	20	0.1	1.6	747	3	0.1	0.2	120	90	0.2	15	60.4							
4	35.9	56	0.2	8.4	7.5	95	0.1	11	10	55	0.1	5.5	4.1	78	0.1	7.8	0.3	92	0.1	9.2	26	32	5.5	40	0.1	4	57	34	0.1	2.7	1049	3	0.1	0.2	120	90	0.2	15	64.6							
5	3	86	0.2	13	7.5	95	0.1	11	10	55	0.1	5.5	1	97	0.1	9.7	0.1	99	0.1	9.9	30	33	3	66	0.1	6.6	57	34	0.1	2.7	1258	3	0.1	0.2	68	70	0.2	12	70.9							
6	4.1	84	0.2	13	7	90	0.1	11	10	55	0.1	5.5	5.8	71	0.1	7.1	1	46	0.1	4.6	34	36	2.2	71	0.1	7.1	57	34	0.1	2.7	1013	3	0.1	0.2	63	64	0.2	11	61.5							
7	1046	22	0.2	3.3	6.5	67	0.1	8	10	55	0.1	5.5	13	48	0.1	4.8	0.4	79	0.1	7.9	26	32	5.6	39	0.1	3.9	83	23	0.1	1.8	132.3	84	0.1	6.7	61	59	0.2	10	52							

8	22.6	91	0.2	14	6.3	66	0.1	7.9	10	55	0.1	5.5	2.7	86	0.1	8.6	0.3	91	0.1	9.1	30	32	2.3	71	0.1	7.1	83	23	0.1	1.8	174.5	76	0.1	6.1	58	57	0.2	9.7	69.5
9	101	46	0.2	6.9	6.3	66	0.1	7.9	10	55	0.1	5.5	2.3	85	0.1	8.5	0.2	97	0.1	9.7	33	34	0.6	86	0.1	8.6	83	23	0.1	1.8	185.5	74	0.1	5.9	59	58	0.2	9.9	64.7
10	243	36	0.2	5.4	6.8	80	0.1	9.6	10	55	0.1	5.5	7.3	58	0.1	5.8	0.3	80	0.1	8	33	30	-2.8	76	0.1	7.6	83	23	0.1	1.8	111.6	82	0.1	6.6	66	68	0.2	12	61.9
11	23.5	91	0.2	14	7.7	95	0.1	11	10	55	0.1	5.5	6.1	66	0.1	6.6	0.1	99	0.1	9.9	31	29	-2	79	0.1	7.9	78	26	0.1	2.1	75.2	86	0.1	6.9	55	48	0.2	8.2	72.1
12	14.6	69	0.2	10	6.8	80	0.1	9.6	10	55	0.1	5.5	1.4	96	0.1	9.6	0.1	98	0.1	9.8	25	28	3.1	66	0.1	6.6	65	30	0.1	2.4	180.4	74	0.1	5.9	63	64	0.2	11	70.7
Promedio ICA																													63.6										

Bethel

Col	Coliformes fecales				pH				DBO				Nitratos				Fosfatos				Temperatura				Turbidez				Sólidos disueltos				oxígeno disuelto				ICA		
	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor		Sub	i
1	2420	8	0.2	1.2	8.1	83	0.1	10	10	55	0.1	5.5	0.8	98	0.1	9.8	0.1	98	0.1	9.8	25	30	5.7	38	0.1	3.8	83	23	0.1	1.8	142.9	80	0.1	6.4	93	96	0.2	16	64.6
2	113	47	0.2	7.1	8.7	64	0.1	7.7	10	55	0.1	5.5	0.8	98	0.1	9.8	0.1	99	0.1	9.9	27	30	3.8	60	0.1	6	63	31	0.1	2.5	846	3	0.1	0.2	22	14	0.2	2.4	51
3	61.4	52	0.2	7.8	8.4	76	0.1	9.1	10	55	0.1	5.5	1.8	97	0.1	9.7	0.1	99	0.1	9.9	26	29	3.2	64	0.1	6.4	92	20	0.1	1.6	736	3	0.1	0.2	117	92	0.2	16	65.9
4	44.1	56	0.2	8.4	6	55	0.1	6.6	10	55	0.1	5.5	2.4	90	0.1	9	0.5	78	0.1	7.8	27	32	4.4	51	0.1	5.1	59	34	0.1	2.7	1035	3	0.1	0.2	117	92	0.2	16	61
5	13	71	0.2	11	8	85	0.1	10	10	55	0.1	5.5	1.7	97	0.1	9.7	0	100	0.1	10	29	33	4.3	52	0.1	5.2	57	36	0.1	2.9	916	3	0.1	0.2	72	76	0.2	13	67.3
6	6.3	77	0.2	12	8	85	0.1	10	10	55	0.1	5.5	1.9	93	0.1	9.3	0.5	88	0.1	8.8	32	36	3.8	60	0.1	6	57	36	0.1	2.9	1007	3	0.1	0.2	63	66	0.2	11	65.7
7	173	40	0.2	6	6.4	64	0.1	7.7	10	55	0.1	5.5	4.3	78	0.1	7.8	0.7	66	0.1	6.6	25	32	6.7	32	0.1	3.2	92	20	0.1	1.6	270	66	0.1	5.3	62	65	0.2	11	54.7
8	28.1	60	0.2	9	7.2	90	0.1	11	10	55	0.1	5.5	1.8	97	0.1	9.7	1	52	0.1	5.2	34	32	-1.6	84	0.1	8.4	83	23	0.1	1.8	172.8	76	0.1	6.1	58	58	0.2	9.9	66.4
9	139	46	0.2	6.9	6.3	66	0.1	7.9	10	55	0.1	5.5	2.5	88	0.1	8.8	0.2	87	0.1	8.7	32	34	2.1	74	0.1	7.4	83	23	0.1	1.8	179.4	76	0.1	6.1	65	66	0.2	11	64.4
10	1203	8	0.2	1.2	6.5	68	0.1	8.2	10	55	0.1	5.5	2.5	88	0.1	8.8	0.1	97	0.1	9.7	33	30	-3	68	0.1	6.8	83	23	0.1	1.8	110.4	86	0.1	6.9	66	66	0.2	11	60.1
11	22.6	64	0.2	9.6	6.5	68	0.1	8.2	10	55	0.1	5.5	2.5	88	0.1	8.8	0.1	98	0.1	9.8	28	29	1	84	0.1	8.4	78	26	0.1	2.1	126.8	84	0.1	6.7	60	59	0.2	10	69.1
12	15.6	68	0.2	10	7.2	90	0.1	11	10	55	0.1	5.5	3.9	78	0.1	7.8	0.3	87	0.1	8.7	26	28	2	80	0.1	8	65	30	0.1	2.4	180	74	0.1	5.9	64	66	0.2	11	70.5
Promedio ICA																													63.4										

Arroyo la Miseria

Col	Coliformes fecales				pH				DBO				Nitratos				Fosfatos				Tem Ambiente				Turbidez				Sólidos disueltos				oxígeno disuelto				ICA				
	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	de Agua	Dif. T.	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total	Valor	Sub	i	Wi	Total		Valor	Sub	i	Wi
1	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—	0	—
2	27.5	60	0.2	9	8.8	54	0.1	6.5	10	55	0.1	5.5	1.9	92	0.1	9.2	0	99	0.1	9.9	26	30	4	54	0.1	5.4	0.3	99	0.1	7.9	1247	3	0.1	0.2	42	36	0.2	6.1	59.8		
3	190	38	0.2	5.7	7.6	93	0.1	11	10	55	0.1	5.5	2.6	88	0.1	8.8	0.2	92	0.1	9.2	27	29	1.8	84	0.1	8.4	0.3	99	0.1	7.9	1297	3	0.1	0.2	42	36	0.2	6.1	63		
4	90.8	45	0.2	6.8	8	85	0.1	10	10	55	0.1	5.5	1.8	94	0.1	9.4	0.5	84	0.1	8.4	25	32	6.4	36	0.1	3.6	0.3	99	0.1	7.9	1272	3	0.1	0.2	42	36	0.2	6.1	58.1		
5	102	46	0.2	6.9	9.5	30	0.1	3.6	10	55	0.1	5.5	1.8	94	0.1	9.4	0	98	0.1	9.8	26	33	7.1	30	0.1	3	0.3	99	0.1	7.9	1258	3	0.1	0.2	54	48	0.2	8.2	54.5		
6	35.5	56	0.2	8.4	9.5	30	0.1	3.6	10	55	0.1	5.5	1.2	96	0.1	9.6	0	99	0.1	9.9	29	36	6.6	35	0.1	3.5	0.3	99	0.1	7.9	161	78	0.1	6.2	51	46	0.2	7.8	62.5		
7	649	25	0.2	3.8	6.4	66	0.1	7.9	10	55	0.1	5.5	2.6	87	0.1	8.7	0.1	96	0.1	9.6	25	32	6.4	36	0.1	3.6	78	26	0.1	2.1	1733	3	0.1	0.2	42	34	0.2	5.8	47.2		

8	42.2	55	0.2	8.3	6.8	86	0.1	10	10	55	0.1	5.5	1.2	96	0.1	9.6	0.1	96	0.1	9.6	30	32	2.5	72	0.1	7.2	59	34	0.1	2.7	339	56	0.1	4.5	29	18	0.2	3.1	60.7
9	187	40	0.2	6	6.3	62	0.1	7.4	10	55	0.1	5.5	2	92	0.1	9.2	0.1	96	0.1	9.6	29	34	4.9	46	0.1	4.6	0.3	99	0.1	7.9	433	44	0.1	3.5	34	22	0.2	3.7	57.5
10	42.8	55	0.2	8.3	6.6	78	0.1	9.4	10	55	0.1	5.5	2.1	92	0.1	9.2	0.2	92	0.1	9.2	30	30	0	93	0.1	9.3	48	40	0.1	3.2	214	71	0.1	5.7	32	21	0.2	3.6	63.3
11	18.7	64	0.2	9.6	6.3	64	0.1	7.7	10	55	0.1	5.5	9.4	54	0.1	5.4	0.1	96	0.1	9.6	28	29	0.7	90	0.1	9	48	40	0.1	3.2	258	66	0.1	5.3	51	46	0.2	7.8	63.1
12	32.3	57	0.2	8.6	6.5	75	0.1	9	10	55	0.1	5.5	0.3	98	0.1	9.8	0.1	96	0.1	9.6	28	28	0.3	91	0.1	9.1	78	26	0.1	2.1	180	74	0.1	5.9	54	48	0.2	8.2	67.7
Promedio ICA																													59.8										

Anexo No.5 Datos de temperatura promedio máxima, media y mínima en las estaciones meteorológicas ubicadas en Bethel y El Provenir, La Libertar, Petén.

Estación Meteorológicas Bethel

Fecha	Temperatura		
	Promedio Máxima	Promedio Medio	Promedio Mínimo
2007 noviembre	29.5	24	18.8
2007 diciembre	30.3	24.4	17.4
2008 enero	28.9	23.4	17.6
2008 febrero	31.8	25.1	18.1
2008 marzo	33	25.8	18.5
2008 abril	34.4	26.9	19.3
2008 mayo	35.7	28.6	22
2008 junio	31.6	26.2	22.4
2008 julio	32.4	25.9	22.2
2008 agosto	34	27.3	22.2
2008 septiembre	32.9	26.9	22.7
2008 octubre	30.1	25.1	21.2
2008 noviembre	29.1	23.2	17.1
2008 diciembre	28.4	22.6	18

Fuente:
INSIVUMWH, Ing.
Ramon Barkín, 2009

Estación Meteorológica El Provenir

Fecha	Temperatura		
	Promedio Máximo	Promedio Medio	Promedio Mínimo
2007 noviembre	29.7	25.1	13.7
2007 diciembre	30.4	25.1	13.2
2008 enero	29.4	24.2	16.8
2008 febrero	32	26.3	19.2
2008 marzo	32.6	27.2	18.9
2008 abril	34	28.7	20.5
2008 mayo	35.4	29.6	22
2008 junio	32.1	27.6	21.3
2008 julio	33	28	20.6
2008 agosto	34.4	28.8	21.4
2008 septiembre	33.2	28.2	20.6
2008 octubre	30	25.9	20.1
2008 noviembre	29.8	24.4	16.5
2008 diciembre	28.6	23.7	16.2

Fuente: INSIVUMWH, Ing. Ramon Barkín, 2009

Anexo No.6 Índice de monitoreo biológico BMWP en los 10 puntos de muestreo del río Usumacinta, durante una año, La Libertad, Petén.

Localidad	Monitoreo	Coleoptera					Diptera				Ephemeroptera		Plecoptera	Hemiptera	Odonata								Platelmintos	Gastropoda	Trichoptera			Neuroptera	Anelida	Total	Índice		
		Elmidae	Crysomelidae	Dytiscidae	Hydrophilidae	Noteridae	Ptilodactylidae	Chironomidae	Simuliidae	Tabanidae	Tipulidae	Leptohyphidae	Baetidae	Leptophlebiidae	Perlidae	Corixidae	Notonectidae	Pleidae	Guerridae	Velidae	Aeshnidae	Coenagrionidae	Libellulidae	Calopterygidae	Gomphidae	Planaria	Gastropoda	Hidropsichidae	Hydroptilidae	Hydrobiosidae	Corididae		
El Porvenir	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	7	9	0	0	0	0	0	27	51.92
	2	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	7	9	0	7	7	0	8	0	0	7	0	0	1	0	0	0	0	9	0	1	74	
	3	0	4	0	0	0	0	2	8	0	0	0	0	10	0	0	8	8	8	6	0	6	7	0	0	0	7	7	0	6	0	87	
	4	6	0	0	3	0	10	0	0	3	0	7	9	0	7	0	0	0	8	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	63	
	5	0	0	9	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	24	
	6	0	0	0	3	0	0	0	0	0	7	0	9	0	0	0	0	8	0	0	7	0	7	0	0	0	0	0	9	0	1	51	
	7	6	4	0	3	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	7	0	9	0	0	54	
	8	0	0	9	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	7	0	0	0	0	7	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	
	9	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	7	0	0	0	0	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	
	10	6	4	0	0	0	2	0	0	0	7	0	9	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	7	0	9	0	1	62	
	11	0	0	9	3	0	2	8	5	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	1	0	0	0	0	9	0	0	60	
	12	0	0	9	3	0	2	0	0	0	7	7	9	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	
ra	1	0	0	0	3	0	10	2	0	0	0	7	9	10	7	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	55	99.08	
	2	6	4	9	3	5	0	2	8	5	3	7	7	0	0	7	8	8	0	6	0	0	7	0	0	9	0	7	9	0	0	120	
	3	0	4	9	0	0	0	0	5	3	0	0	9	0	7	0	8	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	58	

	4	6	0	0	3	0	0	2	8	5	0	7	7	9	0	7	7	8	8	0	6	0	6	0	0	1	0	0	0	0	9	0	0	108	
	5	6	0	9	0	5	0	2	8	0	0	0	0	9	10	0	0	0	8	0	6	0	6	7	0	0	0	9	7	0	9	0	0	101	
	6	0	4	0	3	0	10	2	0	5	0	7	0	9	0	7	0	0	8	8	6	7	6	7	0	0	7	0	0	0	0	0	106		
	7	6	0	0	3	5	0	2	8	0	3	7	7	0	10	7	7	8	8	0	6	7	6	0	0	0	9	0	0	9	0	0	118		
	8	0	4	9	0	5	10	0	0	5	0	0	0	9	0	0	7	8	0	8	0	7	0	7	0	7	9	0	0	0	6	0	101		
	9	6	4	0	3	5	0	2	8	0	3	7	7	9	10	7	0	0	8	0	6	0	6	0	0	0	9	0	7	0	0	1	118		
	10	0	4	9	3	0	0	0	8	5	0	7	7	0	10	0	7	8	0	8	0	7	6	7	0	7	9	0	0	0	0	0	112		
	11	0	4	0	3	0	10	2	8	0	0	0	7	9	10	0	0	0	8	8	0	7	0	7	0	0	0	0	0	0	0	1	84		
	12	0	4	0	0	0	10	2	8	0	3	0	7	0	10	0	0	8	8	0	0	7	6	0	0	7	9	0	0	9	0	0	108		
Nacimiento Cruz Azul	1	0	0	0	3	0	0	0	8	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	92.08		
	2	6	4	0	0	5	0	2	0	0	0	0	7	0	10	7	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	68		
	3	0	4	9	3	0	10	2	8	5	0	7	0	9	10	7	7	8	0	8	6	0	0	0	0	0	0	7	0	9	0	0	119		
	4	0	4	0	3	0	0	2	0	0	3	0	7	9	10	0	7	8	8	0	6	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	83		
	5	0	0	9	0	5	0	0	0	0	0	0	7	0	9	10	7	7	8	8	8	6	7	0	0	0	0	9	0	7	9	6	0	132	
	6	6	4	0	0	0	10	2	8	0	3	0	7	9	10	7	7	8	8	0	0	7	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	105		
	7	6	0	9	0	0	10	0	0	5	0	7	0	0	10	0	0	0	8	8	0	0	0	7	0	0	9	7	0	0	0	96			
	8	0	4	9	3	5	0	0	0	5	0	7	7	9	10	0	0	0	0	8	0	7	0	0	0	0	0	9	0	0	9	6	0	108	
	9	6	0	0	3	0	0	2	8	0	3	7	7	0	10	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	6	1	78		
	10	6	4	9	3	0	0	0	0	0	0	7	0	0	10	7	0	0	8	0	0	7	6	0	0	0	0	9	0	0	0	6	0	92	
	11	0	4	0	0	0	0	2	8	5	3	7	0	9	10	0	7	0	8	0	0	7	0	0	0	0	0	0	7	7	9	0	1	104	
	12	6	0	0	3	0	0	2	0	0	3	0	0	0	10	7	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	7	9	7	0	9	6	0	85	
ueña	1	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	6	7	0	7	1	0	0	7	0	9	6	1	66	109.5	

La Técnica	12	6	4	9	3	0	0	0	8	0	3	7	7	0	10	7	7	0	0	0	6	7	6	0	0	1	0	9	0	7	0	6	0	122		
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39.82
	2	0	0	9	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	7	0	0	0	0	46	
	3	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	9	0	1	0	36	
	4	0	0	9	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	49	
	5	6	0	0	0	0	0	2	0	0	3	0	7	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	9	0	0	0	43
	6	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	6	7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	34	
	7	0	0	0	3	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	28		
	8	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	10	0	0	8	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	
	9	0	0	9	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	9	0	0	0	30	
	10	0	0	9	3	0	0	0	8	0	0	0	7	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	9	0	1	0	51	
	11	6	0	0	3	5	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	8	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	
12	0	0	9	3	0	0	0	0	0	0	7	0	0	10	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	45		
Bethel	1	6	0	0	3	0	0	0	8	0	0	0	7	0	0	7	0	0	0	0	0	0	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	47	38	
	2	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	23	
	3	0	4	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	9	0	1	0	34		
	4	0	0	9	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	10	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	44	
	5	0	0	0	3	0	0	2	0	0	0	0	7	9	0	0	0	8	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	
	6	6	0	0	3	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	9	0	1	0	33		
	7	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	8	6	0	0	7	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	47		
	8	6	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	34		
	9	0	0	9	0	5	0	0	0	0	0	0	7	9	0	0	8	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	45	
	10	6	0	0	3	0	0	2	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	28		
	11	0	0	0	3	0	0	2	0	0	0	0	7	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	29	
	12	0	4	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	9	0	7	0	0	0	6	0	0	0	0	1	7	0	0	7	0	0	0	0	56		

Anexo No.6 Hoja de datos utilizada para la identificación de peces en el río Usumacinta, durante una año, La Libertad, Petén.

Ubicación: Arroyo Macabilero, Río Usumacinta

Hora de Colocación: 5:30 am Hora de Toma: 6:23 am (al otro día)

Participantes: Pescadores, Ángela y David

Arte de pesca utilizada: Trasmallo

#	Nombre Común	Nombre Científico	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Longitud Aleta Dorsal (cm)	Caudal (cm)	Pectoral (cm)	Coloración de Branquias	Posibles Enfermedades Externas
1	Peje Lagarto	<i>Atractosteus Tropicus</i>	30	5	-	8	4	Pálidas	Posiblemente
2	Bagre	<i>Pimelodus albicans</i>	33	11	6.3	13	7	Rojiza	No
3	Tuso	<i>Mugil sp</i>	35	10	4	5	6	Rojas	No
4	Currucu, Bagre	<i>Potamarius nelsoni</i>	20	7	5	6	3	Rojas	No
5	Jolote	<i>Ictalurus furcatus</i>	30	8	4.8	4	4	Rojo Pálido	No
6	Machaca	<i>Brycon guatemalensis</i>	16	5.2	3	2	2	Rojas	No
7	Coche	<i>Serranus sp.</i>	21	7	6	5	5	Rojas	No
8	Mojarra	<i>Cichlasoma sp.</i>	12	7	2/ 11	4.3	2	Rojas	No
9	Arenque	<i>Clupea sp.</i>	7	7	3	4	2.5	Cafés	Posiblemente
10	Plecostomo	<i>Plecostomus sp.</i>	28	8				Rojas	No

Anexo No.7 Análisis químico de los sedimentos en los 10 puntos de muestreo del río Usumacinta, en noviembre 2007 y marzo 2008, La Libertad, Petén.

	Punto de Muestreo	Potasio [%]	Calcio [%]	Titanio [%]	Cromo [ppm]	Hierro [%]	Cobre [ppm]	Zinc [ppm]	Galio [ppm]	Arsénico [ppm]	Rubidio [ppm]	Plomo [ppm]	Manganeso [ppm]	Zirconio [ppm]	Estroncio [ppm]	Niquel [ppm]
Nov-07	El Porvenir	2.32	7.1	0.31	2.35	2.36	20.2	52	10	6.77	79.31	17.72	509.09	184.8	158.59	125.1
	Macabilero	2.5	4.07	0.17	0.42	1.52	18.5	38	8	7.26	74.03	17.32	368.07	111.1	162.74	75.09
	Nac. Cruz Azul	2.25	6.01	0.33	1.59	1.93	21.3	45	6.1	6.81	71.23	16.35	396.71	144.4	171.9	101.6
	camp. Yaxchilán	2.51	8.11	0.36	1.91	3.27	25.8	74	14	9.99	81.73	17.39	673.5	177.7	181.55	207
	Ceiba de Oro	2.41	7.92	0.4	4.56	2.65	26.6	59	9.8	6.36	74.48	18.43	530.5	275	185.56	144.3
	Arroyo Yaxchilán	2.33	17.3	0.49	1.85	4.01	28.2	78	9.5	12.94	73.68	19.21	810.93	197	204.81	259.1
	La Técnica	2.4	8.01	0.36	2.33	2.93	25.5	59	11	13.42	79.16	15.48	552.41	212.8	178.27	180.8
	Bethel	2.05	7.27	0.37	1.42	2.32	18.3	48	7.3	9.13	76.04	16.25	480.29	166.1	171.85	121.8
	Arroyo La Miseria	2.72	8.65	0.57	2.35	5.06	43.3	100	14	15.6	89.8	22.02	655.21	182.2	144.28	352.9
Mar-08	El Porvenir	2.52	5.23	0.37	2.3	2.01	15.1	43	12	7.98	76.17	16.54	437.77	194.6	173.98	98.55
	Macabilero	0	86.2	0.04	0.73	0.52	18.8	11	2.2	10.01	17.62	6.05	176.67	106.6	770.53	6.38
	Nac. Cruz Azul	2.01	3.57	0.2	1.24	1.56	19.8	25	6.8	9.49	71.95	14.38	305.47	187.5	152.16	71.38
	Nac. Argueta	3.1	9.57	0.55	1.98	4.49	41.8	126	18	13.68	92.56	26.71	733.55	205.3	202.98	242.3
	camp. Yaxchilán	2.66	6.83	0.32	2.11	2.53	22.2	65	12	9.04	84.1	16.95	502.53	159.9	180.98	156.2
	Ceiba de Oro	2.49	8.98	0.47	3.01	3.53	29.9	78	15	12.75	84.32	17.77	651.72	240.6	189.32	226.1
	Arroyo Yaxchilán	2.97	12.2	0.53	2.53	4.13	39.2	94	17	12.3	82.57	18.09	634.11	229.7	184.9	321.8
	La Técnica	2.49	11.8	0.34	1.12	2.81	28.3	63	11	11.13	78.45	17.28	701.56	161.1	190.19	149.3
	Bethel	2.04	6.24	0.42	3.61	2.36	18.2	47	9	6.91	72.19	15.94	513.44	333.9	183.44	92.48
	Arroyo La Miseria	2.18	22.1	0.37	1.37	3.56	25.1	81	12	12.61	71.85	18.51	974.45	174.5	228.77	236.5

Anexo No.8 Análisis químico promedio de los sedimentos en los 10 puntos de muestreo del río Usumacinta, en noviembre 2007 y marzo 2008, La Libertad, Petén.

Punto de muestreo	Nitrato %	Carbono %	Azufre %	Total Carb (%)	TIC (%)	TOC (%)
Porvenir	0.016	1.888	0	1.87	0.86	1.007
Macabilero	0.135	10.702	0	6.263	4.95	1.319
Cruz Azul	0	1.27	0.018	1.218	0.39	0.823
Argueta	0.086	3.409	0.149	3.583	1.32	2.265
Yaxchilan	0.067	2.916	0.055	2.465	1.12	1.342
Ceiba de Oro	0.173	2.567	0.019	2.378	1.16	1.222
yaxchilan arroyo	0.069	3.885	0.057	3.685	1.82	1.862
La Técnica	0.081	2.475	0.02	2.498	1.17	1.427
Bethel		1.581	0.023	2.098	1.02	1.08
La Miseria	0.144	4.366	0.02	3.783	2.11	1.67

Anexo No. 10 Puntuación asignada a macroinvertebrados acuáticos para la obtención del Índice BMWP

Familias	Puntuación
Siphonuridae, Heptageniidae, Leptophlebiidae, Potamanthidae, Ephemeridae Taeniopterygidae, Leuctridae, Capniidae, Perlodidae, Perlidae Chloroperlidae Aphelocheiridae Phryganeidae, Molanidae, Beraeidae, Odontoceridae, Leptoceridae, Goeridae Lepidostomatidae, Brachycentridae, Sericostomatidae Athericidae, Blephariceridae	10
Astacidae Lestidae, Calopterygidae, Gomphidae, Cordulegasteridae, Aeshnidae Corduliidae, Libellulidae Psychomyiidae, Philopotamidae, Glossosomatidae	8
Ephemeroptera Prosopistomatidae Nemouridae Rhyacophilidae, Polycentropodidae, Limnephilidae, Ecnomidae	7
Neritidae, Viviparidae, Ancyliidae, Thiaridae Hydroptilidae Unionidae Corophiidae, Gammaridae, Atyidae Platycnemididae, Coenagrionidae	6
Oligoneuridae, Polymitarcidae Dryopidae, Elmidae, Helophoridae, Hydrochidae, Hydraenidae, Clambidae Hydropsychidae Tipulidae, Simuliidae Planariidae, Dendrocoelidae, Dugesidae	5
Baetidae, Caenidae Haliplidae, Curculionidae, Chrysomelidae Tabanidae, Stratiomyidae, Empididae, Dolichopodidae, Dixidae, Ceratopogonidae, Anthomyidae, Limoniidae, Psychodidae, Sciomyzidae, 4 Rhagionidae Sialidae Piscicolidae Hidracarina	4
Mesoveliidae, Hydrometridae, Gerridae, Nepidae, Naucoridae, Fleidae, Veliidae Notonectidae, Corixidae Helodidae, Hydrophilidae, Hygrobiidae, Dytiscidae, Gyrinidae Valvatidae, Hydrobiidae, Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae Bithyniidae, Bythinellidae, Sphaeriidae Glossiphoniidae, Hirudidae, Erpobdellidae Asellidae, Ostracoda	3
Chironomidae, Culicidae, Ephydriidae, Thaumaleidae 2	2
Oligochaeta (todas las clases), Siphidae 1	1

Tabla 1. Puntuaciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del B.M.W.P.'.

PARTE V

V.I INFORME FINANCIERO