



FORMULACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA ESTANDARIZADA PARA DETERMINAR LA CALIDAD AMBIENTAL DE LAS AGUAS DE LOS RÍOS DE EL SALVADOR, UTILIZANDO INSECTOS ACUÁTICOS



Proyecto financiado por el fondo FEMCIDI de la Organización de los Estados Americanos (OEA), por medio de su Secretaria Ejecutiva para el Desarrollo Integral de la Agencia Interamericana para la Cooperación y el Desarrollo (SEDI/AICD).

Consideraciones generales para el estudio y monitoreo de diatomeas en los principales ríos de El Salvador

Autores

Andrés Wilfredo Rivas Flores
Ricardo Ernesto Gómez Orellana
Ana Jeannette Monterrosa Urías

Editores

José Miguel Sermeño Chicas
Monika Springer



Ciudad Universitaria, San Salvador, marzo de 2010



Como citar este documento:

Rivas Flores, A.W., Gómez Orellana, R. E. & A.J. Monterrosa Urías. 2010. Consideraciones generales para el estudio y monitoreo de diatomeas en los principales ríos de El Salvador. *En*: Sermeño Chicas, J.M. & M. Springer (eds.). Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES) - Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador. 48 pág.

Contacto:

Si desea obtener más información sobre el proyecto y sus resultados, puede contactar al Ing. José Miguel Sermeño Chicas de la Universidad de El Salvador: jmsermeno@yahoo.com

Nota aclaratoria:

Las fotografías utilizadas en el documento son propiedad de cada autor (señalado en la imagen o en la leyenda de la misma) y se necesitará del permiso del autor para su utilización para otros fines.

Primera edición, 2010

<http://www.ues.edu.sv/>

595.76

R618c Rivas Flores, Andrés Wilfredo

Consideraciones generales para el estudio y monitoreo de diatomeas en los principales ríos de El Salvador / Andrés Wilfredo Rivas Flores, Ricardo Ernesto Gómez Orellana, Ana Jeannette Monterrosa Urías ; ed. , José Miguel Sermeño Chicas, Mónica Springer. -- 1a. Ed. San Salvador, El Salv. : Editorial Universitaria (UES), 2010.

48 p. : il. col. ; 22 cm.

ISBN 978-99923-27-56-2

BINA 1. Algas. 2. Contaminación de ríos, lagos, etc.--El Salvador. 3. Agua--Aspectos ambientales--El Salvador--Guías. I. Gómez Orellana, Ricardo Ernesto. II. Título.

ISBN 978-99923-27-56-2



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

**Rufino Antonio Quezada Sánchez, Ing. Agr. M.Sc.
Rector**

**Miguel Angel Pérez, Arq.
Vice-rector Académico**

**Oscar Noe Navarrete, MAE
Vice-rector Administrativo**

**Reynaldo Adalberto López Landaverde, Dr. Ing. Agr.
Decano, Facultad de Ciencias Agronómicas**

**Mario Antonio Orellana Núñez, Ing. Agr. M. Sc.
Vice Decano, Facultad de Ciencias Agronómicas**

**Luis Fernando Castaneda Romero, Ing. Agr. M. Sc.
Secretario, Facultad de Ciencias Agronómicas**

**José Miguel Sermeño Chicas, Ing. Agr. M. Sc.
Coordinador General Proyecto OEA-UES Insectos Acuáticos**



INDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	5
II.	GENERALIDADES DE LAS DIATOMEAS.....	6
III.	USO DE ORGANISMOS COMO INDICADORES BIOLÓGICOS DE CALIDAD DEL AGUA.....	10
IV.	DIATOMEAS PARA DETERMINAR CALIDAD DEL AGUA EN RÍOS.....	12
V.	ÍNDICES BASADOS EN LA COMUNIDAD DE DIATOMEAS.....	13
VI.	ASPECTOS ECOLÓGICOS DE LAS DIATOMEAS.....	16
VII.	GUÍA METODOLÓGICA PARA EL MUESTREO DE DIATOMEAS.....	17
VIII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
IX.	MICROFOTOGRAFÍAS DE LOS GÉNEROS DE DIATOMEAS ENCONTRADOS EN RÍOS DE EL SALVADOR.....	38
X.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
XI.	BIBLIOGRAFÍA.....	45
XII.	AGRADECIMIENTOS.....	46



Consideraciones generales para el estudio y monitoreo de diatomeas en los principales ríos de El Salvador

Andrés Wilfredo Rivas Flores¹
Ricardo Ernesto Gómez Orellana²
Ana Jeannette Monterrosa Urías³

I. INTRODUCCION

Las diatomeas son un grupo de algas de la clase Bacillariophyceae y se relacionan filogenéticamente con la clase Chrysophyceae, pueden encontrarse flotando libremente en el agua (plancton) o adheridas al sustrato sólido sumergido (perifitón). Constituyen uno de los principales grupos taxonómicos en los sistemas acuáticos, de tal manera que en ríos suponen alrededor del 80-90% de la comunidad de microorganismos bentónicos. Las diatomeas han sido utilizadas de diversas maneras, ya sea como insecticida o como fertilizantes naturales, actualmente se les buscan nuevas aplicaciones en diferentes campos de la ciencia y tecnología.

En términos medioambientales, las diatomeas responden de manera rápida y característica a diferentes cambios, lo que permite ser utilizadas como bioindicadoras para determinar la calidad ecológica del agua. Son capaces de dar información válida, hasta los 60 días después de haber ocurrido un evento que altere las condiciones del medio. La característica de “almacenar el historial del medio” ha llevado a la creación y utilización de diferentes índices para determinar la calidad ecológica del agua, de esta manera las diferentes especies de diatomeas propias de determinadas zonas, se han evaluado para determinar su tolerancia a diferentes grados de polución y saprobiidad.

Países como Francia y España tienen sus índices oficializados los cuáles se basan en el análisis de las especies de diatomeas encontradas. Estos índices juntamente con la utilización de macroinvertebrados bentónicos constituyen el mejor ejemplo de la utilización de organismos bioindicadores para cualificar ecológicamente los ríos. Los índices sin embargo, no pueden utilizarse de manera indiscriminada para cualquier país, estos deben de adaptarse o reformularse para las condiciones ecológicas específicas.

En El Salvador ha realizado algunos esfuerzo puntuales por conocer la dinámica de esta comunidad algal, siendo el más reciente el del proyecto “Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos” en el que incluyeron análisis físico-químicos y

¹ Profesor de Fitopatología y Microbiología, Departamento de Protección Vegetal, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador

² Departamento de Protección Vegetal, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador

³ Dirección General de Patrimonio Natural, Gerencia de Vida Silvestre, Ministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente, El Salvador



microbiológicos del agua en los ríos muestreados; como parte de este último análisis se contabilizó la carga bacteriana de coliformes fecales y se tomaron muestras de agua para el registro de las poblaciones de diatomeas. Las muestras se colectaron mediante la técnica de cepillado del perifitón, el cual se esperaba estuviera adherido a piedras en el lecho del río.

El presente documento incluye antecedentes bibliográficos de esta comunidad acuática, aspectos de su fisiología y morfología, se incluyen aspectos descriptivos a cerca del uso de las especies de diatomeas como indicadores biológicos del estado de salud ambiental de los cuerpos de agua.

Se ha incluido una breve guía de los aspectos medioambientales, consideraciones del muestreo, del manejo de las muestras en el laboratorio y recomendaciones a cerca del registro de las microfotografías de los géneros de diatomeas. Esta guía pretende dejar una inquietud para realizar trabajos más completos en el tema, los cuáles puedan llevar a una mejor comprensión de estos microorganismos y su utilización como bioindicadoras de calidad ecológica del agua de ríos en El Salvador.

II. GENERALIDADES DE LAS DIATOMEAS

Las diatomeas son organismos acuáticos, ampliamente distribuidos en cuerpos de agua en todo el mundo. Actualmente, se conocen unas 10,000 especies que se encuentran adaptadas a diferentes rangos ecológicos, razón por la cual se pueden utilizar para determinar el estado de fuentes de agua (Alegre, et al., 2004). Poseen la capacidad de depurar el medio ambiente acuático, por lo cual se encuentran en ríos sin polución con muchas especies y bajo número de individuos y ríos polucionados con bajo número de especies.

Las diatomeas son organismos unicelulares, eucariotas y autótrofos. Se reproducen de forma asexual por bipartición y sexual por meiosis presentando oogamia o anisogamia. Poseen cloroplastos, clorofila A y C, betacaroteno y fucoxantina. Debido a su gran capacidad fotosintética se consideran como productores primarios. La membrana celular se compone de pectina y sílice lo que las hace resistente a ácidos y bases fuertes. Tienen una pared celular silíceo conocida como frústulo, cuya morfología se utiliza para la identificación. Cada frústulo se compone de dos tecas, y cada teca de una parte plana llamada valva y una pieza lateral llamada pieza conectiva o banda.

Los principales caracteres para la identificación y clasificación de las diatomeas, se refieren a la morfología y ornamentación del frústulo (Figura 1). El frústulo es una cubierta silíceo formada por dos tecas que envuelven a la célula. De acuerdo a su simetría se pueden diferenciar en dos Ordenes: 1) Bibdulphiales o Centrales con simetría axial, circulares, carecen de rafe, son inmóviles y se reproducen sexualmente por oogamia, 2) Bacillariales o Pennales, poseen simetría bilateral, valvas alargadas, son móviles y la reproducción sexual se da por anisogamia. En diatomeas pennadas se forma una línea llamada rafe el cual puede



estar dentro de un surco o quilla. Pueden tener rafe en dos valvas y se conocen como birráfidas, rafe en una valva monorráfidas y sin rafe arráfidas. Las diatomeas no pennadas poseen un área clara llamada pseudorrafe. Un aspecto muy importante es la simetría y perfil (Figura 2).

En diatomeas de simetría bilateral o pennales, cada teca está marcada longitudinalmente por uno o dos surcos o rafe, este puede estar dividido en dos partes por una hendidura central llamada estigma. Perpendicularmente al rafe se disponen numerosas estrías, formadas por varios poros o areolas (Alegre, et al., 2004).

Las diatomeas de aguas continentales pueden utilizarse para estudios aplicados que requieran de determinaciones taxonómicas precisas que permitan llevar a cabo análisis ecológicos, medioambientales, paleoclimáticos y forenses (Díaz y Maidana, 2005).

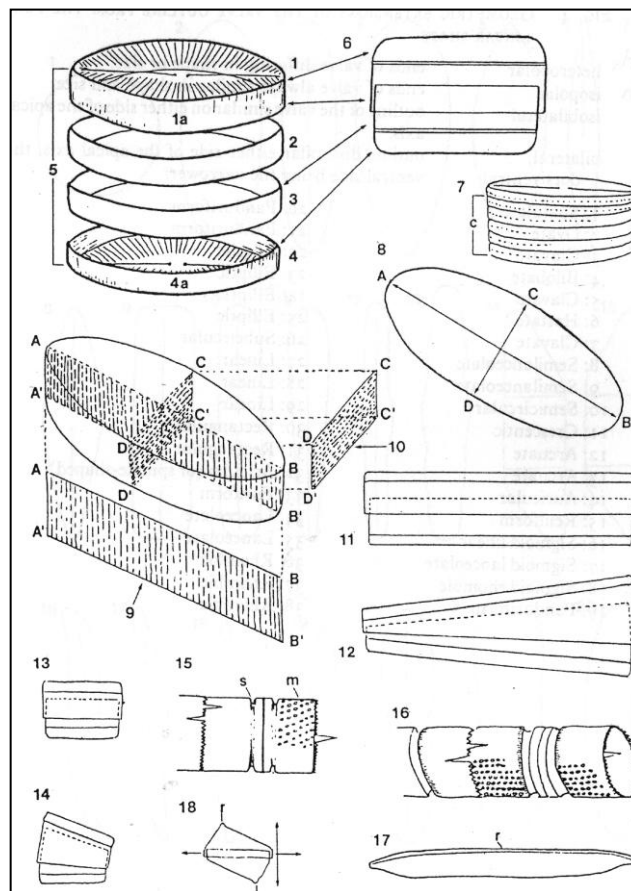


Figura 1. Morfología de Diatomeas: estructuras de un frústulo.
(Fuente: Barber y Haworth, 1981)



1-5: Componentes básicos.

El frústulo de una diatomea está compuesto básicamente de cuatro partes (Fig. 12). Se asemeja a una caja.

1: Superficie de la epivalva (parte superior de la caja);

1a: Banda de la epivalva (pleura o banda conectiva);

2: Epicíngulo: (compuesto de una o más bandas) que se traslapa en el hipocíngulo y se juntan a la epivalva para formar la epiteca o teca superior;

3: Hipocíngulo: compuesto de una o más bandas que se juntan a la hipovalva para formar la hipoteca o teca inferior;

4: Hipovalva: parte basal de la caja;

4a: Banda de la hipovalva (pleura o banda conectiva)

5: Epiteca e Hipoteca juntas constituyen la frústula.

6: Frústula completa, mostrando el traslape del cíngulo.

7: Teca con cíngulo compuesta de algunas bandas punteadas.

8-10: Planos de la frústula.

8: Superficie valvar, AB = eje apical, CD = eje transapical
ABCD = plano valvar

9: AA'BB' = plano apical

10: CC'DD' = plano transapical

11-16: Cíngulo, cara lateral o de las bandas

11: Frústulo isopolar en plano apical

12: Frústulo heteropolar en plano apical

13: Frústulo isopolar en plano transapical

14: Frústulo heteropolar en plano transapical

15, 16: Vista de las bandas laterales de **Melosira** mostrando el sulcus (s) y manto

17: Vista de la valva de **Nitzschia**, con rafe (r) a lo largo de un lado

18: Vista transapical de un frústulo de **Nitzschia** mostrando heteropolaridad de la epivalva e hipovalva.



Morfología del contorno de las diatomeas y su perfil.

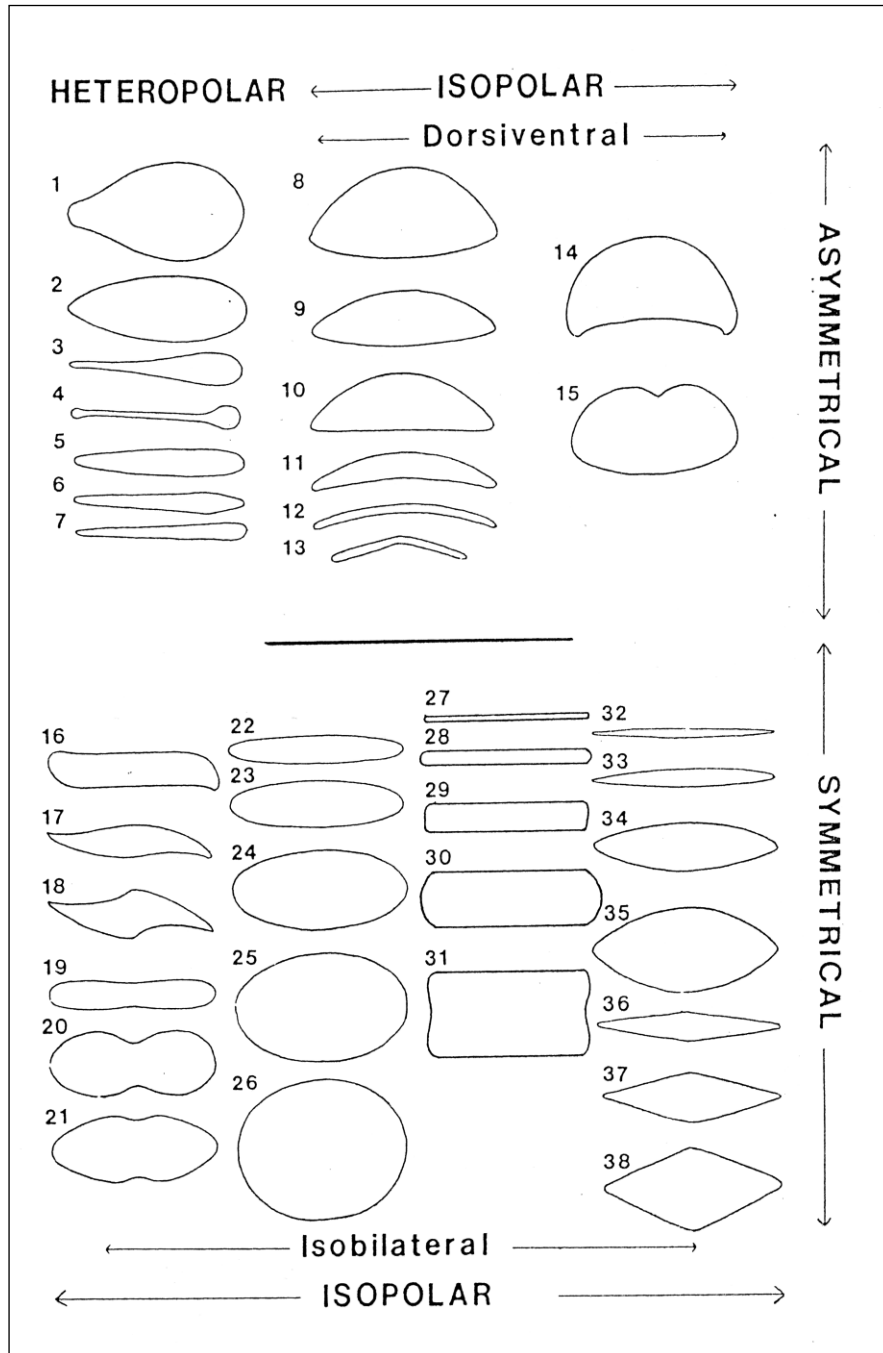


Figura 2. Forma del contorno y perfil de diatomeas (Fuente: Barber y Haworth, 1981).



A continuación se describe las características particulares del perfil de las diatomeas

Heteropolar: extremo de la valva diferente en forma o tamaño
 Isopolar: extremo de las valvas siempre similares en forma y tamaño
 Isobilateral: contorno de valva similar sobre cada lado del eje apical
 Bilateral: contorno diferente a cada lado del eje apical
 Dorsiventral: el lado ventral presenta una depresión.

- | | |
|---------------------------|------------------|
| 1: espatulado | 20: panduriforme |
| 2: ovado | 21: panduriforme |
| 3: clavado | 22: elíptico |
| 4: bilobado | 23: elíptico |
| 5: clavado | 24: elíptico |
| 6: astado | 25: elíptico |
| 7: clavado | 26: subcircular |
| 8: semilanceolado | 27: lineal |
| 9: semilanceolado | 28: lineal |
| 10: semicircular | 29: lineal |
| 11: creciente (medialuna) | 30: rectangular |
| 12: arqueado | 31: rectangular |
| 13: arqueado | 32: acicular |
| 14: auricular | 33: fusiforme |
| 15: reniforme | 34: lanceolado |
| 16: sigmoide lineal | 35: lanceolado |
| 17: sigmoide lanceolado | 36: rómbico |
| 18: sigmoide rómbico | 37: rómbico |
| 19: panduriforme | 38: rómbico |

III. USO DE ORGANISMOS COMO INDICADORES BIOLÓGICOS DE CALIDAD DEL AGUA EN RÍOS

“Un bioindicador es un organismo vivo que puede ser desde un microbio, un insecto o un pez, hasta una planta o alga, que nos permite cuantificar y calificar el nivel y evolución de la contaminación presente en un sistema acuático determinando en virtud de su sensibilidad diferencial a diversas sustancias tóxicas” (Sánchez-Vélez y García-Núñez, 1999).

Los índices biológicos o bioindicadores para definir calidad del agua de ríos es una metodología que se ha venido utilizando recientemente en diferentes lugares del mundo. Hasta la década de los 60-70 la utilización de los análisis químicos era la norma para determinar la calidad del agua, en la mayoría de trabajos de este tipo, sin embargo, no reflejaban cambios en las condiciones naturales de los ríos cuando eran afectados por situaciones muy particulares. Posteriormente a los análisis químicos, en la década de los 60 se utilizaron los índices de diversidad como medida de perturbaciones ambientales, estos



perdieron importancia debido a que no reflejaban claramente la relación causa efecto de diferentes tipos de contaminación, ni las relaciones entre los diferentes grupos taxonómicos de una comunidad (Washington, 1984 citado por de la Lanza *et al.*, 2000). Ante tal situación se retoma el uso de bioindicadores para comprender el impacto de la contaminación en las comunidades acuáticas naturales. Las diferentes comunidades de organismos acuáticos se desarrollan en un rango determinado de características físico-químicas y ecológicas, ante cuyas perturbaciones se dan fenómenos de respuesta que pueden ser monitoreados a través de diferentes medios. Estos índices además integran los conceptos de saprobidad y de diversidad, pero con la ventaja de tomar en cuenta la composición y adaptabilidad de los organismos a perturbaciones ambientales, lo cual los vuelve muy útiles para evaluar presencia o ausencia de uno o varios individuos como medida de perturbación o contaminación a medir.

En 1908 Kolwitz y Marson (de la Lanza *et al.*, 2000), construyeron un sistema de clasificación de aguas basándose en organismos indicadores, los cuáles se estratificaron en diversas categorías introduciendo el término saprobidad como medida de contaminación orgánica en el agua. La saprobidad es menor en poca contaminación y mayor saprobidad indica un alto grado de contaminación orgánica. El esquema sapróbico divide el río en varias zonas: a) cataróica de aguas muy limpias; b) oligosapróbica de aguas poco contaminadas; c) β -mesosapróbica de aguas medianamente contaminadas; d) α - mesosapróbica de aguas muy contaminadas y e) polisapróbica de aguas fuertemente contaminadas (Roldán 2003). El uso de este sistema aún tiene vigencia, a tal punto que se emplea en países de Europa Central y Oriental, Dinamarca basa en él su clasificación de aguas promulgada en la ley de protección de ambiental de 1973 (Cairns y Pratt, 1993).

Entre los organismos que pueden ser empleados como indicadores tenemos bacterias, protozoarios, algas (fitoplancton), macroinvertebrados (insectos, moluscos, anélidos, poliquetos, crustáceos, nematodos), macrofitas y peces (Chapman, 1994). Para un estudio de calidad de aguas utilizando bioindicadores se pueden utilizar uno, varios o todos los organismos anteriormente mencionados, cada grupo tiene sus ventajas y desventajas, por lo tanto, para cada estudio en particular deberá tenerse en cuenta las necesidades y recursos para el trabajo con uno o varios de ellos.

La selección de un bioindicador se enfoca en el tipo de contaminación y en el impacto hacia ella, la que es capaz de manifestar en determinado momento como historia de las actividades humanas o perturbaciones naturales del medio.

Los bioindicadores pueden considerarse como un complemento a los análisis físico-químicos y microbiológicos para determinar la calidad del agua. Es muy importante también tomar en cuenta los objetivos para los cuáles se están utilizando bioindicadores, los podrían ser la determinación de calidad ecológica de aguas o calidad del agua con fines de uso humano (consumo o riego).



Según Cairns y Dickson (1971) los bioindicadores presentan los siguientes beneficios:

- a) Los datos biológicos son fácilmente accesibles como los químicos y físicos,
- b) la información puede expresarse numéricamente,
- c) existen conceptos biológicos que propiamente aplicados, proveen información mejor que otros descriptores para cierto tipo de contaminación,
- d) la colección y evaluación de información biológica puede realizarse por grupos industriales u otros ajenos a la biología.

Patrick (1949), propone la utilización de siete grupos taxonómicos para construir su historial de calidad del agua (Cuadro 1).

Cuadro 1: Grupos taxonómicos propuestos por Patrick.

Categoría taxonómica	Organismos
1	Algas azules y rotíferos aplanados
2	Oligoquetos
3	Protozoarios
4	Diatomeas y algas verdes
5	Todos los rotíferos no aplanados, además de almejas, caracoles y gusanos
6	Todos los insectos y crustáceos
7	Todos los peces

Fuente: G. de la Lanza Espino *et al.*, 2000.

Cairns (1977), elogia este tipo de bioindicadores como la mejor selección en la cuantificación de los aspectos estructurales de la integridad biológica del agua (de la Lanza *et al.*, 2000).

IV. DIATOMEAS PARA DETERMINAR CALIDAD DEL AGUA EN RIOS

Los organismos fitobentónicos son organismos autótrofos (fotosintéticos) que viven asociados a cualquier sustrato del fondo en los ecosistemas acuáticos, e incluye cianobacterias, algas microscópicas, macroalgas y macrófitos. Asociados al fitobentos dentro del perifitón y del grupo de las microalgas bentónicas, están las diatomeas que suelen constituir el 80-90% de la comunidad del perifitón.

El uso de diatomeas está generalizado en el estudio de los ríos y existen procedimientos de muestreo, análisis y métricas ya estandarizadas. Diferentes estudios demuestran que las comunidades de diatomeas integran los cambios de calidad del agua de unos 60 días anteriores, por lo que reflejarían la calidad de los dos meses anteriores a la fecha de muestreo (de Bikuña y Fraile, 2008).



Las diatomeas son un grupo de algas de la clase Bacillariophyceae, que junto con otras conforman las algas bénticas o fitobentos y que viven sobre el fondo o asociadas a cualquier tipo de sustrato. Las diatomeas se caracterizan por ser cosmopolitas y constituyen el grupo más diverso de microalgas bentónicas. Las diatomeas forman parte del plancton cuando flotan libremente en el agua, benton cuando se adhieren al sustrato y perifiton cuando están en sustrato sólido sumergido (de Bikuña y Fraile, 2008).

Las diatomeas son muy sensibles a la eutrofización, a la contaminación orgánica y mineral. La estimación de índices basados en diatomeas es muy fiable para rangos de contaminación bajos, donde los otros métodos son menos fiables. Las diatomeas reaccionan de manera muy rápida a las modificaciones de la calidad del agua y pueden detectar la contaminación generada de manera discontinua.

Las diatomeas son organismos muy útiles porque tienen una gran diversidad florística (solo en aguas dulces se conocen alrededor de 10,000 especies). Presentan muy bajo costo estudiarlas, además de que el muestreo es simple y rápido. Son altamente sensibles, otorgan información asociada a la cantidad de material orgánico, pH, alcalinidad, tipo de sustrato, etc. La sensibilidad o tolerancia de ciertas diatomeas a la eutrofización ha dado lugar a crear varios indicadores de calidad del agua (Alegre *et al.*, 2004).

V. INDICES BASADOS EN LA COMUNIDAD DE DIATOMEAS

1. Índice Biológico Diatómico (IBD)

El IBD es un índice estandarizado de diatomeas (Norma AFNOR NF. T 90-354) y ha sido utilizado mucho en Francia, en donde sirve para clasificar ecológicamente los ríos en regiones hidrográficas con características muy precisas (Prygiel, 2002).

Se puede utilizar para todos los ecosistemas de agua dulce, ya que las diatomeas colonizan diversos hábitats y tipos de sustrato. Para el cálculo del IBD se necesitan muestras pequeñas, sin embargo, la identificación de taxones necesita de una buena experiencia por parte del técnico que lo realice.

Una desventaja para que las diatomeas se utilicen ampliamente como bioindicadoras es su dificultad para la clasificación (Alegre *et al.*, 2004).

1.1. Ventajas del uso del IBD

1. las diatomeas son organismos sensibles a la eutrofización, a la polución orgánica y mineral, lo que las hace muy fiables para rangos de contaminación bajos, los cuales no sería fácil de estimar por otros métodos. Además, los índices diatómicos están basados en datos cuantitativos y la estimación es más acertada y más sensible que los métodos estrictamente cualitativos.



2. La comunidad de diatomeas reaccionan de manera muy rápida a las modificaciones de la calidad del agua y pueden detectar las poluciones producidas de una manera discontinua. Son indicadores de calidad a corto plazo porque las poblaciones de diatomeas se reconstituyen rápidamente después de la desaparición de la contaminación.
3. La estructura de las distintas poblaciones de diatomeas está determinada por las características químicas del agua, independientemente de las características morfodinámicas.

De manera general el IBD toma valores de abundancia relativa referentes a cada taxón. Los taxones corresponden a grupos dentro de calidades de aguas determinadas y se representan por un taxón tipo, otro dato importante es el valor ecológico del taxón. Estos datos se han generado de estudios previos de la comunidad de diatomeas, los cuales no están disponibles en muchos países. Actualmente son utilizados en las normas francesas y españolas, para determinar la calidad ecológica de los ríos.

Los valores tomados por el IBD y la clasificación que generan se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2: Valores tomados por el IBD.

Valor	Significado
IBD > 17	calidad excelente
16 > IBD > 13	calidad buena
12 > IBD > 9	pasable
8 > IBD > 5	mediocre
IBD < 4	mala calidad

2. Índice Diatómico General (IDG)

El IDG es un índice bastante complejo en cuanto a los datos requeridos, se basa en respuestas a diferentes grados de polución, a la adaptabilidad ecológica de los individuos y a su abundancia en el medio muestreado. Así, de esta manera los datos refieren a sensibilidad, amplitud ecológica y abundancia. De esta manera el IDG se presenta en rangos de 1-5 para estimar la calidad de aguas.

Según el índice la clasificación de la calidad del agua se presenta en el cuadro 3.



Cuadro 3: Clasificación de la calidad del agua.

Valor	Significado
IDG > 4.5	Calidad biológica óptima
4 < IDG < 4.5	Calidad normal. Polución débil
3.5 < IDG < 4	Polución moderada. Eutrofización
3 < IDG < 3.5	Polución media. Eutrofización acentuada
2 < IDG < 3	Desaparición de especies sensibles. Polución fuerte
1 < IDG < 2	Polución muy fuerte
IDG = 0	La población es considerada inexistente (polución tóxica). Por debajo de 10 individuos por mm²

En algunos países europeos los bioindicadores se han venido utilizando desde hace algunos años, a tal punto que forman parte de las normativas ambientales, por ejemplo la Comunidad Autónoma del País Vasco, en sus planes hidrológicos de demarcación del Cantábrico y del Ebro, tienen la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y el Consejo del 23 de octubre de 2000. Esta normativa refiere al estudio de “macrófitos y fitobentos”, enfocándose sobre todo en diatomeas, por constituir entre el 80-90% de estos organismos. España utiliza como métrica nacional el índice IPS (Índice de Sensibilidad a la Polución). Portugal utiliza el IPS y el índice CEE (Descy y Coste, 1990) y Francia el IBD AFNOR NF T 90 354, 2000). Es de destacar que los índices más utilizados son el IPS y el IBD.

El IPS se calcula sobre la base de medias ponderadas de sensibilidad a la contaminación, valor indicador de contaminación y abundancia relativa de la especie. La primera versión contaba con 263 especies y taxones infraespecíficos y proponía una valoración de 1 a 20 de calidad ambiental creciente. Actualmente incluye 2500 taxones (incluyendo los sinónimos).

El índice IBD homologado en Francia, forma parte de un sistema de evaluación más amplio de cursos de agua. Este índice fue desarrollado con el objetivo de contar en el país con una metodología que se había usado con éxito en la cuenca del Río Sena, y las Agencias del Agua del Ródano-Mediterráneo-Córcega y Artois- Picardie.

El IPS y el IBD permiten evaluar la calidad biológica de un punto y poder controlar su evolución temporal, para ambos se utiliza la base de datos del programa OMNIDIA.

El uso de índices es muy importante para determinar la calidad de las aguas, sin embargo los datos a utilizar en cada región deben de ser adaptados a través de diferentes estudios que nos lleven a conocer los organismos tipo asociados a situaciones particulares de contaminación. En El Salvador, aún no se dispone de metodologías validadas que permitan incorporar bioindicadores a estudios de calidad de aguas, se hace por métodos físico-químicos y microbiológicos, basados en coliformes.



VI. ASPECTOS ECOLÓGICOS DE LAS DIATOMEAS

La abundancia y composición del fitobentos está regulada por factores hidrológicos, físicos y químicos (Hynes, 1970).

La presencia de algas es fuertemente dependiente del tamaño y estabilidad del sustrato béntico (Peterson, 1996). Las pérdidas de biomasa de algas ocurren en espacios dependientes en parte, por la predisposición del sustrato a ser movilizadopor las corrientes. En trabajos de Douglas (1958), citado por Peterson (1996), menciona que la población de diatomeas depende de la fijación a sustratos determinados.

Genter (1996), menciona que químicos inorgánicos influyen la tasa de crecimiento celular, el desarrollo, y abundancia de la población de algas, la cual se refleja en cambios en la abundancia relativa de las comunidades.

Quiróz y Rondón (2004), mencionan que la poca mineralización de los ríos influye en el bajo número de especies presentes y que la velocidad de la corriente influye sobre la composición y abundancia de las diatomeas. La velocidad se relaciona directamente con el tamaño, fijación, crecimiento y estabilidad física de la comunidad de diatomeas. La estructura de las comunidades está determinada principalmente por las variables físicas (32.3%) y químicas (56.4%) con respecto a las hidrológicas (11.3%). El pH fue una de las variables físicas más importantes y dentro de las químicas, el fósforo reactivo soluble influyó sobre la composición. Dentro de las variables químicas, el fósforo reactivo soluble (PRS) influyó sobre la composición de diatomeas, cuando registró valores altos.

Las diatomeas son uno de los grupos más documentados en relación al pH, Planas (1996), cita que muchos autores han reportado la existencia de especies ácido-tolerantes y se han utilizado ampliamente en Paleolimnología para determinar procesos pasados de acidificación en lagos y estanques. Especies de diatomeas alcalifílicas o alcalibiontes, desaparecen o evitan colonizar sustratos en ambientes ácidos. Hustedt (1939), citado por Planas (1996), menciona que la presencia de taxas de diatomeas está fuertemente correlacionada con el pH. Las diatomeas pueden ser clasificadas de acuerdo a su relación con el pH: acidobiotos (óptimo pH < 5.5), acidofílicas (óptimo pH < 7.0), circumneutrales o indiferentes (pH alrededor de 7.0), alcalifílicas (rango de distribución > 7.0), y alcalibiontes (sólo presentes a pH > 7.0).

Las diatomeas presentan una gran heterogeneidad espacial y temporal, representada por la composición y producción de biomasa, la cual responde a factores ambientales tales como: velocidad de corriente, temperatura, tipo de sustrato, concentración de nutrientes, conductividad y pH (Ramírez C., y Plata Díaz, 2007).

Giddings *et al.*, (1983), citado por Hoagland *et al.*, 1996, describe en un ensayo con algas sobre la fracción hidrosoluble de hulla derivada de petróleo, que la diatomea ***Nitzschia palea*** es una de las más sensitivas.



VII. GUIA METODOLOGÍA PARA EL MUESTREO DE DIATOMEAS

1. Preparativos del muestreo.

Antes de la salida al campo, es necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Planificar el recorrido de tal manera que los recursos disponibles tanto económicos, humanos, físicos, logísticos y otros, sean aprovechados de la mejor manera. La salida al campo, debe planificarse con anticipación para hacer todos los preparativos necesarios pertinentes y debe tomarse en cuenta las rutas de acceso al lugar de muestreo, el tiempo climático, etc.
2. Es necesario elaborar una hoja de campo tipo formulario con el propósito de anotar toda la información posible del lugar de muestreo (Protocolo de campo), como por ejemplo: información ambiental como estado del tiempo, características particulares del río, tipo de vegetación asociada, etc., información geográfica como posicionamiento global (Figura 3), nombre del lugar, altura sobre el nivel del mar, etc. información social como utilización del agua del río, etc.



Figura 3. Equipo GPS utilizado para georeferenciar los puntos de muestreo.

2. Equipo utilizado en el muestreo de diatomeas y observación en laboratorio.

Antes del muestreo de diatomeas, es necesario preparar algunos instrumentos de trabajo como cepillo dental, guantes de hule, botas de hule, botes plásticos, viñetas o etiquetas, bandeja plástica, etc. (Figura 4).



Figura 4. Equipo utilizado para el muestreo de diatomeas y observación en laboratorio: a) Microscopio compuesto, b) Bote pequeño plástico con tapón de rosca (50-100 cc de capacidad), c) Guantes de látex, d) Gotero plástico, e) Cepillo duro dental, f) Libreta de apuntes y lápiz, g) Etiquetas de papel vegetal, h) Láminas portaobjetos y láminas cubreobjetos, i) Guantes de hule, j) Botas de hule, k) Bandeja plástica l) Rotulador de tinta permanente.

3. Selección de puntos de muestreo.

Situados en el lugar de muestreo, tomar en cuenta un tramo aproximado de 50 m. a lo largo del río y dentro del cual se seleccionará 6 puntos distribuidos equidistantemente.

Para la selección del tramo del río a muestrear se debe considerar algunos aspectos como:

1. Que los puntos a muestrear no se encuentren bajo mucha sombra sino por el contrario se encuentren soleados, con el propósito que las piedras a muestrear en ese punto se encuentren comunidades maduras de diatomeas.
2. Que en el tramo seleccionado no se ubiquen puntos de muestreo por debajo de puentes u otras infraestructuras similares ya que esto proporciona sombra y no favorece el desarrollo de comunidades de diatomeas en dicho punto (Figura 5).



Figura 5. El tramo de los ríos seleccionados debe cumplir características como: estar bajo sol y no presentar infraestructuras como puentes.

3. Que el tramo del río presente uniformidad en cuanto a su caudal de corriente, velocidad de la corriente, profundidad del cauce, etc.
4. Que las piedras de los puntos a muestrear no se encuentren muy cercanamente a la orilla, ya que se busca evitar la posibilidad de que las piedras tomadas en dicho punto sufran periodos alternos de sequías y humedad debido a posibles irregularidades del río en cuanto a altas y bajas en su volumen de agua.
5. Evitar determinar puntos en zonas con escasa corriente como pozas, charcos o remansos, ya que la poca movilización del agua favorece la deposición de limos y de detritos, lo que complica y limita la colonización de las diatomeas. Tampoco se debe determinar puntos en zonas con excesiva corriente (Figura 6).



Figura 6. Evitar seleccionar puntos de muestreo en zonas del río con estancamientos de agua o zonas con excesiva corriente.

6. Que el tramo seleccionado del río, disponga de piedras mas o menos de igual tamaño para que el muestreo en los 6 puntos resulte lo mas homogéneamente posible.



4. Procedimiento de muestreo.

1. Para iniciar con la toma de muestra, se debe comenzar primeramente ubicando el último de los 6 puntos aguas abajo para proceder punto por punto en dirección contracorriente con el propósito de minimizar efectos de contaminación de las muestras una vez muestreados consecutivamente en cada punto.
2. Es importante señalar que las piedras muestreadas en los 6 puntos, deben ser seleccionadas bajo el criterio de tener igual tamaño aproximado entre ellas, sin embargo, generalmente se toman piedras medianas de mas o menos 12 cm. de longitud y que estén completamente sumergidas en el agua (Figura 7).

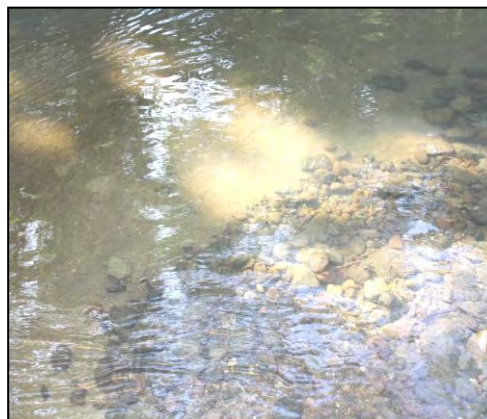


Figura 7. Se debe tomar piedras de los puntos de muestreo que se encuentren completamente sumergidas en el río.

3. En cada punto coleccionar 4 piedras de igual tamaño. Si la piedra está con cierto recubrimiento de detritos o sedimentos orgánicos, se debe proceder a limpiarla cuidadosamente para evitar que la muestra se contamine y porque las comunidades de diatomeas que se desarrollan en estos sustratos no son muy representativas. Además, se debe evitar tomar piedras con recubrimiento de otras algas más que el propio formado por las diatomeas, ya que éste recubrimiento puede alterar el desarrollo de las comunidades de diatomeas (Figura 8).



Figura 8. Momentos en que se recolectan las piedras durante el muestreo.

4. Luego con la ayuda de una bandeja plástica, colocar las piedras y allí mismo, una por una, proceder a cepillarlas con la ayuda de un cepillo dental. El cepillado hacerlo en toda la parte superior de las piedras que es el principal lugar de crecimiento de las diatomeas. La parte inferior de las mismas se debe evitar cepillarlas ya que esta parte no se encuentra en contacto directo con el agua y la luz y es un lugar de alojamiento de sedimentos y materia orgánica (Figura 9).
- 5.



Figura 9. Cepillado de piedras.

6. De lo obtenido del cepillado de las 4 piedras en cada punto, recoger con poca cantidad de agua dentro de la misma bandeja y verterlo en un bote plástico con tapón de rosca. Terminado el muestreo en el primer punto, proceder a muestrear el segundo punto y repetir la misma técnica con las 4 piedras y el cepillado, hasta terminar los muestreos en los 6 puntos (Figura 10).



Figura 10. Momento de recolección de lo cepillado en bote plástico.

7. Terminado el muestreo en los 6 puntos, proceder a etiquetar el bote plástico para identificar la muestra. La etiqueta utilizada puede ser de papel vegetal y sobre ella, utilizando un rotulador permanente, escribir el nombre del río, Departamento, Municipio, cantón, caserío, fecha de muestreo, técnica de muestreo, coordenadas geográficas, etc. También se debe rotular el bote plástico con un marcador permanente por si la información del papel llegara a borrarse por accidente.
8. Cuando se termina con los muestreos en los 6 puntos, proceder a muestrear nuevamente los mismos 6 puntos, pero con distintas piedras y utilizando ya no la técnica de “cepillado” sino la técnica del “lavado”, que consiste en (como su nombre lo indica) en lavar manualmente las piedras. Lo recolectado en la bandeja por el lavado, depositarlo en otro recipiente plástico y rotularlo con viñeta igualmente como en el caso de la técnica anterior (Figura 11).

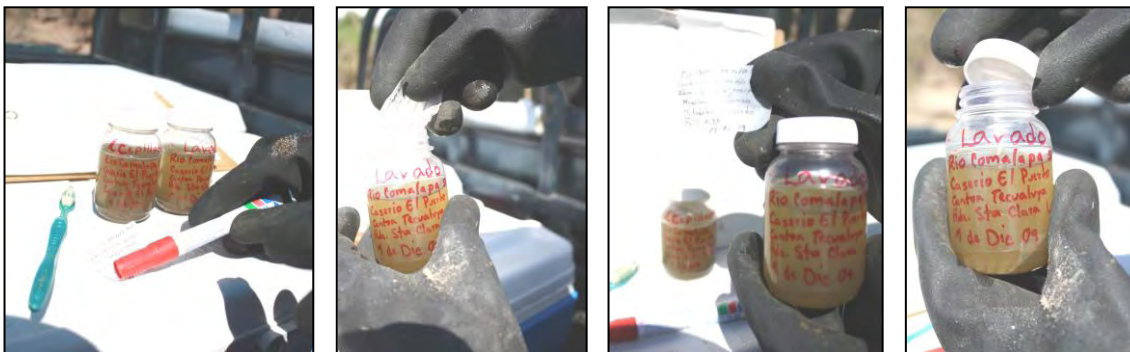


Figura 11. Etiquetado y rotulado de los botes plásticos con marcadores de tinta permanente.



9. Los 2 recipientes rotulados con las muestras, tanto el de la técnica del cepillado como el del lavado, se deben introducir en una hielera plástica para ser transportados hacia el laboratorio y a la vez ser protegidos por daños físicos y evitar también que entren en contacto con la luz solar.
10. Las muestras en el laboratorio deben guardarse en un refrigerador para preservarlas y evitar el crecimiento de otros microorganismos que pueden complicar el procesamiento de la muestra en la observación al microscopio compuesto (Figura 12).



Figura 12. Almacenamiento de las muestras en refrigerador para su preservación.

5. Procedimiento para la observación de las muestras en laboratorio.

- Tomar uno de los recipientes plásticos con muestra y de éste, utilizando un gotero plástico, depositar una pequeña cantidad de muestra en una lámina portaobjeto y cubrirlo con una lámina cubreobjeto. Esta se debe adecuar al microscopio compuesto y observarse con lente 40x. Las diatomeas pueden fotografiarse y hacerse anotaciones necesarias según sea el caso (Figura 13).



Figura 13. Observación de diatomeas en el microscopio y toma de microfotografías.



6. Preparación de muestras para la observación al microscopio

6.1. Lavado de muestras:

- ✓ Remover la muestra para homogenizarla y tomar una fracción, evitando los sedimentos de mayor tamaño.
- ✓ Colocar la alícuota en un tubo de ensayo con tapa y centrifugar por 3-5 min a 4000rpm.
- ✓ Extraer el líquido supernatante con una pipeta limpia y rotular.
- ✓ Agregar agua destilada y remover procurando que el sedimento se mezcle en su totalidad.
- ✓ Centrifugar y extraer el líquido supernatante, al menos dos veces más, hasta que la muestra se vea limpia.

6.2. Descalcificación de la muestra:

- ✓ Agregar al sedimento de la muestra una pequeña cantidad de HCl hasta observar reacción.
- ✓ Remover la muestra para que todo el sedimento entre en contacto con el ácido.
- ✓ Llevar a baño de María por 30min, con los tubos destapados y remover constantemente (tomar la debida precaución por escape de gases: gafas y guantes).
- ✓ Llenar el tubo con agua destilada y centrifugar de nuevo 3-5min a 4000rpm
- ✓ Extraer el líquido supernatante y realizar el lavado con agua destilada por 4 veces más, con el fin de eliminar los residuos de HCl.

6.3. Eliminación de materia orgánica:

- ✓ Agregar al sedimento de la muestra peróxido (H_2O_2) concentrado en la cantidad necesaria para observar reacción del sedimento.
- ✓ Remover la muestra para que reaccione todo el sedimento.
- ✓ Llevar a baño de María por 30min con los tubos destapados y removiendo constantemente.
- ✓ Llenar con agua destilada, centrifugar y extraer el líquido supernatante.
- ✓ Realizar el lavado de la muestra con agua destilada por 4 veces más hasta extraer los restos de peróxido.



6.4. Montaje de la muestra:

- ✓ Colocar a la muestra un poco de agua destilada, para evitar que se seque (3-4ml).
- ✓ Extraer con un gotero el agua superficial de la muestra la cual contiene las diatomeas.
- ✓ Colocar una gota y distribuirla en un cubreobjetos procurando dejar una lámina fina, dejar secar (se puede utilizar un horno a 60°C)
- ✓ Agregar a la muestra seca una gota de Permout (goma transparente) y dejar secar por 3-5 días.
- ✓ Observar al microscopio con lente de inmersión (100x).

6.5. Identificación taxonómica de las diatomeas

- ✓ Luego de haber realizado el montaje de la muestra se procede a la identificación de las especies que se encuentran habitando los sustratos (piedras) de los diferentes ríos.
- ✓ Se registra la procedencia y código de la muestra, su fecha de colecta y se conservan los datos de campo que se han registrado en cada evento.
- ✓ Se utilizan claves taxonómicas de las especies, procurando inicialmente entender el vocabulario taxonómico (el cual fue descrito brevemente en este documento), al que cada clave se refiere y se trata de identificar las diferentes ornamentaciones y particularidades de la valva o frustula de las diatomeas.
- ✓ Posteriormente a la determinación de géneros se realiza el listado de especies reportadas en cada sitio de colecta.
- ✓ Los datos son procesados según el nivel de análisis ecológico o biológico que utilizara en la investigación.

6.6. Ríos seleccionados para la investigación de Insectos acuáticos y Diatomeas

A continuación se presenta el cuadro resumen sobre los ecosistemas fluviales considerados en esta investigación (Cuadro 4).



Cuadro 4. Aguas superficiales muestreadas en El Salvador

Región Hidrográfica	Subcuenca	Río seleccionado para monitoreo
LEMPA	Subcuenca Río Lempa	Río Lempa
	Subcuenca Río San José	Río San José
	Subcuenca Río Sumpul	Río Sumpul
	Subcuenca Río Torola	Río Torola
		Río Talchiga
		Quebrada las Pilas
		Río Guaco
		Río Sapo
	Subcuenca Río Sucio	Río Talnique
		Río Sucio
	Subcuenca Río Suquiapa	Río Suquiapa
	Subcuenca Río Acelhuate	Río Matalapa
Río Acelhuate		
Subcuenca Río Titihuapa	Río Titihuapa	
Subcuenca Río Acahuapa	Río Acahuapa	
CARA SUCIA SAN PEDRO	Subcuenca Río Cara Sucia	Río Mashtapula
		Río Cara Sucia
GRANDE DE SONSONATE Y BANDERAS	Subcuenca Río Sensunapán	Río Sensunapán
MANDINGA COMALAPA	Subcuenca Río San Antonio	Río San Antonio
	Subcuenca Río Comalapa	Río Comalapa
JIBOA	Subcuenca Río Jiboa	Río Jiboa
GRANDE DE SAN MIGUEL	Subcuenca Río Grande de San Miguel	Río San Sebastián
		Río Grande de San Miguel



VIII. RESULTADOS Y DISCUSION

Durante los meses de Agosto a Noviembre de 2009, se realizaron los muestreos para determinar calidad ecológica de aguas usando macroinvertebrados, mediante el Índice Biótico a nivel de Familia (IBF-SV-2010), simultáneamente se hicieron los análisis físico-químicos y microbiológicos correspondientes para comparar los resultados. El muestreo microbiológico se realizó para coliformes y para identificar la comunidad de diatomeas presentes en los principales ríos de El Salvador.

En la figura 14, se presentan los puntos de muestreo. En cada punto se tomaron lecturas de campo y muestras de agua para su posterior análisis en laboratorio, así como la descripción física de los tramos de río evaluados. Los ríos muestreados comprendieron todas las zonas ecológicas del país así como diversidad en cuanto al grado de contaminación. Se tiene pues una muestra muy representativa de las diferentes zonas hidrográficas de El Salvador.

La toma de muestras para diatomeas se realizó mediante dos metodologías con muestras repetidas, la primera a través del cepillado de la superficie de piedras y otra por el lavado de piedras. Las muestras se llevaron al laboratorio y se revisaron al fresco con un microscopio compuesto. Se tuvo como principal limitante este recurso, ya que los lentes carecían de la magnitud apropiada para poder clasificar las diatomeas hasta especie.

Los datos físicos y químicos del agua de los ríos muestreados sirvieron para complementar los datos aportados por el análisis de macroinvertebrados bentónicos, para los cuáles se clasificó el estado ecológico con base en el INDICE BIOTICO A NIVE DE FAMILIAS (IBF-SV-2010), el cuál indicó que los ríos visitados se encuentran en un estado entre bueno y muy pobre. Muchos de los ríos en sus diferentes puntos de muestreo están sometidos a una gran contaminación como producto de las diferentes actividades humanas. Estas actividades involucran desde usarlos como basureros y vertederos de aguas servidas, así como la utilización para satisfacer las necesidades de limpieza humanas (bañarse, lavar ropa, lo cual conlleva el uso de detergentes) y labores agrícolas como el control de plagas y fertilizantes químico sintéticos.

Los resultados obtenidos con el IBF-SV-2010, se complementaron muy bien con los datos físico-químicos en cuanto a las especies y familias de macroinvertebrados observadas y sus antecedentes como indicadores de calidad del agua. En el caso de las diatomeas los resultados obtenidos indican que aquellos ríos clasificados como regulares mostraron un mayor número de géneros, esto se debe probablemente a que éstas necesitan de nutrientes en el agua (eutrofización), los cuáles se derivan de la contaminación orgánica y la polución por actividades industriales y agrícolas.

Otros factores que se analizarán por separado también influyen en la conformación de la comunidad de diatomeas.



Cuadro 5: Géneros de diatomeas encontrados en los principales ríos de El Salvador.

Géneros de diatomeas reportados.	
<i>Achnanthes</i>	<i>Gomphonema</i>
<i>Achnanthidium</i>	<i>Grammatophora</i>
<i>Adlafia</i>	<i>Gyrosigma</i>
<i>Amphipleura</i>	<i>Hantzschia</i>
<i>Amphora</i>	<i>Mastoglia</i>
<i>Anomoeoneis</i>	<i>Melosira</i>
<i>Brebissonia</i>	<i>Navicula</i>
<i>Caloneis</i>	<i>Neidium</i>
<i>Cocconeis</i>	<i>Nitzschia</i>
<i>Cyclotella</i>	<i>Nupela</i>
<i>Cymatopleura</i>	<i>Pinnularia</i>
<i>Cymbella</i>	<i>Pleurosigma</i>
<i>Diatoma</i>	<i>Stauroneis</i>
<i>Diploneis</i>	<i>Stephanodiscus</i>
<i>Epithemia</i>	<i>Surirella</i>
<i>Eunotia</i>	<i>Synedra</i>
<i>Fragilaria</i>	<i>Tabellaria</i>
<i>Geissleria</i>	<i>Tercipnoe</i>
<i>Gomphoneis</i>	

En el cuadro 5, se presentan los géneros de diatomeas encontrados, muchos de los cuáles a nivel de especie se pueden utilizar como referentes de características ecológicas muy particulares. Algunos de estos géneros se pueden asociar a las siguientes situaciones: ***Nitzschia*** como una diatomea muy sensible e indicadora de aguas de regular calidad hacia arriba, ***Hantzschia***, indicadora de aguas contaminadas y los géneros ***Navicula*** y ***Fragilaria*** con representantes en diferentes grados de contaminación y muchos indiferentes al medio. Sin embargo en esta investigación el principal objetivo era documentar las especies que se encontraran asociados a los diferentes sistemas hídricos. Por el momento, los datos no podrán ser utilizados para la clasificación similar a un índice, ya que el nivel de detalle taxonómico es a nivel de especies y no de géneros para poder hacer una buena inferencia del medio en que se les encuentra (Cuadro 6).

Como esta es una investigación complementaria al proyecto original, se utilizaron los datos de calidad de los ríos clasificados reportados por el Índice Biótico a nivel de Familia en El Salvador (IBF-SV-2010).



DIATOMEAS EN LOS PRINCIPALES RÍOS DE EL SALVADOR.



Figura 14. Ríos y puntos de muestreo en donde se realizo las tomas de muestras para diatomeas.



A continuación se incluye un resumen de las condiciones reportadas en los ríos seleccionados para investigación y el reporte de los géneros de diatomeas.

Cuadro 6. Calificación de los ríos con base al Índice Biótico a Nivel de Familia de invertebrados acuáticos (IBF-SV-2010) y géneros de diatomeas encontradas en los puntos de muestreo, 2009.

Región Hidrográfica	Código/Cuenca	NOMBRE Río Muestreado	Altura (msnm)	Valor IBF-SV-2010	Clasificación IBF-SV-2010	Géneros de Diatomeas
LEMPA	A01.1	Río Lempa, Citalá	712	6.781	POBRE	Cocconeis, Cyclotella, Cymbella, Fragilaria, Gomphoneis, Gomphonema, Melosira, Navicula
	A02.2	Río Lempa	300	5.309	REGULAR	Navicula
	A03.3	Río Lempa	23	6.921	POBRE	Cyclotella, Cymbella, Fragilaria, Gomphoneis, Gyrosigma
	A04.1	Río San José (Área Natural Protegida Montecristo)	830	4.715	BUENO	Amphipleura, Fragilaria, Gyrosigma, Melosira, Pinnularia, Surirella
	A05.2	Río San José	542	5.717	REGULAR	Amphipleura, Cymbella, Fragilaria, Melosira, Pinnularia, Tabellaria
	A06.3	Río San José	478	6.212	REGULAR POBRE	Amphipleura, Amphora, Cocconeis, Cyclotella, Cymbella, Fragilaria, Navicula, Pinnularia
	A07.1	Río Sumpul	2152	4.597	BUENO	Amphora, Cocconeis, Diatoma, Fragilaria, Gomphonema, Gomphoneis, Navicula, Melosira
A08.2	Río Sumpul	401	5.166	REGULAR	Achnanthes, Amphora, Caloneis, Cocconeis, Cymbella, Diatoma, Fragilaria, Gomphonema, Gyrosigma, Hantzschia, Melosira, Navicula, Stauroneis	



Región Hidrográfica	Código/Cuenca	NOMBRE Río Muestreado	Altura (msnm)	Valor IBF-SV-2010	Clasificación IBF-SV-2010	Géneros de Diatomeas
LEMPA	A09.3	Río Sumpul	227	5.678	REGULAR	<i>Adlafia, Amphora, Cocconeis, Cymbella, Fragilaria, Gomphonema, Gomphoneis, Hantzschia, Melosira, Navicula, Pinnularia, Stauroneis</i>
	A10.1	Río Torola	337	5.856	REGULAR POBRE	<i>Adlafia, Cymbella, Fragilaria, Gomphonema, Melosira, Navicula, Stauroneis, Synedra</i>
	A11.2	Río Torola	306	5.655	REGULAR	<i>Cocconeis, Gomphonema, Melosira, Nitzschia, Stauroneis, Synedra</i>
	A12.3	Río Torola	298	6.335	REGULAR POBRE	<i>Dinobryon, Navicula, Nitzschia, Pinnularia, Stauroneis</i>
	A13.1	Río Talchiga (tributario río Sapo)	730	5.111	REGULAR	<i>Cymbella, Diploneis, Navicula</i>
	A14.2	Quebrada Las Pilas (tributario río Sapo)	720	5.526	REGULAR	<i>Diploneis, Melosira, Fragilaria, Navicula, Mastoglia, Nitzschia, Eunotia, Diatoma, Cymbella, Grammatophora</i>
	A15.3	Río Guaco (tributario río Sapo)	660	5.564	REGULAR	<i>Fragilaria, Surirella</i>
	A16.4	Río Sapo	650	5.706	REGULAR	<i>Amphipleura, Fragilaria, Pinnularia</i>
	A17.5	Río Sapo	640	5.346	REGULAR	<i>Eunotia, Fragilaria, Gomphonema, Navicula, Pinnularia, Stephanodiscus</i>
	A18.1	Río Talnique	596	6.409	REGULAR POBRE	<i>Amphipleura, Amphora, Cocconeis, Cymbella, Eunotia, Fragilaria, Gomphoneis, Gomphonema, Navicula, Pinnularia, Surirella, Synedra</i>



Región Hidrográfica	Código/Cuenca	NOMBRE Río Muestreado	Altura (msnm)	Valor IBF-SV-2010	Clasificación IBF-SV-2010	Géneros de Diatomeas
LEMPA	A19.2	Río Talnique	467	6.516	POBRE	<i>Cocconeis, Cyclotella, Cymbella, Fragilaria, Gomphonema, Navicula, Nitzschia, Tabellaria</i>
	A20.3	Río Sucio	429	7.034	POBRE	<i>Fragilaria</i>
	A21.1	Río Suquiapa	565	8.004	MUY POBRE	<i>Fragilaria</i>
	A22.2	Río Suquiapa	381	7.008	POBRE	<i>Amphipleura, Caloneis, Cocconeis, Cymatopleura, Diatoma, Eunotia, Fragilaria, Gomphoneis, Gomphonema, Hantzschia, Navicula, Nitzschia, Pinnularia, Tercipnoe</i>
	A23.3	Río suquiapa	299	6.478	REGULAR POBRE	<i>Amphipleura, Fragilaria, Gomphoneis, Gomphonema, Navicula</i>
	A24.1	Río Matalapa (tributario río Acelhuate)	651	7.897	MUY POBRE	<i>Fragilaria</i>
	A25.2	Río Acelhuate	315	7.743	MUY POBRE	<i>Fragilaria, Navicula, Nitzschia</i>
	A26.3	Río Acelhuate	255	7.964	MUY POBRE	<i>Fragilaria, Navicula, Pinnularia</i>
	A27.1	Río Titihuapa	192	5.994	REGULAR POBRE	<i>Achnanthes, Achnanthidium, Amphora, Anomoeoneis, Nitzschia, Navicula, Gyrosigma, Gomphonema, Stauroneis</i>
	LEMPA	A28.2	Río Titihuapa	60	7.014	POBRE
A29.3		Río titihuapa	54	5.292	REGULAR	<i>Diploneis, Gomphonema, Navicula, Stauroneis</i>



Región Hidrográfica	Código/Cuenca	NOMBRE Río Muestreado	Altura (msnm)	Valor IBF-SV-2010	Clasificación IBF-SV-2010	Géneros de Diatomeas
	A30.1	Río Acahuapa	530	6.048	REGULAR POBRE	<i>Epithemia, Gomphonema, Gyrosigma, Pinnularia, Fragilaria, Nitzschia, Navicula, Stauroneis, Achnanthidium</i>
	A31.2	Río Acahuapa	274	7.016	POBRE	<i>Adlafia, Achnanthidium, Diploneis, Gomphonema, Gyrosigma, Navicula, Neidium, Nitzschia, Pinnularia, Synedra</i>
	A32.3	Río Acahuapa	108	5.484	REGULAR	<i>Achnanthidium, Amphora, Caloneis, Cocconeis, Cyclotella, Cymbella, Diatoma, Eunotia, Fragilaria, Gomphonema, Gyrosigma, Hantzschia, Navicula, Nitzschia, Pinnularia, Synedra</i>
CARA SUCIA SAN PEDRO	C33.1	Río Maishtapula (Afluente del río Cara Sucia, Área Natural Protegida El Imposible)	765	4.478	BUENO	<i>Achnanthes, Amphipleura, Eunotia, Fragilaria, Gyrosigma, Melosira, Pinnularia, Surirella, Tercipnoe</i>
	C34.2	Río Cara Sucia	97	5.762	REGULAR POBRE	<i>Amphipleura, Amphora, Anomoeoneis, Brebissonia, Cocconeis, Cymbella, Fragilaria, Navicula, Nitzschia, Pinnularia, Surirella, Tabellaria</i>
	C35.3	Río Cara Sucia	37	6.538	POBRE	<i>Achnanthes, Amphora, Cymbella, Fragilaria, Gomphoneis, Gomphonema, Gyrosigma, Navicula, Nitzschia, Pinnularia, Stauroneis, Synedra, Tabellaria</i>
GRANDE DE SONSONATE Y BANDERAS	D36.1	Río Sensunapán	1002	6.989	POBRE	<i>Caloneis, Diatoma, Gyrosigma, Navicula, Nitzschia, Stauroneis</i>
	D37.2	Río Sensunapán	834	6.857	POBRE	<i>Amphora, Navicula, Diploneis, Gyrosigma, Gomphonema, Nitzschia, Fragilaria, Synedra</i>



Región Hidrográfica	Código/Cuenca	NOMBRE Río Muestreado	Altura (msnm)	Valor IBF-SV-2010	Clasificación IBF-SV-2010	Géneros de Diatomeas
GRANDE DE SONSONATE Y BANDERAS	D38.3	Río Sensunapán	463	6.321	REGULAR POBRE	<i>Navicula, Diatoma, Gomphonema, Nitzschia, Gyrosigma, Pleurosigma, Synedra</i>
	D39.4	Río Sensunapán	261	6.696	POBRE	<i>Cocconeis, Navicula, Nitzschia, Gyrosigma, Stauroneis, Gomphonema</i>
	D40.5	Río Sensunapán	186	7.805	MUY POBRE	<i>Caloneis, Gomphonema, Gyrosigma, Navicula, Stauroneis</i>
	D41.6	Río Sensunapán	130	7.440	MUY POBRE	<i>Amphora, Cocconeis, Cymbella, Fragilaria, Gomphoneis, Gomphonema, Navicula, Pinnularia, Surirella</i>
MANDINGA COMALAPA	E42.1	Río San Antonio	860	7.985	MUY POBRE	<i>Adlafia, Gyrosigma, Navicula, Nitzschia, Hantzschia, Cyclotella, Pinnularia</i>
	E43.2	Río San Antonio	559	7.110	POBRE	<i>muestra perdida</i>
	E44.3	Río San Antonio	10	6.572	POBRE	<i>Achnanthes, Adlafia, Caloneis, Diatoma, Fragilaria, Geissleria, Gomphonema, Gyrosigma, Hantzschia, Navicula, Neidium, Nitzschia, Stauroneis</i>
	E45.1	Río Comalapa	471	6.294	REGULAR POBRE	<i>Diatoma, Fragilaria, Navicula, Neidium, Pinnularia, Stauroneis</i>
	E46.2	Río Comalapa	379	6.969	POBRE	<i>Achnanthes, Adlafia, Cymbella, Gomphonema, Navicula</i>
	E47.3	Río Comalapa	99	7.043	POBRE	<i>Amphora, Caloneis, Cymbella, Fragilaria, Gomphonema, Navicula, Nupela, Stauroneis, Stephanodiscus</i>



Región Hidrográfica	Código/Cuenca	NOMBRE Río Muestreado	Altura (msnm)	Valor IBF-SV-2010	Clasificación IBF-SV-2010	Géneros de Diatomeas
	E48.4	Río Comalapa	84	7.058	POBRE	<i>Diatoma, Fragilaria, Geissleria, Gomphonema, Gomphoneis, Gyrosigma, Navicula, Nitzschia, Synedra</i>
MANDINGA COMALAPA	E49.5	Río Comalapa	23	6.413	REGULAR POBRE	<i>Achnantheidium, Caloneis, Cocconeis, Diatoma, Fragilaria, Geissleria, Gomphonema, Gyrosigma, Navicula, Stauroneis</i>
	E50.6	Río Comalapa	10	6.069	REGULAR POBRE	<i>muestra perdida</i>
JIBOA	F51.1	Río Jiboa	416	6.788	POBRE	<i>Amphora, Cocconeis, Fragilaria, Gomphonema, Grammatophora, Gyrosigma, Hantzschia, Navicula, Stauroneis</i>
	F52.2	Río Jiboa	337	6.920	POBRE	<i>Achnantheidium, Geissleria, Gomphonema, Gyrosigma, Hantzschia, Navicula, Neidium, Pinnularia</i>
	F53.3	Río Jiboa	64	6.139	REGULAR POBRE	<i>Cocconeis, Fragilaria, Gyrosigma, Hantzschia, Navicula, Stauroneis</i>
GRANDE DE SAN MIGUEL	H54.1	Río San Sebastián (tributario R. Grande de San Miguel)	252	5.806	REGULAR POBRE	<i>Fragilaria, Gomphonema, Navicula</i>
	H55.2	Río Grande de San Miguel	91	7.052	POBRE	<i>Achnanthes, Amphora, Cyclotella, Cymbella, Fragilaria, Gomphonema, Gomphoneis, Gyrosigma, Navicula, Pinnularia</i>
	H56.3	Río Grande de San Miguel	61	6.321	REGULAR POBRE	<i>Navicula, Neidium, Fragilaria</i>



La presencia o ausencia de diatomeas y especies particulares de estas se relacionan directamente con factores como la temperatura, pH, salinidad, velocidad del agua, materia orgánica y nutrientes.

En los muestreos realizados se tomaron datos físico-químicos, en estos se determinó que el pH de los ríos estuvo por arriba de 7,0 lo que indica que las diatomeas encontradas pueden clasificarse, según Husted (1939) citado por Planas (1996), como alcalifílicas (presentes en $\text{pH} > 7,0$) y alcalibiontes (solamente presentes a $\text{pH} > 7,0$) esta clasificación se supone es muy útil en términos de futuras y periódicas investigaciones, ya que los ríos están expuestos a diferentes vertidos que cambian su pH rápidamente afectando las comunidades de estos organismos.

La temperatura del agua de los ríos tuvo una variación de 15-33,5°C indicando la habilidad meso-euritámica de las diatomeas, ya que los géneros encontrados se adaptan a variaciones de más o menos 15°C (De Nicola, 1996).

Las diatomeas se han adaptado a diversos rangos ecológicos y por esta razón se les han dado algunos valores de sensibilidad que permiten clasificar el agua donde se encuentran. Los valores de estos grados de sensibilidad se establecen en el rango de 1 a 5, en donde 1 es el más resistente y 5 el más sensible. Los ríos muestreados clasificaron, según el IBF en el rango de buenos-muy pobres. De acuerdo a la utilización de diatomeas para asignar valores que representen la contaminación del agua, se trabaja con el índice IDG (Índice Diatómico General), tomando en cuenta datos de sensibilidad a la polución, amplitud ecológica y abundancia. En la utilización de este índice en algunos trabajos, se presentan algunos géneros encontrados en el país y que se comportan de manera similar tal como se presenta en el Cuadro 7. Estos datos se pueden utilizar de manera conservadora, para tratar a futuro de definir un índice para tales fines con investigaciones complementarias que profundicen sobre estos aspectos (Cuadro 5).

Cuadro 7. Valores de sensibilidad asignados a algunos taxones de diatomeas (según IDG-Índice Diatómico General) encontrados en ríos de El Salvador.

Taxón	Sensibilidad (s)	Taxón	Sensibilidad (s)
<i>Achnanthes</i>	5	<i>Gomphonema</i>	3
<i>Achnanthidium</i>		<i>Grammatophora</i>	
<i>Adlafia</i>		<i>Gyrosigma</i>	
<i>Amphipleura</i>	5	<i>Hantzschia</i>	1
<i>Amphora</i>	3	<i>Mastoglia</i>	
<i>Anomoeoneis</i>	5	<i>Melosira</i>	3
<i>Brebissonia</i>		<i>Navicula</i>	3
<i>Caloneis</i>	4	<i>Neidium</i>	4
<i>Cocconeis</i>	4	<i>Nitzschia</i>	1-4
<i>Cyclotella</i>	3	<i>Nupela</i>	
<i>Cymatopleura</i>	4	<i>Pinnularia</i>	
<i>Cymbella</i>	5	<i>Pleurosigma</i>	
<i>Diatoma</i>	4	<i>Stauroneis</i>	5
<i>Dinobryon</i>		<i>Stephanodiscus</i>	2
<i>Diploneis</i>	5	<i>Surirella</i>	3
<i>Epithemia</i>	5	<i>Synedra</i>	3
<i>Eunotia</i>	5	<i>Tabellaria</i>	5
<i>Fragilaria</i>	4	<i>Tercipnoe</i>	
<i>Geissleria</i>			
<i>Gomphoneis</i>	4		



Los géneros de diatomeas encontrados se repiten casi en todos los ríos muestreados, lo que indica que se hace necesario clasificar hasta nivel de especie para poder diferenciar y también a que los valores de calidad entre los diversos ríos no son muy amplios, lo que probablemente permite a las diatomeas con el tiempo hacer adaptaciones al medio. Es de hacer notar que *Fragilaria* es una especie indiferente (gran plasticidad), pues aparece en casi todos los ríos independientemente de su clasificación.

En el punto de muestreo A09.3 del Río Sumpul se observó varios especímenes del supuesto género *Nitzschia* mostrando diferentes tipos de deformaciones (Fig. 15). Como hipótesis se puede sugerir que la diatomea en este punto está sometida a un tipo de polución o contaminante que ocasiona estas anomalías, también podría asumirse según Giddings *et al.*, (1983), citado por Hoagland *et al.*, 1996, que al ser del mismo género que la especie *Nitzschia palea* la cual es una de las más sensibles a contaminación por derivados del petróleo, el fenómeno sería causado por solventes utilizados para la producción de plaguicidas, y la zona de muestreo es caracterizada por una agricultura muy dependiente de estos insumos, sin embargo, es una situación que merece mayor investigación.

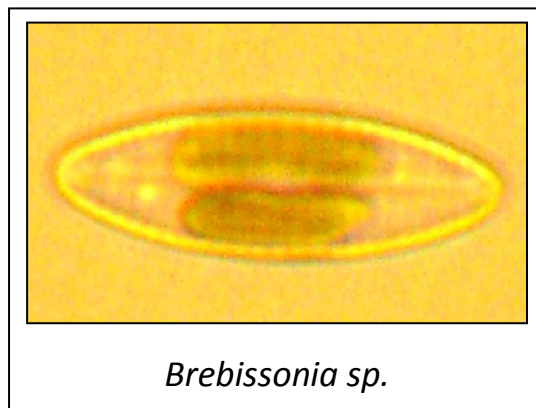
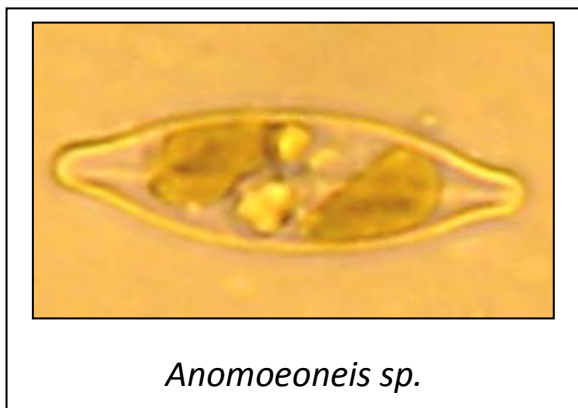


Fig. 15. Diatomea del género *Nitzschia* mostrando diferentes formas, lado izquierdo, normal, centro y derecha anormales. Fotos: A.W. Rivas Flores



IX. MICROFOTOGRAFÍAS DE GENEROS DE DIATOMEAS EN RÍOS DE EL SALVADOR

Fotos: A.W. Rivas Flores & R.O Gómez Orellana





Caloneis sp.



Cocconeis sp.



Cyclotella sp.



Cymatopleura sp.



Cymbella sp.



Diatoma sp.



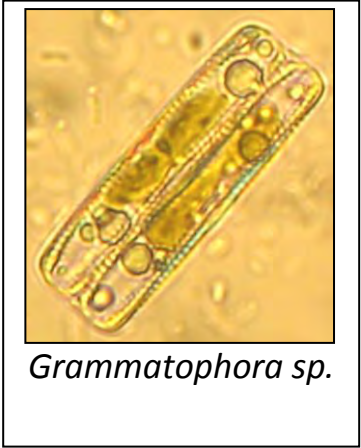
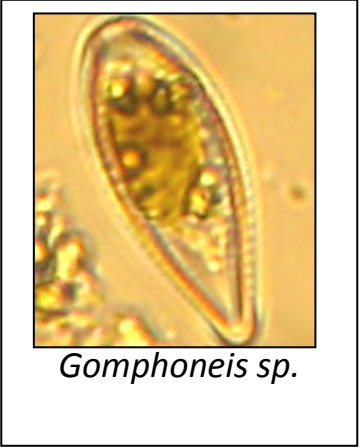
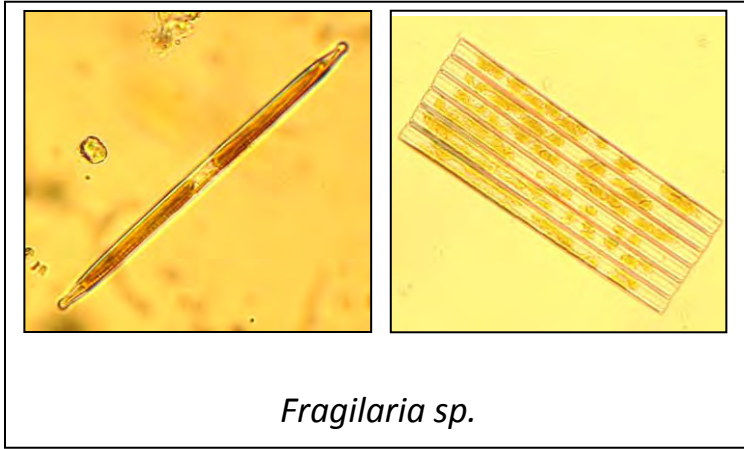
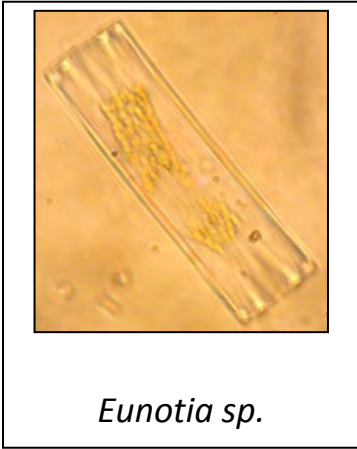
Dinobryon sp.



Diploneis sp.



Epithemia sp.





Gyrosigma sp.



Hantzschia sp.



Mastoglia sp.



Melosira sp.



Navicula sp.



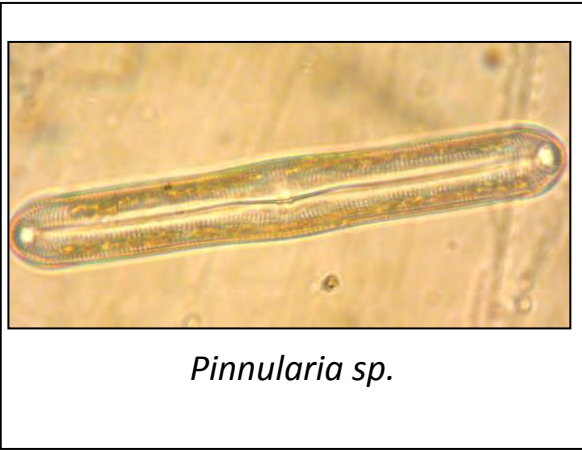
Neidium sp.



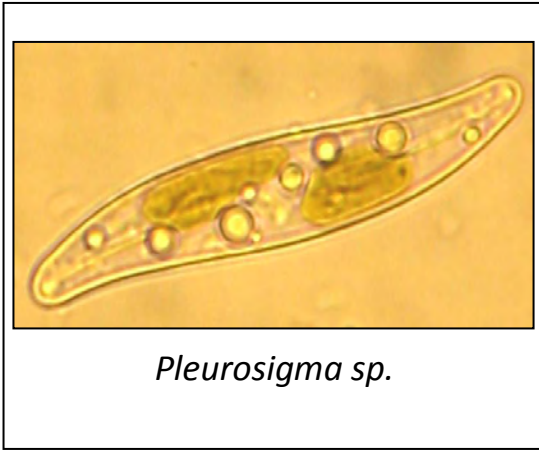
Nitzschia sp.



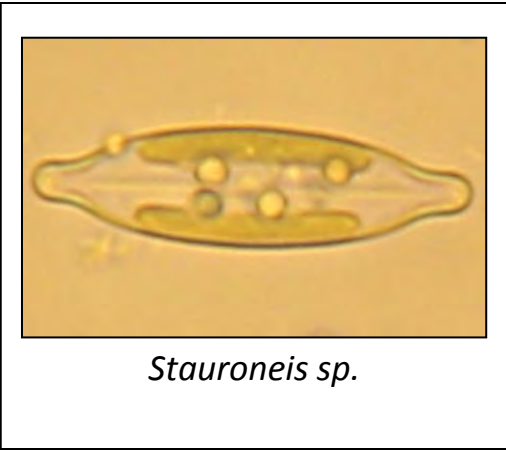
Nupela sp.



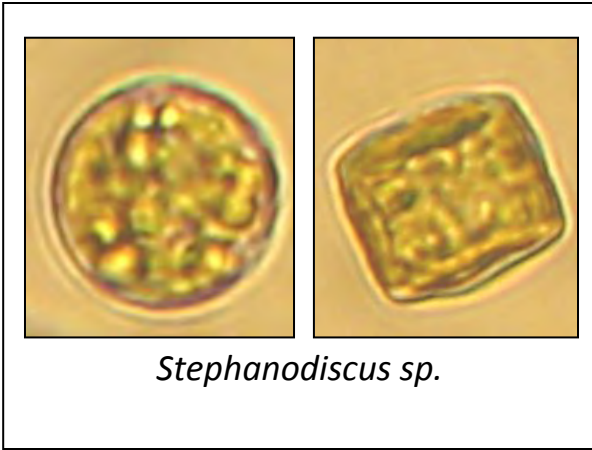
Pinnularia sp.



Pleurosigma sp.



Stauroneis sp.



Stephanodiscus sp.



Amphora sp.



Fragilaria capuchina





X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo tuvo como objetivo complementar la investigación del proyecto “Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos”, teniendo en consideración que en las cadenas alimenticias de estas especies, incluyen en sus dietas alimenticias a todos los organismos acuáticos que puedan estar relacionados con el sistema hídrico. Sin embargo se comprueba a través del estudio de estas poblaciones que los ríos presentan muchas particularidades en el reporte de las especies, lo que ofrece una excelente oportunidad de investigar este tipo de comunidades en el largo plazo.

De acuerdo a la clasificación que los ríos presentaron a través del Índice Biótico a nivel de familias (IBF-SV-2010), solamente tres puntos de investigación reportan la mejor calidad de agua y por ende mejor calidad ambiental, siendo estos ubicados en las cabeceras de los ríos, entre estos se reportan: Río Maishtapula, ubicado dentro del Área Natural Protegida El Imposible, a una altitud de 765 m.s.n.m., el cual es un afluente tributario del Río Cara Sucia. El segundo río es San José, el que se ubica dentro de otra área natural protegida Montecristo a una altitud de 830 m.s.n.m. y finalmente se encuentra el río Sumpul, a una altitud de 2,152 m.s.n.m.,.

Al considerar la información del Cuadro 6, se observa que 19 puntos de investigación reportan una calidad de agua clasificada como pobre, involucrándose en esta categoría a los ríos: Lempa, Talnique, Río Sucio, Suquiapa, Titihuapa, Acahuapa, Cara Sucia, San Antonio, Comalapa, Jiboa y Grande de San Miguel.

Los Ríos clasificados dentro de la calidad de agua Muy Pobre son: Suquiapa, Matalapa, Acelhuate, Sensunapán (parte baja) y San Antonio.

Al observar el comportamiento de los ríos desde su punto alto a los bajos, se evidencia que la mayor parte de los sistemas hídricos están siendo utilizados como cauces para la descarga de aguas servidas, aguas residuales y para el uso de actividades humanas, agrícolas y/o ganaderas. Algunos sistemas aun reflejan la posibilidad de recuperarse de manera natural, sin embargo las descargas continuas no permiten mejorar la calidad ambiental y que esto permita tener una mejor dinámica ecológica de los sistemas fluviales.

La documentación fotográfica de las especies de diatomeas es un aporte para el conocimiento de la biodiversidad acuática con la que cuenta el país, por lo que una investigación y documentación fotográfica de estas especies representa un gran valor científico para el inventario de especies y de los registros históricos de las mismas.

Se recomienda incluir este tópico de investigación en proyectos futuros que se relacionen con los ecosistemas acuáticos. Así mismo se recomienda que las instituciones competentes actúen sobre la problemática ambiental que se encuentra imperando en el ambiente salvadoreño.



XI. BIBLIOGRAFÍA

Alegre, E.; Blanco, S.; Castejón, M.; López, R.; Sánchez, L. 2004. Segmentación autónoma y extracción de características geométricas en diatomeas. XXV Jornadas de Automática. Ciudad Real, 8-10 de Septiembre de 2004. España.

Barber, H.G.; Haworth, E. Y. 1981. A guide to the morphology of the diatom frustule, whith a key to the British freshwater genera. Freshwater Biological Association. Scientific Publication No. 44. 113p.

De Bikuña, B.G.; Fraile, H. 2008. Protocolos de muestreo y análisis de organismos fitobentónicos en ríos y valoración del estado, según la Directiva 2000/60/CE. Informe no publicado de Anbiotek SL, para URA, Agencia Vasca del Agua. Vitoria-Gasteiz. 53pp.

De la Lanza Espino, G. 2000. Criterios Generales para la Selección de Bioindicadores. *In* Organismos Indicadores de la Calidad del Agua y de la Contaminación (Bioindicadores). Comp. Guadalupe de la Lanza Espino, Salvador Hernández Pulido, José Luis Carbajal Pérez. Plaza y Valdés. México. p. 17-41.

De Nicola, D.M. 1996. Periphyton responses to temperatura at different ecological levels. *In* Algal ecology. Freshwater benthic ecosystems. Edits. R.J. Stevenson, M.L. Bothwell, R. L. Lowe. Academic Press. p. 149-181.

Díaz Quiróz, C.; Rivera Rondón, C.A. 2004. Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadores de condiciones ambientales. *Caldasia* 26(2) 2004: 381-394.

Díaz, C.; Maidana, N. 2005. "Diatomeas de los Salares Atacama y Punta Negra, II Región – Chile". F. Novoa, M. Contreras, M. Parada & A. Camaño (eds.). Centro de Ecología Aplicada Ltda. & Minera Escondida Ltda. 148 pp.

Genter, R.B. 1996. Ecotoxicology of inorganic chemical stress to algae. *In* Algal ecology. Freshwater benthic ecosystems. Edits. R.J. Stevenson, M.L. Bothwell, R. L. Lowe. Academic Press. p. 375-402.

Gomá, J.; Cambra, J.; Tudesque, L.; Ector, L. 2002. Red de diatomeas de la Cuenca del Ebro. Campaña de muestreo verano 2002. Ministerio del Medio Ambiente. Confederación Hidrográfica del Ebro. Informe Final. Universidad de Barcelona. España. 37p.

Hoagland, K.D.; Carder, J.P.; Spawn, R.L. 1996. Effects of organic toxic substances. *In* Algal ecology. Freshwater benthic ecosystems. Edits. R.J. Stevenson, M.L. Bothwell, R. L. Lowe. Academic Press. p. 469-496.



Peterson, C.G. 1996. Response of benthic algal communities to natural physical disturbance. In Algal ecology. Freshwater benthic ecosystems. Edits. R.J. Stevenson, M.L. Bothwell, R. L. Lowe. Academic Press. p. 375-402.

Planas, D. 1996. Acidification effects. In Algal ecology. Freshwater benthic ecosystems. Edits. R.J. Stevenson, M.L. Bothwell, R. L. Lowe. Academic Press. p. 497-530.

Prygiel, J.; Hauray, J. 2006. Monitoring methods based on algae and macrophytes. In Biological Monitoring of Rivers: Applications and perspectives. Edited by G. Ziglio, M. Siligardi and G. Flaim. John Wiley & Sons. Sec. 2.3. p. 155-170.

Ramírez, C.; Plata Díaz, Y. 2007. Diatomeas perifíticas en diferentes tramos de dos sistemas lóticos de alta montaña (Páramo de Santurbán, Norte de Santander, Colombia) y su relación con las variables ambientales. Acta biol. Colomb., Vol. 13 No. 1. 2008: 199-216.

Sánchez Vélez, A.; García Núñez, A.M. 1999. Biomonitorio de ríos en la gestión de cuencas; una aproximación introductoria. In IX Congreso Nacional de Irrigación. Simposio 4. Culiacán, Sinaloa, México, 27-29 de Octubre de 1999. Artículo: ANEI-S49907. 9p.

Stevenson, R.J.; Bothwell, M.L.; Lowe, R.L. 1996. Algal ecology. Freshwater benthic ecosystems. Academic Press. 753pp.

XII. AGRADECIMIENTOS

El Proyecto “**Formulación de una Guía Metodológica Estandarizada para determinar la Calidad Ambiental de las Aguas de los ríos de El Salvador utilizando Insectos Acuáticos**”, desarrollado desde Mayo de 2009 hasta Marzo de 2010, con apoyo económico del fondo FEMCIDI de la Organización de Estados Americanos (OEA) y coordinado en la Universidad de El Salvador (UES) a través de la Facultad de Ciencias Agronómicas, y el apoyo participativo de personal de la Facultad Multidisciplinaria Paracentral (Sede San Vicente), Facultad de Química y Farmacia (Sede Central), Facultad Multidisciplinaria de Occidente (sede Santa Ana), Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN) y Universidad de Costa Rica (UCR); reconocen que el desarrollo del presente proyecto no hubiese sido posible sin la participación y dedicación excepcional de una gran cantidad de personas que desinteresadamente en diferentes instancias y circunstancias brindaron un apoyo clave para la exitosa marcha de las diversas actividades de campo, laboratorio y oficina para generar, procesar y ordenar la información para producir los resultados esperados como principales productos del proyecto.

Por tales razones desea expresar sus más sincero agradecimientos a las personas e instituciones que se mencionan a continuación; no sin antes solicitar las disculpas del caso, si por algún olvido involuntario, se haya omitido algún nombre de personas o instituciones.

A los estudiantes de últimos años y tesis de la Carreras de Ingeniería Agronómica, UES: Jesús Altagracia Zepeda Aguilar, Johanna María Chávez Sifontes, Pedro Enrique Orellana Hernández, Robin Erick Hernández Rivera y Erick Eduardo Orantes Guerrero; quienes dedicaron muchas horas de esfuerzo continuo en campo y laboratorio, para la recolecta y procesamiento de muestras biológicas.

A los estudiantes de últimos años y tesis de las carreras de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, San Salvador, UES: Ana Karla Castillo Ayala y Rubén Ernesto López Sorto; quienes se motivaron por el desarrollo del Proyecto y apoyaron mucho trabajo especialmente de laboratorio. Además, se agradece el apoyo de Luis Enrique Castillo



A los estudiantes de años intermedios de la Carrera de Ingeniería Agronómica, San Salvador, UES: Juan Antonio Hernández, José Ricardo Farfán Aguilar, Rafael Antonio Muñoz Aguillón, Noé David Linares Brizuela, María Julia Galan Hernández y Eddie Arturo Vaquerano Madrid; quienes fueron valioso apoyo eventual para acelerar la limpieza y el procesamiento de muestras biológicas, incluso en días de asueto.

A los estudiantes de años intermedios de la Carrera de Licenciatura en Veterinaria y Zootecnia, Facultad de Ciencias Agronómicas, San Salvador, UES: Alejandra Xiomara Perla Ramírez, Javier Alexander Mejía Hernández y Enrique Alfonso Mendoza Vaquerano; quienes brindaron su cooperación con el procesamiento de material biológico en laboratorio.

A los estudiantes de la Facultad Multidisciplinaria Paracentral (San Vicente), UES: Sol María Muñoz Aguillón y Nelson Antonio Ortiz.

A los estudiantes de la Facultad Multidisciplinaria Occidental, Carrera de Licenciatura en Biología (Santa Ana), UES: Adalberto Ernesto Salazar Colocho (Tesisista), Cintia Paula García Pineda (Tesisista), Patricia Maribel Godínez Guardado (Tesisista), Leslie Eunice Quintanilla Carrillo, Rosa María Estrada Hernández, Balmore Mauricio Hidalgo Aguilar y Sergio Salvador Moreno Samayoa; quienes brindaron su cooperación con el procesamiento de material biológico en laboratorio.

A los recién graduados en la Carrera de Ingeniería Agronómica, UES: Ingenieros agrónomos: Ricardo Ernesto Gómez Orellana, Lizzette Hernández Lovato, Dalila Elizabeth Vega Morales, Rosa Margarita Salinas Baquero y Carlos Ernesto Villegas Martínez; cuya cooperación fue siempre espontánea y oportuna, dando su mejor esfuerzo para sumarse a la buena marcha del proyecto desde campo hasta laboratorio.

A los señores motoristas de la Facultad de Ciencias Agronómicas, UES: René Herrera, Mauricio Salazar, José Armando Vigil, Felipe Corleto y Marvin Escobar, por tener el esmero y paciencia suficiente, para realizar los viajes de campo desde muy temprano hasta muy tarde del día, hacia diferentes sitios requeridos por el proyecto.

Al personal de mujeres y hombres guarda recursos de las Áreas Naturales Protegidas de los Parques Nacionales de: Montecristo (Metapán, Departamento de Santa Ana), El Imposible (San Francisco Menéndez, Departamento de Ahuachapán), La Joya (San Vicente, Departamento de San Vicente), Río Sapó (Arambala, Departamento de Morazán); quienes siempre brindaron su mejor disposición de acompañamiento y colaboración en la recolecta de material biológico requerido por el Proyecto.

A los docentes de la Facultad de Ciencias Agronómicas (San Salvador), UES: Ing. Agr. Gustavo Henríquez Martínez e Ing. Agr. Dora Antonia Villeda; quienes apoyaron en el procesamiento e identificación de material biológico a nivel de laboratorio. Además, brindaron su apoyo Ing. Agr. M.Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia e Ing. Agr. Balmaro Martínez Sierra. A Lic. Macario Pineda y William Alexander Aguilar, quienes cooperaron con alguna necesidad de traducción de inglés al español. A la Licda. Idalia Rosmeri Erroa Ramos, por su apoyo en el trabajo de diatomeas.

A los docentes del Departamento de Ciencias Agronómicas de la Facultad Multidisciplinaria Paracentral (San Vicente), UES: Ing. Agr. Nelsus Armando López Turcios y Wilber Samuel Escoto, por su colaboración en actividades de campo y laboratorio que requirió el proyecto.

A los investigadores entomólogos: Dra. Andrea Joyce (Univ. de Texas A&M) y Dr. Mark Breindenbaugh (Youngstone Air Reserve Station, Department of Defense, U.S.A); quienes visitaron al proyecto, impartiendo charlas e identificación de insectos acuáticos y brindaron ideas para nuevas visiones de posibles trabajos futuros que podrían relacionarse con el avance actual de los estudios del proyecto.

A los siguientes investigadores de la Universidad de Costa Rica: M.Sc. Monika Springer, Lic. Pablo Gutiérrez y Lic. Danny Vásquez; por el apoyo muy valioso e incondicional en capacitaciones teórica-prácticas, identificación y conteo de los individuos de las diferentes familias de organismos acuáticos y asesoría en el ordenamiento de la información. A la M.Sc. Catalina Benavides, quien ayudó con la revisión de los mapas de distribución y el Atlas de organismos acuáticos y a Lic. Fresia Villalobos por su ayuda con la revisión y edición de los documentos. Además, al Biol. Edwin Céspedes por su apoyo en el trabajo de diatomeas.

Al equipo de técnicos responsables de la ejecución de las actividades centrales de campo, laboratorio y oficina del proyecto, dentro del área de acción propia de cada una de sus unidades de trabajo: Licda. Biol. M.Sc. Ana Jeannette Monterrosa Urías (Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador); Ing. Agr. Dagoberto Pérez (Departamento de Agronomía, Facultad Multidisciplinaria Paracentral); Ing. Agr. M.Sc. Miguel Ángel Hernández Martínez (Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica, Unidad de Postgrado, Facultad de Ciencias Agronómicas); Licda. Quím., Blanca Lorena Bonilla de Torres, Licda. Quím. Ada Yanira Arias de Linares, Lic. Quím. Freddy Alexander Carranza Estrada, Lic.



Quím. Juan Milton Flores Tensos (Laboratorio Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas); Licda. Quím. Coralia de los Ángeles González Velásquez (Laboratorio de Microbiología, Facultad de Química y Farmacia / CENSALUD); Lic. Biol. David Rosales Arévalo (Departamento de Biología, Facultad Multidisciplinaria Occidental); Ing. Agr. M.Sc. Miguel Rafael Paniagua Cienfuegos (colaboración particular); Ing. Agr. MSc Andrés Wilfredo Rivas Flores, Ing. Agr.MSc. Rafael Antonio Menjívar Rosa e Ing. Agr. Leopoldo Serrano Cervantes (Departamento de Protección Vegetal, Facultad de Ciencias Agronómicas).

Al personal del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN), por su apoyo durante toda la ejecución del proyecto, proporcionando los permisos de recolecta científica e incorporando a técnicos en las actividades. Algunos de ellos se mencionan a continuación: Dr. Jorge Quezada, Dr. Enrique Barraza, Lic. Néstor Herrera, Licda. Zulma de Mendoza, Licda. M.Sc. Ana Jeannette Monterrosa Urías y Lic. Walter Rojas.

Al personal del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET-MARN), por su apoyo a través del Laboratorio de Calidad de Agua. Algunos de ellos se mencionan a continuación: Ing. Ana Deisy López Ramos, Ing. Zulma Mena y Licda. Bessy Margarita Soto.

A la Organización de Estados Americanos (OEA), en sus oficinas centrales en Washington, USA. y la representación en El Salvador; por su confianza, apoyo financiero, administrativo y logístico al proyecto. Entre algunas personas se mencionan Licda. Mónica Gómez e Ing. Santiago Noboa (Gerencia General FEMCIDI, Washington, USA), Ing. Rogelio Sotela (Representante oficina de la OEA en El Salvador), Licda. Milagro Martínez de Torres Chico (Oficial Técnico Administrativo), Sr. Jorge Morataya, Sra. Gertrudis Bonilla, Sra. María Santos Enamorado y Srta. Claudia Menjívar (OEA-El Salvador).

A la Junta Directiva y al personal del Decanato y Vice-decanato de la Facultad de Ciencias Agronómicas, UES, por respaldo institucional, apoyo administrativo y logístico para la ejecución de las distintas actividades requeridas por el proyecto.

A la Rectoría, Consejo Superior Universitario y Asamblea General Universitaria de la Universidad de El Salvador, por otorgar respaldo institucional como contraparte del proyecto.

Al personal de Relaciones Internacionales de la Universidad de El Salvador (UES), por su valioso apoyo en la gestión para la aprobación del proyecto. Entre algunas personas se mencionan Licda. Ada Ruth Gonzáles de Nieto, Licda. María Teresa Escalona y Lic. Francisco Gutiérrez.

Al personal del Ministerio de Relaciones Exteriores de El Salvador, por su valioso apoyo en la gestión para la aprobación del proyecto. Entre algunas personas se mencionan Licda. Doribel Quintanilla y Lic. Francisco Rivas.

Al personal del programa Campus de la Universidad de El Salvador (UES), por apoyar en divulgación televisiva y escrita de actividades del proyecto.

Gracias a Dios sobrepasamos las metas propuestas.

Con sincero reconocimiento y a nombre del grupo de docentes investigados principales responsables de la ejecución del proyecto.

Atentamente:

Ing. Agr. M.Sc. José Miguel Sermeño Chicas
 Coordinador General del Proyecto
 E-mail: jmsermeno@yahoo.com; jose.sermeno2010@gmail.com