

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA  
UNAN – MANAGUA



**MAESTRIA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE MAESTRIA EN  
GESTION AMBIENTAL**

**TEMA**

***Diagnóstico de la Calidad de Agua de los Tributarios que  
drenan al Lago Cocibolca***

**Proponente: Silvia Elena Hernández González**

**Tutor : MSc. Lorena Pacheco Perla  
Asesor: MSc. Ninoska Chow Wong**

**Septiembre, 2006**

INDICE	Páginas
INDICE DE	
CONTENIDO.....	<i>i</i>
INDICE DE FIGURAS.....	<i>iv</i>
INDICE DE TABLAS.....	<i>v</i>
INDICE DE FOTOGRAFIAS.....	<i>vi</i>
INDICE DE ANEXOS.....	<i>vii</i>
MAPAS.....	<i>viii</i>
RESUMEN.....	<i>ix</i>
1 INTRODUCCION.....	1
2 ANTECEDENTES .....	4
3 JUSTIFICACIÓN .....	9
4 OBJETIVOS.....	9
4.1 Objetivo General.....	9
4.2 Objetivos específicos.....	9
5 AREA DE ESTUDIO.....	10
6 MARCO TEÓRICO.....	14
6.1 Fitoplancton .....	15
6.2 Macroinvertebrados.....	17
6.2.1 Diversidad biológica.....	19
6.2.2 Organismo indicador.....	20
6.2.3 Comunidad indicadora.....	20
6.2.4 Calidad biológica.....	21
6.2.5 Índices bióticos.....	21
6.3 Protocolos de Bioevaluación Rápida (PBR).....	23
6.3.1 Riqueza de taxa.....	24
6.3.2 Índice Biótico de Familia (FBI).....	24
6.3.3 Relación entre los grupos funcionales de alimentación (raspadores, filtradores y colectores).....	25
6.3.4 Índice de diversidad de Shannon-weaner (H).....	25
6.3.5 Índice de Ephemeroptera, Plecóptera y Tricóptera (EPT).....	25
6.3.6 Relación de la comunidad EPT y la familia Chironomidae.....	26

6.3.7	Índice de similitud de la comunidad.....	26
6.3.8	Biological Monitoring Working Party (BMWP).....	26
6.3.9	Índice de Ephemeroptera, Tricoptera y Odonata (ETO).....	27
6.3.10	Porcentaje de contribución de familias dominantes (%FD).....	27
6.3.11	Índice de pérdida de la comunidad.....	27
6.3.12	Índice de diversidad de Simpson's (D).....	28
7	DISEÑO METODOLOGICO.....	29
7.3	Tipo de estudio.....	29
7.4	Universo de estudio.....	29
7.5	Selección del área de estudio.....	29
7.6	Selección de los puntos de muestreo.....	29
7.7	Diseño de los muestreos.....	30
7.8	Recolección de información.....	30
8	TOMA Y PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS BIOLÓGICAS.....	30
8.3	Fitoplancton.....	30
8.1.1	Toma de muestras del fitoplancton.....	30
8.1.2	Procesamiento de la muestra de fitoplancton.....	31
8.2	Macroinvertebrados .....	31
8.2.1	Toma de muestra de macroinvertebrados.....	31
8.2.2	Procesamiento de muestra.....	31
9	ANÁLISIS DE MUESTRAS BIOLÓGICAS.....	32
9.1	Fitoplancton.....	32
9.1.1	Abundancia relativa.....	32
9.1.2	Número de divisiones representantes.....	32
9.1.3	Índice de diversidad.....	32
9.2	Macroinvertebrados.....	33
9.2.1	densidad poblacional.....	33
9.2.2	Riqueza de especie.....	34
9.2.3	Índice Biótico de Familia (IBF).....	34
9.2.4	Contribución de familias dominantes.....	34
9.2.5	Relación del Orden Ephemeroptera y la Familia Chironomidae.....	34
10	RESULTADOS.....	35

10.1 Composición y abundancia del fitoplancton.....	35
10.2 Composición y abundancia de los macroinvertebrados.....	43
10.3 Relación Orden Ephemeroptera y la Familia Chironomidae.....	50
10.4 Calidad biológica del agua.....	52
10.4.1 Fitoplancton .....	52
10.4.2 Macroinvertebrados.....	55
11 DISCUSION.....	59
12 CONCLUSIONES.....	64
13 RECOMENDACIONES.....	65
14 BIBLIOGRAFIA.....	66

## INDICE DE FIGURAS

Fig. No. 1 Mapa del área de estudio.....	10
Fig. No. 2 Esquema del Índice Biótico.....	22
Fig. No. 3 Grupos más dominantes del fitoplancton.....	37
Fig. No. 4 Especies más representantes del fitoplancton.....	40
Fig. No. 5 Densidad poblacional de los macroinvertebrados.....	45
Fig. No. 6 Abundancia relativa de las familias dominantes de macroinvertebrados e los ríos ayales, Acoyapa, Oyate y Tepenaguasapa.....	47
Fig. No. 7 Relación Orden Ephemeroptera y Familia Chironomidae.....	51
Fig. No. 8 Índice de diversidad de Shannon y Weaver para el fitoplancton.....	53
Fig. No. 9 Índice de diversidad versus riqueza de especies.....	54
Fig. No. 10 Índice Biótico de Familia.....	57

## INDICE DE TABLAS

Tabla No.1 Sistema de clasificación autoecológico para algas.....	19
Tabla No. 2 Lista taxonómica del fitoplancton.....	36
Tabla No. 3 Lista taxonómica de los macroinvertebrados.....	44
Tabla No. 4 Nivel de contaminación.....	56
Tabla No. 5 Valores de tolerancia.....	58

## INDICE DE FOTOGRAFIAS

Foto No. 1 Área quemada.....	7
Foto No. 2 Cría de ganado en la zona.....	7
Foto No. 3 Río Mayales.....	10
Foto No. 4 Río Acoyapa.....	11
Foto No. 5 Río Oyate.....	11
Foto No. 6 Y 7 Río Tepenaguasapa.....	12

## INDICE DE ANEXOS

Tabla No. 6 Densidad poblacional fitoplancton en el río mayales.

Tabla No. 7 Densidad poblacional fitoplancton en el río Acoyapa.

Tabla No. 8 Densidad poblacional fitoplancton en el río Oyate.

Tabla No. 9 Densidad poblacional fitoplancton en el río Tepenaguasapa.

Tabla No. 10 Densidad poblacional del macroinvertebrados en el río mayales.

Tabla No. 11 Densidad poblacional macroinvertebrados en el río Acoyapa.

Tabla No. 12 Densidad poblacional macroinvertebrados en el río Oyate.

Tabla No. 13 Densidad poblacional macroinvertebrados en el río

Tepenaguasapa.

Tabla No. 14 Respuesta de los organismos a las perturbaciones.

## MAPAS

Mapa de la Microcuenca del río Mayales.

Mapa de la Microcuenca del río Acoyapa.

Mapa de la Microcuenca del río Oyate.

Mapa de la Microcuenca del río Tepenaguasapa.

## RESUMEN

Se llevó a cabo un estudio de Enero a Julio del 2003 en los ríos Mayales, Acoyapa, Oyate y Tepenaguasapa más importantes que drenan al lago Cocibolca con la finalidad de conocer la calidad biológica del agua, en base a la composición y diversidad y sensibilidad de las especies del fitoplancton y macroinvertebrados tomando en cuenta su sensibilidad, mediante la aplicación del Índice de Shannon y Weaver, Índice Biótico de Familia, Familias dominantes y especies representativas.

La aplicación del índice de diversidad de Shannon y Weaver para el fitoplancton muestra valores menores de 2.75, señalando que las aguas se pueden clasificar como aguas ligeramente contaminadas.

Las familias Chironomidae y Naididae con el género *Nais sp.* fueron muy representativas en los cuatro ríos en estudio, significando esto condiciones optimas para estas dos familias reportadas en este estudio.

El Índice Biótico de Familia aplicado para los macroinvertebrados mostró un rango de valores entre 5.35 y 8.28 significando una calidad de agua entre regular y mala, con un grado de contaminación entre contaminación ligeramente significativa y contaminación orgánica muy significativa

## **1. INTRODUCCION**

Los cuerpos de agua dulce, como lagos y ríos, son ambientes que representan un alto valor para el desarrollo de las poblaciones humanas, constituyendo una fuente de agua potable para uso domestico, agrícola e industrial, sin embargo la contaminación ha producido alteraciones en este medio.

Las fuentes de contaminación no puntuales afectan mucho más que las fuentes puntuales, y estas generalmente no pueden ser monitoreadas. La contaminación puntual es provocada por la entrada directa de contaminantes orgánicos e inorgánicos los cuales son compuestos químicos o biológicos que originan condiciones no aptas para el desarrollo de las comunidades que habitan en los sistemas acuáticos.

Los contaminantes que llegan al medio originan estrés en el mismo, que puede ser una acción o condición que impacta la estructura o función de un sistema biológico. Según la respuesta a esto, pueden ser cambios en la estructura de las comunidades, provocando alteraciones en la composición de especies, en las relaciones tróficas, siendo esta la razón por lo que las especies indicadoras son más comunes para su uso, que los cambios funcionales (John Cairns en P. Thomas, 2002). Basado en estas alteraciones de las comunidades presentes en los medios acuáticos, se han venido desarrollando métodos biológicos para evaluar la calidad del agua.

Sin embargo la mayoría de los métodos utilizados para evaluar la contaminación de las aguas son de carácter físico-químico y sobre todo basado en la composición química. A pesar que estos métodos son muy exactos, tienen el inconveniente de ser costosos y brindar información puntual y en el momento de ser tomada la muestra. Es por eso, que los métodos biológicos presentan la ventaja de reflejar las condiciones existentes tiempo atrás, antes de la toma de muestra y a más bajos costos (Alba Tercedor, 1996).

Apoyados sobre esta base, muchos investigadores (Hilsenhoff, 1987,1988; Tercedor A. 19..; Barbour, 1999; Bode et al. 1996) han venido desarrollando y modificando índices biológicos que brindan información de tiempos pasados, así como la situación real o bien el grado de alteración de los ecosistemas acuáticos. Los estudios para evaluar la calidad de las aguas, están basados en el análisis de la composición y estructura de las comunidades de organismos, dando origen al término de **calidad biológica**. Tercedor, A. 1996.

Algunos de los organismos más utilizados para desarrollar estos índices son las microalgas, dentro de este grupo, las Cyanophyta son de gran utilidad para poder diagnosticar la situación de un cuerpo de agua ya que este grupo se desarrolla muy bien en lugares altamente contaminados especialmente el género *Microcystis sp.* Estos organismos están presentes en casi todos los ecosistemas acuáticos y pueden ser usados para valorar la calidad de agua sobre períodos de tiempo relativamente cortos. Por lo general reaccionan rápidamente a cambios en los hábitat acuáticos dado que ellas tienen corto ciclo de vida y sus poblaciones son removidas y recolonizadas rápidamente, dándose el crecimiento de pocas especies. Por lo tanto, estas especies son capaces de indicar calidad de agua, debido a su sensibilidad a los cambios del medio en que viven, convirtiéndose en un referente del estado ecológico de cualquier sistema acuático.

Otro grupo que ha tenido repunte en el desarrollo de los índices bióticos, han sido los macroinvertebrados, los cuales son organismos que se encuentran en los diferentes ambientes de todas partes del mundo y por lo tanto también son utilizados como indicadores de contaminación. Muchas de estas especies son sensitivas a los factores bióticos y abióticos del ambiente por lo que la estructura comunitaria ha sido ampliamente utilizada como un indicador de las condiciones ambientales. Algunas taxa pueden tolerar contaminación moderada

o baja, otras por el contrario no resisten y desaparecen (Kiffney M. P. & W.H. Clements en P. Thomas P. 2002)

Las contribuciones que se esperan alcanzar con este trabajo son, ampliar el conocimiento sobre la biodiversidad algal y los macroinvertebrados de la zona, como también, realizar una valoración del grado indicador de las distintas especies presentes en las comunidades, mediante la aplicación de índices bióticos a fin de determinar el "status" ecológico de la zona., así mismo obtener metodologías biológicas de monitoreo que permitan detectar problemáticas relacionadas con la polución orgánica e inorgánica, las cuales podrán ser extrapoladas a otras cuencas hidrográficas similares.

## **2. ANTECEDENTES**

Las diferentes actividades humanas desarrolladas en la agricultura y ganadería de la cuenca del río San Juan, han provocado alteraciones en la estructura de las comunidades biológicas acuáticas existentes en los sistemas lénticos y lóticos. Sin embargo, la falta de información histórica con datos sobre las condiciones físicas, químicas y biológicas de las aguas superficiales que tiene Nicaragua, impide conocer y evaluar la calidad de sus aguas superficiales.

Los ríos de la cuenca son ejemplos particulares del grado de intervención humana a que ha estado sometida, pues en estos es donde se expresa y acumulan las variadas respuestas a las actividades humanas dentro de la subcuenca o micro cuencas. La fauna y flora existente en los ríos de las cuencas es prácticamente desconocida, dado que no se ha llevado a cabo un estudio que revele esta situación. El estudio de la evaluación rápida de los recursos hídricos realizados en 1998 por el MARENA, muestra un claro vacío de información sobre la calidad de agua que existe en los sistemas acuáticos de Nicaragua y la preocupación por la alta presión a que están sometidos por las múltiples fuentes de contaminación.

En diferentes estudios llevados a cabo en la cuenca del Río San Juan, se han hecho valoraciones desde el punto de vista físico-químico y biológico del Lago Cocibolca. La limnología de este Lago, así como también del Río San Juan y sus tributarios ha sido estudiada en la década pasada. Estudios biológicos basados en los macro invertebrados y realizados en algunos tributarios que drenan al río San Juan, muestran que están siendo altamente contaminados. Información recopilada por Glubish (2000), de trabajos elaborados por el CIRA durante los años 1992, 1993 y 1994 realizados en ese río, señalan que en 1994 la diversidad y densidad de macroinvertebrados fue baja. El informe señala que esto pudo deberse a condiciones altas de contaminación, por ejemplo las especies de Ephemeroptera y Plecoptera se sabe que son sensitivas a la

polución, los cuales nunca fueron observados en altas densidades. Otro estudio realizado en el río San Juan fue realizado por Fenoglio, S. 2002 quién utilizó la fauna del bentos para relacionar el Índice Biotico Estesio (I.B.E.) con seis índices, incluyendo el Índice Biótico de Familia (IBF).

Por el contrario, los estudios algales fitoplanctónicos son pobres y no existen en la mayor parte del área de estudio. Las diferentes evaluaciones de la zona no contienen información referente a su estatus ecológico tomando como base la estructura de las comunidades existentes.

Por otro lado, los ríos que drenan al lago Cocibolca han sido poco estudiados, y no existe información específica de los sistemas acuáticos que drenan en la parte este del lago Cocibolca, a pesar que la mayor parte de la zona esta siendo alterada por el despale, destinando estas áreas para la agricultura y principalmente el desarrollo ganadero.

Basado en lo anterior, y con el interés de poder implementar un plan de monitoreo, surge la necesidad de valorar el estado ambiental de los sistemas lóticos en Nicaragua, específicamente en la cuenca del río San Juan, para lo cual durante el período de 1995 a 1996, se desarrolló un estudio llamado "Diagnóstico de la cuenca del río San Juan y Lineamientos del Plan de Acción".

Posteriormente en el año 1998, los gobiernos de Costa Rica y Nicaragua prepararon dos documentos: el "Plan Estratégico de Acción para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos" (PEA) y el "Desarrollo sostenible de la cuenca del río San Juan y su zona costera". En estos estudios se identificaron una serie de problemas ambientales que demuestran un deterioro de los ecosistemas, por tanto se promovieron una serie de estudios básicos, con el fin de proporcionar información que permita identificar zonas de alto deterioro ambiental y poder prevenir, reducir o controlar los impactos negativos ambientales, para tal fin, se desarrolló el "Estudio Básico Monitoreo

Hidrometeorológico y de la Calidad del Agua en la C R S J” , el cual inició a finales del 2002 hasta julio del 2003. Dentro del cual se encuentra inmerso este trabajo.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Según estudios llevados a cabo por parte de Nicaragua en coordinación con Costa Rica, realizados en la cuenca del río San Juan, en especial, el informe "Análisis de Diagnóstico Transfronterizo", se encontraron algunos problemas serios en la cuenca del río San Juan.

El problema más grande encontrado en la mayor parte de la cuenca fue la erosión hídrica, ya que las fuertes precipitaciones en la zona, provocan que el suelo se comporte como un líquido y se pierde como recurso; que al llegar a los ríos receptores, disminuye la calidad del agua tanto para consumo como para la flora y fauna acuática existente.



Foto No. 1 Área quemada

Esto no es más que el reflejo del despale y la quema de los bosques (Foto No. 5), llevado a cabo como consecuencia de la actividad agropecuaria desarrollada en el área de drenaje de la cuenca del lago, la cual se realiza sin ningún control, contribuyendo de esta manera a los procesos de erosión.



Foto No. 2 Cría de Ganado

En las actividades agropecuarias (Foto No. 6), son utilizados fertilizantes y plaguicidas que son transportados por el suelo erosionado, así también los

desechos sólidos municipales e industriales son depositados en botaderos a cielo abierto en las áreas pobladas de la zona.

Dado que uno de los medios de subsistencia es la agricultura, el uso excesivo de fertilizantes puede tener efectos negativos sobre las fuentes de agua tanto subterráneas como superficiales. Como consecuencia de la llegada de fertilizantes nitrogenados a los cuerpos de agua, la flora se multiplica, ocasionando un desequilibrio ecológico con consecuencias negativas (alto consumo de oxígeno al morir y pudrirse los organismos) para el ecosistema acuático.

Estudios realizados en el lago Cocibolca hasta el momento concluyen que este presenta condiciones eutróficas desde el punto de vista de la concentración de nutrientes y la composición fitoplanctónica, lo que indica que el lago ha ido sufriendo un deterioro en la calidad de agua generando un cambio en la composición algal y bentónica como producto de las actividades realizadas en la cuenca. Esto ha obligado al desarrollo programas sistemáticos de monitoreo del control de la calidad de las aguas para verificar los niveles de avance de la contaminación de los cuerpos de agua.

<http://www.oas.org/sanjuan/spanish/documentos/adt/informacion.html>

Basado en lo anterior y con el fin de poder identificar la cadena causa-efecto de los problemas existentes con el deterioro de los recursos hídricos en Nicaragua, se plantearon objetivos en el proyecto "Estudio Básico Monitoreo Hidrometeorológico y de la calidad del Agua en la Cuenca del Río San Juan" que permitieran dar respuesta a los problemas ambientales existentes. Este trabajo es un complemento a los ya existentes y tiene la finalidad de poder brindar parte de la información requerida sobre las calidad de agua de ríos importantes que drenan en la parte este del lago Cocibolca, así mismo determinar especies representativas de macroinvertebrados y microalgas en estos sistemas acuáticos para su implementación en las evaluaciones biológicas.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo General**

Conocer la calidad biológica de los ríos más importantes que drenan al lago Cocibolca: Mayales, Acoyapa, Oyate y Tepenaguasapa, en base a la composición, diversidad y sensibilidad de especies del fitoplancton y macroinvertebrados, mediante la aplicación de índices bióticos.

### **4.2 Objetivos específicos**

1. Conocer a partir de la estructura comunitaria la composición y abundancia algal presente en el plancton de los ríos Mayales, Acoyapa, Oyate y Tepenaguasapa
2. Conocer la composición y densidad poblacional de macroinvertebrados en sedimento.
3. Determinar la calidad de agua de los ríos Mayales, Acoyapa, Oyate y Tepenaguasapa mediante la aplicación de índices bióticos
4. Identificar especies indicadoras de contaminación en la zona Este del lago Cocibolca.

## 5. AREA DE ESTUDIO

El área de estudio de este trabajo comprende los ríos de las subcuencas del río Mayales, Oyate, Acoyapa y Tepenaguasapa ubicadas en la parte este del lago Cocibolca. Mapa No. 1

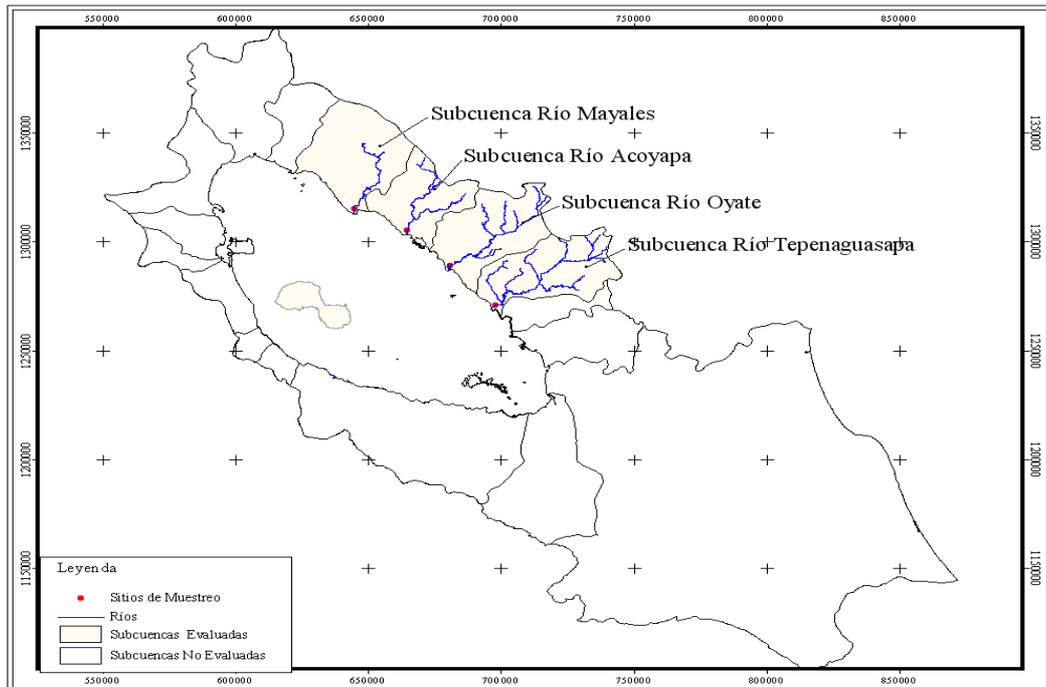


Fig. 1 Mapa del área de estudio

La subcuenca del río Mayales tiene una extensión de 1362.62 km<sup>2</sup>. El río Mayales, situado aproximadamente a un kilómetro de la ciudad de Juigalpa, se está secando y en algunas partes sólo se observa polvo y piedras y uno que otro "charquito" disperso, en la época seca a donde llegan a lavar y bañarse los lugareños.



Foto 3. Río Mayales

Puede observarse en la Foto No. 1, la disminución drástica del nivel de agua, lo que provoca interrupción en el curso de agua, quedando estacada por algunos meses.

Algunos pobladores que habitan cerca del río Mayales, en Juigalpa, se quejan porque algunos ganaderos están extrayendo agua mediante el sistema de riego que tienen en sus pastizales.

Por otro lado la microcuenca del río Acoyapa tiene una extensión territorial de 900.14 km<sup>2</sup>. Los límites del Municipio son: Al Norte: Municipios de San Pedro de Lóvago y Santo Tomás. Al Sur: Lago de Nicaragua (Cocibolca) y el Municipio de Morrito. (Dpto de Río San Juan). Al Este: Municipios de Villa Sandino y el Almendro (departamento de Río San Juan) y al oeste: Municipio de Juigalpa y el Lago de Nicaragua (Cocibolca).



Foto No. 4 Río Acoyapa

El río Acoyapa (Foto No. 2), al igual que el Mayales baja su nivel y el agua corre lentamente permitiendo que el tiempo de residencia sea mayor en algunos tramos, a lo largo de su recorrido.

La subcuenca del río Oyate tiene una extensión de 1220.74 km<sup>2</sup>.



Foto No. 5 Río Oyate

El río Oyate (Foto No. 3) y el Tepenaguasapa (Foto No. 4) son considerados como los de mayor caudal y extensión.

El Municipio de Morrito está compartido por las subcuencas: Tepenaguasapa y



Foto No. 6 Río Tepenaguasapa

Oyate, siendo la de mayor representación la subcuenca del Río Tepenaguasapa con un área de 384 Km<sup>2</sup>. El Municipio posee una longitud total de sus ríos de 224 Km y ha sido propuesta ante la convención la categoría Refugio de Vida Silvestre.

Además es parte del Corredor Biológico Mesoamericano.

El río Tepenaguasapa (Foto No. 5) desemboca en el lago Cocibolca o lago de Nicaragua, siendo este uno de los subsistemas hidrológicos principales de la cuenca del Río San Juan. Esta subcuenca tiene una extensión territorial de 1214.88 km<sup>2</sup> y está ubicada en la vertiente este del lago, con régimen de agua perenne debido a la alta precipitación de la zona.

Esta subcuenca comprende los ríos Tepenaguasapa y Júcaro y las poblaciones del Municipio del Almendro que son: El Almendro, El Silencio, Las Vegas y Espino Blanco y del Municipio de San Miguelito: El Peñón y El Ojoche.



Foto No. 7 Río Tepenaguasapa

En la subcuenca del río Tepenaguasapa, específicamente en el Municipio de Morrito, se encuentra asentada la Empresa Arroquera Palo Ralo, que posee más de cinco mil manzanas de sistemas palustrinos y riverinos destinados a este monocultivo.

Desde 1962, esta empresa inició sus labores productivas sin poner en práctica medidas de prevención y mitigación, ocasionando impactos ambientales negativos en las comunidades bióticas y a la población humana asentada en el área. Se sabe que esta empresa ha desarrollado sus actividades productivas haciendo uso excesivo de plaguicidas, los que han tenido como destino final los ríos Palo Ralo y Tepenaguasapa (Informe técnico, 2002). Esta práctica sigue vigente sin que existan acciones de prevención, mitigación y compensación de conformidad con las leyes ambientales

## **6. MARCO TEORICO**

El interés de conocer y proteger los ecosistemas acuáticos y el estudio de los cambios en el tiempo debido a la contaminación, ha incrementado en las últimas décadas el interés de desarrollar criterios biológicos que permitan estimar el efecto de las actividades humanas, por lo que se han venido desarrollando índices de calidad de agua. (Figueroa, R. et al. 2003).

Los biomonitoreos es un método útil para evaluar la calidad de los ríos, ya que las comunidades biológicas son sensitivas a largos y cortos cambios en el ambiente. Cambios en las comunidades biológicas como algas y macro invertebrados pueden reflejar o indicar cambios en la calidad de agua (Lydy, M. J., A. J. Strong and P. Thomas 2000).

Las fuentes de contaminación, tales como las escorrentías de origen urbano y agrícola, son la causa principal en la degradación de las aguas superficiales. Esto provoca un descenso en la diversidad de especies, por establecer condiciones muy desfavorables que pocas de ellas (especies) pueden resistir. Una disminución en la riqueza de taxa de los macroinvertebrados bénticos de ríos generalmente es uno de los indicadores más comunes de las aguas residuales por urbanización ( Wang L. en P. Thomas, 2002).

La razón de muestrear plancton y perifiton varía con el tamaño del río y el objetivo de la investigación. El plancton puede ser usualmente muestreado en ríos profundos y el perifiton puede ser muestreado en ríos poco profundo. Las algas suspendidas originadas del bentos en los ríos son transportadas aguas abajo, por lo tanto el plancton puede proveer una muestra integral de las algas del bentos en los ríos (Stevenson R. and P.Yang en Stoermer E. Y P. Smol, 1999).

## 6.1 Fitoplancton

El **fitoplancton** son organismos microscópicos acuáticos comúnmente llamados microalgas. Estas al igual que los macroinvertebrados son capaces de indicar la calidad de las aguas debido a su sensibilidad a los cambios del medio en que viven. Por lo tanto, se convierten en un referente del estado ecológico de cualquier sistema acuático.

Puede ocurrir que, dentro del fitoplancton no existan especies en particular que sean importantes como indicadores, sino que sean medianamente tolerantes a rangos amplios de variación en las condiciones del agua, sin embargo, la comunidad en su conjunto puede dar una idea de posibles alteraciones en las condiciones del agua, comparando la diversidad existente en ambientes de condiciones naturales, respecto a la supuestamente afectada que se quiere evaluar. Por ejemplo las Cynophyta se reproducen con mayor facilidad cuando existen desechos orgánicos, indicando contaminación, por el contrario cuando existe mayor diversidad de Clorophyta se dice que el cuerpo de agua está limpio. El método consiste básicamente en calcular índices de diversidad o de dominancia.

Es por eso que las medidas de diversidad se han utilizado para detectar la contaminación. El problema estriba en hacer corresponder a un determinado valor de índice un significado respecto de la calidad. Algunos autores como Whilhelm & Dorris (1968), después de estudiar las variaciones del índice de Shannon & Weaver (1949) en aguas con distintos grados de contaminación, consideraron intervalos con una significación respecto de la calidad de las aguas. Según estos autores, valores superiores a 3 indican aguas limpias, entre 1-3 aguas ligeramente contaminadas y los valores inferiores a 1 corresponden a aguas intensamente contaminadas.

Los biólogos usan las siguientes medidas o "metrics" como son encontrados normalmente en la literatura, para analizar la comunidad algal; estas se pueden utilizar si se identifican y se cuentan los organismos.

1. **Riqueza de taxa:** descrito anteriormente.
2. **Taxa indicador:** ciertas taxa pueden ser indicadoras de contaminación. Existe información para las diatomeas. Por ejemplo las categorías descritas a continuación:

Taxa indicador	
taxa acidofila	presentes a pH menor o igual a 5
taxa alkilofilas	presentes a pH de 9 o mayor
taxa heterotróficas	asociadas con aguas de plantas de tratamiento Con requerimientos de nitrógeno orgánico
taxa halófilas	tolerantes a elevadas concentraciones de cloro
taxa eutróficas	Características de aguas con altas concentraciones de nutrientes
diatomeas aberrantes	cambios morfológicos indican estrés. Encontradas en asociación de materiales tóxicos
sabor y olor	taxa encontrados en ríos utilizados para suministro de agua para uso domestico

Tabla No. 1 Sistema de clasificación autoecológico para algas

**Abundancia relativa:** abundancia relativa de cada especie especialmente para las diatomeas es estimada de la manera siguiente:

**Rara** Presentes en porcentajes menores de 25%

**Común** Presente en porcentajes entre 25-75%

**Abundante** Presentes en porcentajes mayores de 75%

3. **Número de divisiones representantes:** El número de divisiones representadas es reportado como un indicador de diversidad. La representatividad de varias divisiones de algas es común de sitios de buena calidad de agua.

## 6.2 Macroinvertebrados

Los macroinvertebrados acuáticos son organismos que se pueden ver a simple vista, se llaman macroinvertebrados porque son grandes (miden desde 2 milímetros a 30 centímetros), **invertebrados** porque no tienen huesos, y **acuáticos** porque viven en los lugares con agua dulce: esteros, ríos, lagos y lagunas. Los macroinvertebrados incluyen larvas de insectos tales como mosquitos, libélulas, iniciando su vida en el agua y luego se convierten en insectos de vida terrestre. (Carrera, C. & F. Karol. 2001).

Por otro lado, para los macroinvertebrados el decline en la abundancia o perdida completa de taxa sensitivas, particularmente del orden Ephemeroptera, Plecoptera y Tricoptera, es consecuencia típica del desarrollo urbano. Sin embargo la densidad total de macroinvertebrados no cambia en un patrón particular dado que las taxa tolerantes son más abundantes y solamente desaparecen los individuos sensitivos (Tabla No. 14 en anexos). Como resultado de esto, el índice biótico de Hilsenhoff mide la polución orgánica usualmente incrementada (Wang, L. Y L. John. En Thomas, P. 2002).

De toda una gran cantidad de metodologías utilizadas para evaluar calidad de agua, los estudios basados en los macroinvertebrados son mayoritarios.

Las razones por las cuales se consideran a los macroinvertebrados como los mejores indicadores de la calidad de agua son los siguientes:

- Son abundantes, de amplia distribución y fáciles de coleccionar
- Son sedentarios en su mayoría y por tanto, reflejan las condiciones locales.
- Relativamente fáciles de identificar, al comparar con otros grupos.
- Presentan los efectos de las variaciones ambientales a corto tiempo.
- Proporcionan información para integrar efectos acumulativos.
- Ciclos de vida largo

- Vistos a simple vista
- Se puede cultivar en laboratorio

Para la aplicación de los índices, los organismos bénticos fueron clasificados en tres clases de tolerancia:

### **Clase I Organismos sensitivos o intolerantes**

Organismos que responden rápidamente a cambios ambientales y mueren o bien son reducidos sustancialmente en números cuando el ambiente es degradado.

### **Clase II Organismos facultativos**

Organismos que tienen la habilidad de vivir en condiciones ambientales cambiantes, por ejemplo aquellos que tienen la facultad de vivir en presencia y ausencia de oxígeno.

### **Clase III Organismos tolerantes.**

Organismos capaces de vivir en condiciones ambientales totalmente adversa.

Desde el punto de vista biológico suele interesar clasificar las aguas según el tipo y cantidad de microorganismos presentes o **índices de diversidad** que indican la riqueza ecológica de un río.

Los científicos han clasificado a cada macroinvertebrado con un número que indica su sensibilidad a los contaminantes. Estos números van de 1 a 10. El 1 indica el menos sensible y así, gradualmente hasta el 10, que señala al más sensible.

De acuerdo a esta sensibilidad se clasifican en cinco grupos

<b>Sensibilidad</b>	<b>Calidad de agua</b>	<b>Calificación</b>
No aceptan contaminantes	Muy buena	9-10
Aceptan muy pocos contaminantes	Buena	7-8
Aceptan pocos contaminantes	Regular	5-6
Aceptan mayor cantidad de contaminantes	Mala	3-4
Aceptan muchos contaminantes	Muy Mala	1-2

Por ejemplo, las lombrices de agua tienen una sensibilidad de 1, porque se encuentran por miles en ríos de aguas negras. Los caballos del diablo, en cambio, tienen una sensibilidad de 10, porque sólo se encuentran en aguas muy limpias y cristalinas.

### **6.2.1 Diversidad biológica**

La diversidad biológica expresa el número de especies y abundancia relativa de las mismas en una comunidad. Por lo tanto el índice de diversidad se calcula a través de expresiones matemáticas que relacionan el número de especies o riqueza de especies de una comunidad y la uniformidad es decir, en que medida las especies son abundantes (Pérez-López, 1993).

Los índices basados en datos biológicos han sido utilizados para resumir los efectos de la polución del agua en las comunidades acuáticas, por lo que los índices de diversidad miden la estructura de la comunidad y los índices de similitud comparan la estructura de una comunidad entre dos sitios o el mismo sitio en diferentes tiempos (Lydy, M. 2000).

Por medio de un inventario florístico y recuento de cuantas algas existen de cada especie, se permite calcular los índices de diversidad y la relación con otras especies. Igualmente se calculan otros índices en los cuales cada especie tiene un valor determinado en base a la tolerancia de la contaminación.

Entre los índices no paramétricos, el de Shannon-Weaver ha sido el más utilizado para medir la diversidad de organismos en los ecosistemas (López Carrillo, E. et al. Sin fecha; Lydy, M. 2000; Jennifer R. Cox-Lillis. 2000).

Cuando todos los individuos pertenecen a la misma especie, el índice es cero, significa que la diversidad es nula. Por lo contrario, altos valores del índice corresponden a una gran diversidad específica en la comunidad, cuando ocurren condiciones favorables del medio que permite la instalación de numerosas especies.

Por lo tanto la abundancia numérica relativa de estas especies indicadoras puede ser utilizada para determinar si la comunidad es estable o ha cambiado recientemente.

### **6.2.2 Organismo indicador**

Muchos organismos vivos pueden desarrollarse bien en aguas de calidad muy diversa, pero otros están estrechamente unidos a unas condiciones ambientales muy específicas. Es por eso que un indicador biológico u **organismo indicador** es aquel que por su presencia o ausencia nos informa de ciertos aspectos globales del medio que ocupa (Margalef, 1969).

### **6.2.3 Comunidad indicadora**

El concepto de **organismo indicador** ha evolucionado conceptualmente utilizándose el concepto de **comunidad indicadora** en los diferentes y múltiples métodos e índices que actualmente están siendo utilizados y que son de estricto cumplimiento en diferentes países europeos y estados de Norteamérica. Al tener en cuenta a toda la comunidad se minimizan los errores y se multiplica la capacidad de detección de alteraciones.

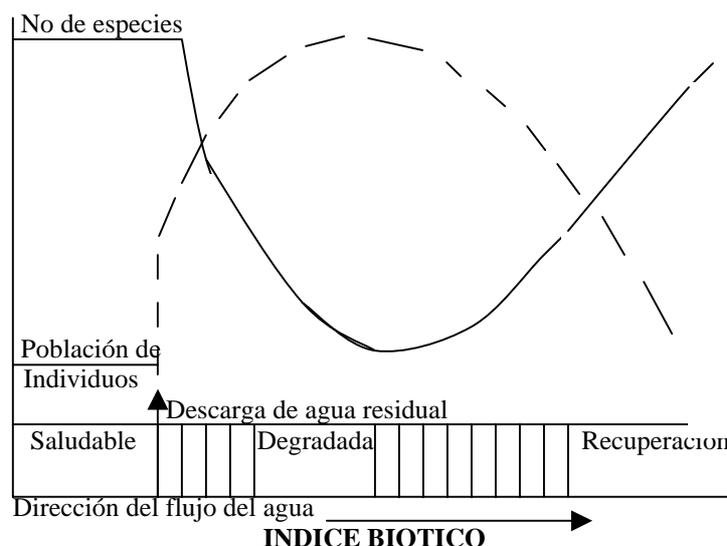
#### **6.2.4 Calidad biológica**

El término **calidad** no es un término absoluto, ni de fácil definición. Como por ejemplo, las aguas fecales no son de buena calidad para la bebida, por los problemas sanitarios que conllevaría su uso, pero pueden ser excelentes para el riego de plantas ornamentales o forestales, por su alto contenido de materia orgánica (Alba Tercedor, 1996).

Por lo tanto, a partir del estudio de la composición y estructura de comunidades de organismos para evaluar la calidad de las aguas, se origina el término **calidad biológica**, considerándose que un medio acuático presenta una buena calidad biológica, cuando tiene características naturales que permiten se desarrollen comunidades de organismos propias de ese lugar (Alba Tercedor, 1996).

#### **6.2.5 Índices Bióticos**

El índice biótico es básicamente un índice de diversidad, que está basado en el hecho que un efluente y otros estresores en el sistema acuático decrece la diversidad de la vida, lo cual es un "indicador" de la salud de un ecosistema acuático. Por lo tanto cuando un efluente orgánico es descargado dentro de un río, el número de especies declina con un incremento en la población de los organismos que toleran tal estrés (Fig. No. 2).



**Fig. No. 2 Índice biotico**

Los métodos para determinar la calidad de las aguas han sido empleados en Europa desde principio del siglo XX. Desde este tiempo muchos de los métodos (índices bióticos) tienen su origen en los trabajos desarrollados por Kolkwitz & Marsson (1909) quienes propusieron el sistema saprobiano continental, lo que sentó las bases para el desarrollo de nuevos índices como: Trent Biotic Index (TBI); Biological Monitoring Working Party (BMWP). Hilsenhoff (1988) y otros.(Figueroa, 2003)

Desde esta fecha se han venido desarrollando diferentes índices para determinar el daño ecológico causado por los residuos domésticos industriales y agrícolas en los cuerpos de agua. El número de índices basado en las comunidades de macroinvertebrados es probablemente cinco veces más que algunos de los otros grupos, existiendo alrededor de 50 índices y aún está creciendo, basados algunos de ellos hasta nivel de especie (Mandaville, M. 2002).

### 6.3 Protocolos de Bioevaluación Rápida ( PBR)

Los índices o protocolos de bioevaluación rápida o métodos de bioevaluación rápida para macroinvertebrados son basados en numerosas muestras cuantitativas que requieren de gran tiempo para separar las especies de todos los organismos, así como expertos para identificar estos organismos.

Por lo tanto, la tendencia reciente de estos métodos ha sido hacia "**técnicas de bioevaluaciones rápidas**". Algunas de estas técnicas han sido estandarizadas y la comparación de calidad de agua puede ser entre lagos y ríos. Estos métodos estandarizados son comúnmente utilizados hoy en día con el término de "**Protocolos de Bioevaluaciones Rápidas**", normalmente encontrados en los documentos como **RBP**s (Rapid Bioassessment Protocols).

La USEPA ha desarrollado cinco protocolos; los primeros tres son basados en los macroinvertebrados bénticos, y el cuarto y quinto en peces. La complejidad de estos protocolos se incrementa con el número de RBP. Los **RBP I** se utilizan para evaluar un área impactada de una no impactada y son menos complejos que los **RBP**s **II** los cuales están basados en la identificación a nivel de familia; siendo estos a su vez menos complejos que los **RBP**s **III** que requieren una identificación a nivel de especie. (Mandaville, M. 2002)

Los índices más comúnmente utilizados para evaluar la calidad de agua están incluidos en los RBP

II, de los cuales se mencionan algunos de ellos, siendo estos:

### 6.3.1 Riqueza de taxa

La riqueza de taxa (RT) indica la salud de la comunidad a través de su diversidad y se incrementa con el aumento de la diversidad de hábitat y calidad de agua. (Mandaville, M. 2002). Los RT es igual al número total de taxa representado dentro de la muestra y estima el número total de especies presentes en la comunidad. Es un estimado ya que en realidad todas las especies presentes nunca se colectan. Una extremadamente baja riqueza de taxa indica un posible problema de toxicidad. Por ejemplo, un drenaje de una mina o industria, mientras que una alta riqueza de especie sugiere agua limpias. Por lo tanto una comunidad sana contiene un mayor número de taxa. <http://www.kywater.org/watch/ALGAE.HTM>

### 6.3.2 Indice Biótico de Familia (IBF)

El Indice Biótico de Familia (IBF) inicia con Chutter (1972) que desarrolla un índice de calidad de agua para los ríos de Sudáfrica y es levemente modificado por Hilsenhoff (1988) para ser aplicado a los ríos de Norteamérica.

Este índice fue posteriormente modificado a nivel de familia con un rango de valores de tolerancia de 0 (no tolerantes) a 10 (altamente tolerantes) basado en su tolerancia a la contaminación orgánica, creando el Indice Biótico de Familia (FBI). Este índice posteriormente, en los Estados de Norteamérica lo desarrollaron incluyendo otros macroinvertebrados para el uso de U. S. EPA Protocolos de Bioevaluación rápidos II (Mandaville, M. 2002)

Su fórmula es:

$$FBI = \frac{\sum x_i t_i}{n}$$

Donde:

$x_i$  : es el número de individuos dentro de un taxón

$t_i$  : valor de tolerancia del taxón

$n$  : número total de organismos en la muestra

### **6.2.3 Relación entre los grupos funcionales de alimentación (raspadores, filtradores y colectores)**

El índice de los raspadores, filtradores y colectores es calculado dividiendo el número total de individuos clasificados como raspadores entre el número de individuos clasificados como filtradores y colectores dentro de la muestra. Este índice es independiente de la taxonomía.

### **6.3.4 Índice de diversidad de Shannon-Weaver (H)**

Este índice ha sido utilizado por muchos investigadores. El índice de diversidad de Shannon-Weaver (H) es comúnmente usado para calcular la biodiversidad acuática y terrestre. Su fórmula es:

$$H = -\sum_{i=1}^s (p_i) (\log_2 P_i)$$

*Donde :*

P<sub>i</sub>: es la proporción de individuos en el taxón "i" de la comunidad.

s : es el número total de taxa en la comunidad.

### **6.3.5 Índice de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Tricoptera)**

El índice Ephemeroptera, Plecoptera y Tricoptera (EPT) comprende la riqueza de taxa dentro de los grupos de insectos los cuales son considerados ser sensitivos a la polución, por lo tanto, podría incrementar con el aumento en la calidad de agua. Inicialmente se desarrolló para identificaciones a nivel de especie pero es válido para ser usado a nivel de familia (Plafklin et al. 1989) en Mandaville, M. 2002).

El EPT es igual al número total de familias representadas dentro de estos tres órdenes en la muestra.

### **6.3.6 Relación de la comunidad de EPT y Chironomidae**

La abundancia de EPT y Chironomidae indica el balance de la comunidad, desde entonces los EPT son considerados más sensitivos y los Chironomidae menos sensitivos a los estrés ambiental. Una comunidad es considerada estar en buenas condiciones bióticas cuando manifiesta o presenta igual distribución entre estos cuatro grupos. Por consiguiente, las comunidades con desproporcionalidad de números altos de Chironomidae pueden indicar estrés ambiental (Plafkin et al. 1989) en Mandaville, 2002). El índice EPT se calcula dividiendo la suma del número total de individuos clasificados como Ephemeroptera, Plecoptera y Tricoptera por el número de individuos clasificados como Chironomidae

### **6.3.7 Índice de similitud de la comunidad**

Este índice es utilizado en situaciones donde existe una comunidad de referencia. Este índice se asigna para ser empleado con identificación a nivel de especie o nivel taxonómico más alto (Plafkin et al. 1989 en Mandaville, M. 2002).

Otros índices que también pueden ser empleados para el estudio de los sistemas acuáticos son:

### **6.3.8 Biological Monitoring Working Party (BMWP)**

El BMWP provee valores solo a nivel de familias de organismos representativos tolerantes a la contaminación. Su mayor tolerancia a la polución corresponde al valor más bajo del BMWP (Mandaville, M. 2002).

El uso del índice BMWP', requiere identificar los macroinvertebrados a nivel de familia, lo cual representa un considerable ahorro de trabajo taxonómico. En base a Alba, T. 1996, después de la identificación se elabora una lista o inventario con las familias presentes y se busca la puntuación de cada familia, luego se multiplica por el número total de organismos de cada familia. Siendo el valor del índice BMWP la suma total de la puntuación correspondiente a cada familia.

### **6.3.9 Índice de ETO**

El índice Ephemeroptera, Tricoptera y Odonata representan la riqueza de taxa de estos grupos (Gerritsen et al., 1998 en Mandaville, 2002). El índice es igual al número total de familias representadas dentro de estos tres ordenes en la muestr.

### **6.3.10 Porcentaje de Contribución de Familias Dominantes (%FD)**

El porcentaje de contribución de familias dominantes o porcentaje de dominancia (%DF) es igual a la abundancia de familias dominantes numéricamente relativo al número total de organismos en la muestra. Este índice indica el estado presente del estado de la comunidad a nivel de familia. Por ejemplo, una comunidad dominada relativamente por pocas familias podría tener una alto valor de porcentaje de familias dominantes, indicando que la comunidad está sobre una influencia de un estrés ambiental (plafkin et al., 1989 en Mandaville, M. 2002)

### **6.3.11 Índice de pérdida de la comunidad**

El índice de pérdida de la comunidad mide la ausencia de las taxa bénticas en el sitio de estudio con respecto a un sitio de referencia. El rango de valores es de

0 a infinito y este se incrementa con el grado de disimilaridad entre el incremento de sitios. La fórmula para calcularlo es:

$$\text{Pérdida de la comunidad} = \frac{d - a}{e}$$

donde:

a : es el número de taxa común en ambos sitios

d : es el número total de taxa presentes en el sitio de referencia y

e : es el número total en el sitio de estudio

### **6.3.12 Índice de diversidad de Simpson's (D)**

Este índice tiene relativamente poco peso en especies raras y más peso en especies comunes. El rango de valores es de 0 indicando mínimo nivel de diversidad a un máximo de  $1 - 1/s$ . Su fórmula es:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s (p_i)^2$$

*Donde :*

Pi es la proporción de individuos en el taxón "i<sup>th</sup>" de la comunidad

S : es el número total de taxa en la comunidad.

## **7. DISEÑO METODOLOGICO**

### **7.1 Tipo de estudio**

Este estudio es de tipo descriptivo, el que se llevó a cabo mensualmente en el primer semestre del año 2003.

### **7.2 Universo de estudio**

El universo de estudio son los puntos muestreados en la desembocadura de los ríos de las subcuencas Mayales, Acoyapa, Oyate y Tepenaguasapa, que drenan hacia el lago Cocibolca.

### **7.3 Selección del área de estudio**

Se escogieron cuatro ríos (Mayales, Acoyapa, Oyate y Tepenaguasapa), para la realización de este estudio. Los puntos seleccionados en los ríos fueron tomados a una distancia de aproximadamente un kilómetro de la desembocadura del lago Cocibolca.

Los ríos fueron seleccionados en función a la importancia que representan. El río Oyate y Tepenaguasapa, además de ser considerados los más extensos y caudalosos, son utilizados como fuentes de recreación y vías de transporte de los pobladores que viven en las orillas. Sin embargo el río Mayales presenta serios problema, ya que algunos ganaderos extraen grandes cantidades de agua para riego lo que esta causando que el río se seque. De igual manera el río Acoyapa también sufre la presión de las actividades humanas en la cuenca.

### **7.4 Selección de los puntos de muestreo**

Los puntos de muestreos fueron seleccionados de acuerdo a los objetivos del proyecto "Estudio Básico Monitoreo Hidrometeorológico y de la Calidad del

Agua en la C R S J" que tenía como objetivo identificar zonas altamente contaminadas.

## **7.5 Diseño de los muestreos**

Los muestreos fueron planificados mensualmente desde Enero hasta Julio del 2003. Se tomaron muestras tanto de fitoplancton como de macroinvertebrados para la evaluar el estado biológico de los sistemas acuáticos.

## **7.6 Recolección de información**

La información recolectada para el estudio se obtuvo en las giras de campo donde se pudo observar las condiciones en que se encontraba la zona. También se obtuvo información de los estudios elaborados anteriormente, sobre la evaluación de la toda la cuenca del río San Juan, realizada antes de la ejecución de este estudio.

# **8. TOMA Y PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS BIOLÓGICAS**

## **8.1 Fitoplancton**

### **8.1.1 Toma de muestra del fitoplancton**

Las comunidades algales fueron muestreadas utilizando un frasco de plástico a medio metro de profundidad de la superficie del agua. Los puntos muestreados fueron ubicados aproximadamente a un kilómetro antes de la desembocadura hacia el lago Cocibolca de los ríos Mayales, Acoyapa, Oyate y Tepenaguasapa entre Enero y Julio del 2003. Después de tomadas las muestras fueron fijadas con lugol al 4% y trasladadas posteriormente al laboratorio. Las muestras fijadas fueron colocadas en un termo para su posterior traslado al laboratorio.

### **8.1.2 Procesamiento de la muestra de fitoplancton**

Para el tratamiento de la muestra se utilizó el método de conteo Utermöehl (1958). Estas fueron colocadas en cámaras de sedimentación de 10 ml y contadas en un microscopio invertido. La identificación de las especies se realizó con la ayuda de un microscopio compuesto y claves taxonómicas.

## **8.2 Macroinvertebrados**

### **8.2.1 Toma de muestra de macroinvertebrados**

Muestras de sedimentos fueron tomadas para macroinvertebrados, estas se recolectaron con una draga Van Veen de 305 cm<sup>2</sup> del área de captura debido a que los cuerpos de agua tienen una profundidad mayor de un metro. Se tomaron tres muestras en cada sitio de muestreo, colocándose en bolsas plásticas. Se le adicionó formalina al 4% para preservarlas y posteriormente trasladarlas al laboratorio.

### **8.2.2 Procesamiento de muestra**

Las muestras fueron lavadas a través de un tamiz de 100µ de luz de malla y concentrados los organismos en viales. La identificación taxonómica se realizó con ayuda de un estereoscopio y claves taxonómicas.

## **9. ANALISIS DE MUESTRAS BIOLÓGICAS**

### **9.1 Fitoplancton**

Las comunidades algales en los ecosistemas acuáticos pueden ser usados para evaluar la calidad de agua en períodos relativamente cortos de tiempo. Por lo tanto una lista de algas tolerantes a la contaminación orgánica puede ser empleada como un índice de contaminación. Basado en esta importancia las comunidades algales fueron evaluadas utilizando la abundancia de las especies presentes y la diversidad, empleándose el índice de Shannon-Weaver (Pérez, L. 1996).

#### **9.1.1 Abundancia relativa**

La abundancia de las células algales se expresa como el porcentaje de las especies algales más dominantes >10%.

#### **9.1.2 Número de divisiones representantes**

El número de divisiones presentes nos indica que tan diverso es la comunidad. Se utiliza como indicador de la diversidad.

#### **9.1.3 Índice de diversidad de Shannon-Weaver (H)**

La riqueza o diversidad de especies, es una medida del buen funcionamiento de los ecosistemas. Las medidas son índices que consideran dos factores: **La Riqueza de Especies** o sea el número de especies y **La Uniformidad** es decir en que medida las especies son abundantes. Por lo tanto el índice de diversidad de Shannon-Weaver ha sido usado históricamente y fue utilizado en este estudio para medir la diversidad., el cual fue utilizado en este estudio para calcular la diversidad de microalgas de cada mes en los diferentes sitios de muestreo.

La fórmula es:

$$H = - \sum_{i=1}^s (P_i)(\log_2 P_i)$$

Donde  $P_i$  es la proporción de individuos en la taxon "i" de la comunidad

s : es el número total del taxon en la comunidad

## **9.2 Macroinvertebrados**

Basado en la importancia antes mencionadas, las comunidades de macroinvertebrados fueron evaluados utilizando algunas medidas: la densidad, riqueza de especies, el porcentaje de contribución de las Familias dominantes, la relación de la Familia Chironomidae y el Orden Ephemeroptera y el Índice Biótico de Familia que es una medida de tolerancia e intolerancia.

### **9.2.1 Densidad poblacional**

El número de organismos recolectado en cada punto se reporta como la densidad que es igual al número de individuos por metro cuadrado, el cual se analiza en conjunto con la riqueza de especies.

### **9.2.2 Riqueza de especie**

La lista de especies es simplemente una medida de la riqueza de especies o de la diversidad de especies.

### **9.2.3 Índice Biótico de Familia (IBF)**

El Índice Biótico de Familias fue desarrollado por Hilsenhoff, 1988, y se basa en el tipo de familias presentes en un tramo del río, asignándole un puntaje a cada familia en función de su sensibilidad a la contaminación. Dada la simplicidad en la estimación de este índice debido a la baja resolución taxonómicas a su adecuada correlación con estrés antropogénicos ha sido ampliamente utilizado en diferentes partes del mundo, Figueroa, R. (2003)

Para el cálculo del IBF se agruparon las taxa en sus respectivas familias a las cuales se le asignó el valor de tolerancia sugerido según Hauer & Lamberty (1996) y Barbour, (1999), multiplicándose este valor por el número de individuos de cada familia y dividido entre el número total de individuos presentes en la muestra. La interpretación se basa de acuerdo a la Tabla No. 4

### **9.2.4 Contribución de las Familias Dominantes (%DF)**

El porcentaje de contribución de familias dominantes es igual a la abundancia de las familias dominantes numéricamente, relativo al número de organismos en la muestra. Este índice indica el estado presente del balance de la comunidad a nivel de familia.

### **9.2.5 Relación del Orden Ephemeroptera y la Familia Chironomidae**

Se efectuó una relación del Orden Ephemeroptera y la Familia Chironomidae para evaluar la dominancia de estos representantes de aguas limpias y contaminadas.

## **10. RESULTADOS**

### **10 .1 Composición y abundancia del fitoplancton**

Los resultados de la comunidad del fitoplancton de los ríos Mayales, Acoyapa, Oyate y Tepenaguasapa, muestran una mezcla de especies, principalmente de los tres grupos más dominantes en los cuerpos de agua nicaragüenses Chlorophyta (clorofitas), Cyanophyta (cianobacterias) y Bacillariophyta (diatomeas) (Tabla No.1).

Las algas, por lo general son organismos microscópicos acuáticos, capaces de indicar la calidad del agua gracias a su sensibilidad a los cambios del medio en que viven, por tanto se convierten en un referente del estado ecológico de cualquier sistema acuático.

Una de las características más importantes de las algas es su capacidad depuradora del medio ambiente, ya que a través del proceso de fotosíntesis incorporan oxígeno, contribuyendo de esta manera a la oxidación de la materia orgánica, por una lado y por el otro a aumentar el oxígeno disuelto en el agua, el cual será utilizado por las otras comunidades u organismos que componen la flora y fauna del medio acuático donde viven.

	Mayales	Acoyapa	Oyate	Tepenaguasapa
<b>CHLOROPHYTA</b>				
<i>Actinastrum sp.</i>	X	X	X	
<i>Botryococcus braunii</i>				X
<i>Chlamydomonas sp. No 1</i>	X	X	X	X
<i>Chlamydomonas sp. No 2</i>	X	X	X	
<i>Chlorella sp.</i>	X	X	X	
<i>Closterium sp.</i>	X	X	X	X
<i>Coelastrum microporum</i>	X	X	X	
<i>Crucigenia sp.</i>	X	X	X	
<i>Dictyosphaerium sp.</i>	X	X	X	
<i>Dipocloris sp.</i>	X	X	X	
<i>Kirchneriella lunaris</i>			X	X
<i>Kirchneriella sp.</i>	X	X	X	X
<i>Lagerhemia sp.</i>	X			
<i>Monoraphidium sp.</i>	X	X	X	X
<i>Oocystis sp.</i>	X	X	X	X
<i>Pediastrum boryanum</i>		X	X	
<i>Pediastrum duplex</i>	X	X	X	X
<i>Pediastrum tetras</i>	X	X	X	
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	X	X	X	
<i>Scenedesmus sp.</i>		X	X	X
<i>Schnidleia elegans</i>	X	X	X	
<i>Tetraedron sp.</i>	X	X	X	X
<i>Tetrastrum sp.</i>	X	X		
<b>CYANOPHYTA</b>				
<i>Anabaena sp.</i>	X	X		X
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	X	X	X	X
<i>Aphanocapsa sp.</i>	X	X	X	
<i>Chroococcus turicensis</i>				X
<i>Chroococcus sp.</i>	X	X	X	
<i>Lyngbya sp.</i>	X			
<i>Merismopedia minima</i>	X	X	X	X
<i>Microcystis aeruginosa</i>	X	X	X	
<i>Oscillatoria sp.</i>	X	X		X
<b>BACILLARIOPHYTA</b>				
<i>Aulacoseira distans</i>			X	X
<i>Aulacoseira granulata</i>	X	X	X	X
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	X	X	X	X
<i>Cyclotella pseudostelligera</i>	X	X	X	
<i>Fragilaria pinnata</i>			X	
<i>Synedra ulna</i>	X	X		X
<i>Navicula sp.</i>	X	X	X	X
<i>Nitzschia acicularis</i>	X	X	X	X
<i>Nitzschia palea</i>	X	X	X	X
<i>Nitzschia sp.</i>	X		X	X
<i>Pleurosigma sp.</i>		X		
<b>EUGLENOPHYTA</b>				
<i>Euglena sp.</i>	X	X	X	X
<i>Phacus sp.</i>	X	X	X	
<i>Trachelomonas</i>	X	X	X	X
<b>DINOPHYTA</b>				
<i>Gymnodinium sp.</i>	X	X	X	
<i>Peridinium sp.</i>	X	X	X	X
<b>CRYPTOPHYTA</b>				
<i>Rhodomonas sp.</i>		X	X	X

Tabla No 2. Lista taxonómica del fitoplancton en los ríos Mayales, Acoyapa, Oyate y Tepenaguasapa.

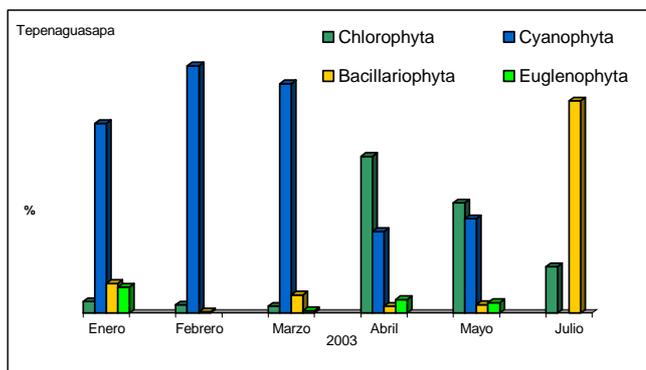
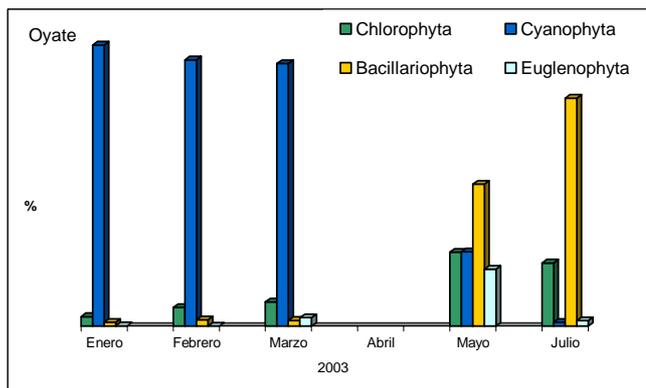
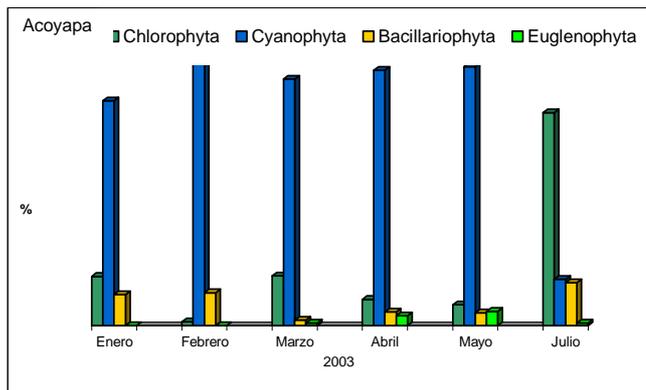
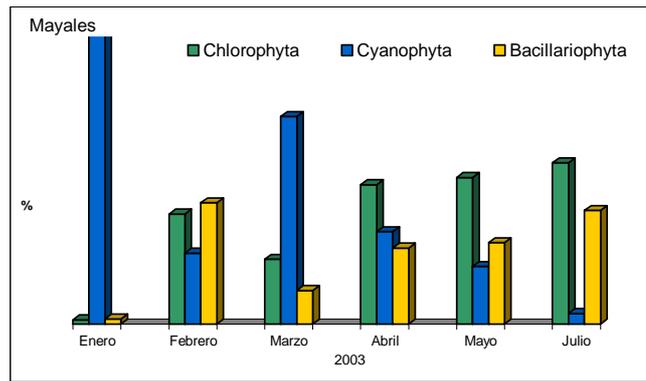


Figura No. 3 Grupos más dominantes del fitoplancton

La figura No. 3 muestra los resultados de las especies de fitoplacnton encontrado en los cuatro ríos en estudio. El río Mayales estuvo representado mayoritariamente por los tres grupos importantes antes mencionados durante el período de estudio, Entre los meses muestreados se observa una baja representatividad de especies presentes por cada grupo.

La composición de las especies presentes en el punto de muestreo depende del período estacionario y la influencia del agua. Enero y Mayo fue dominado mayoritariamente por las Cyanophyta que lo representa *Cylindrospermopsis raciborsski* con 96.7% y 67.08%. respectivamente. Por otro lado puede observarse que las chlorophyta prevalecieron en los meses de Abril (45.08%), Mayo (47.37%) y Julio con (52%) de abundancia relativa numérica representados por diversos géneros.

Igualmente las diatomeas estuvieron presentes a partir del mes Febrero. Dentro de este grupo *Aulacoseira granulata* se encontró a partir del mes de Febrero con (34.85%), Abril (20.6%) y Mayo (14.78%) de abundancia relativa numérica.

Las diatomeas, particularmente las céntricas han sido encontradas dominando la composición fitoplanctónica del un río Allen (1996). Posiblemente una de las razones de estos resultados es que este río presentó un descenso en el nivel de agua a partir del mes de febrero, provocando una interrupción en su curso, por lo cual existían tramos de agua empozada. Esto permitió una mayor prevalencia de los organismos en la columna de agua lo que facilita su reproducción.

El régimen de descarga de un río tiene una profunda influencia sobre el fitoplancton, así también la luz y los nutrientes difieren en alguna forma en aguas estancadas. Una relación inversa entre la descarga de los ríos y la abundancia del fitoplancton es quizás el descubrimiento más común que se ha encontrado.

Los factores que influyen las poblaciones del plancton se asocian con la corriente y la descarga, siendo estos de primordial importancia. También la turbidez y la profundidad de la mezcla varían de un lugar a otro, afectando las oportunidades de crecimiento del fitoplancton Allen (1996). En comparación a las aguas estancadas de comparable estatus de nutrientes, la biomasa del fitoplancton ribereño es sustancialmente más bajo.

La comunidad del fitoplancton del río Acoyapa estuvo compuesto principalmente por el grupo de la Cyanophyta con valores porcentuales en enero (73.24%), Febrero (86.9%), Marzo (80.26%), Abril (83.17%), Mayo (84.28%) y Julio (15.15%), siendo este último mes reemplazado por las Chlorophyta con un 69.33%.

Tanto las Chlorophyta como las Bacillariophyta que son grupos representantes en los cuerpos de agua nicaragüenses estuvieron presentes en todos los meses del período de estudio, pero muy pobremente representados

Igual al río mayales, este río bajó su nivel de agua, y su curso fue interrumpido, disminuyendo la velocidad de la corriente, permitiendo quizás el establecimiento de especies que tienen la capacidad de flotar por la presencia de vacuolas de gas y permanecer en la parte superior de la columna de agua.

Algunas de las especies presentes fueron *Cylindrospermopsis raciborskii* que se presenta con valores de abundancia relativa numérica en Enero con (30.02%), Febrero (51.16%), Marzo (38.75), Abril (34.28%) y Mayo 55.87%), así como también por el género *Chroococcus sp.*, siendo en Enero (43.22%), Marzo (15.96%), Abril (13.44%) y Mayo (14.72%); y *Anabaena sp.* con un 33.25% en febrero y *Cylindrospermopsis circularis* con un 35.78% en Abril.

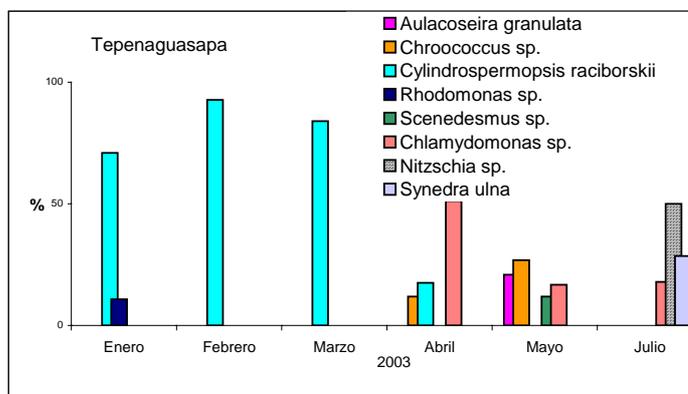
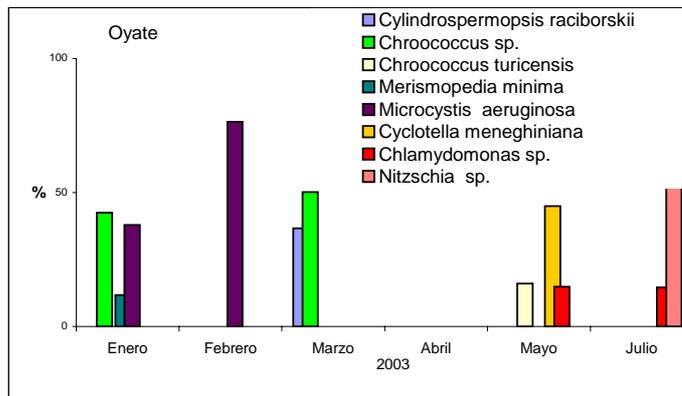
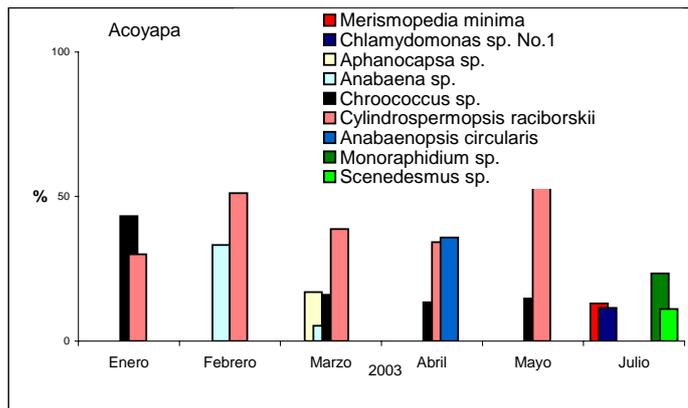
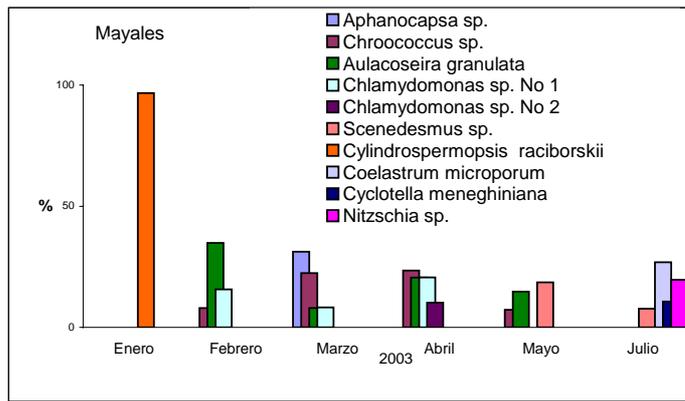


Fig. No. 4 Especies más representantes del fitoplancton

El grupo de las Cyanophyta es muy importante dado que en el se encuentran especies utilizadas como indicadores de contaminación, el género *Cylindrospermopsis sp.* se ha encontrado en muchos cuerpos de agua nicaragüenses y ha sido reportado como una especie altamente toxica.

Otro de los ríos en estudio fue el río Oyate, el cual contrario a los otros ríos, este nunca perdió su curso. Aquí la estructura comunitaria algal estuvo mayormente representada por las Cyanophyta y Bacillariophyta.

Las Cyanophyta prevalecieron durante los meses, Enero (92.86%), Febrero (87.97%) y Marzo con (86.76%) de abundancia relativa numérica (Fig. No. 4).

Este grupo estuvo compuesto por el género *Chroococcus sp.* que representó valores de abundancia relativa numérica de 42.5% en el mes de Enero y un 50.16% en Marzo. *Microcystis aeruginosa* aportó un 37.84% en Enero y un 76.37% en Febrero, *Merismopedia minima*.(11.73%) en Enero y *Cylindrospermopsis raciborskii* (36.6 %) en Marzo. Otro de los géneros encontrados fue *Chlamydomonas sp.* con valores porcentuales de 14.83% y 14.565 en Marzo y Julio respectivamente.

A partir del mes de Mayo con el inicio de las lluvias, lo cual provoca una mezcla de la columna de agua y resuspensión de organismos situados en las profundidades de un cuerpo de agua, cambió la dominancia de este grupo por las Bacillariophyta en los meses de Mayo con (46.925) y Julio con (75.32%) de abundancia relativa numérica. representado por el género *Cyclotella meneghiniana* con un 44.92% de toda la población en Mayo y *Nitzschia sp.* con un 56.33% en Julio.

En la Fig. 4 puede observarse que la comunidad del río Tepenaguasapa fue representada por las Cyanophyta en Enero con (70.80%), Febrero (92.66%) y Marzo con (83.98%) con la especie *Cylindrospermopsis raciborskii*.

La disminución de *Cylindrospermopsis raciborskii* en el mes de Abril con un 17% fue reemplazada por representantes del grupo de las Chlorophyta con el género *Chlamydomonas sp.* (51.2 %) y *Pandorina sp* con un 11.53% de abundancia relativa numérica.

En el mes de Mayo la especie *Cylindrospermopsis raciborskii* desapareció completamente, posiblemente con el inicio de las lluvias y el incremento de la velocidad de la corriente, esta fue arrastrada hasta el lago. En su lugar se encontraron otras especies en proporciones porcentuales de dominancia similares.

Por ejemplo las Bacillariophyta estuvieron representadas por la especie *Cyclotella meneghiniana* con un 5.05%. en Enero, *Aulacoseira granulata* con 20.83% en Mayo, *Nitzschia sp.* con un 50% y *Synedra ulna* con 28.57% en Julio.

## 10.2 Composición y abundancia de los macroinvertebrados

La estructura biológica del macroinvertebrados de los sitios estudiados en los ríos Mayales, Acoyapa, Oyate y Tepenaguasapa estuvo representada por el Phylum Nematoda, Artropoda, Annelida y Mollusca, compuesto por los Ordenes Diptera, Ephemeroptera, Coleoptera y Trombidiformes. Algunos de estos ordenes contienen Familias que fueron representadas por géneros dominantes, que han sido utilizados en diversos estudios como indicadores biológicos (Tabla No. 3). Dentro de las familias presentes mas importantes, se destacan los Chironomidae, siendo los más amplios y diversamente representados. Su importancia se basa en la gran tolerancia que presentan algunos géneros a la contaminación orgánica en los sistemas dulce acuáticos. Debido a la importancia de esta Familia cabe destacar que en este estudio se realizo una relación entre los quironómidos y el Orden Ephemeroptera debido a la sensibilidad que presentan estos últimos ante la contaminación acuática, pues tienden a desaparecer cuando hay deterioro ambiental. Otros grupos que sobresalen por su dominancia e importancia son los ostracodas y por último los nematodos.

Durante el análisis biológico realizado en el río Mayales, en el mes de Enero se determino que la Familia Chironoidae con el quironómido *Tanytus concavus* fue el que mas aportó a la abundancia relativa numérica alcanzando un 80.75%, sin embargo en el mes de Marzo este fue reemplazado por el ostracoda *Candona sp.* con 52.09% equivalente a 3 935 ind m<sup>-2</sup> (Tabla No 9). En el resto de los meses, la mayor abundancia registrada la alcanzó la Familia Naididae con el oligoqueto *Nais sp.*, identificado como la taxa que mas aportó a la población béntica de este río. En el mes de Marzo la abundancia relativa numérica de este naídido fue de 31.12%, en Abril alcanzó 76.68%, en Mayo con 63.36% y en Julio con 70.07% (Fig No. 5). Este gusano oligoqueto ha sido reportado para sitios muy enriquecidos con materia orgánica

Phylum	Clase	Orden	Familia	Género
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	<i>Ablabesmia sp.</i>
				<i>Branchiura sp.</i>
				<i>Cladotanytarsus sp.</i>
				<i>Coelotanypus sp.</i>
				<i>Criptochironomus sp.</i>
				<i>Criptotendipes sp.</i>
				<i>Dicrotendipes sp.</i>
				<i>Fissimentum sp.</i>
				<i>Goeldichironomus sp.</i>
				<i>Labrundina sp.</i>
				<i>Lorsia sp.</i>
				<i>Microchironomus sp.</i>
				<i>Micropsectra sp.</i>
				<i>Parachironomus sp.</i>
				<i>Paracladophelma sp.</i>
				<i>Paratendipes sp.</i>
				<i>Polipedilum sp.</i>
				<i>Procladius sp.</i>
				<i>Stochironomus sp.</i>
			<i>Tanytus concavus</i>	
<i>Tanytus sp.</i>				
<i>Tanytarsus sp.</i>				
			Ceratopogonidae	<i>Allodomyia sp.</i>
			Tipulidae	<i>Probezzia sp.</i>
				<i>Limnophyla sp.</i>
				<i>Culicoides sp.</i>
			Chaoboridae	<i>Chaoborus sp.</i>
		Ephemeroptera	Caenidae	<i>Caenis sp.</i>
			Polymitarcidae	<i>Campsurus sp.</i>
			Leptophlebiidae	<i>Paraleptophlebia sp.</i>
		Coleoptera	Elmidae	<i>Microcylloepus sp.</i>
		Trombidiformes		<i>Hidracarina sp.</i>
Anellida	Arachnida			<i>Gni</i>
	Ostracoda			<i>Gni</i>
	Gastropoda			<i>Gni</i>
	Hirudinea		Glossiphoniidae	<i>Glossiphonia sp.</i>
				<i>Plabocobdella sp.</i>
		Oligochaeta		Tubificidae
				<i>Limnodrilus sp.</i>
			Naididae	<i>Nais sp.</i>
				<i>Pristina sp.</i>
Mollusca	Pelecipoda		Opistocystidae	<i>Opistocysta sp.</i>
Nematoda				<i>Gni</i>
				<i>Gni</i>

Tabla No. 3 Lista taxonómica de macroinvertebrados en los ríos Mayales, Acoyapa, Oyate y Tepenaguasapa.



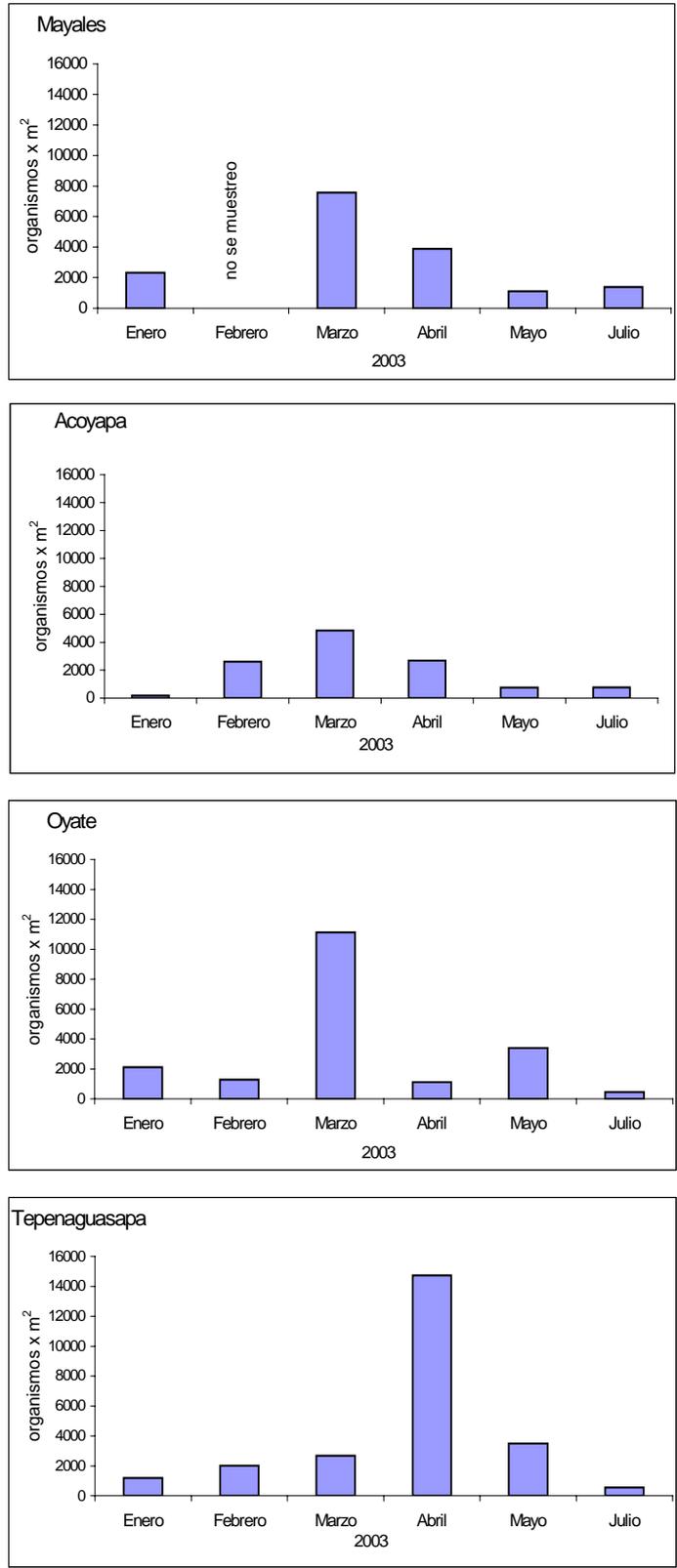


Fig. No. 5 Densidad poblacional de los macroinvertebrados

La clase Oligochaeta se caracteriza por vivir en aguas eutrofizadas con grandes cantidades de detritus y escaso oxígeno. Esta clase contiene las Familias (Tubificidae y Naididae) capaces de sobrevivir en sistemas acuáticos altamente contaminados. En los últimos años, el estudio de los oligoquetos ha permitido la observación y análisis del ADN, estructuras moleculares y morfológicas, concluyendo que los naídidos estarían mejor ubicados como una subfamilia dentro de la Familia Tubificidae, ya que son muy similares, por lo que se consideran buenos indicadores de contaminación orgánica en los cuerpos de agua superficiales.

La comunidad béntica del río Acoyapa fue la más diversa. La Familia Chironomidae estuvo presente mayoritariamente en todos los meses de estudio, la abundancia relativa numérica de esta Familia en Enero fue del 75%, en Febrero alcanzó 31.38%, en Marzo 81.49%, abril 34.41%, Mayo 73.91% y Julio el 81.42%. Los géneros que mas aportaron a esta abundancia fueron *Polypedilum sp* y *Tanypus sp*.

Al igual que en el río Mayales la clase oligochaeta estuvo representada por el naídido: *Nais sp*. cuyo aporte a la abundancia relativa fue del 40.16% en el mes de Febrero y el tubificado *Limnodrilus sp.*, cuyo aporte fue de 26.6% en el mes de Enero y 48.98% en Abril. Sin embargo, no se debe obviar la importancia de los géneros menos representados como es el caso de *Chaoborus sp.*, perteneciente a la Familia Chaoboridae, el que ha sido reportado en otros estudios como un indicador de aguas contaminadas. A pesar de que la abundancia de este genero durante el estudio no fue muy alta su basta presencia nos podría indicar la escasez de oxigeno en el medio acuático. Pues Wetzel, 1981, asocia la presencia de este genero a aguas poco oxigenadas.

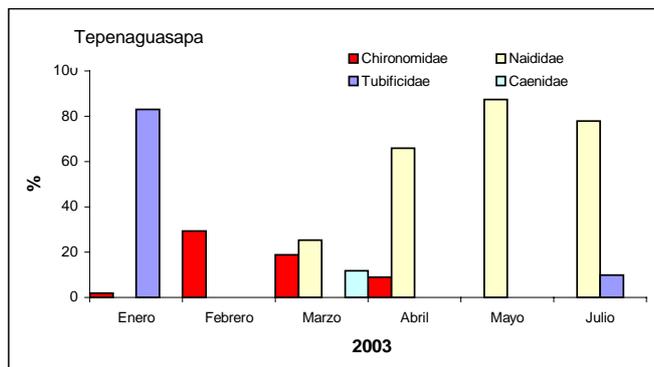
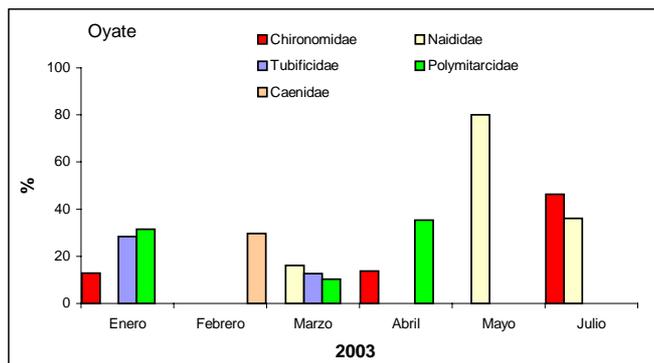
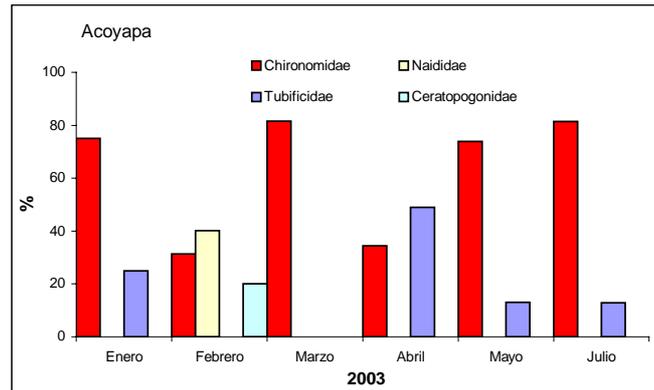
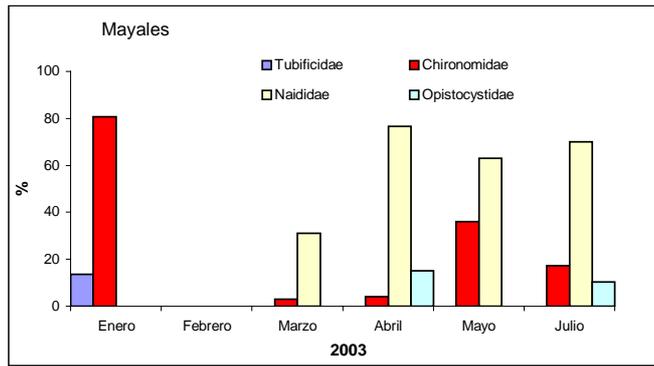


Fig No. 6 Abundancia relativa de las Familias dominantes de macroinvertebrados en los ríos Mayales, Acoyapa, Oyate y Tepenaguasapa.

La comunidad béntica del Río Oyate estuvo representada por la Familia Chironomidae, con los géneros *Coelotanypus sp*, *Polypedilum sp* y *Tanypus sp* ambos señalados como indicadores de contaminación orgánica en sistemas de agua dulce. Cabe destacar que los Chironomidae estuvieron presente mayoritariamente, solo en el mes de julio con un 46.34% de abundancia numérica.

Otro Orden encontrado y de gran importancia fue Ephemeroptera, siendo el género *Caenis sp* de la Familia Caenidae los más importantes debido al aporte que hicieron a la abundancia relativa en el mes de Febrero el que fue del 29.66%. Otro efemerópteros reportados en el estudio y considerado de importancia por su aporte fueron los de la Familia Polimytarcidae donde *Campsurus sp* aportó en Enero 31.44% con respecto al total del mes.

Para los anélidos la Familia de más importancia fue Naididae, donde el género *Nais sp*. aportó en marzo el 16.19% en términos de abundancia numérica relativa, la que continuó con una tendencia ascendente en Mayo hasta aportar el 80.06% a la abundancia relativa descendiendo numéricamente en julio con 36.58% y la Familia Tubificidae en el mes de Enero con 28.35% de abundancia relativa numérica.

El Phylum Nematodos también se hizo presente en este río aportando en Enero el 18.04 % y en Febrero el 37.28%. Los nemátodos son organismos dulceacuícolas que viven fundamentalmente en el estrato superficial del sedimento y de forma más abundante en aquellos ricos en materia orgánica. De acuerdo con muchos investigadores los nemátodos, pueden utilizarse como bioindicadores de las características físicas y químicas de las aguas y pueden ser muy útiles como indicadores de contaminación.

El río Tepenaguasapa, el cual nunca perdió su curso de agua lo representaron las Familias Tubificidae, Chironomidae, Naididae y el Phylum Nematodo.

La comunidad bentónica para el mes de Enero estuvo dominada numéricamente por la Familia Tubificidae cuyo aporte de abundancia relativa al total fue del 83.48% representado por el género *Limnodrilus sp.* En Febrero y Marzo esta familia es reemplazada por los Chironomidae alcanzando valores que varían entre 29.34% y 18.85% respectivamente.

Otra de las Familias presentes fue Naididae, para el mes de marzo con una abundancia relativa del 25.4%, aumentando en los meses de Abril y Mayo hasta alcanzar valores que variaron entre 65.97% y 87.46%, disminuyendo levemente en el mes de Julio con un 78%. Cabe destacar que el naídido ***Nais sp*** fue la taxa mas abundante numéricamente en este río. (Fig. No. 9).

También fue encontrado el phylum Nemátoda, el cual tuvo su representatividad en el mes de Febrero con un 45% y en Abril con 15% de abundancia relativa numérica.

### **10.3 Relación Orden Ephemeroptera y la Familia Chironomidae**

Dado que las poblaciones encontradas no contenían representantes de los ordenes Plecoptera y Tricoptera, no fue posible aplicar la relación EPT y Chironomidae, por lo tanto la comunidad se evaluó en cuanto a la presencia del Orden Ephemeroptera indicador de aguas limpias y la Familia Chironomidae resistentes de ambientes muy contaminados. (Fig. No. 6)

En el río Mayales se realizó la relación representativa de la Familia Chironomidae indicadora de contaminación en los cuerpos de agua superficiales y el orden Ephemeroptera indicadora de aguas limpias o de buena salud biológica, y se encontró que en este río, la Familia Chironomidae fue la más representativa, solamente en el mes de Enero, disminuyendo su representatividad en el resto de los meses.

Para el río Acoyapa al realizar la relación de la Familia Chironomidae con el orden Ephemeroptera, la Familia Chironomidae dominó en todos lo meses muestreados principalmente con los géneros *Paracladophelma sp.*, *Polipedium sp.* y *Tanytus sp.*

En el río Oyate la relación de la Familia Chironomidae y el Orden Ephemeroptera muestra que en este caso existen algunos representantes del segundo, disminuyendo el dominio de los chironomidos en todos los meses.

Para el río Tepenaguasapa La relación de la Familia Chironomidae y el Orden Ephemeroptera, muestra la presencia del segundo en el mes de febrero y marzo, pero en muy bajas densidades poblacionales, no siendo significativo en el resto de los meses.

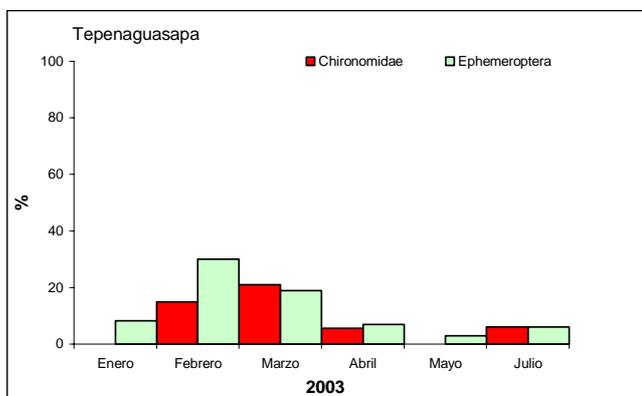
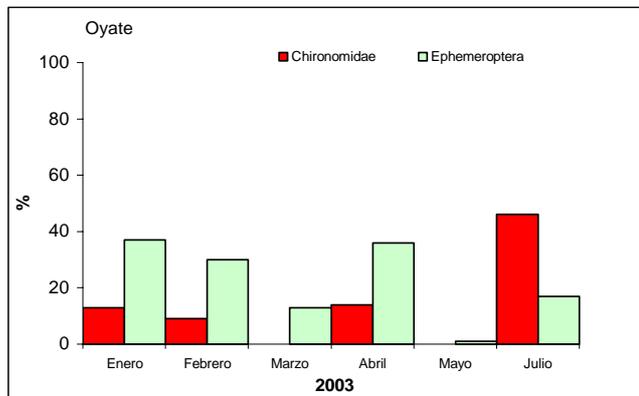
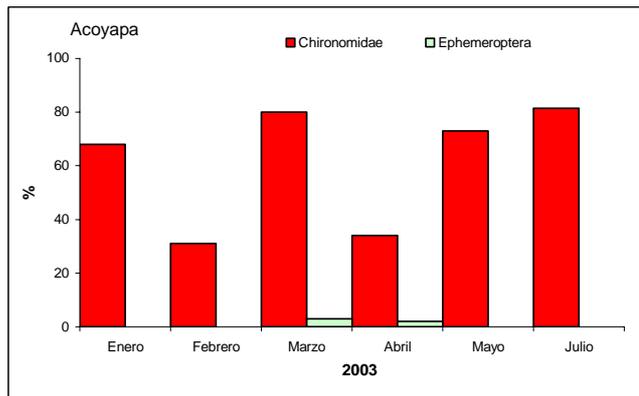
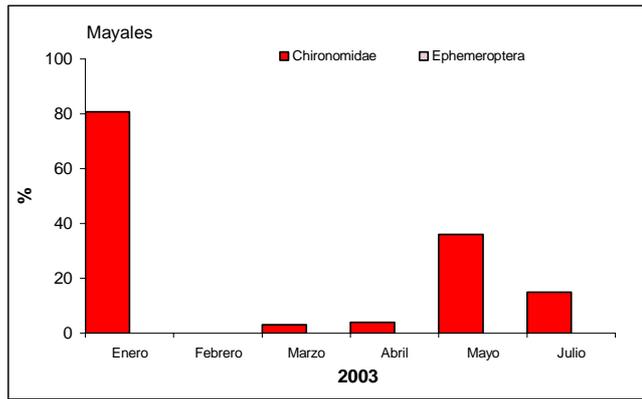


Fig. No. 7 Relación Orden Ephemeroptera y Familia Chironomidae

## **10.4 Calidad biológica del agua**

Se dice que los organismos indicadores son aquellas especies que tienen tolerancias ambientales específicas, por lo tanto la presencia del indicador funciona como un reflejo del ambiente en que se encuentra. Los organismos indicadores ideales son aquellos que tienen ciertas características dentro de las cuales las cantidades grandes de estos organismos es una de ellas, la cual ha sido utilizada para valorar la calidad biológica del agua de los sitios seleccionados en los ríos Mayales, Acoyapa, Oyate y Tepenaguasapa.

Basado en lo anterior y después de realizar un análisis de las familias dominantes y especies representantes de los ríos en estudio, así como la relación de la Familia Chironomidae y el Orden Ephemeroptera, se estimó la calidad biológica de los ríos en los sitios seleccionados a través de la aplicación del índice de diversidad de Shannon-Weaver (H) para el fitoplancton y el Índice Biótico de Familia, basado en el sistema de Hilsenhoff (1982) para los macroinvertebrados.

### **10.4.1 Fitoplancton**

En el río Mayales la mayor diversidad de especies se presentó en el mes de mayo con 24 taxa de las 41 presentes en todo el período de estudio.

En el río Acoyapa se reportaron 43 taxa, encontrándose la mayor diversidad de especies en marzo con 26 especies. En el río Oyate durante todo el período de estudio el total de individuos fue representado por 43 taxa y la mayor cantidad de especies fue en enero con 24 especies. En el río Tepenaguasapa se encontraron 35 taxa con su mayor representatividad en el mes de mayo con 18 especies.

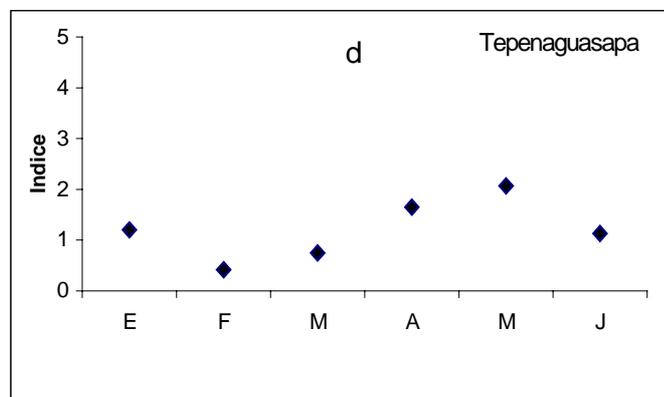
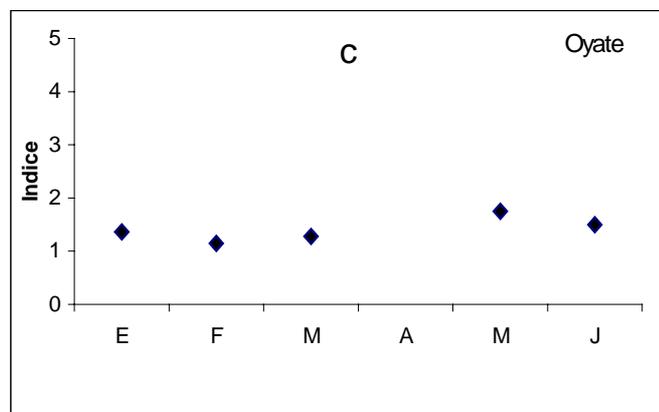
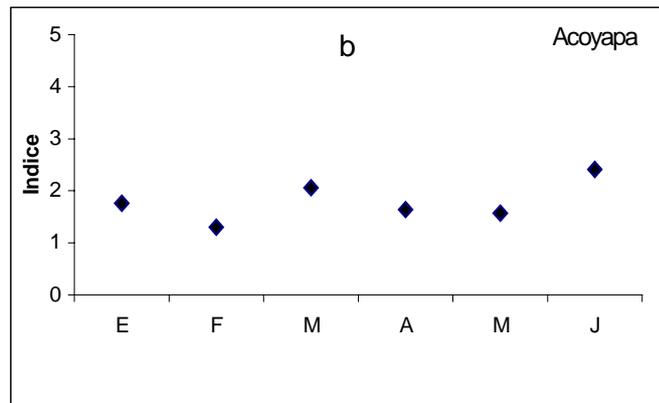
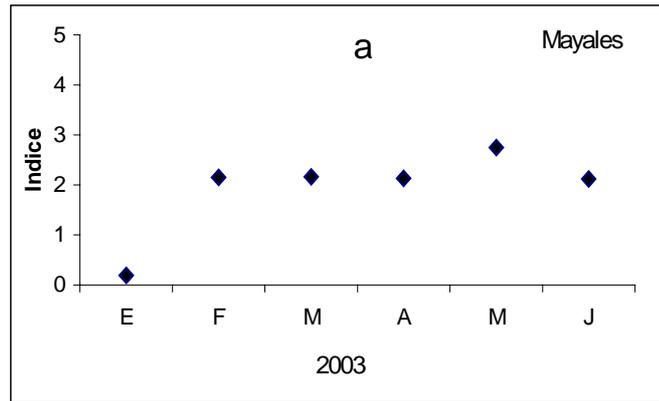


Fig. No. 8 Indice de diversidad de Shannon y Weaver para el fitoplancton

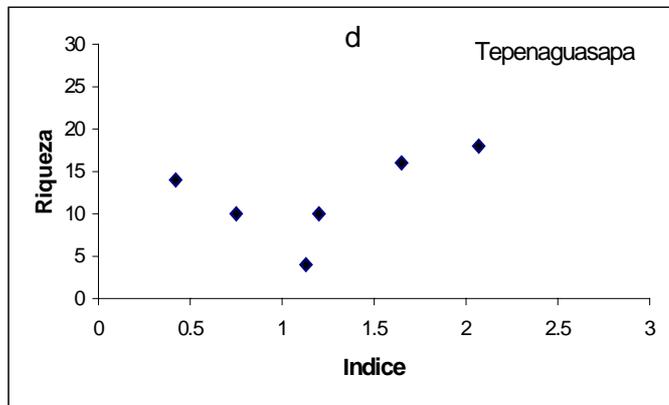
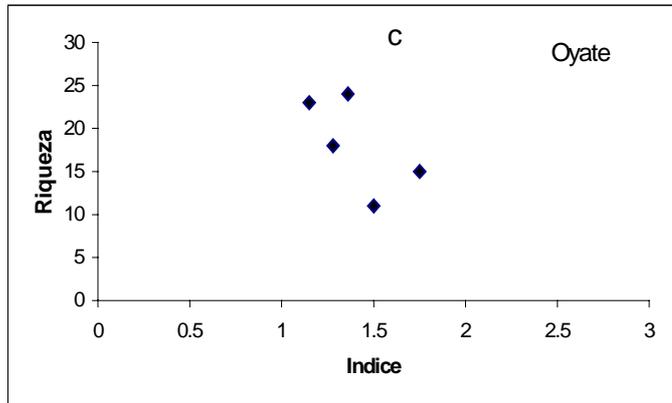
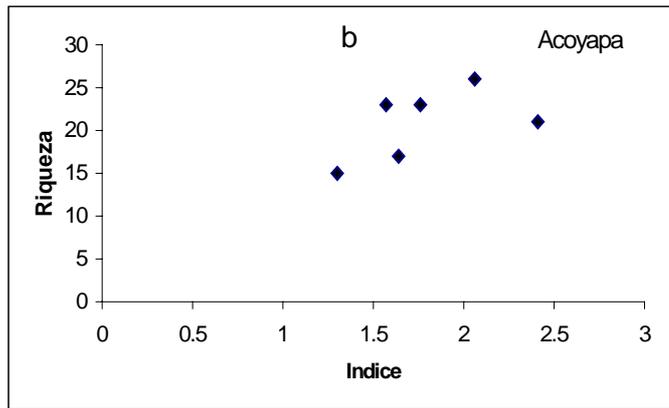
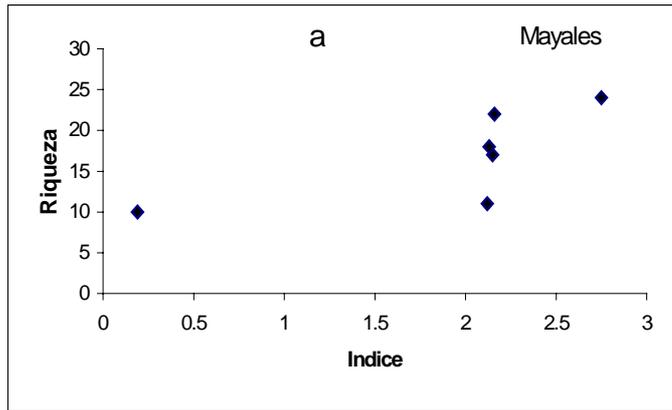


Fig. 9 Índice de diversidad versus riqueza de especies del fitoplancton

En la figura No. 7 se observan los valores obtenidos en la aplicación del índice de diversidad de Shannon-weaver para los cuatro ríos. Los valores para el río Mayales osciló entre 0.19 y 2.75: para el río Acoyapa estuvo entre 1.30 y 2.41; el río Oyate entre 1.15 y 1.75 y Tepenaguasapa entre 0.42 y 2.07. La riqueza de especies no fue mayor de 26 taxa.

Puede observarse que todos los valores obtenidos se encontraron entre 0 y 2.75, no superando el valor de 3. De igual manera se observa en la fig. No. 8 cuando se realizó la relación del índice con la riqueza de especies. Según Alba-Tercedor, J. & Sanchez Ortega, A. 1988, señalan que valores entre 1 y 3 son aguas ligeramente contaminadas y mayores que 3 indican aguas limpias.

#### **10.4.2 Macroinvertebrados**

El río Acoyapa fue el sitio de estudio mas diverso, se registraron 33 taxa en total. En los meses de Marzo y Abril se encontró el mayor numero de individuos totalizando 13 taxa para ambos meses. El río Oyate ocupó el segundo lugar en términos de diversidad ya que se lograron identificar 30 taxa alcanzando en Marzo el mayor número de géneros identificados 19 en total. En el río Tepenaguasapa la cantidad de taxa identificadas fue de 29, la representatividad se alcanzo en Marzo donde aparecieron un total de 18 géneros, no obstante el río Mayales fue el menos diverso ya que se lograron identificar únicamente 28 taxa, reportándose en Marzo el mayor numero de géneros identificados 13 en total.

Según el Índice Biótico de Familia (Fig. No. 10) y basado en los valores de tolerancia (Tabla No. 5), se muestra que para el río Mayales los valores fueron entre 7.3 y 7.62. Esto indica según el sistema de clasificación (Tabla No. 4) que la calidad del agua es relativamente mala o mala y su grado de contaminación es contaminación orgánica significativa o muy significativa.

Al aplicarse el índice biótico de Familia para el río Acoyapa, se encontró que los valores oscilaron entre 6.45 y 7.17, esto da una calidad de agua regular o relativamente mala y su grado de contaminación es contaminación orgánica ligeramente significativa ó significativa.

El río Oyate fue representado por otras Familias indicadoras de contaminación, provocando una baja representatividad de la relación Ephemeroptera y la Familia Chironomidae, sin embargo el índice biótico mostró valores entre 5.35 y 8.28, significando esto una calidad de agua entre regular a mala con su máximo valor en mayo, lo que muestra una contaminación orgánica muy significativa.

Tepenaguasapa se comportó igual al río Oyate y la aplicación del índice biótico mostró que los valores oscilaron entre 5.35 en marzo y 7.32 en abril, considerándose una calidad de agua entre regular a mala. Igualmente al río Acoyapa, este presentó un grado de contaminación muy significativa.

Indice Biótico	Calidad de agua	Grado de contaminación
0.00-3.50	Excelente	Ninguna contaminación orgánica aparente
3.51-4.50	Muy buena	Contaminación orgánica, leve y posible
4.51-5.50	Buena	Alguna contaminación orgánica
5.51-6.50	Regular	Contaminación orgánica ligeramente significativa
6.51-7.50	Relativamente mala	Contaminación orgánica significativa
7.51-8.50	mala	Contaminación orgánica muy significativa
8.51-10.00	muy mala	Contaminación orgánica severa

Tabla No. 4 nivel de contaminación

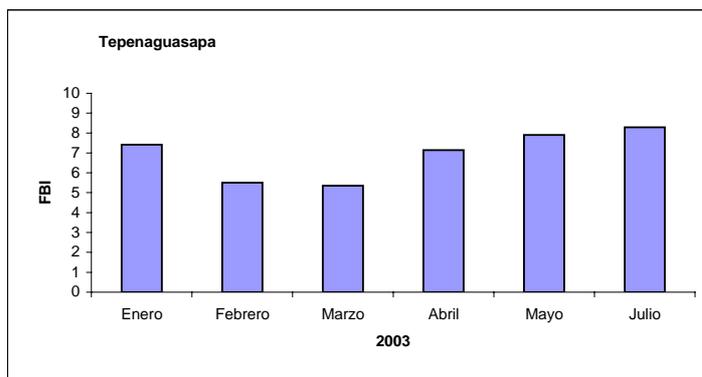
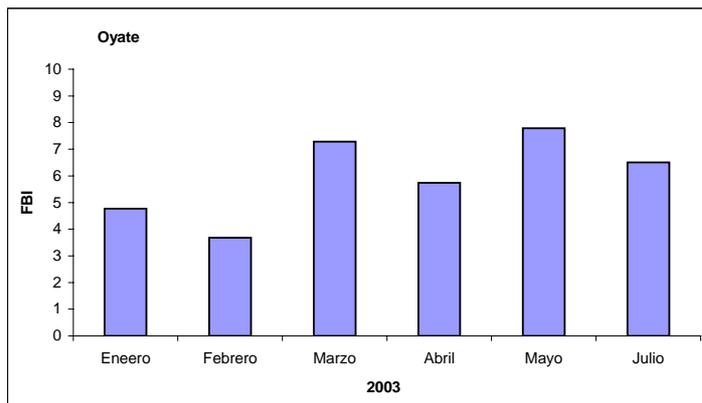
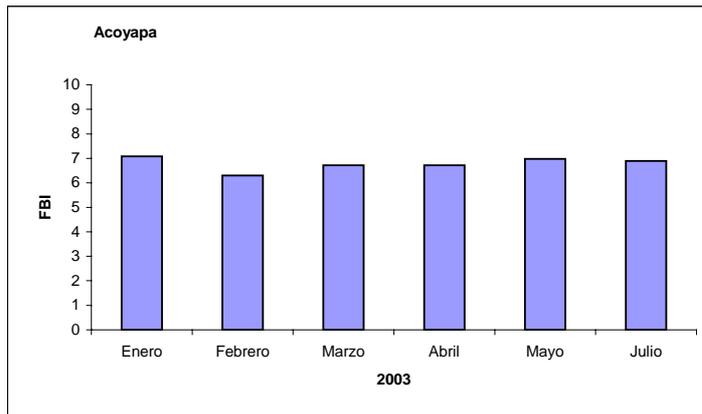
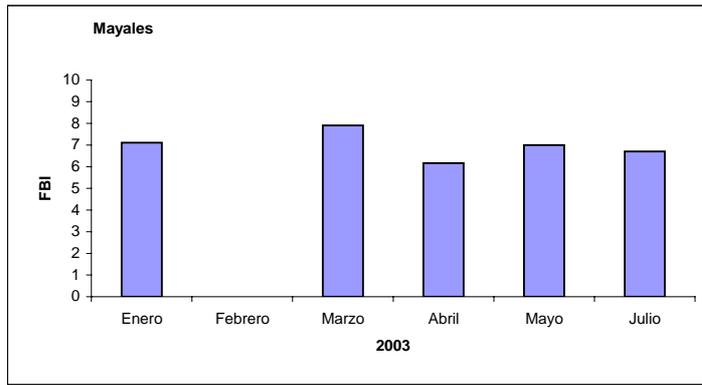


Fig. 10 Índice Biótico de Familia (FBI) para macroinvertebrados

Orden o Clase	Familia	Valor de Tolerancia	Orden o Clase	Familia	Valor de Tolerancia
Plecoptera	Gripopterygiidae	1	Megaloptera	Corydalidae	0
	Notonemouidae	0		Sialidae	4
	Perlidae	1	Lepidoptera	Pyrilidae	5
	Diamphipnoidea	0		Pltyhelminthes	Turbellaria
	Eustheniidae	0	Acari		4
	Austroperlidae	1	Decapoda		6
Ephemeroptera	Baetidae	4	Coleoptera	Elmidae	4
	Caenidae	7		Psephenidae	4
	Leptophlebiidae	2	Diptera	Athericidae	2
	Siphonuridae	7		Blephariceridae	0
	Oligoneuridae	2		Ceratopogonidae	6
	Amelitopsidae	2		Chironomidae	7
	Coloburiscidae	3		Empididae	6
	Oniscigastridae	3		Ephydriidae	6
Odonata	Aeshnidae	3		Psychodidae	10
	Calopterygidae	5		Simuliidae	6
	Gomphidae	1	Tipulidae	3	
	Lestidae	9	Amphipoda	Gammaridae	4
	Libellulidae	9		Hyalellidae	8
	Coenagrionidae	9	Mollusca	Amnicolidae	6
	Cordulidae	5		Lymnaeidae	6
	Petaluridae	5		Physidae	8
Tricoptera	Calamoceratidae	3		Sphaeriidae	8
	Glossosomatidae	0		Chiliniidae	6
	Helicopsychidae	3		Nemátodo	
	Hydropsychidae	4	Oligochaeta		8
	Hydroptilidae	4	Hirudinea		10
	Leptoceridae	4			
	Limnephilidae	2			
	Ecnomidae	3			
	Helicophidae	6			
	Polycentropodidae	3			
	Philopotamidae	2			
	Hydrobiosidae	0			
	Sericostomatidae	3			

Tabla No. 5 Lista de valores de tolerancia de macroinvertebrados utilizados en la determinación del Índice Biótico de Familia (IBF) (adaptado de Hauer & Lamberti 1996; Barbour et al., 1999).

## 11. DISCUSION

La zona de estudio presenta alteraciones en el ambiente debido a las múltiples actividades realizadas por la población, siendo la de mayor importancia la ganadería y la agricultura, lo cual ha tenido como consecuencia la contaminación de sus aguas superficiales como son los ríos más importantes que drenan al lago Cocibolca, entre ellos los incluidos en este trabajo.

Según el diagnóstico sobre la problemática de los plaguicidas en la cuenca del río San Juan, por el uso de agroquímicos utilizados sin control alguno ([http://www.ops.org.ni/Plaguicidas/Documentos/Diagnostico/rio\\_s\\_juan.doc](http://www.ops.org.ni/Plaguicidas/Documentos/Diagnostico/rio_s_juan.doc), y los resultados proporcionados por el CIRA/UNAN en el "*Estudio Binacional de Contaminación por Plaguicidas en el Río San Juan*" se concluye que esta es una de las causas principales de la contaminación de los ríos y deterioro del suelo. <http://www.ops.org.ni/Plaguicidas/Documentos/Diagnostico/chontales.doc>)

Las perturbaciones llevadas en las cuatro microcuencas tienen sus efectos y reflejos en las partes más bajas de los ríos, lugar donde se escogió para la elaboración del estudio, que nos permitiera obtener información sobre la calidad de agua que llega al lago Cocibolca.

El procesamiento de los datos obtenidos permitieron reflejar un diagnóstico de la calidad biológica del agua de los cuatro ríos en estudio, basado en la composición fitoplanctónica y los macroinvertebrados.

Los resultados muestran que en los ríos Mayales, Acoyapa, Oyate y Tepenaguasapa se presentaron mayoritariamente los tres grupos principales de fitoplancton en los cuerpos de agua nicaragüenses (Chlorophyta, Cyanophyta y Bacillariophyta). En menor proporción se encontraron otros grupos como fueron las Euglenophyta, Dinophyta, y Cryptophyta.

Según los criterios de calidad de agua en relación al fitoplancton se puede decir que la diversidad de especies es baja a moderada, siendo dominada por una especie del grupo de las Cyanophyta como fue *Cylindrospermopsis raciborskii*.

El río Mayales presentó dominancia principalmente por el grupo de las Cyanophyta con su mayor representatividad en enero con un 96.7% con el alga filamentosa *Cylindrospermopsis raciborskii*, posteriormente se presentaron especies de diferentes grupos con baja representatividad; y el grupo de las Chlorophyta en los tres últimos meses pero en bajas densidades por las diferentes especies presentes.

En esta cuenca, de los 1362.62 km<sup>2</sup> de área total, existe 1131.56 km<sup>2</sup> destinada a pasto. La actividad agrícola esta limitada a solo 43.91km<sup>2</sup> y un 35.66 km<sup>2</sup> a berbecho forestal. Si observamos los mapas de las microcuencas, encontraremos que las tierras están destinadas mayoritariamente a pastos.

En el río Acoyapa las Cyanphyta prevalecieron en casi todo el período de estudio, este grupo es considerado desarrollarse mejor en aguas muy contaminadas con materia orgánica. Esta cuenca igualmente tiene su mayor área destinada a la ganadería ( 643.74 km<sup>2</sup> de los 900.14 km<sup>2</sup> del área total).

El río Oyate igualmente presentó dominancia de las Cyanophyta en los meses de enero, febrero y abril. En este río con el inicio de las lluvias, las diatomeas fueron incorporadas del sedimento a la columna de agua. Puede observarse entonces que el grupo de las Cyanophyta prevaleció en todos los ríos de estudio, el cual es considerado indicador de aguas contaminadas.

En Tepenaguasapa las Cyanophyta prevalecieron en los tres primeros meses disminuyendo posteriormente hasta casi desaparecer en el mes de julio.

Los parámetros comunitarios de diversidad y riqueza, registraron sus máximos valores en Acoyapa en el mes de Marzo con 26 especies, Mayales obtuvo su máximo en Mayo con 24 especies, Oyate con 24 en el mes de Enero y Tepenaguasapa fue el sitio que menos especies obtuvo, siendo su máximo 18 en el mes de Mayo; altos valores de diversidad se relacionan directamente con un buen balance en las comunidades y en las condiciones del hábitat (Barbour *et. al.*, 1999), lo cual no es reflejado en las estimaciones de calidad ecológica encontrada, la cual varió de regular a relativamente mala.

Las poblaciones de fitoplancton son menos representativas como organismos sensitivos a los cambios ambientales, esto quizás por el menor tiempo de residencia en la columna de agua ya que son arrastradas por el flujo de las corrientes. Sin embargo la aplicación del índice de diversidad a la comunidad existente en cada punto muestreado nos da una idea de la calidad de agua que existe.

Hay que mencionar que un estudio de las algas bénticas o algas del perifiton son mejores indicadores de los cambios en un ecosistema, dado que estas son usualmente dominantes y contienen un alto número de especies que permiten aplicaciones numéricas y estadísticas en las evaluaciones de la calidad del agua.

Por otro lado y siempre tratando de buscar los métodos más apropiados para la evaluación de la calidad de las aguas, existe otro grupo de organismos que dan una buena referencia de las aguas, estos son los macroinvertebrados bénticos, los cuales han sido recomendados ampliamente.

En este estudio se encontraron 5 Phylum, 4 Ordenes y 12 Familias. La Familia más abundante correspondió a Chironomidae con 22 géneros. La clase Ostracoda fue muy representativa en los ríos Mayales, Oyate y Tepenaguasapa. La clase Oligochaeta fue la de mayor representatividad en todos los ríos.

Los macroinvertebrados poseen ciertas características por las cuales fueron seleccionados en este trabajo. Son generalmente abundantes, encontrándose en todos los sistemas acuáticos, prácticamente universales, son de naturaleza sedentaria con ciclos de vida largo, lo que permite un análisis en cuanto a las perturbaciones del medio en que viven ya que existe un patrón de estímulo – respuesta ante las alteraciones físico-químicas y además su empleo es sencillo de usar ya que son fáciles de recolectar y de bajos costos, además su análisis no requiere de materiales sofisticados, necesitándose al menos un estereoscopio y una persona con habilidades para identificarlos al nivel deseado.

La aplicación de índices bióticos para las comunidades de macroinvertebrados es muy amplia a nivel mundial, dando buenos resultados en cuanto a la evaluación de las aguas lénticas. A pesar que fue elaborado para aguas de climas templados, su uso en zonas tropicales a dado buenos resultados en los ríos tropicales. (Figueroa, R. 2003; Fenoglio, S. 2002).

El Índice Biótico de Familia es aplicado a muchos cuerpos de agua para evaluar la calidad de agua, su empleo en este estudio reflejó valores entre 5.31 y 7.66 para todos los sitios en estudio, lo que sugiere para todos los ríos aguas entre regular a mala calidad con un grado de contaminación orgánica ligeramente significativa a más significativa.

El Phylum Nemátoda fue encontrado en todos los ríos, pero mayoritariamente en el río Tepenaguasapa, sobre todo en el mes de julio donde el arrastre de sedimento por las lluvias creó un buen habitat para su desarrollo. Los nemátodos son organismos que prefieren y se desarrollan bien en sedimentos ricos en materia orgánica. Por lo tanto es considerado que pueden utilizarse como bioindicadores de las características ambientales de las aguas, siendo muy útiles como indicadores de contaminación.

Dado que en las muestras tomadas no se encontraron organismos representantes de cuerpos de agua limpia, Tricóptera y Plecóptera no se pudo realizar El índice EPT por lo que se decidió realizar una relación del orden Ephemeroptera ubicado como un indicador de aguas limpias a pesar que sus requerimientos de oxígeno disuelto son moderados, existen muchas especies altamente susceptibles a la contaminación del agua; y la Familia Chironomidae indicador de aguas muy contaminadas y muy representada en este estudio por diversas especies. (Swarthout, R. F. & C. O'Reilly. 2005)

La relación muestra un dominio de la Familia Chironomidae especialmente en Mayales y Acoyapa con el género *Chironomus sp.*, considerado en la literatura que este prefiere aguas muy contaminadas (Figueroa, R. 2003) y solamente en el río Oyate y Tepenaguasapa, el Orden Ephemeroptera tuvo cierta representatividad, lo cual nos indica que las aguas no son de buena calidad.

Es muy probable que en estos ríos se pueda trabajar solamente con la Familia Chironomidae para evidenciar si un sitio se encuentra alterado o no, sin embargo se debe realizar un estudio más detallado de esta Familia para evidenciar si todos los pertenecientes a este nivel taxonómico tienen distintos o iguales valores sensitivos y poder tomar la Familia completa como indicadora de una calidad específica.

## 12. CONCLUSIONES

- El análisis del fitoplancton refleja una dominancia del grupo de las Cyanophyta en los ríos Mayales, Acoyapa, Oyate y Tepenaguasapa principalmente con la representación de la especie *Cylindrospermopsis raciborskii*.
- Dentro del grupo de los macroinvertebrados las Familias Chironomidae con los géneros *Polypedilum sp* y *Tanypus sp* y la Familia Naididae con el género *Nais sp.*, fueron las más representativas de los cuatro ríos en estudio, significando esto, condiciones óptimas para el desarrollo de estas dos familias. Ambas familias son consideradas de ambientes con alto enriquecimiento orgánico y escasas concentraciones de oxígeno.
- La Familia Tubificidae se encontró dominando en el río Tepenaguasapa en el mes de enero. Siendo esta, otra de las Familias reportadas para aguas severamente contaminadas.
- La aplicación del índice de diversidad de Shannon y Weaver muestra valores menores de 2.75, señalando que las aguas se pueden calificar como aguas ligeramente contaminadas.
- El índice Biótico de Familia aplicado para los macroinvertebrados mostró un rango de valores entre 5.35 y 8.28 significando una calidad de agua entre regular y mala, con un grado de contaminación entre contaminación ligeramente significativa y contaminación orgánica muy significativa.

### **13. RECOMENDACIONES**

- Dada la problemática de erosión existente en el área, llevar a cabo una evaluación biológica de cada uno de los ríos en estudio abarcando desde la parte superior de la cuenca hasta la parte más baja, para obtener el grado de deterioro que existe en los ríos a lo largo de su recorrido.
- Considerando que los organismos algales nos permiten evaluar la calidad biológica de las aguas, sería importante que en estudios posteriores se incluya un análisis del perifiton (diatomeas del bentos) de los ríos.
- Realizar un estudio integral de la calidad biológica entre los diferentes ríos que drenan al lago Cocibolca.
- En vista que solamente existe una evaluación ambiental de toda la cuenca, es necesario realizar un diagnóstico ambiental de cada una de las microcuencas que drenan al lago Cocibolca.
- Posterior al diagnóstico ambiental de las microcuencas, se debe implementar un plan de monitoreo en los principales ríos que drenan al lago Cocibolca, utilizando criterios biológicos.

## **14. BIBLIOGRAFIA**

- Alba -Tercedor, 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA) Almeria. Vol. II. 203-213
- Alba-Tercedor, J. & Sanchez Ortega, A. 1988. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basada en el de Hellawell (1978). *Limnética*, 4:51-56.
- APHA, 1992. Standard Methods for the Examination of water and wastewater 20<sup>th</sup> edition.
- Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder, and J.B. Stribling. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.
- Bode, R. W., M.A. Novak, L.A. Abele. 1996. Quality assurance work plan for biological streammonitoring in New York State. NYS Department of Environmental Protection; Division of Water; Bureau of Monitoring and Assessment; Stream Biomonitoring Unit; Albany, NY.
- CIRA-UNAN, 2002. Diagnostico General del Estado Actual de la Subcuenca del Lago Cocibolca: Río Tepenaguasapa. Informe técnico.
- Carrerra, y F. Karol. 2001. Manual de Monitoreo. Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Ecociencia. Quito.
- Fenoglio, S. Guido, B. And Bona, F. 2002. Benthic macroinvertebrate communities as indicators of river environment quality: an experience in Nicaragua. *Rev. Biol. Trop.* 50(3/4) 1125-1131.

CIRA-UNAN, 2003. Estudio Básico Monitoreo Hidrometeorológico y de la calidad del agua en la cuenca del río San Juan. Centro para la Investigación en los Recursos Acuáticos. Informe Técnico.

Figueroa, R. et al. 2003. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. Revista Chilena de Historia Natural vol. 76: 275-285

Goldman, P.L., Hauta, M.A., O'Donnell, S.E., Andrews, and R. van der Heiden, (Editors). Proceedings of the 5th Workshop/Conference of the Association for Biology Laboratory Education (ABLE), 115 pag.

Hilsenhoff, W. L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic Index. The North American Benthological Society 87) 1: 65-68.

J. David, Allan. 1995. Stream Ecology. Structure and function of running waters.

Jennifer R. Cox-Lillis. 2000. Evaluation of Biological Data, Guanella Pass Area, Odear Creek and Park Counties, Colorado, Water Year 1995. -97

Kiffney, M. P. & H. W. Clements. Ecological Effects of Metals on Benthic Invertebrates en Simon, P. T. 2002. Biological Response signatures Indicator Patterns Using Aquatic Communities.

Lydy, M. J., A. J. Strong and P. Thomas 2000. Development of an Index of Biotic Integrity for the Little Arkansas Rivers Basin, Kansas, Archives of Environmental Contamination and Toxicology 39, 523-530.

López carrillo, E. et al. Sin fecha. La marca de calidad río vivo. Herramienta de valoración económica en su entorno cercano.

Margalef, R. 1983. Limnología. Omega, Barcelona. 1010 p.

Mandaville S. M. 2002. Benthic Macroinvertebrates in Freshwaters- Taxa Tolerance Values, Metrics, and Protocols

Ministerio de Relaciones Exteriores (DANIDA). Plan de Acción de los Recursos Hídricos de Nicaragua. Evaluación Rápida de los Recursos Hídricos

Pérez-López , F. J. y F. M. Sola-Fernández.1996: DIVERS: Programa para el cálculo de los índices de diversidad: [programa informático en línea] disponible desde Internet en: <http://perso.wanado.es/jp-1/descargo.s.htm>

Roldan, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia, Uso del método BMWP/col. Primera edición. 169 pag.

Sneijs, P. Diatoms and environmental change in brackish waters en The diatoms: Applications for the Environmental and Herat Sciences. 1999.

Stevenson R. J. & P. Yangdong. Assessing environmental conditions in rivers and streams with diatoms en The Diatoms: Applications for the Environmental and Herat Sciences. 1999.

Stoermer, F. E. & P. J. Smol. en. The diatoms: Applications for the Environmental and Herat Sciences. 1999. en Simon, P. T. 2002. Biological Response signatures Indicator Patterns Using Aquatic Communities.

Simon, P. T. 2002. Biological Response signatures Indicator Patterns. Using Aquatic Communities.

Swarthout R. F. & C. O'Reilly. 2005. Impact of deforestation on benthic macroinvertebrate communities in tributaries of Lake Tanganyika, East Africa. By and Catherine [www.geo.arizona.edu/nyanza/swarthout.pdf](http://www.geo.arizona.edu/nyanza/swarthout.pdf)

Wang, L. Y. L. John. En Thomas, P. 2002. Fish and Benthic Macroinvertebrate Assemblages as Indicators of Stream Degradation in Urbanizing Watersheds

Zimmerman, M. C. 1993. The use of the biotic index as an indication of water quality. Pages 85-98, *in* Tested studies for laboratory teaching, Volume 5 (C.A.

Análisis de Diagnóstico Transfronterizo

<http://www.oas.org/sanjuan/spanish/documentos/adt/informacion.html>

<http://www.kywater.org/watch/ALGAE.HTM>

[http://www.ops.org.ni/Plaguicidas/Documentos/Diagnostico/rio\\_s\\_juan.doc](http://www.ops.org.ni/Plaguicidas/Documentos/Diagnostico/rio_s_juan.doc)

<http://www.ops.org.ni/Plaguicidas/Documentos/Diagnostico/chontales.doc>

<http://64.233.161.104/search?q=cache:v6t8LEpzVwJ:www.geo.arizona.edu/nyanza/Swarthout.pdf+Impact+of+deforestation+on+benthic&hl=es&gl=ni&ct=clnk&cd=1>