



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

CAMBIOS DE LA COMUNIDAD ALGAL RELACIONADOS CON EL CICLO HÍDRICO EN UN TINTAL INUNDABLE EN QUINTANA ROO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
BIÓLOGO

P R E S E N T A:

ITZEL BECERRA ABSALÓN



DIRECTOR DE TESIS: DRA. ROSA LUZ TAVERA SIERRA

FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION ESCOLAR

FACULTAD DE CIENCIAS
UNAM

2002





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

M. EN C. ELENA DE OTEYZA DE OTEYZA
Jefa de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito: Cambios de la comunidad algal relacionados con el ciclo hídrico en un tinal inundable en Quintana Roo

realizado por la pasante Becerra Absalón Itzel

con número de cuenta 9330525-9, quién cubrió los créditos de la carrera de Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis
Propietario

Dra. Rosa Luz Tavera Sierra

R. Tavera

Propietario

Dr. Eberto Novelo Maldonado

E. Novelo

Propietario

Dr. Enrique Arturo Cantoral Uriza

E. Cantoral

Suplente

Dr. Javier Carmona Jiménez

J. Carmona

Suplente

M. en C. Gerardo Rivas Lechuga

Consejo Departamental de Biología

FACULTAD DE CIENCIAS
U.N.A.M.

Juan Manuel Rodríguez Chávez
M. en C. Juan Manuel Rodríguez Chávez



DEPARTAMENTO
DE BILOGÍA

Este trabajo lo quiero dedicar:

A mi mamá, mi papá y mi hermano por su apoyo incondicional, los quiero y los admiro.

A mi abuelita y mi abuelito con muchísimo cariño por su maravilloso ejemplo durante todo mi vida.

A mi tía Carmen porque me enseñó a hacer las cosas lo mejor posible.

A mis primas Ceci y Sofí por su comprensión y amistad.

A mis mejores amigos Betsabé, Teresa, Joselyn y Víctor por tantos años de compartir experiencias juntos.

A mis compañeros del Taller de biodiversidad y del proyecto de educación por compartir las mismas inquietudes y preocupaciones.

A los compañeros con los que viví angustias, anhelos y esperanza durante 10 meses. A pesar de todo dimos lo mejor de cada uno y ...

A las comunidades indígenas con una gran admiración, por enseñarme lo que es la dignidad y darnos esperanza.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Rosa Luz Tavera por la comprensión, la dedicación y los conocimientos que me brindó en todo el proceso de realización de la tesis.

Al Dr. E. Novelo por la paciencia que me tuvo y su asesoría en la determinación de las especies.

A ambos les agradezco sobre todo la invitación que me hicieron para trabajar con ustedes, y el compartir conmigo la pasión con la que realizan su trabajo.

Al Dr. A. Gómez-Pompa por su amable invitación para realizar este trabajo en la Reserva Ecológica de El Edén.

Al personal de la Reserva por su apoyo en la realización del trabajo de campo.

A mis compañeros M. en C. Ibarra-Vázquez y R. Vargas, fueron muy gratos los momentos que compartimos, aprendí muchísimo de ustedes.

A todos los integrantes del laboratorio de ficología por permitirme formar parte de este grupo y compartir ese pequeño espacio en el que trabajan conmigo.

Al Dr. Enrique Cantoral y al Dr., Javier Carmona por las correcciones que le hicieron a mi escrito de tesis.

A Osvaldo Núñez Castillo y Gerardo Rivas Lechuga por su asesoría en la parte estadística de este trabajo.

A mis padres, hermano, abuelita y amigos por su apoyo en todos los momentos difíciles que he tenido en esta etapa.

Este estudio fue posible por el apoyo económico del proyecto CONACYT 25264-N y por las becas que me fueron otorgadas en distintas etapas por CONACYT, Fundación UNAM y PROBETEL UNAM.

CONTENIDO

Introducción.	6
1. Los humedales.	6
2. El Tintal.	7
3. Las algas como grupo taxonómico y funcional.	8
4. El estudio de las comunidades.	9
5. El perifiton.	10
5.1. Forma biológica.	10
5.2. Forma de crecimiento.	11
5.3. Importancia del perifiton.	12
6. Cianoprocariones	13
7. Métodos utilizados en el análisis de resultados	13
7.1. Abundancia e índice de diversidad.	13
7.2. Las fluctuaciones del nivel hídrico	14
7.3. Análisis de factores.	15
7.4. Factores limitantes para el perifiton.	15
7.5. Análisis de regresión simple.	16
Zona de estudio	17
1. Aspectos generales.	17
2. El clima.	17
3. El suelo.	19
4. La vegetación.	19
5. Descripción del ciclo hidrológico.	19
Objetivos	22
Material y Métodos	23

Resultados	27
1. Descripción de los crecimientos algales en el tinal	27
2. Composición de especies del perifiton durante el ciclo hidrológico.	27
3. El perifiton en condiciones de cultivo.	32
4. Nutrimientos.	34
5. Cambios en la biomasa (Cl α) de la costra y las hojuelas durante el ciclo hidrológico.	34
6. Abundancia de especies en la forma de crecimiento dominante (costra) del perifiton.	34
7. Diversidad en la costra que compone el perifiton.	39
8. Análisis de regresión simple entre el fósforo y la biomasa (Cl α) de la costra.	39
9. Fósforo del suelo y fijación de nitrógeno de las especies que componen la costra.	39
10. Análisis de factores.	39
11. Descripción de especies.	43
Discusión	72
1. El perifiton	72
2. Las hojuelas	72
3. Las carofíceas	73
4. La costra	73
4.1 Composición de especies.	74
4.2 Abundancia de las especies.	75
4.3 Biomasa.	78
4.4 Diversidad.	79
4.5 Los nutrientes.	80
4.6 La estacionalidad.	81

Conclusiones	83
Perspectivas	85
Referencias	86

INTRODUCCIÓN

1. Los humedales

Humedal es un término general usado para definir un conjunto variado de hábitats con suelos saturados de agua o anegados en algún periodo o todo el año (Tiner 1999).

Para definir los humedales es necesario tomar en cuenta las características climáticas, especialmente la precipitación, humedad en el aire, los cambios en el nivel de agua bajo condiciones naturales en áreas inundadas o sumergidas temporalmente. Estas fluctuaciones en el nivel de agua varían mucho en los diferentes tipos de humedales (Hejny & Segal 1998). Es por esto que es difícil tener una definición única, pero en términos generales: Los humedales son ambientes sujetos a inundaciones permanentes o periódicas, con suelos saturados de agua lo suficiente para alterar las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo (suelos hídricos). Los suelos hídricos favorecen el establecimiento de hidrofítas (Tiner 1999; Kadlec & Knight 1996; Hejny & Segal 1998).

En la hidrología de los humedales los factores más importantes son la duración de humectación, la frecuencia de humectación, la profundidad de saturación del suelo y la estacionalidad de la humectación. Estos cuatro factores tienen influencia en las comunidades de plantas y formación de suelo así como la vida de los animales y en la funcionalidad de los humedales (Tiner 1999).

En los humedales es muy importante la periodicidad que es derivada de las fluctuaciones en la temperatura y las fluctuaciones en el nivel del agua. Estas fluctuaciones son asociadas con cambios climáticos periódicos (estacionalidades) (Hejny & Segal 1998).

Algunos de los ambientes que son considerados humedales son pantanos, manglares, estuarios y zonas de inundación en tierras bajas o a las orillas de lagos y ríos. En México algunos de los lugares que entran dentro de estos tipos de ambientes son las Lagunas de Guerrero Negro, Ojo de Liebre, la Laguna de Términos, Sian Ka'an, Cuatro Ciénegas, Marismas Nacionales, Humedales del Delta del Río Colorado, en la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, los Pantanos de Centla, Ría Lagartos y las zonas de inundación a lo largo de los ríos Usumacinta y Grijalva (Olmsted 1993)

Los humedales que se encuentran ubicados en los trópicos han empezado a ser muy estudiados debido al interés en la diversidad y productividad biológica de estos ecosistemas (Vymazal 1995; Gopal *et al.* 2000). Las algas en particular podrían ser un grupo de estudio importante porque su papel ecológico es clave en el flujo de nutrimentos necesario en el establecimiento de otras comunidades (Carlton & Wetzel 1988; Kadlec & Knight 1996).

Los humedales tropicales de ambientes calcáreos son especialmente atractivos para estudiar comunidades algales. Debido a la naturaleza cársica del sustrato los suelos son someros y no es fácil explicar porqué este tipo de humedales suelen ser ricos en vegetación (Novelo & Tavera 1999). En humedales de la Reserva Ecológica de El Edén, Quintana Roo, en la península de Yucatán, los crecimientos algales son profusos, extensos y permanecen a lo largo del ciclo hidrológico.

2. El tintal

Los tintales son selvas bajas dominadas por el palo tinto (*Haematoxylon campechianum*), en general como vegetación co-dominante se encuentran el chechem (*Metopium brownei*) y el yaxniqué (*Vitex gaumeri*), entre otros. Los ecosistemas de los tintales han sido muy explotados y muy poco estudiados. El palo tinto tuvo una gran importancia socioeconómica debido a que de él se extrae un colorante rojo llamado hematoxilina, actualmente este colorante no es tan usado.

El tintal estudiado en la reserva ecológica El Edén entra dentro de la categoría de humedal, aunque no existe un establecimiento de hidrofitas (como en otros humedales y como se menciona en la definición de humedal) debido a la corta duración del periodo anegado, pero sí se desarrollan cambios en las propiedades del suelo (desarrollo de suelo hídrico). Estos cambios en el suelo parecen afectar a la comunidad algal.

Como se ha planteado anteriormente la periodicidad que tiene que ver con las fluctuaciones de temperatura y el nivel del agua, afectan a las comunidades que encontramos en estos hábitats. En el caso del tintal su estudio nos pareció interesante debido a que las fluctuaciones de temperatura y nivel de agua son más drásticas que en otros humedales aun dentro de El Edén.

En el tinal el nivel del agua es muy somero, la anegación dura como máximo 3 meses, por lo que podemos hablar de que estacionalmente se presenta un periodo seco y un periodo de anegación. El dosel abierto expone a la comunidad algal a una radiación solar constante sobre todo en el periodo seco, ya que en el periodo de anegación la columna de agua podría funcionar como filtro a los rayos ultravioleta.

En vista de la corta duración del periodo de anegación en la zona estudiada, suponemos que la mayoría de las especies que componen los crecimientos algales en esta zona, proliferan durante la anegación y sobreviven hasta el siguiente periodo por la permanencia de sus estructuras reproductoras y de perennación. Para los talos que permanecen a través del ciclo hidrológico, es suficiente durante la época seca con la humedad ambiental y el rocío, que obtienen durante la noche y primeras horas del día.

3. Las algas como grupo taxonómico y funcional

Todos los phyla que están incluidos y son definidos como algas han evolucionado independientemente uno del otro por un largo tiempo, es por esto que este grupo es considerado no natural (Van Den Hoek et al 1995, Bold & Wynne 1985, South & Whittick 1987). Esto nos lleva a preguntarnos ¿porque entonces dentro de la biología existe una disciplina (la ficología) que toma a las algas como un grupo de trabajo tanto taxonómico como funcional?

Las algas son un conjunto de organismos fotosintéticos (realizan fotosíntesis oxigénica), que comparten niveles de organización desde formas unicelulares, agregaciones celulares, filamentos hasta talos parenquimatosos sin una gran complejidad estructural. Aun las algas que tienen formas multicelulares complejas, muestran bajo nivel de diferenciación comparada con otros grupos de plantas, poseen tejidos de conducción elementales (Van den Hoek et al 1995; Bold & Wynne 1985; South & Whittick 1987).

Este grupo de organismos están clasificados en 6 divisiones o phyla, en donde son incluidas formas procariontes (Cyanophyta, Prochlorophyta) y eucariontes (Rhodophyta, Chromophyta, Euglenophyta, Chlorophyta).

Históricamente este grupo es de gran importancia porque las algas procariontes (cianoprocariontes), fueron las primeras células fotosintéticas oxigénicas. Las algas también fueron las primeras en presentar reproducción sexual. El estudiar este grupo tan diverso dentro de la misma disciplina nos permitió conocer que la historia evolutiva de la clorofila a, b y c en estos grupos es convergente.

Pueden ser incluidas en un mismo grupo funcional porque todas estas divisiones pueden encontrarse en los mismos ambientes, formar parte de una misma comunidad, tener requerimientos de nutrientes similares y en términos generales comparten los mismos roles ecológicos. Las algas se encuentran prácticamente en cualquier ambiente habitable, en suelos húmedos, en suelo de desiertos, en glaciares y en cualquier tipo de hábitat acuático (South & Whittick 1987).

4. El estudio de las comunidades

Para poder estudiar a los seres vivos hemos utilizado como herramienta la jerarquización de los organismos en el espacio y en el tiempo, por lo que podemos estudiar a los organismos como individuos, como poblaciones (conjunto de individuos), como comunidades (conjunto de poblaciones), como ensamblajes o regiones (conjunto de comunidades) ... por lo que una comunidad es un grupo de poblaciones que se encuentran coexistiendo en un mismo sitio y en la escala a la que se estudia una comunidad lo que nos interesa entender es como estas poblaciones interactúan entre sí y como estas interacciones pueden modificar a las ecologías individuales (autoecología) y a las poblacionales (ecología de poblaciones) (Jaksic 2001).

En la actualidad se reconoce la importancia que tiene las escalas temporales y espaciales en el estudio de las comunidades porque se sabe que estas son dinámicas., es decir que los procesos en diferentes escalas temporales y espaciales influyen en el número e identidad de las especies en una comunidad (Morin 1999).

Entre muchas otras cosas el estudio de la ecología de comunidades pretende entender ¿Qué determina la composición de especies - ensamblaje de la comunidad?, ¿Qué determina la distribución y abundancia del ensamblaje de especies?, ¿Qué permite la coexistencia de las

especies? ¿Cómo evolucionan las especies de la comunidad y como se relacionan con las características ambientales?.

La manera más sencilla para tener un primer acercamiento a la ecología de las algas es a partir de estudiar los crecimientos algales visibles como una comunidad. Esto se debe a un problema de escala porque los que queremos estudiar la ecología de las algas lo primero que podemos manejar son los crecimientos visibles. Las especies que componen estos crecimientos están interactuando entre sí y con el ambiente y esto es lo que determina su ensamblaje temporal y espacial, es decir son una comunidad que juega un papel ecológico dentro un sistema más grande que sería el humedal.

5. El perifiton

5.1. Forma biológica

La forma biológica es una categoría dentro de la cual se incluyen a las plantas de cualquier posición sistemática, que concuerdan fundamentalmente en su estructura morfológico-biológica y de un modo especial en los caracteres relacionados con la adaptación al ambiente ecológico (Font Quer 1985). Esta definición también es válida para las algas porque se ha probado que algas que se encuentran en microambientes similares algunas de sus estructuras morfológicas son muy parecidas en forma y/o función.

Debido a lo anterior es importante reconocer las formas biológicas porque pueden hacer referencia al ambiente particular o microambiente que presenta características propias y que ejerce presiones de selección sobre los organismos que viven en ellas. "Las formas biológicas reconocidas para las algas de agua dulce son 2 básicamente, planctónica y bentónica" (Novelo, 1998). Las formas planctónicas se caracterizan por estar suspendidas en la columna de agua.

Las formas bentónicas se caracterizan por tener una estrecha relación con el sustrato. Sládečková (1962) utiliza el termino de bentos para referirse a organismos de vida libre viviendo sobre capas de sedimentos y a los organismos que crecen adheridos a cualquier tipo de sustrato sumergido son llamados perifiton o "aufwuchs". Font Quer (1985), dice que el perifiton es una comunidad biótica constituida por organismos microscópicos que viven adheridos sobre un

sustrato sólido y continuamente sumergido. Mientras que Young (1945) y Welch (1948) menciona qué "El perifiton es un conjunto de organismos creciendo sobre superficies libres de objetos sumergidos en agua. Este crecimiento usualmente es una capa verde o café resbaladiza adherida a las superficies de plantas acuáticas, lodos, piedras o algunos otros objetos inmersos en el agua y muy gradualmente se desarrollan crecimientos gelatinosos delgados, hasta culminar en céspedes o fieltros, que pueden ser resbaladizos o costrosos con partículas de tierra y arena".

Cada una de las 3 definiciones arriba citadas tienen elementos que son importantes para definir al perifiton; por lo que si reunimos parte de cada una de las definiciones, el perifiton es una comunidad (conformada por poblaciones de distintas especies) bentónica constituida por organismos microscópicos que viven adheridos a cualquier tipo de sustrato continuamente sumergido y este crecimiento usualmente se ve como una capa verde o café resbaladiza, se pueden desarrollar crecimientos gelatinosos delgados y céspedes o fieltros.

Esta definición se ajusta bien al perifiton que se encuentra en el tinal en donde hay fieltros costrosos (costras), constituidos por organismos microscópicos; los fieltros se encuentran adheridos al suelo (aunque laxamente) y se encuentran sumergidos por un periodo de tiempo (3 meses máximo). Cabe hacernos la pregunta: ¿en la temporada seca, ¿cuando el crecimiento algal no se encuentra sumergido sigue siendo perifiton?.

Los talos de carofíceas son otro tipo de algas bentónicas que para el caso del tinal están estrechamente relacionadas con el perifiton. En la costra del perifiton siempre se encuentran entremezclados talos vivos o muertos de las carofíceas. Las carofíceas pertenecen a la división Chlorophyta, clase Charophyceae y son talos macroscópicos, que crecen varios centímetros de alto.

5.2. Forma de crecimiento

Con la forma de crecimiento se trabaja la apariencia general de un crecimiento de algas como una unidad distinguible (Novelo 1998). Es decir, se trata de la descripción del crecimiento de algas en las zonas de colecta, se ha visto que existe una relación en la forma de crecimiento, las especies que la componen y el hábitat.

Las formas de crecimiento según Novelo (1998) son: plancton, espumas, natas, algas dispersas entre partículas, flóculos (filamentos mucilaginosos), películas (compactas, mucilaginosas y filamentosas), tapetes, céspedes, costras, depósitos calcáreos (estromatolitos vivos) y crecimientos laxos. Las especies con mayor abundancia en un crecimiento son las que le confieren las cualidades al mismo.

En la definición de perifiton arriba citada se mencionan formas de crecimiento que son muy particulares para el perifiton y que tienen una estrecha relación con las especies que conforman a estas comunidades, por lo que tal vez se puedan encontrar patrones similares que expliquen el papel del perifiton en los sistemas biológicos.

En el estudio de comunidades algales es muy importante asociar las formas biológicas y las formas de crecimiento con la composición de especies, porque esto nos permitirá crear una herramienta útil en el reconocimiento de comunidades similares (con una composición de especies parecida) y sus microhabitats.

5.3. Importancia del perifiton en el humedal

El perifiton es importante como productor primario en la cadena alimenticia. Pocos herbívoros acuáticos tienen la capacidad de digerir tejidos vivos de macrofitas y plantas vasculares, por consecuencia las algas que componen el perifiton pueden ser más importantes para los herbívoros acuáticos que las macrofitas o las plantas vasculares.

El metabolismo del perifiton causa cambios químicos en el agua que indirectamente afectan a otros organismos de los humedales: oxigenación de la columna de agua (Hillebrand 1983), cambios en el pH y disminución de las concentraciones de CO_2 (Browder et al 1994). Como se ha mencionado antes el perifiton juega un papel importante en el ciclo de nutrientes en los humedales.

6. Cianoprocaríotes.

Las cianoprocaríotes son algas llamadas verde azules por el color que les confieren sus pigmentos fotosintéticos (ficobilinas y ficocianinas). Son bacterias fotosintéticas y algunas son capaces de fijar nitrógeno, no importa la forma de organización (unicelular y filamentosa), aunque las filamentosas con heterocitos son más eficientes fijando el nitrógeno (Giller & Wilson 1991). La fijación de nitrógeno consiste en convertir el N_2 atmosférico a NH_3 y aminoácidos.

En sitios expuestos a la desecación (como es el caso del tinal) se ha encontrado que las cianoprocaríotes son abundantes. Entre los géneros predominantes están *Lyngbya*, *Microcoleus*, *Nostoc*, *Oscillatoria*, *Schizothrix* entre otras (Goldsborough & Robinson 1996).

7. Métodos utilizados en el análisis de resultados

La mayoría de los humedales estudiados han sido en zonas templadas de Norteamérica y Europa. Es poco lo que se sabe sobre humedales tropicales por lo que los métodos y los modelos que existen para el estudio de humedales deben ser adaptados para las zonas tropicales. Es por esto que a continuación se plantean algunas consideraciones en los métodos de análisis de estructura de comunidades que fundamentan conceptualmente a este trabajo.

7.1. Abundancia e índice de diversidad

El perifiton esta compuesto por varias especies y las respuestas de estas especies a los factores ambientales que podemos medir directamente son la abundancia y la riqueza (cuántas y cuáles especies están presentes). La abundancia y la riqueza no sólo se deben a los factores ambientales si no a las interacciones entre las especies que conforman la comunidad. En el análisis que hagamos del perifiton queremos incorporar las respuestas de las especies en un nivel más integral, es decir evaluar a la riqueza y la abundancia conjuntamente y es por eso que estos valores se proyectaron hacia un índice de diversidad.

El índice de diversidad puede darnos un valor en equitatividad: cuando es alto significa que hay una relación entre muchas especies y abundancias iguales o parecidas. A través de ese

valor podemos comparar comunidades o una comunidad (perifiton) en espacios y tiempos diferentes (periodos de humectación por ejemplo).

Cuando se evalúa de manera conjunta la proporción de especies, la equitabilidad y la riqueza (índice de Shannon-Weaver) se vuelven una sola medida. Otro ángulo para visualizar la influencia de los cambios temporales de esta comunidad (aun antes de asociarlos con algún factor) son los índices de similitud como el coeficiente de Jaccard en donde se pueden ver cambios en la estructura de comunidades a través del tiempo y el espacio (Weitzel, 1979).

En el estudio del tinal, hay dos variables que suponemos se relacionan con la abundancia y composición de especies, que son la cantidad de agua y la duración del periodo de humectación, con el índice de diversidad parte de lo que estamos evaluando es la influencia de estas dos variables en mi comunidad algal.

7.2. Las fluctuaciones del nivel hídrico

En vista de la corta duración del periodo de anegación en la zona estudiada, suponemos que la mayoría de las especies que componen el perifiton en esta zona, proliferan durante la anegación y sobreviven hasta el siguiente periodo por la permanencia de sus estructuras reproductoras y de perennación. Para los organismos que permanecen a través del ciclo hidrológico, es suficiente durante la época seca con la humedad ambiental y el rocío, que obtienen durante la noche y primeras horas del día. Para probar estas hipótesis, se mantuvieron porciones del perifiton en condiciones ambientales artificiales que comúnmente se utilizan para cultivos, se agregó solamente agua destilada (sin ningún elemento nutritivo), con la finalidad de proporcionar condiciones anegadas por un tiempo prolongado, a diferencia de las que tienen naturalmente.

Las fluctuaciones del nivel hídrico descritas en el párrafo anterior podrían ser determinantes para las especies que se encuentran en este hábitat y relacionado con esas fluctuaciones muy posiblemente la temperatura sea otro factor crítico. Es de suponerse que en la temporada seca tengamos variaciones de temperatura entre el día y la noche y aun entre un día y otro. Mientras que en la temporada anegada los cambios en la temperatura podrían ser amortiguados por la presencia de una columna de agua. La interacción de las especies con este

factor es más fácil evaluarlas a nivel ecofisiológico con una aproximación diferente a la planteada en este trabajo.

7.3. Análisis de Factores

Para el caso del tintal el análisis de factores permitió observar si a partir de las variaciones en la abundancia de especies se explicarían las condiciones de humedad y anegación del ciclo hidrológico, porque tradujo estos cambios de abundancia de las especies en asociaciones de ambientes o periodos. Es decir, agrupó los ambientes o periodos que son similares (o diferentes) de acuerdo a los cambios en la abundancia de especies. El análisis de factores reduce la dimensión en las variables, dándoles una nueva estructura. Las variables originales van a ser expresadas como una combinación lineal de otras variables resultado de una nueva ecuación o función.

7.4. Factores limitantes para el perifiton

La cantidad de agua y la duración del periodo anegado no son los únicos factores que pueden influir a la comunidad del perifiton. La abundancia de cada especie puede ser el resultado del éxito reproductivo. Si suponemos que la tasa reproductiva de una especie está en función de la habilidad particular de explotar los recursos del ecosistema, entonces dependerá de los factores que limiten esa tasa. Los factores limitantes, definidos por Tilman (1977) en concordancia con Hutchinson (1961), son aquellos que implican una competencia por recursos. Para el caso del tintal estudiado los únicos factores limitantes que fueron medidos son los nutrimentos, ya que podemos suponer que la luz, que es un factor limitante para los organismos fotosintéticos, no tiene una gran variación para el perifiton del tintal por las condiciones propias del área de estudio (dosel abierto por lo que el perifiton se encuentra siempre expuesto a la radiación solar). La radiación constante de luz no genera competencia entre las especies, pero es un factor que podría influir en respuestas a nivel fisiológico y posiblemente influya en la variación de la composición de especies de la comunidad.

Independientemente de cómo y cuánto los nutrimentos puedan limitar a las especies, los cambios de concentraciones de nutrimentos podrían verse reflejados en cambios en la biomasa

total de la comunidad. Si suponemos que sólo cierta cantidad de biomasa se formará a partir de un nutrimento limitante, y sabemos que la fotosíntesis será la responsable de la formación de carbohidratos (que se traducen en biomasa), podemos relacionar cantidad de fotosíntesis y cantidad de fósforo con cantidad de biomasa. Por ello es posible utilizar la clorofila como traductor de biomasa (producción de carbohidratos vía fotosíntesis); es decir los cambios en la biomasa total de la comunidad, podrían responder a cambios en concentraciones de nutrimentos.

La otra razón de utilizar la clorofila como traductor de biomasa es que en esta comunidad hay cambios evidentes a simple vista en el volumen del perifiton, pero que no pueden ser evaluados de manera consistente. Así que la concentración de clorofila por unidad de área o volumen nos permitió medir estos cambios de biomasa en función de la cantidad de nutrimento (fósforo disponible). Los nutrimentos fueron medidos en el tinal como ortofosfatos y las formas nitrogenadas nitrato y amonio.

7.5. Análisis de regresión simple

Un análisis de regresión simple fue considerado para evaluar si los cambios en biomasa responden (como podría esperarse) a los cambios en las concentraciones de nutrimentos, es decir, si hay correspondencia entre los valores de ambas variables. El análisis de regresión se relaciona con los coeficientes de determinación y de correlación. El coeficiente de determinación mide la proporción de observaciones que son explicadas satisfactoriamente por la predicción que hace el análisis de regresión. El valor máximo que puede tomar r^2 es 1, un resultado que se obtiene cuando toda la variación de la variable dependiente es explicada por la regresión. El límite inferior r^2 es 0. El coeficiente de correlación (r) se refiere a la medición de la intensidad de la relación entre variables, el valor mayor también es 1 y el menor es -1 (Hair et al 1990).

ZONA DE ESTUDIO

1. Aspectos generales

Se estudiaron las algas de zonas de inundación en la Reserva Ecológica de El Edén, en Quintana Roo (21°11'-21°14' N y 87°10'-87°12' O). En una de ellas, localizada en un tinal (21°13' 01.1" N; 87°11'48.8" O) en el que predomina *Haematoxylon campechianum* L. (Fig.1). Las algas crecen formando tapetes que se extienden sobre el sustrato.

La zona del tinal no tiene un dosel cerrado y especialmente en el sitio de muestreo (una parcela de 32 m²) es menor al 5%.

2. El clima

El clima en la región de acuerdo con García (1981) es Aw''2(i'), cálido subhúmedo con lluvias en verano, con canícula, los vientos predominantes en la región provienen del sureste.

En la reserva ecológica El Edén la temperatura durante el día oscila en promedio entre los 20 y los 29 °C. Entre las 11:00 am y las 4:00 pm es el periodo con la temperatura más alta en el día (Fig.2). Durante el año la temperatura promedio oscilo sólo 4 grados entre agosto y noviembre el mes con la mayor y la menor temperatura respectivamente (Fig.3).

En El Edén agosto, septiembre y octubre son los meses en donde se encuentra el pico de precipitación en el año por arriba de los 200 mm, noviembre oscila entre 175 y 200 mm. En abril tenemos un promedio de 76.83 mm (Fig.4).

La humedad relativa promedio anual en El Edén está por arriba del 80 %, el pico se encuentra en los meses de agosto, septiembre y octubre (por arriba del 90 %). Durante el día los valores más altos de humedad se alcanza entre la 1:00 y las 9:00 am (100 a 94.6%). Mientras que de la 1:00 a las 6:00 pm se tienen los valores más bajos del día (por debajo de 90 %) (Fig.5).

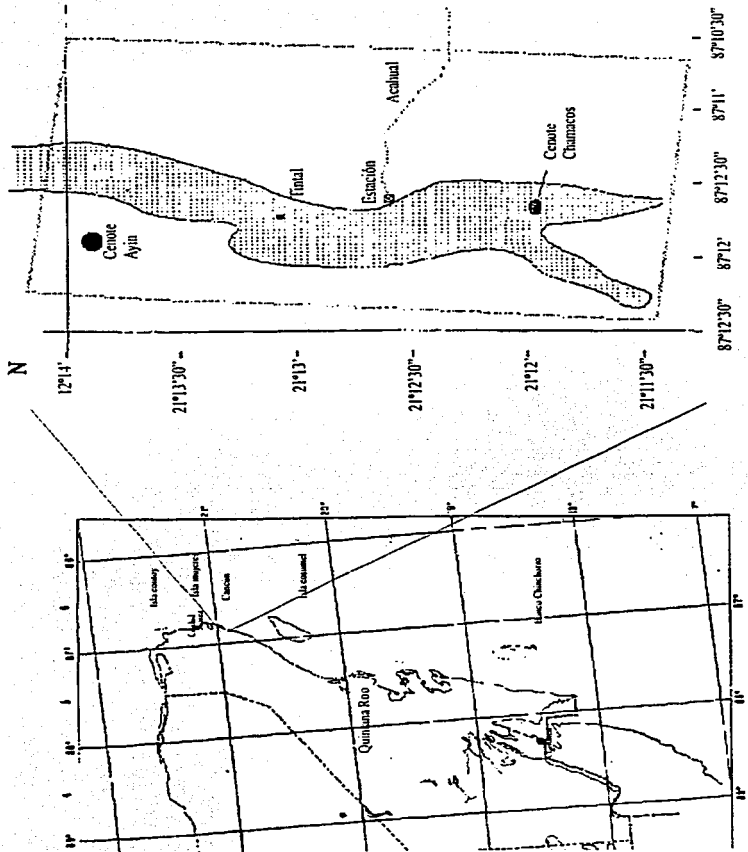


Fig.1. Mapa con la ubicación del Tintal dentro de la Reserva Ecológica El Edén.

3. El suelo

En el tinal el suelo es somero de 15 a 60 cm de profundidad; sobre rocas calizas de color blanco que indica la presencia de sílice y carbonatos de calcio, tiene poca materia orgánica y el granulado es fino.

4. La Vegetación

La vegetación predominante es *Haematoxylon campechianum* (Leguminosae), para el caso del tinal en El Edén la vegetación co-dominante es: *Erithroxylon confusum* (Erythroxylaceae), *Acoelorrhaphe wrightii* (palmae) y *Jacquinia aurantiaca* (Theophrastaceae), al principio de lluvias también son abundantes algunas ciperáceas y gramíneas.

5. Descripción del ciclo hidrológico

Durante el periodo de secas en el tinal que fue estudiado, el único aporte de agua es el rocío de las madrugadas que se condensa sobre la costra. Cuando comienza el periodo de lluvias, éstas son cortas y esporádicas por lo que el suelo absorbe este aporte casi en su totalidad manteniéndose húmedo, pero no llega a su saturación, de manera que, sobre todo en las zonas expuestas, el perifiton se humecta y se seca constantemente. Cuando la lluvia se hace frecuente y la lluvia cae durante varias horas, tanto el suelo como el perifiton se mantienen húmedos las 24 horas hasta que llega un momento que se saturan de agua. En el periodo anegado, el agua alcanza aproximadamente unos 16 cm de altura. Cuando termina el periodo de lluvias, tanto la costra como el suelo guardan humedad por varias semanas (esto se debe a la saturación de agua arriba mencionada).

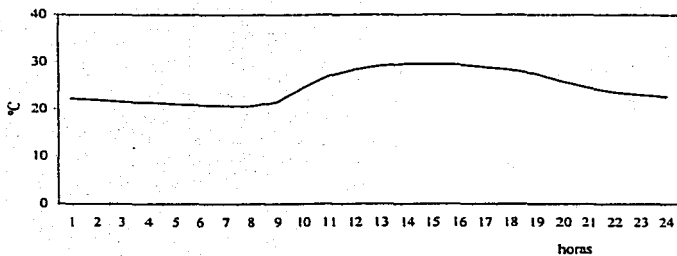


Fig.2. Muestra la variación en la temperatura promedio durante el día.

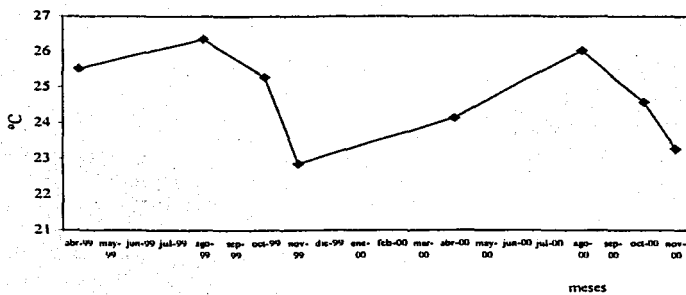


Fig.3. Muestra la variación de la temperatura promedio mensual.

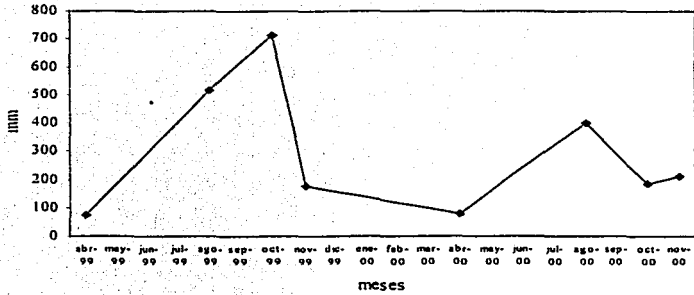


Fig.4. Muestra la variación de la precipitación mensual.

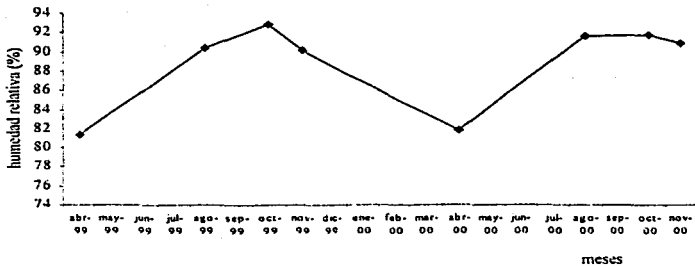


Fig.5. Muestra la variación de la humedad relativa mensual.

OBJETIVOS

El tinal tiene características particulares que lo hacen muy diferente a las otras zonas del humedal, la topografía es muy elevada en este lugar, por lo que el tiempo que permanece anegado es corto, las condiciones ambientales son muy fluctuantes y rigurosas para las costras algales. Es decir que el terreno se humecta y se seca constantemente o permanece sin humectación por un tiempo muy prolongado. Por esta particularidad, el objetivo principal en este trabajo es:

Estudiar si el ciclo hidrológico dentro del tinal es un factor que influye en el comportamiento de las algas del perifiton. Para llevar a cabo el objetivo principal nos planteamos cuatro objetivos particulares:

Establecer como varían las diferentes formas de crecimiento que componen el perifiton del tinal a lo largo del ciclo hidrológico.

Comparar las variaciones del perifiton *in situ* con un experimento de laboratorio que tenía el propósito de analizar las respuestas del perifiton en cultivo mantenido en condiciones anegadas por un tiempo prolongado (4 meses).

De la forma de crecimiento dominante del perifiton, la costra, analizar con detalle su diversidad (riqueza y abundancia de especies) y su biomasa y relacionarlos con los cambios en el ciclo hidrológico y en los nutrientes.

Con la abundancia de especies del crecimiento dominante realizar un análisis que nos permita comprender como este crecimiento responde a su ambiente.

MATERIAL Y MÉTODOS

En este trabajo se presentan algunas consideraciones sobre el comportamiento de las algas (perifiton y talos de carofíceas) en un humedal tropical; particularmente un tinal:

En el campo se registraron y describieron las variaciones que presentan a simple vista los crecimientos que conforman el perifiton (hojuelas y costra) y talos de carofíceas en cada mes de colecta.

Los cambios en la forma de crecimiento, la biomasa (clorofila *a*) y en la composición de especies de la costra y las hojuelas se relacionaron con los cambios en el grado de humectación a lo largo de un ciclo hidrológico.

Para caracterizar las especies del tinal inundable se tomaron muestras de los crecimientos de perifiton presentes en los meses de octubre de 1999, abril, agosto y noviembre del 2000, que corresponden a los periodos de lluvias, secas, principio de lluvias y fin de lluvias respectivamente. Se realizó la observación del material con un microscopio óptico Nikon con contraste interdifereencial. En el perifiton se determinaron clorofila *a* por fluorometría con el método 445.0 (USEPA, 1997) y nutrimentos según métodos aprobados por la USEPA y modificados para utilizarlos con un espectrofotómetro Hach DR/2010 (Hach, 1997).

Se comparan las variaciones del perifiton en el tinal con las variaciones observadas en un cultivo de perifiton. Este experimento se hizo con la intención de probar que existen estructuras reproductoras y de perennación en la costra o el suelo que permiten sobrevivir a las especies que no están creciendo en el periodo seco, hasta que se establezcan condiciones de anegación.

En agosto se recolectó una porción de 15 x 20 cm² de perifiton, junto con el sustrato adyacente. Este material se mantuvo en hielo hasta ponerlo en condiciones de cultivo, colocándolo en recipientes de plástico transparente de 20 x 25 cm² por 12 cm de

profundidad, añadiendo 1 L de agua destilada. El recipiente se cubrió con envoltura plástica transparente y permeable a gases. El cultivo se mantuvo durante cuatro meses en una cámara con condiciones controladas de temperatura (32 °C), humedad relativa (75%), luminosidad (360 pies/candela) y fotoperiodo (16 hrs de luz por 8 hrs de oscuridad). Se hicieron revisiones semanales para llevar el registro de los cambios en las formas de crecimiento (color, textura, grosor) y en la composición de especies.

En la forma de crecimiento dominante en el tintal (una costra), se estudia la variación de la diversidad de este crecimiento y la relación de esta variación con la biomasa como clorofila *a* y los nutrimentos en la costra y el suelo.

Para realizar el análisis estadístico, se recolectaron en cada una de las visitas a El Edén porciones de perifiton (costra y hojuelas) de 10 cm de diámetro, que se preservaron en formol al 3%. De estas porciones de perifiton se tomaron aleatoriamente 3 micronúcleos de cada muestra con un nucleador de 3.3 mm de diámetro, para obtener la abundancia como número de individuos por especie por área para cada periodo.

De estos núcleos se hicieron preparaciones para revisión en microscopio óptico Nikon con contraste interferencial.

Se revisaron 360 campos por núcleo, en total 1080 por periodo, a 200 aumentos, en algunos casos se revisó en un microscopio con campana uv a 3000 aumentos. Se contó el número de especies y el número de individuos de cada especie.

Los índices ecológicos que se utilizaron fueron:

El índice de diversidad de Shannon-Weaver (Magurran 1998, Weitzel 1979, Siqueiros et al 1985):

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log P_i$$

En donde $P_i = n_i/N$, n_i es el número de individuos de la especie i -ésima y N es el número total de individuos en la muestra.

El índice de similitud de Jaccard (Weitzel 1979, Siqueiros et al 1985):

$$JAC = c/(a+b-c).$$

En donde a es el número de especies en la locación A , b es el número de especies en la locación B y c es el número de especies comunes en A y B . Locación puede ser muestra, temporada o colecta. Para la evaluación y representación gráfica de este índice se utilizó el programa Anacom versión 3.0

Para explorar si podría existir una relación entre el fósforo y la clorofila o la diversidad se utilizó un análisis de regresión.

Por último se agruparon los periodos (seco, principio de lluvias, anegado y fin de lluvias) como similares o diferentes de acuerdo a los cambios en la abundancia de especies. Para ello se empleó un análisis de factores. En los dos casos arriba mencionados se utilizó el paquete estadístico Statistica 6.0, edición 99.

Para poder llevar a cabo el trabajo ecológico, se tuvo que realizar una exploración taxonómica de los crecimientos que conforman el perifiton.

Las determinaciones de los géneros y las especies de cianoprocaríotes, siguiendo el esquema taxonómico propuesto por Komárek & Anagnostidis, se basaron en: Geitler (1932) y Geitler & Ruttner (1935), Komárek & Anagnostidis (1999), Anagnostidis & Komárek (1988), Desikachary (1959), Frémy (1929) y Starmach K (1966). Las especies de charophyta siguiendo el esquema taxonómico propuesto por Wood & Imahori, se determinaron en base a Wood & Imahori (1965).

Algunas especies presentadas en los resultados de este trabajo (se indican como especies por confrontar o cf.) no se parecen a lo descrito en la literatura, por lo que necesitan estudios taxonómicos más profundos que no son la finalidad de este trabajo (observación de mucho material, descripción del ciclo de vida y posiblemente ser cultivadas). En algunos casos no se aplicó un epíteto específico porque no presentan estructuras de reproducción, ni estructuras vegetativas o de resistencia, ni heterocitos, ni nanocitos.

RESULTADOS

1. Descripción de los crecimientos algales en el tintal

En el tintal la forma biológica de las algas no varió con los cambios del ciclo hidrológico, manteniéndose siempre como perifiton. Esta forma biológica estuvo compuesta de dos crecimientos diferentes: costra y hojuelas (Fig. 6). Estas formas de crecimiento y los talos de carofíceas si tuvieron variación durante el ciclo hidrológico; para las descripciones de las variaciones ver Cuadro 1.

2. Composición de especies del perifiton durante el ciclo hidrológico

El perifiton estuvo compuesto de tramas de filamentos (costras) y hojuelas integradas por colonias mucilaginosas de *Gloeocapsa* sp.2. (Fig.6 y Cuadro 1). En las tramas predominaron especies de Cyanophyceae, que en la época seca estuvieron representadas por *Stigonema dendroideum* Frémy y *Gloeocapsa* sp.2 y en la época anegada se enriquecieron con otras especies de algas verde azules filamentosas, como, *Schizothrix violacea* Gardner, *Scytonema* sp., *Microcoleus* sp., *Tolypothrix* sp., *Hidrocoleus* sp., *Hassallia* cf. *byssoides* Hassall ex Bonet & Flahault y *Petalonema* cf. *densum* (Braun.) Migula. Tanto en la época seca como en la anegada, hubo especies del orden Chroococcales acompañantes de las filamentosas (Cuadro 2).

En la época anegada hubo una mayor diversidad de especies; a mediados de la época de lluvias, aún sin anegación continua, comenzó la germinación de cigotos de Carofíceas (*Chara* sp. y *Nitella* cf. *pseudoflabellata* Braun) y durante la anegación los talos crecieron rápidamente. Al final de las lluvias comenzaron a escasear y en la época seca declinaron por completo, de manera que ambas especies estuvieron ausentes en el tintal durante todo este periodo (Fig.7 y Cuadro 1).

La composición de especies de la costra gris (Fig.8) varió conforme el cambio en los periodos del ciclo hidrológico. En la época anegada (octubre) se presentó el mayor número de especies filamentosas, mientras que en la época seca (abril) la riqueza decayó significativamente sobre todo en las filamentosas. En principio de lluvias (agosto) se incrementó nuevamente el número de especies filamentosas que es muy similar para el fin de lluvias (noviembre) (Fig. 8).

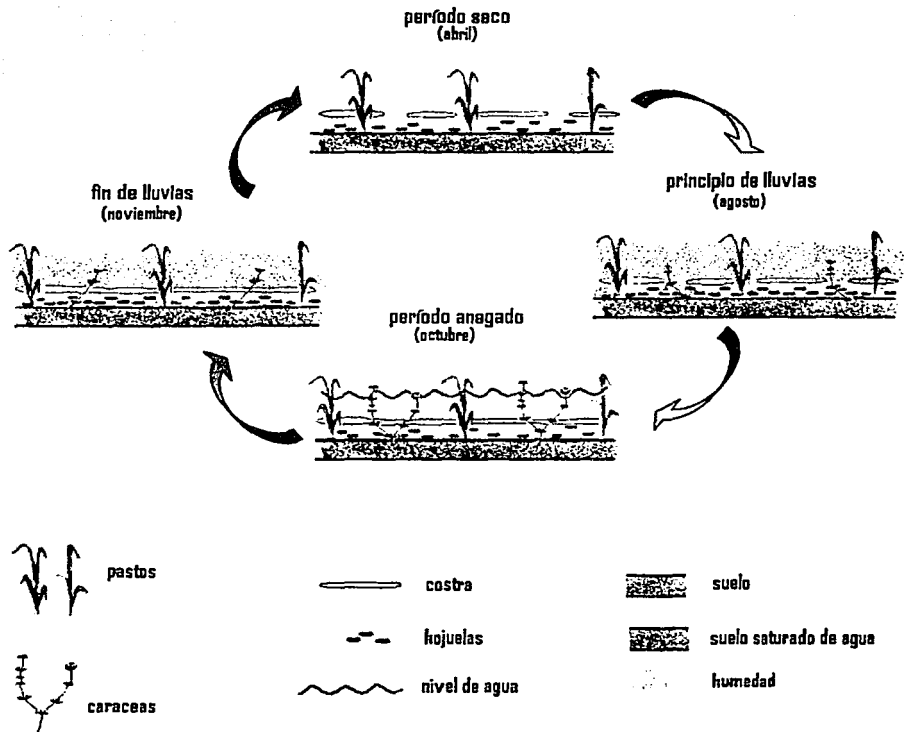


Fig. 6. Esquema donde se muestran los cambios en apariencia del perifiton en el tinal.

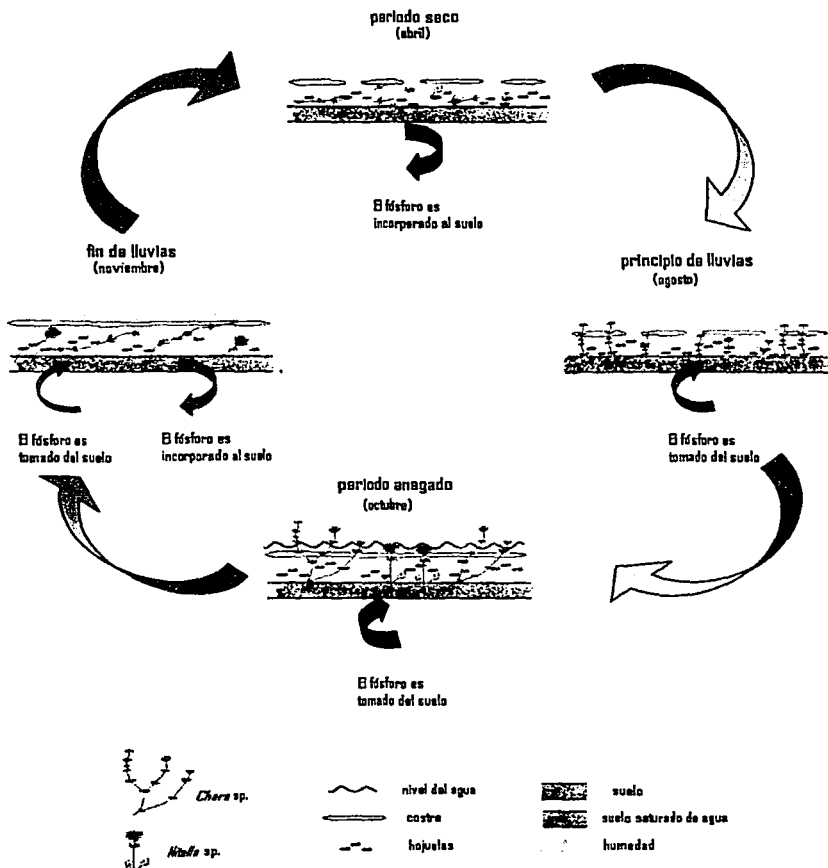


Fig. 7. Esquema donde se muestra los cambios que sufren los crecimientos de characeas y su posible relación con el ciclo del fósforo.

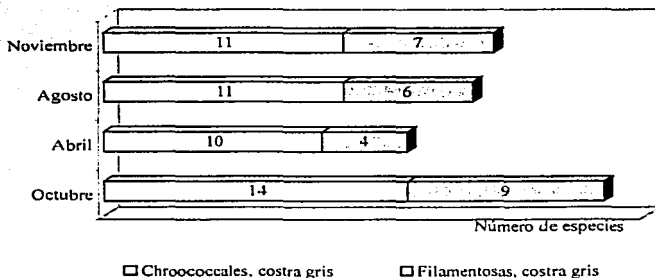


Fig. 8. Comparación de número y nivel de organización de especies presentes en la costra gris, la forma de crecimiento dominante en el tinal estudiado.

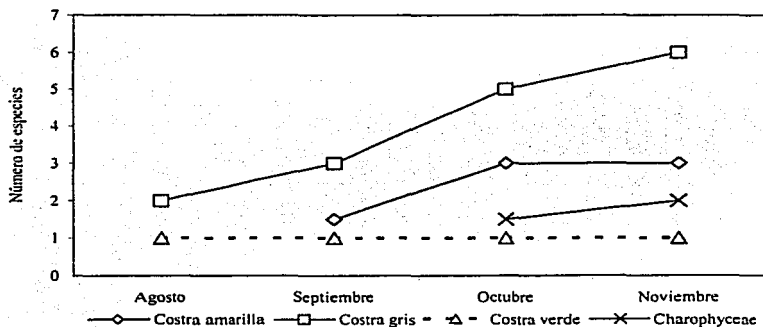


Fig. 9. Cambio en el número de especies del perifiton del tinal estudiado, manteniendo condiciones de anegación artificiales (cultivo) durante 4 meses (agosto, septiembre, octubre y noviembre del 2000).

FORMA DE CRECIMIENTO	OCTUBRE (anegado)	ABRIL (seco)	AGOSTO (inicio de lluvias)	NOVIEMBRE (Fin de lluvias)
Costra gris	Cohesionada, 5-7 cm de grosor. Recubre el sustrato completamente. Textura mucilaginoso.	Fragmentada, 0.5 -1.5 cm de grosor. No recubre sustrato por completo. Textura rasposa.	Cohesionada, 2-3 cm de grosor. Adquiere color pardo. Textura aterciopelada.	Cohesionada, 1-2 cm de grosor. Mantiene color pardo. Textura esponjosa.
Hojuelas verde olivo	Sólo debajo de la costra. Algunas verde negruzco.	Sólo debajo de la costra. Color verde olivo	Bajo la costra y en zonas expuestas. Color verde olivo	Bajo la costra y en zonas expuestas. Color verde olivo
Talos de Carofíceas	Talos de <i>Chara</i> sp. y <i>Nitella</i> cf. <i>pseudotabellata</i> , poco numerosos y bien desarrollados, adheridos directamente al sustrato pueden crecer a través de la costra. Los de <i>Nitella</i> miden 2-5 cm de largo, <i>Chara</i> sp. 3-2 cm de largo y presentan estructuras reproductoras.	Talos ausentes, sólo fragmentos secos blanquecinos (calcificados).	Talos de <i>Chara</i> solamente, muy escasos, de unos 2-4 cm de largo, no presentan estructuras reproductoras.	Talos de <i>Chara</i> sp. 7-14 cm de largo y los de <i>Nitella</i> 3-8 cm del largo. Ambos muy escasos; algunos presentan estructuras reproductoras.

Cuadro 1. Formas de crecimiento del perifiton en el tinal estudiado. Características de la apariencia, color, textura y grado de cobertura sobre el sustrato de cada uno, en las épocas de recolección: octubre 1999 y abril, agosto y noviembre de 2000.

3. El perifiton en condiciones de cultivo

El perifiton que se colocó en condiciones de cultivo estuvo compuesto por crecimientos costrosos, crecimientos independientes de carofíceas (2 spp.) y tramas constituidas principalmente por filamentosas. Tanto las costras como las tramas estuvieron formadas por especies de la Cyanophyceae (Cuadro 2). Las formas de crecimiento originales cambiaron su aspecto visible en color y textura, las condiciones de anegación "permanente" restringieron a las especies que aparentemente son sensibles a esta condición de anegación.

No se presentaron diferencias importantes en cuanto la observación de especies que no hayan sido registradas en el tinal, *in situ*, es decir que se establecieron pocas especies oportunistas. Solamente tres especies que crecieron en el cultivo no fueron observadas en ningún periodo del ciclo hidrológico en el tinal, *Anabaena* sp. (tanto en la costra amarilla como en la gris, en la 3ª y 4ª semanas respectivamente), *Phormidium* sp. y *Leptolyngbya* sp. (ambas en la costra gris desde la 3ª semana) (Cuadro 2).

Hubo varias especies que se presentan en el periodo anegado *in situ* que no pudieron establecerse en el cultivo, ver cuadro 2.

En el cultivo se observaron dos crecimientos costrosos, uno de color verde pálido, formado sólo por *Gloeocapsa* sp.2. que, adherido firmemente; recubrió la mayoría del sustrato al inicio del cultivo y disminuyó hacia los últimos meses. El otro crecimiento fue una costra amarilla, también firmemente adherida al sustrato. Esta apareció al mes de iniciado el cultivo y a los dos meses aparecieron sobre la costra crecimientos hemisféricos monoespecíficos, de 1 mm de altura, compuestos por *Aphanothece pallida* (Kützing.) Rabenhorts.

Las tramas filamentosas formaron una película de textura tersa, laxamente adherida al sustrato. Al inicio del cultivo, ésta sólo recubrió las orillas del recipiente, pero posteriormente se extendió en área y en grosor formando un mucilago de textura algodonosa. Las especies que conformaron la costra amarilla y las tramas filamentosas se mencionan en el Cuadro 2.

En las tramas filamentosas el número de especies aumentó con la permanencia de la condición anegada (Fig. 9), provocando cambios en la apariencia de esta forma biológica, que de ser una película, pasó a ser un mucilago de un grosor de 4 cm.

ESPECIE	CULTIVO	TINTAL
<i>Anabaena</i> sp.	Costra amarilla y gris 3ª / 4ª semana	
<i>Leptolyngbya</i> sp.	Costra gris 3ª semana	
<i>Phormidium</i> sp.	Costra gris 3ª semana	
<i>Gloeocapsa</i> sp.1.		Todo el ciclo
<i>Gloeocapsa</i> cf. <i>compacta</i>		Todo el ciclo
<i>Fischerella</i> cf. <i>reptans</i>		S
<i>Chroococcus</i> sp.2.		F
<i>Chroococcus</i> sp.3.		F
<i>Gloeocapsopsis</i> sp.		S, P, F
<i>Gloeotheca</i> sp.2.		S, P, F
<i>Nostoc</i> sp.		P, A y F
<i>Microcoleus</i> sp.		P, A y F
<i>Hidrocoleus</i> sp.		P, A y F
<i>Hassallia</i> cf. <i>bysoidea</i>		P, A y F
<i>Tolypothrix</i> sp.		P, A y F
<i>Petalonema</i> cf. <i>densum</i>		A y F
<i>Chroococcus</i> sp.1.		S, A, F
<i>Gloeocapsa</i> sp.2.	Todo el tiempo ambos crecimientos	Todo el ciclo
<i>Stigonema dendroideum</i>	Costra gris: 9ª semana	Todo el ciclo
<i>Schizothix violacea</i>	Costra gris: 9ª semana	P, A y F
<i>Gloeotheca</i> sp.1.	Costra amarilla y gris: 4ª / 9ª semanas	P, A y F
<i>Aphanothece pallida</i>	Costra amarilla 9ª semana	S, P, A
<i>Scytonema</i> sp.1.	Costra gris 9ª semana.	A
<i>Nitella</i> cf. <i>pseudoflabellata</i>	Crecimiento independiente: 9ª semana	A
<i>Chara</i> sp.	Crecimiento independiente: 16ª semana	A

Cuadro 2. Lista de las especies que estuvieron presentes en cultivo, en el análisis de composición de especies o en ambos. Todo el ciclo = presente en todas las visitas; F = presente sólo en fin de lluvias; S = presente sólo en época seca; P = sólo en principio de lluvias; A = sólo en época anegada.

El número de especies que formaron el perifiton en el cultivo, es decir, todas las películas y costras que se han descrito, fue mucho menor al número de especies que conformaron el perifiton en el tinal (Cuadro 2).

4. Nutrimientos

En las determinaciones de las concentraciones de nutrientes (nitrato, amonio, y fósforo total) en el perifiton y el suelo durante el ciclo hidrológico, se observó que el valor mayor de fósforo corresponde al periodo seco (abril) y el menor al periodo anegado (octubre) (Cuadro 3).

5. Cambios en la biomasa (Cl a) de la costra y las hojuelas durante el ciclo hidrológico

Hubo un incremento en biomasa a través del periodo anegado, pero parece que este periodo favoreció más a la costra gris; mientras que los periodos en que el suelo estuvo húmedo solamente, los crecimientos de las hojuelas (*Gloeocapsa* sp.2) tuvieron valores más altos de biomasa (Fig. 10).

6. Abundancia de especies en la forma de crecimiento dominante (costra) del perifiton

En el periodo anegado (octubre) se presenta el mayor número de especies pero además son varias las especies con una abundancia significativa (número de individuos por área). Se pueden observar 2 bloques sobresalientes, el primero compuesto por las Chroococcales *Gloeocapsa* sp.1, *Gloeocapsa* sp.2, *Chroococcus* sp.1, *Aphanothece* sp.1, *Gloeothece* sp.1 y *Aphanocapsa* sp.1; el segundo bloque compuesto por las filamentosas *Schizothrix violacea*, *Hidrocoleus* sp., *Microcoleus* sp; *Hassallia* cf. *byssoides*, *Tolypothrix* sp; *Petalonema* cf. *densum* y *Scytonema* sp; *Gloeocapsa* sp.2 y *Hassallia* cf. *byssoides* son las especies más abundantes del periodo, pero no se observa una diferencia tan grande como en los otros periodos (seco, principio de lluvias, fin de lluvias) entre estas especies dominantes y el resto (Fig.11). *Hassallia* cf. *byssoides*, *Tolypothrix* sp; *Scytonema* sp; *Schizothrix violacea*, *Gloeothece* sp.1, *Aphanocapsa* sp.1, y *Microcoleus* sp. alcanzan los mayores valores de abundancia dentro de todo el ciclo. Mientras que *Aphanothece* cf. *hegewaldii* Kováčik, *Hidrocoleus* sp., y *Petalonema* cf. *densum* son especies abundantes que sólo están presentes en este mes.

	Suelo		Costra		Agua	
	N _{TOT} mg l	P _{TOT} mg l	N _{TOT} mg l	P _{TOT} mg l	N _{TOT} mg l	P _{TOT} mg l
Octubre	9.15	8.8	8.2	45.9	1.4	0.10
Abril	11.6	64.4	0.71	78.4	seco	seco
Agosto	11.9	36.3	0.4	59.8	seco	seco
Noviembre	12.4	22.2	15.1	4	seco	seco

Cuadro 3. Comparación de los valores entre nitrógeno total (NO₃⁻-N + NH₄) y fósforo total obtenidos en el suelo, costra del perifiton y agua de cada mes, octubre (anegado), abril (seco), agosto (principio de lluvias) y noviembre (fin de lluvias).

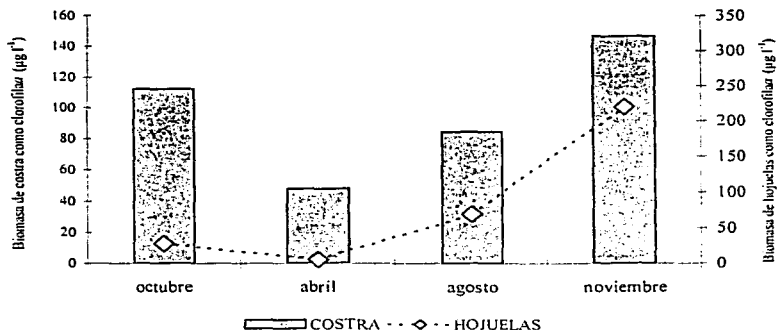


Fig.10. Comparación de la biomasa como clorofila α (µg l⁻¹) del perifiton durante el ciclo hidrológico.

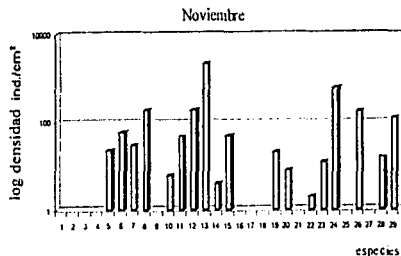
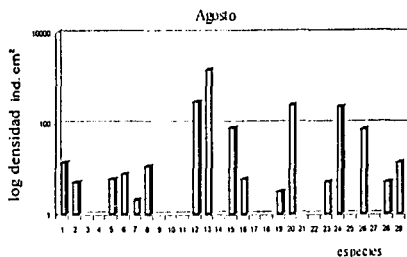
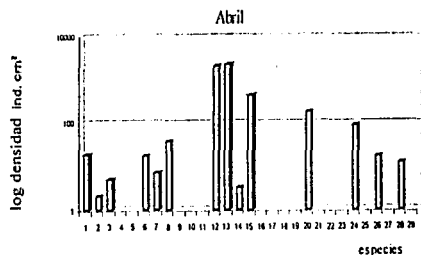
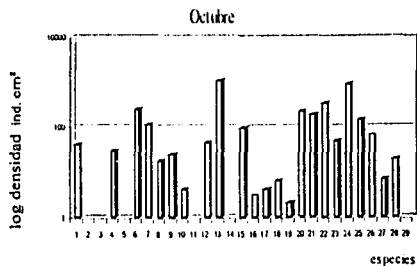


Fig. 11. Comparación de la abundancia de especie en los meses Octubre (lluvias), Abril (secas), Agosto (principio de lluvias) y Noviembre (fin de lluvias).

Lista de especies de las gráficas: 1.*Aphanothece* sp.1, 2.*Aphanothece* sp.2, 3.*Aphanothece* sp.3, 4.*Aphanothece* cf *hegewaldii*, 5.*Aphanothece* *pallida*, 6.*Gloeothece* sp.1, 7.*Aphanocapsa* sp.1, 8.*Aphanocapsa* sp.2, 9.*Aphanocapsa* sp.3, 10.*Aphanocapsa* sp.4, 11.*Chondrocystis* sp, 12.*Gloeocapsa* sp.1, 13.*Gloeocapsa* sp.2, 14.*Gloeocapsa* cf *compacta*, 15.*Chroococcus* sp.1, 16.*Chroococcus* sp.2, 17.*Chroococcus* sp.4, 18.*Chroococcus* sp.5, 19.*Entophysalis* sp., 20.*Schizothrix* *violacea*, 21.*Hydrocoleus* sp., 22.*Microcoleus* sp., 23.*Scytonema* sp., 24.*Hassallia* cf *byssoides*. 25.*Petalonema* cf *densum*, 26.*Tolypothrix* sp., 27.*Nostoc* sp., 28 *Stigonema dendroideum*, 29 *Fischerella* cf *reptans*,

Gloeocapsa sp.1 y *Chroococcus* sp.1 tiene la menor abundancia de todo el ciclo hidrológico (Fig.11).

En el periodo seco (abril) se observan 2 especies dominantes *Gloeocapsa* sp.1 y *Gloeocapsa* sp.2, le siguen en abundancia *Chroococcus* sp.1 y dos especies de filamentosas (*Schizothrix violacea* y *Hassallia* cf. *bysoidea*). Las tres primeras especies aumentaron considerablemente la abundancia con respecto al periodo antes mencionado. Todos las demás especies presentes en este periodo son poco abundantes, pero hay dos *Gloeocapsa* cf. *Compacta* Kützing y *Aphanothece* sp.3 que adquieren importancia debido a que la primera no está presente en los periodos anegado y principio de lluvias (octubre y agosto respectivamente), mientras que la segunda ya no aparece en los otros periodos. El número de especies es el más bajo de todos los periodos (Fig.11).

En el principio de lluvias (agosto) el número de individuos de *Gloeocapsa* sp.1 y *Gloeocapsa* sp.2 bajó significativamente aunque la segunda no ha dejado de ser la especie dominante del periodo. Las únicas que tienen un aumento en el número de individuos considerable son *Schizothrix violacea*, *Hassallia* cf. *bysoidea* y *Tolypothrix* sp.

Entophysalis sp., *Aphanothece pallida* y *Fischerella* cf. *reptans* Geitler & Ruttner, son especies que no se encontraban en los periodos anteriores. *Chroococcus* sp.2 y *Scytonema* sp. son especies que estaban presentes en el periodo anegado (octubre), en el periodo seco (abril) no se observaron y vuelven a aparecer en este mes. (Fig. 11).

En el fin de lluvias el número de especies disminuye, con *Gloeocapsa* sp.2 como especie dominante, *Hassallia* cf. *bysoidea* es la que sigue (muy por debajo de la anterior) en abundancia. Las otras especies importantes en este periodo por su abundancia son *Gloeocapsa* sp.1, *Aphanocapsa* sp.2, *Tolypothrix* sp. y *Fischerella* cf. *reptans* (que en este mes alcanza su mayor abundancia) (Fig. 11).

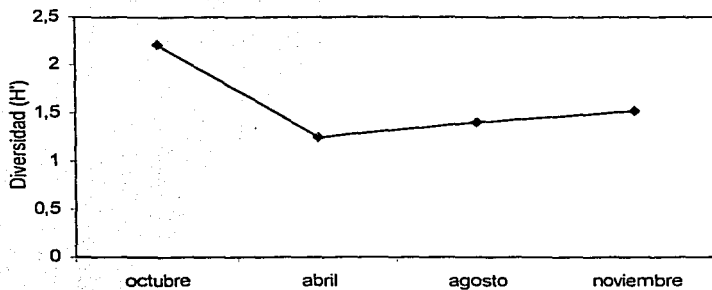


Fig.12. Muestra los valores de diversidad de la costra algal durante el ciclo hidrológico. Octubre (lluvias), abril (secas), agosto (principio de lluvias) y noviembre (fin de lluvias).

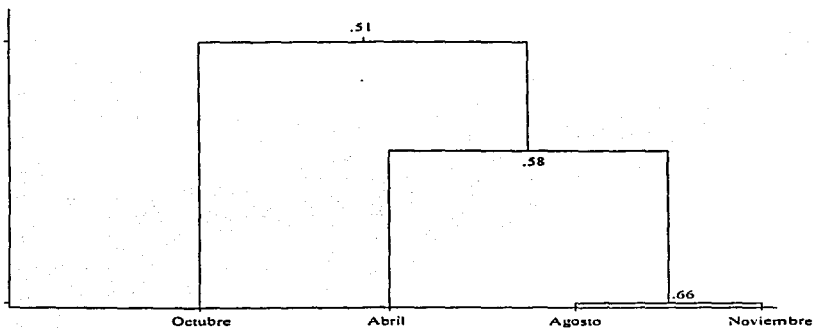


Fig. 13. Comparación de los valores de similitud en la costra gris durante el ciclo hidrológico.

7. Diversidad en la costra que compone el perifiton

El índice de diversidad de Shannon-Weaver nos reveló que el periodo de lluvias (Octubre) tiene el mayor valor de diversidad con 2.21; el valor de la diversidad en la temporada seca (abril) en 1.25; en principio de lluvias (agosto) es 1.40 y en fin de lluvias (noviembre) es 1.52 (Fig. 12).

Con el índice de Jaccard observamos que los meses con un mayor grado de similitud son noviembre - agosto con 0.66 (Fig. 13).

8. Análisis de regresión simple entre el fósforo y la biomasa (Cl a) de la costra

En las determinaciones de biomasa del perifiton (medida como clorofila a) y de fósforo total (expresada como ortofosfatos) se aprecia una relación inversa. Un análisis de regresión con la ecuación $y = -1,2878x + 158,43$, indicó una relación significativa de - 0.96 entre ambas variables, con pendiente negativa, es decir que cuando los valores de biomasa son altos, el fósforo es bajo en la costra (Fig.14).

9. Fósforo del suelo y Fijación de nitrógeno de las especies que componen la costra

Considerando las variaciones en la concentración de fósforo del suelo a lo largo del ciclo hidrológico, se hizo una comparación con datos de fijación de nitrógeno obtenidos por Vargas (2002) para los periodos seco (abril), principio de lluvias (agosto) y fin de lluvias (noviembre) del mismo periodo de estudio. La comparación muestra que la fijación de nitrógeno presenta una tendencia a aumentar mientras que la línea de tendencia para el fósforo del suelo disminuye (Fig.15).

10. Análisis de Factores

A partir de la abundancia de especies que se encontraban por cada mes en el crecimiento dominante del perifiton, el análisis de factores propone que los diferentes periodos están representados por dos factores.

Al periodo anegado, octubre, lo separa de los otros 3 periodos en el primer factor. En el segundo factor agrupa a los periodos seco, principio de lluvias y fin de lluvias (abril, agosto y

noviembre). Dentro del segundo grupo; el fin de lluvias (noviembre) está espacialmente separado del periodo seco y del principio de lluvias (abril y agosto respectivamente) en el mismo eje que el periodo anegado, octubre (Cuadro 5 y Fig. 16).

En el primer factor; el mes de octubre tiene la mayor contribución y para el segundo factor son los meses de abril, agosto y noviembre los que más contribuyen (cuadro 5) estableciendo así dos condiciones ambientales recurrentes, anegado (factor 1) y sin anegar (factor 2)

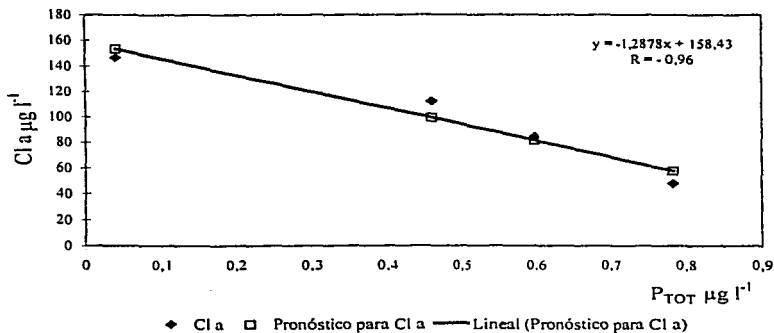


Fig.14. Muestra el análisis de regresión entre la $Cl a$ $\mu g l^{-1}$ y el fósforo presente en la costra.

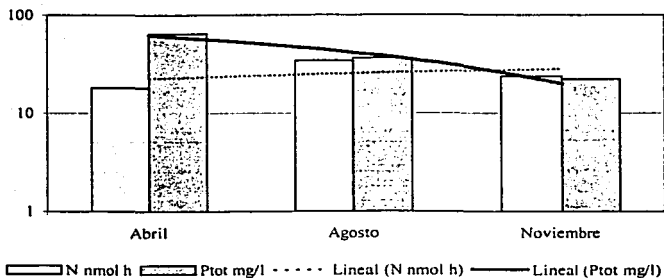


Fig.15. Comparación logarítmica entre los valores de fijación de nitrógeno y fosfato en el medio con sus respectivas líneas de tendencia. Los valores de la fijación de nitrógeno fueron obtenidos de Vargas & Novelo (2002).

Rotación: Desarrollado a partir de especies		
Extracción: Componentes principales		
	Factor	Factor
	1	2
Octubre	-1,61068685	0,07484856
Abril	0,62523169	-0,84485563
Agosto	0,37187178	-0,72948316
Noviembre	0,61358339	1,49949024

Cuadro 5. Comparación de los valores obtenidos por el análisis de factores, en negro están marcados los datos que son significativos para cada factor.

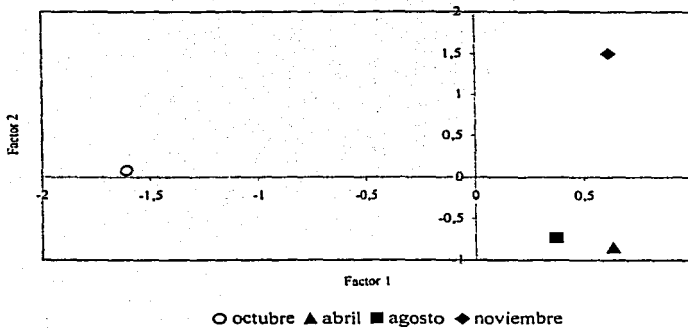


Fig.16. Representación espacial de las cargas de los meses para dos factores.

11. Descripción de especies

DIVISIÓN CYANOPHYCEAE

ORDEN CHROOCOCCALES Wettstein 1924

Familia Synechococcaceae

Subfamilia Aphanotheceidae

Aphanothece Nägeli 1849

Aphanothece sp.1 (Lámina I, Fig. 1)

Colonias microscópicas, amorfas, firmes, hialinas. Células dispuestas laxamente, aerotopos raros, sin nanocitos. Ancho de las células 3- 4.8 μm , largo de las células 6 – 7.2 μm , la relación ancho - largo es de 1.5 a 2 .

Crece en costras de perifiton sobre roca calcárea; es aerofítica, pero resiste periodos cortos de anegación.

Aphanothece sp.2 (Lámina I, Fig. 2)

Colonias amorfas, de color ligeramente verdoso, firmes, densas. Células dispuestas laxamente, como incrustadas en la vaina, sin aerotopos, sin nanocitos. Ancho de las células 2.4 – 3.2 μm . Largo de las células 4.8 – 6.4 μm . Relación largo – ancho 2 veces.

Crece en costras de perifiton sobre roca calcárea; es aerofítica.

Aphanothece sp.3 (Lámina I, Fig. 3)

Colonias amorfas, muy difluente, células compactas dentro de la colonia, sin aerotopos sin nanocitos. Ancho de las células 3.2 μm . Largo de las células 4.8 μm . La relación largo – ancho 1.5 veces. Crece en costras de perifiton sobre roca calcárea; es aerofítica

Aphanothece cf. *hegewaldii* Kováčik 1988 (Lámina I, Fig. 4)

Colonia difluyente, amorfa e incolora, células dispuestas muy cerca una de la otra, algunas libres con vaina individual sin lamelación. Células verde azules, ovales, con granulación fina, aerotopos de tamaño mediano, brillantes. Sin nanocitos. Ancho de las células 3.2 – 4.8 μ m. Largo de las células 6.4 – 8 μ m. Relación largo – ancho 2 veces.

Crece en costras de perifiton sobre roca calcárea; es acuática (sólo está presente en época anegada).

Aphanothece pallida. (Kützing) Rabenhorts 1863 (Lámina II, Fig. 5)

Colonias microscópicas o microscópicas esféricas y/o amorfas, firmes, ligeramente amarillas a pardas. Células en los bordes de la colonia pueden presentar una vaina sin lamelaciones y de color amarillo, con aerotopos, sin nanocitos.. Ancho de las células 3.6 μ m. Largo de las células 6 – 6.6 μ m. Relación largo – ancho 1.6 – 1.8 veces.

Crece en costras de perifiton sobre roca calcárea, es aerofítica y acuática (es más abundante cuando el humedal está anegado).

Gloeothece Nägeli 1849

Gloeothece sp.1 (Lámina II, Fig. 6)

Colonias hialinas a amarillas, con varias células o células solas. Células ovales, verde azules con vainas individuales incoloras en época de lluvias y/o amarillas parduscas en otras épocas. Largo de las células 5.8 – 8 μ m y el ancho 3.2 – 4.8 μ m. La relación largo ancho es de 1.5 a 2 veces.

Crece en costras de perifiton, sobre roca calcárea, hábitat subaéreo y acuática.

Gloeothece sp.2 (Lámina II, Fig 7)

Colonias pequeñas, vaina firme, estratificada, violeta, con varias células densamente dispuestas. Células elipsoidales, verde azul pálidas, con vainas individuales no lameladas, violetas, su consistencia no es uniforme. Largo de las células 3.8 – 5.2µm. Ancho de las células 3.3 – 3.8. relación largo - ancho 1.4 veces.

Crece en costras de perifiton sobre roca calcárea.

Familia Merismopediaceae Elenkin 1933

Subfamilia Merismopedioideae Komárek et Anagnostidis 1992

Aphanocapsa Nägeli 1849

Aphanocapsa sp.1 (Lámina II, Fig. 8)

Colonias generalmente irregulares, a veces globosas, cuando crecen masivamente de color verde azul, células densamente dispuestas, vaina hialina firme, color de las células verde azul pálido, a veces se presentan granulaciones. Diámetro de las células 2.4 - 4.8 µm.

Crece en costras de perifiton sobre roca calcárea, aerofíticas y acuáticas.

Aphanocapsa sp.2. (Lámina III, Fig. 9)

Colonias irregulares, hialinas, difluentes, no crecen masivamente. Células laxamente dispuestas, rojas, sin granulaciones. Diámetro de las células 3.2µm

Hábitat aerofítico y acuática, crecen en costras de perifiton sobre roca calcárea.

Aphanocapsa sp.3. (Lámina III, Fig. 10)

Colonias irregulares, difluentes, ligeramente amarillas, el mucílago es granuloso. Células laxamente dispuestas, verde azul pálidas, granulaciones pequeñas y abundantes. Diámetro de las células 3.2 – 4.8 µm.

Crece en costras de perifiton sobre roca calcárea; acuáticas (sólo crecen en época anegada).

Aphanocapsa sp.4 (Lámina III, Fig. 11)

Colonias esféricas, vaina firme azul negrusco. Células densamente dispuestas, verde azul pálidas, sin granulaciones. Diámetro de las células 2.4 – 3.2 μm . Diámetro de las colonias alrededor de las 22 μm .

Crece en costras de perifiton sobre roca calcárea, acuática y aerofítica.

Familia Microcystaceae Elenkin 1933

Chondrocystis Lemmermann 1899

Chondrocystis sp.1 (Lámina III, Fig. 12)

Colonias microscópicas forma irregular, con varios paquetes de células. Subcolonias poligonales a subcuadradas, envolturas firmes violetas pálidas con 2 a 4 células dispuestas laxamente. Células esféricas verde azul pálidas, con gránulos finos, generalmente sin vainas individuales. Diámetro de las células 3.2 – 4 μm .

Crece en costras de perifiton sobre roca calcárea, aerofítica pero necesita humedad abundante en el sustrato para crecer.

Gloeocapsa Kützing 1843

Gloeocapsa sp.1 (Lámina IV, Fig. 13)

Colonias con varias células y/o grupos de 2 a 4 células, amarillento parduzcas. Células esféricas a elipsoidales verde azul pálidas, con vainas poco lameladas, ligeramente difluentes, amplias, incoloras en época de lluvias, amarillento pardusco en otras épocas, con calcio. Vaina común a

las células hijas presente. Diámetro de las células 2.4 – 4.8 μ m. Diámetro de las células con vaina 6 - 7 μ m.

Crece en costras de perifiton; principalmente aerofítica, aunque también crece cuando el humedal está anegado.

Gloeocapsa sp.2 (Lámina V, Fig. 14)

Colonias grandes con varias células y/o grupos de 2 a 8 células, amarillentas a parduzcas. Células esféricas, semiesféricas a poliédricas, verde azules, gránulos facultativos, con vainas individuales amplias, incoloras (en época de lluvias) a amarillentas parduzcas, ligeramente difluentes, lameladas, a veces calcio en las vainas. Vaina común a las células hijas presente. Diámetro de las células 4.8 – 6.4 μ m. diámetro de las células con vaina 5 - 7 μ m.

Forman hileras de 1, 4 hasta 8 células, debido a sobreposición de subcolonias dentro de la colonia.

Crece en costras de perifiton y como hojuelas debajo de las costras; principalmente aerofítica aunque también crece en la época anegada.

Gloeocapsa cf. *compacta* Kützting 1845 (Lámina V, Fig. 15)

Colonias compactas, azules fuerte a negruzcas, células dispuestas densamente, esféricas o ligeramente poligonales, verde azul pálidas, con vaina individual muy amplia, incolora, sin lamelaciones, firme, sin calcio. Vaina común a las células hijas ausente. Diámetro de las células sin vaina 2.4 - 3.2 μ m.

Crece en costras de perifiton; aerofíticas, sólo fueron vistas en las épocas de fin de lluvias y secas.

Familia Chroococaceae Nägeli 1849

Chroococcus Nägeli 1849

Chroococcus sp.1 (Lámina VI, Fig. 16)

Células solitarias o en pares, vainas violetas, estratificadas lameladas. Células semiesféricas y poliédricas, verde azul pálidas, sin gránulos. Ancho de las células 7.2 – 8.4 μm . Largo de las células 10.8 – 13.2 μm .

Crece en costras de perifiton; especie principalmente aerofítica, pero también se encuentra en hábitat acuática.

Chroococcus sp.2 (Lámina VI, Fig. 17)

Células generalmente en pares, vainas incoloras, difusas. Células hemiesféricas y esféricas verde azul grisáceas, sin presencia de gránulos. Ancho de las células 6 – 9.6 μm . Largo de las células 9 – 14.4 μm .

Crece en costras de perifiton, sobre roca calcárea; acuáticas.

Chroococcus sp.3

Células generalmente en pares vainas incoloras, difusas. Células hemiesféricas, violetas, con gránulos grandes dispersos. Ancho de las células 6 μm . Largo de las células 8.4 μm . Grosor de la vaina 3.6 μm .

Crece en costras de perifiton, sobre roca calcárea.

Chroococcus sp.4

Células generalmente en pares o solitarias, vainas firmes sin lamelaciones, hemiesféricas a esféricas (cuando se encuentra solitarias), células verde azul pálidas, sin granulaciones. Ancho de las células 4.8 μm . Largo de las células 6.4 μm . Diámetro de las células solitarias 8 μm .

Crece en costras de perifiton, sobre roca calcárea.

Chroococcus sp.5.

Generalmente en pares o solitarias, vainas incoloras, firmes y lameladas. Ancho de las células 3.2µm. Largo de las células 4.8µm.

Crece en costras de perifiton, sobre roca calcárea.

Gloeocapsopsis Geitler ex Komárek 1993

Gloeocapsopsis sp.

Colonias pequeñas de color naranja, denso, firme. Sin células solitarias. Células en familias de color rojo carmín, poligonales o hemiesféricas. sin estados vegetativos intermedios aislados.

Células con vaina propia muy pegada, rojo carmín. Largo de la célula 1.4 – 3.3µm. Diámetro 1.9 – 3.8µm.

Crece en costras de perifiton, sobre roca calcárea.

Familia Enthophysalidaceae Geitler 1925

Entophysalis Kützing 1843

Entophysalis sp. (Lámina VI, Fig. 18)

Colonias amorfas o ligeramente de abanico, mucílago difluente. Células dispuestas densamente, esféricas y/o ligeramente elongadas, con vainas hialinas, incoloras a ligeramente amarillas, sin lamelaciones.

Crece en costras de perifiton sobre roca calcárea, aerofítica (necesita humedad) y acuática.

ORDEN OSCILLATORIALES Elenkin 1934

Familia Schizotrichaceae Elenkin 1934

Schizothrix Kützing 1892

Schizothrix violacea. Gardner 1927 (Lámina VII, Fig.19)

Talos en agrupaciones pequeñas de filamentos. Filamentos ramificados con vainas difluentes, con márgenes ondulados, lamelados, violáceos, sin carbonato de calcio.

Filamentos formados de 1, 2 a 4 tricomas generalmente, pero puede haber más, ápices cerrados, agudos con un sólo tricoma al final.

Tricomas flexuosos, entremezclados, gránulos en los septos muy conspicuos. Células apicales cónicas. Largo de las células 4.8 - 6.4 μm . Ancho de las células

Crece en costras de perifiton sobre roca calcárea, principalmente aerofítico, pero se encuentra en hábitat acuática.

Familia Phormidiaceae Anagnostidis & Komárek 1988

Subfamilia Phormidioideae Anagnostidis & Komárek 1988

Phormidium Kützing

Phormidium sp.

Filamentos generalmente rectos, de color hialino a amarillento, sin constricciones en los septos, vaina obligatoria, escasos tricomas sin vaina. Células del tricoma cilíndricas. Contenido celular granuloso, gránulos abundantes, medianos, distribuidos homogeneamente. Célula apical es redondeada, sin caliptra en el ápice.

Subfamilia Micocoleoideae Hansg 1892

Hidrocoleus Kützing 1892

Hidrocoleus sp. (Lámina VIII, Fig. 20)

Filamentos no ramificados, vainas hialinas, difluentes con pocos tricomas de 2 a 6. Tricomas con células ligeramente cuadradas, células más anchas que largas, con los septos constreñidos, los ápices redondeados, no están capitados. Tricomas flexuosos, ligeramente entremezclados. Sin vainas individuales. División celular a mitad del filamento. Ancho de las células $4.8\mu\text{m}$. Largo de las células $3.2\mu\text{m}$.

Crece en costras de perifiton sobre roca calcárea. Acuática.

Microcoleus Desmazières 1897

Microcoleus sp. (Lámina VIII, Fig. 21)

Filamentos no ramificados, vaina firme, incolora, no estratificada. Tricomas flexuosos entrelazados entre sí, ligeramente constreñidos en los septos.

Células verde azules, cilíndricas. célula apical redondeada, caliptra ausente, granulaciones. Ancho de las células $1.6\mu\text{m}$. Largo de las células $3.2 - 4.8\mu\text{m}$. Relación largo - ancho 2 veces.

Crece en costras de perifiton sobre roca calcárea. acuática y aerofítico en condiciones de humedad.

ORDEN NOSTOCALES GEITLER 1925

Familia Scytonemataceae Kützing 1843

Scytonema Agardh 1886

Scytonema sp. (Lámina VIII, Fig. 22)

Talo filamentos, filamentos muy largos con pocas ramificaciones, con 15.6 μm de ancho. Vaina firme, lamelada paralela, sin incrustaciones de calcio, filamentos jóvenes con vainas delgadas, amarillas filamentos viejos, con vainas gruesas, pardas. Ramificaciones de dos tipos doble salen 2 ramas falsas (a veces a partir de un heterocito) y sencillas una sola rama falsa. Tricoma sin constricciones en los septos, divisiones entre las células no evidentes, células más largas que anchas, el largo se reduce en los extremos, verde azules. Ápices claviformes. Heterocitos cilíndricos, con cicatriz en los extremos, ligeramente separados de las células continuas.

Ancho de las células 6 μm . Largo de las células 9.6 μm . Relación largo - ancho 1.6 veces. Crecen en costras de perifiton sobre roca calcárea, acuática y aerofítica en condiciones húmedas.

Familia Microchaetaceae Lemmermann

Subfamilia Tolypothichoideae Komárek & Anagnostidis 1984

Hassallia Berkeley 1886

Hassallia cf. *bysoidea*. Hassall ex Bonet & Flahault 1886 (Lámina IX, Fig. 23)

Talo plano. Filamentos no frágiles, ramas poco ramificadas, generalmente cortas, mismo ancho que el filamento principal. Ancho del filamento μm . Vainas pueden tener lamelaciones divergentes (sobre todo en los filamentos viejos), firmes, incoloras a pardas. Tricomas verde azul pálidas. Ancho de los tricomas μm . Células más anchas que largas, ligeramente cuadradas o

redondas. Heterocitos basales en las ramificaciones, intercalares solitarios o 2 heterocitos juntos. Ancho del filamento 9.6 μm , Ancho del Tricoma 4.8 – 6.4 μm . Largo de las células 3.2 μm . Relación largo-ancho 1.5 - 2. Heterocito 14 μm x 8.4 μm .
Crece en costras de perifiton sobre roca calcárea. acuática y aerofítica.

Petalonema Berkeley 1898

Petalonema cf. *densum*. (Braun) Migula 1907 (Lámina IX, Fig. 24)

Filamentos largos, frágiles, poco ramificados con heterocito basal en las ramas. Vainas amarillas a café. Lamelación divergente formando embudos que se traslapan. Pared celular de los tricomas sin constricciones. Células con cuadradas. Ápices redondeados, ligeramente más anchos que el resto del tricoma. Heterocitos generalmente intercalares cuadrados u ovalados, bipolares. Granulaciones medianas distribuidas homogéneamente. Ancho del filamento 36 - 50 μm . Ancho del tricoma 6 μm . Largo de las células 6 - 8 μm . Ápice 7.2 μm . Heterocito 13.2 a 14.4 μm .
Crece en costras de perifiton sobre roca calcárea. acuática.

Tolypothrix Kützing 1829

Tolypothrix sp. (Lámina X, Fig. 25)

Filamentos libres. Filamentos jóvenes con vainas hialinas, poco evidentes. Filamentos viejos con vainas amarillas, gruesas, ligeramente lameladas. Lamelación paralela. Ramificaciones a partir de heterocitos ligeramente cuadrados. Tricomas con células más anchas que largas, ligeramente constreñidos en los septos. Ápices son redondos. Ancho del filamento 20 – 27 μm . Ancho del tricoma 11 – 16.8 μm . Largo de las células 4 – 7.2 μm . Heterocitos 6 – 14.4 μm de largo y 11 – 16 μm de ancho.
Crece en costras de perifiton sobre roca calcárea, aerofítica y acuática.

Familia Nostocaceae Dumont 1829

Subfamilia Nostocoideae Komárek & Anagnostidis 1989

Nostoc Vauchen 1886

Nostoc sp.

Colonias microscópicas, pequeñas, esféricas a globosas, filamentos dentro de la colonia están arreglados densamente, sin arreglo definido, distribución homogénea, sin orientación definida muy enrollados entre sí. Debido a los pocos ejemplares en las muestras, no se observaron aerotopos, heterocitos, ni acinetos.

Crece en costras de perifiton sobre roca calcárea. Principalmente acuática.

ORDEN STIGONEMATALES GEITLER 1925

Familia Stigonemataceae Kirchn 1898

Stigonema Agardn 1886

Stigonema dendroideum. Frémy 1929 (Lámina X, Fig. 26)

Talo lamoso o costroso conspicuo. Filamento con vainas lisas, delgadas, no se constriñen, hialinas y en temporada seca amarillas, con varias ramificaciones, rectas y ramificaciones secundarias. Tricomas con 1 o 2 hileras de células más anchas que largas, forma de barril o irregularmente redondeadas, contenido celular de color verde azul o verde oliva usualmente con gránulos solitarios prominentes. Heterocitos apicales o intercalares $12.2 \times 17.5 \mu\text{m}$. Ancho del filamento $16 - 26.2 \mu\text{m}$. Ancho del tricoma $15 \mu\text{m}$. Largo de las células $6.4 - 11.2 \mu\text{m}$. Crece en costras de perifiton sobre roca calcárea; aerofítica y acuática.

Familia Fischerellaceae Anagnostidis & Komárek 1990

Fischerella Gomont 1895

Fischerella cf. *reptans*. Geitler & Ruttner 1935 (Lámina XI, Fig. 27)

Filamento principal generalmente con una hilera de células que en pequeños tramos se divide y forma de 2 a 3 hileras de células. Ramas erectas con vainas firme. Tricoma con sólo 1 hilera de células.

Células del filamento principal subcuadradas, células de las ramas cilíndricas con extremos redondeados. Ancho del filamento principal $18 \mu\text{m}$. Ancho de las ramas $7.2 - 8 \mu\text{m}$. Ancho de las células de los filamentos principales $9.6 - 12 \mu\text{m}$. Largo de las células de los filamentos

principales 8.4 – 9.6 μm . Ancho de las células de las ramas 4.8 μm . Largo de las células de las ramas 9.6 μm .

Crece en costras de perífiton sobre roca calcárea. Aerofítica.

DIVISIÓN CHLOROPHYTA

CLASE CHAROPHYCEAE SMITH

Familia Characeae Agardh.

Tribu Chareae Zanevield

Subtribu Charinae R.D.Wood.

Chara Linnaeus., em. Agardh., Braum.

Chara sp. (Lámina XII, Fig.28)

Talo de color verde oscuro, dos tipos de ramificaciones, ramificaciones principales dicotómicas. 8 ramificaciones secundarias pequeñas que salen de un mismo nodo. Ramificaciones con 5 escamas en la base y a lo largo de las ramificaciones pequeñas, Anteridios pegados a los oogonios. Corona de los oogonios tiene 5 picos.

Crece adherido al suelo, entre mezclado en la costra de perifiton, acuática.

Tribu Nitelleae Gant

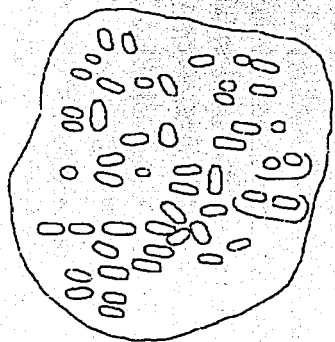
Nitella Agard., em. A. Braum., Leonh.

Subgénero Tieffallenia R. D. Wood.

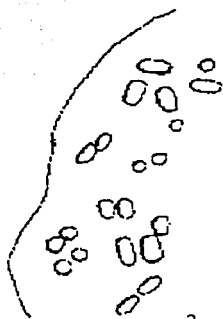
Nitella cf. pseudoflabellata. Braun 1882 (Lámina XIII, Fig. 29)

Talo de color verde pasto,. El eje principal 146.25 μm de diámetro, ramificación trifurcada, mide 39.24 – 34.33 μm . Nodo axial con 3 – 4 bifurcaciones. Dáctil bicelular con los ápices cónicos, 37.2 – 32.3 μm de diámetro y 98.1 μm de largo. Ápice 50 μm . Oogonios solitarios 245 μm de ancho, base de la corona con 5 células, verde olivo a café. Anteridios rojos a naranjas. Ancho 117.7 μm de diámetro.

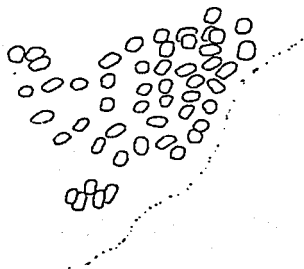
Crece adherido al suelo, entre mezclado en la costra de perifiton, acuática.



1



2



3

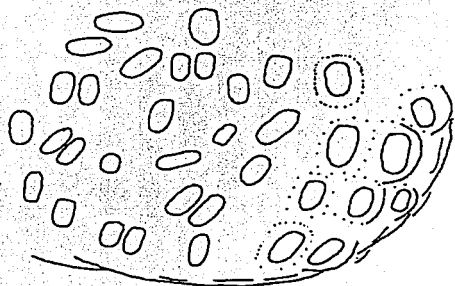
10 μ



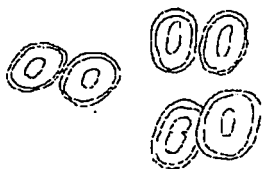
4

Lámina I

Fig.1. *Aphanothece* sp.1, Fig.2. *Aphanothece* sp.2, Fig.3. *Aphanothece* sp.3, Fig.4. *Aphanothece* ca *hegewaldii*.

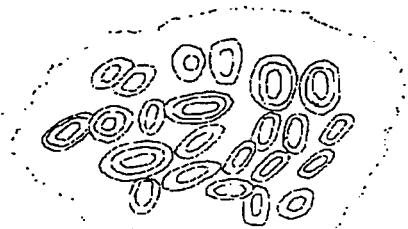


5

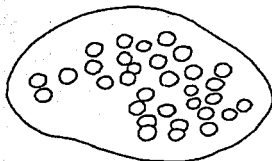


7

10 μ



6



8

Lámina II

Fig.5. *Aphanothece pallida*, Fig.6. *Gloeothece* sp.1, Fig.7. *Gloeothece* sp.2,
Fig.8. *Aphanocapsa* sp.1,

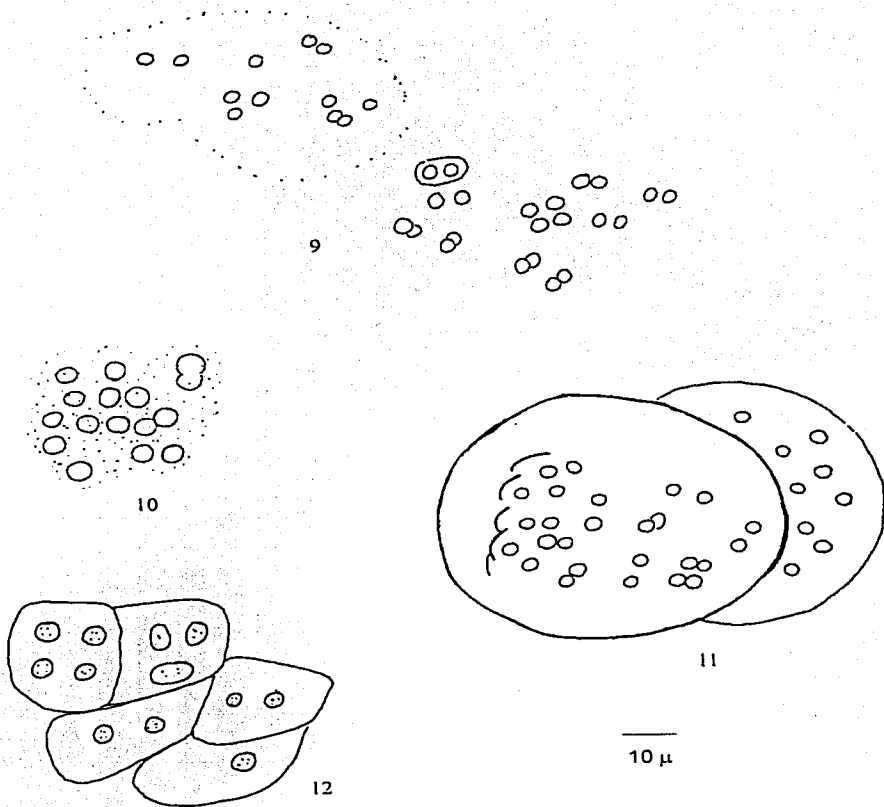
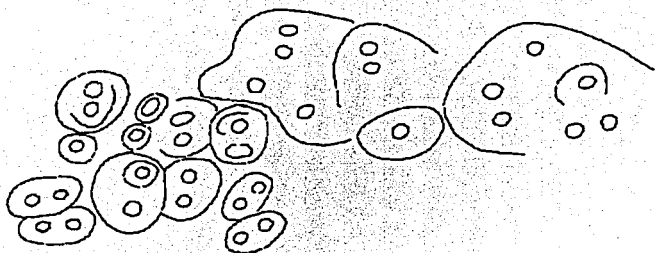
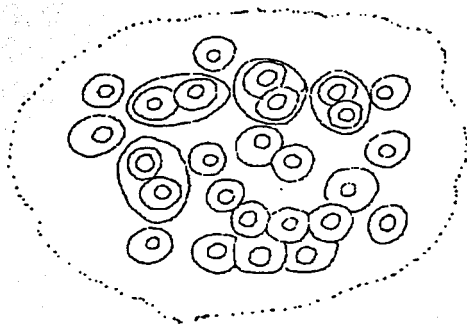


Lámina III

Fig.9. *Aphanocapsa* sp.2, Fig.10. *Aphanocapsa* sp.3, Fig.11. *Aphanocapsa* sp.4,
Fig.12. *Chondrocystis* sp.1.



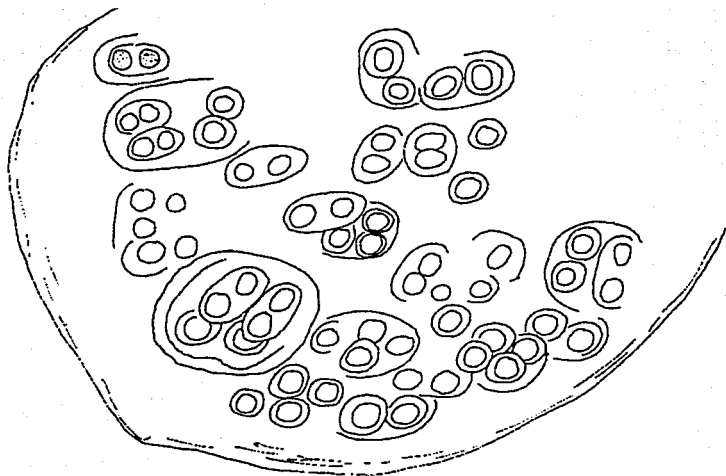
13



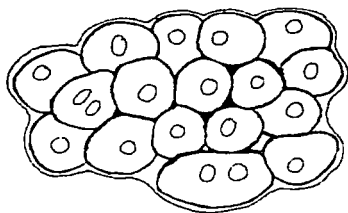
10 μ

Lámina IV

Fig.13. *Gloeocapsa* sp.1.



14

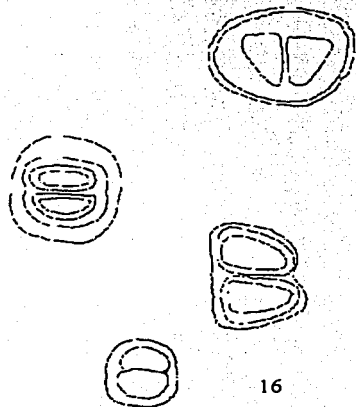


10 μ

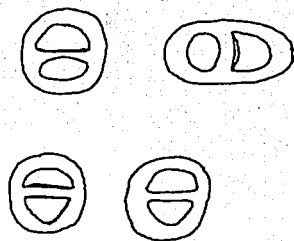
15

Lámina V

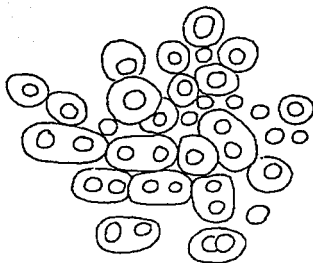
Fig.14. *Gloeocapsa* sp.2, Fig.15. *Gloeocapsa* cf. *compacta*.



16



17

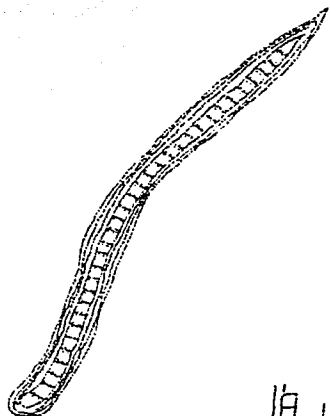


18

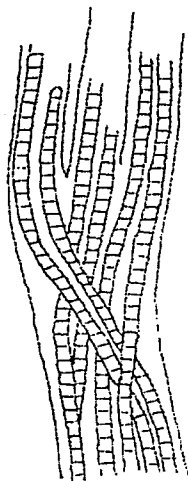
10 μ

Lámina VI

Fig.16. *Chroococcus* sp.1, Fig.17 *Chroococcus* sp.2, Fig 18 *Entrophysalis* sp.



19



10 μ

Lámina VII

Fig.19. *Schizothrix violacea*.

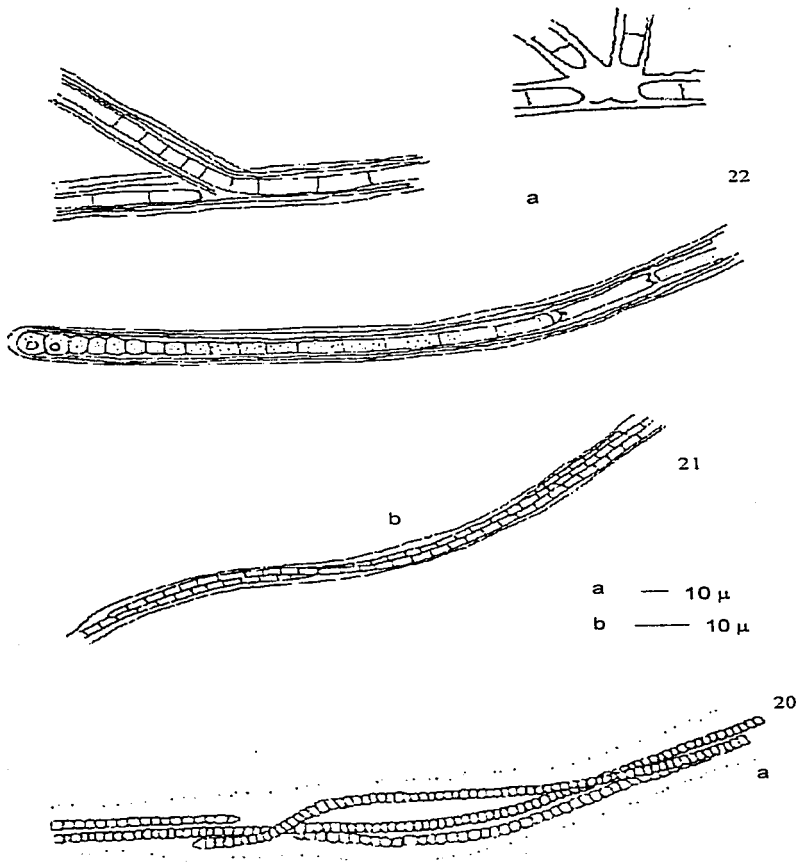
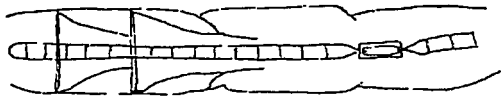
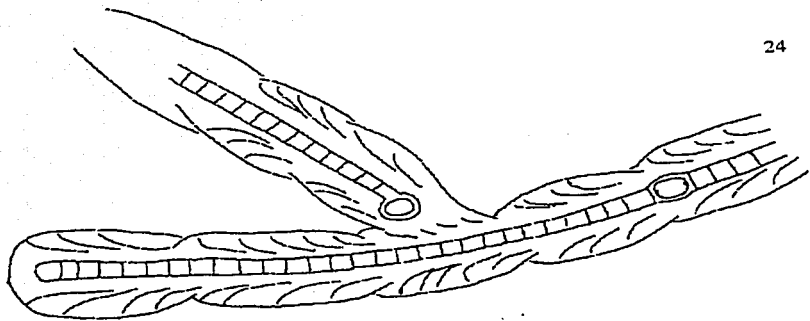


Lámina VIII

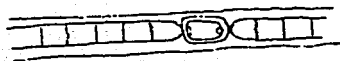
Fig.20. *Hidrocoelus* sp. Fig.21. *Microcoelus* sp. Fig.22. *Scytonema* sp.



24



10 μ



23

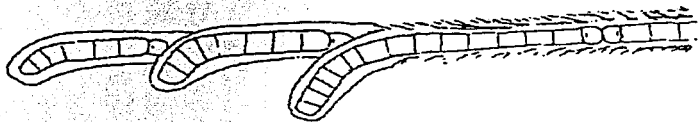
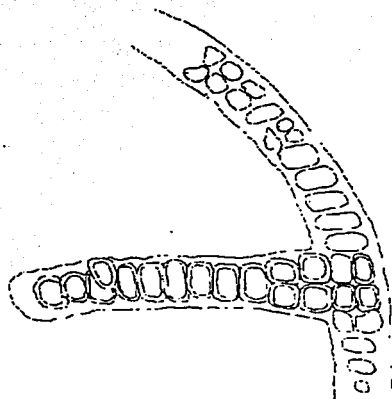


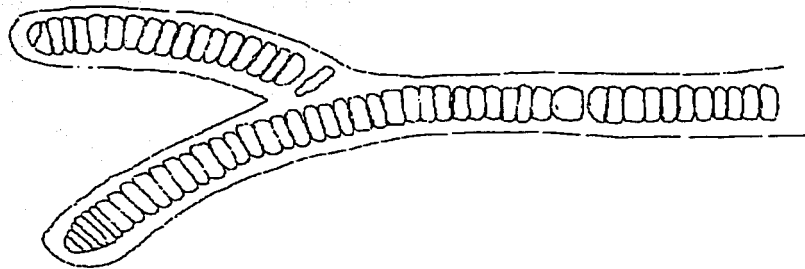
Lámina IX

Fig.23. *Hassallia* cf. *byssoidea*, Fig.24. *Petalonema* cf. *densum*.



26

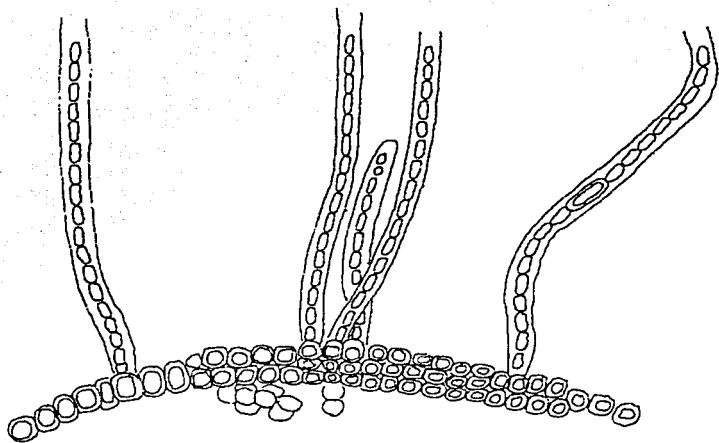
10 μ



25

Lámina X

Fig.25. *Tolypothrix* sp. Fig.26. *Stigonema dendroideum*.

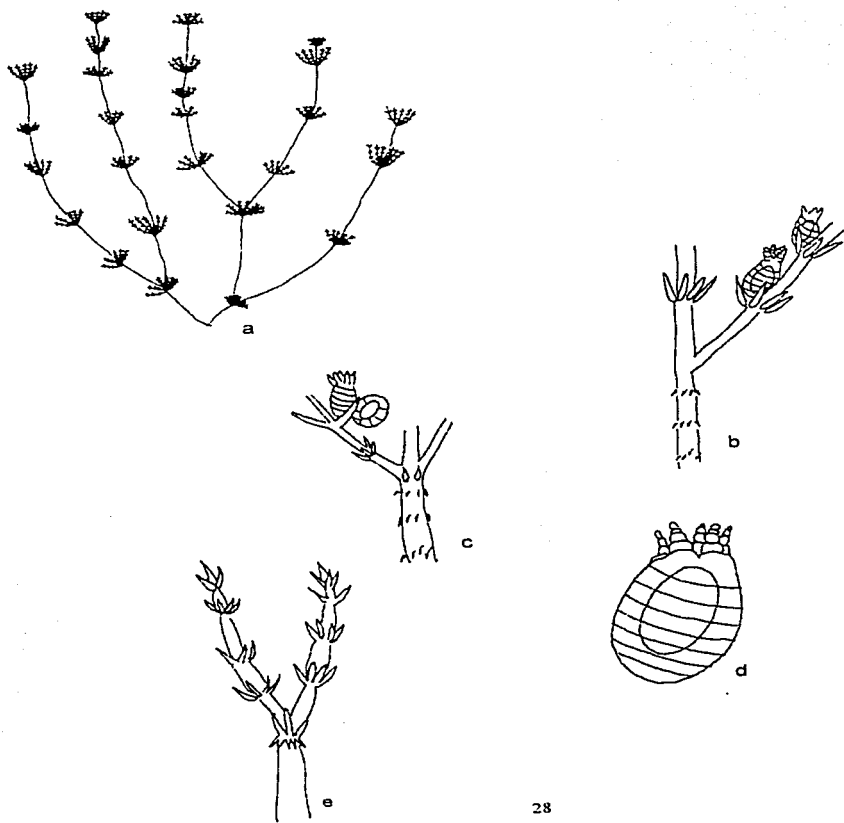


27

—
10 μ

Lámina XI

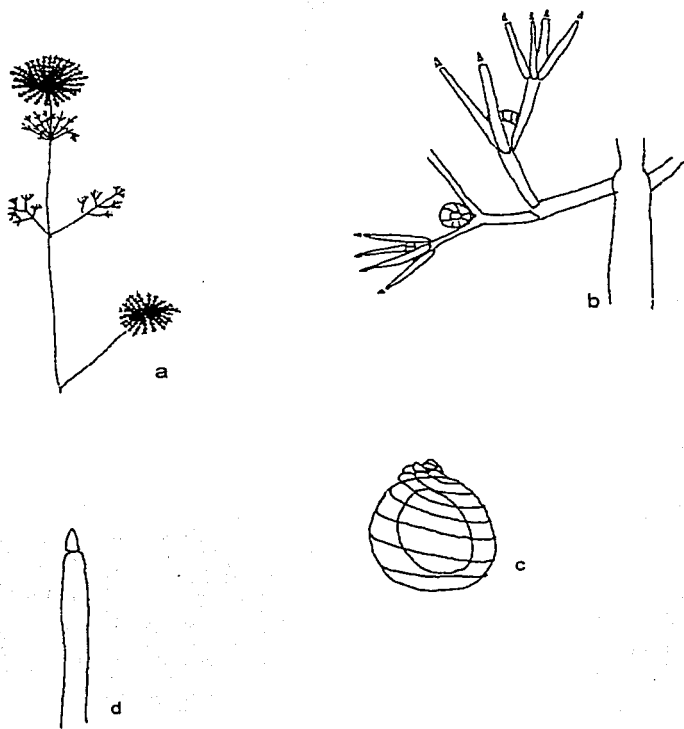
Fig.27. *Fisherella* cf. *reptans*.



28

Lámina XII

Fig.28. *Chara* sp., a. Talo, b y c. Disposición de los oogonios en las ramificaciones fértiles, d Oogonios, e. Células dactilares.



29

Lámina XIII

Fig.29. *Nitella cf. pseudoflabellata.*, a. Talo, b. Ramificaciones fértiles desde el nodo axial, c. Oogonio, d. Ápice de la célula dactilar.

DISCUSIÓN

1. El perifiton

Las diferencias en el ambiente durante el ciclo hidrológico provocaron diversas respuestas variando en el perifiton la apariencia de los crecimientos (costra, hojuelas) y de las carofíceas. No sólo hubo diferencias en la apariencia de los crecimientos, si no también en la biomasa. La variación en la biomasa nos indica que el periodo anegado favorece más a la costra gris que a las hojuelas, que se desarrollaron mejor cuando hubo humedad (no anegación) en el sustrato. En ambos crecimientos hubo disminución de biomasa durante el periodo seco.

En la definición de perifiton (Young 1945; Welch 1948, Sládečková 1962 y Font Quer 1985) se menciona que perifiton son los crecimientos que se encuentran sobre un sustrato sumergido. Es claro que en el periodo anegado la forma biológica que se desarrolla en el tinal es perifiton, la condición para que el perifiton se dé en el tinal no se cumple (sobre un sustrato sumergido) en el periodo seco. Entonces cabe preguntarnos si lo que llamamos perifiton en el periodo anegado y los crecimientos del periodo seco son lo mismo o son comunidades diferentes.

Para probar que la comunidad algal del tinal "perifiton" es la misma a través del ciclo hidrológico; es necesario analizar cada uno de sus crecimientos y si en ellos se tiene una continuidad a lo largo del ciclo hidrológico a pesar de las variaciones fenológicas (estacionales); esto nos permite decir que son lo mismo (en periodo seco, y en anegado) y por tanto el "perifiton" es una comunidad y no varias.

2. Las hojuelas

Las hojuelas fueron observadas en todas las recolecciones pero fue notable la disminución en biomasa durante el periodo anegado. En el cultivo en donde se manifestaron como una costra de color verde pálido firmemente adherida al sustrato, también se mantuvieron durante los 4 meses de anegación aunque el crecimiento disminuyó en superficie a través del tiempo. Ambos crecimientos, el del tinal y el del cultivo estuvieron constituidos por una sola especie *Gloeocapsa* sp.2. Esta especie parece preferir condiciones subaéreas para crecer y es evidente que su forma de crecimiento visible necesita de condiciones de humectación; es por esto que este crecimiento

generalmente se encuentra debajo de la costra, en donde hasta en el periodo seco se guarda un poco de humedad.

3. Las carofíceas

Las carofíceas comienzan a germinar a partir del periodo de principio de lluvias (primero germina *Chara* sp.). es muy posible que la humectación constante del suelo sea el detonador de la germinación para estas especies. En el periodo anegado tenemos talos bien desarrollados con estructuras reproductoras en ambas especies (*Nitella* cf. *pseudoflabellata*, *Chara* sp.). En el fin de lluvias las poblaciones de carofíceas comienzan a decaer y para el periodo seco tenemos sólo restos de talos calcificados. Suponemos que al desbaratarse los talos de carofíceas en este periodo, se aporta una gran cantidad de fósforo al sustrato. Este aporte de fósforo (en el periodo seco) se ve reflejado en las grandes concentraciones de este nutrimento en el sustrato.

Las carofíceas en el tinal tienen un comportamiento fenológico (estacional), requieren del periodo anegado para llevar a cabo su ciclo de vida, por tanto la condición anegada es un recurso con el cual están sincronizadas. En el cultivo se observó un comportamiento especial en *Nitella* cf. *pseudoflabellata*. Los talos crecieron rápido (en una semana), se desarrollaron estructuras reproductoras y después de aproximadamente un mes los talos murieron, pero ya estaban creciendo los talos nuevos. A pesar de que las condiciones anegadas se mantuvieron por 4 meses, el ciclo de vida de *Nitella* cf. *pseudoflabellata* era rápido, y se sincroniza muy bien con las condiciones de anegación en el tinal, que son cortas.

4. La costra

Las variaciones en la costra corresponden a un cambio en la composición, abundancia, y diversidad de especies y en la biomasa del crecimiento. Todos estos cambios se reflejan en cambios en su apariencia.

4.1. Composición de especies.

La composición hace referencia a la ausencia/presencia de las especies en los periodos del ciclo hidrológico; nos muestra que algunas especies fueron observadas en todas las ocasiones de recolección y probablemente fueron indiferentes a la cantidad de agua disponible, como por ejemplo *Gloeocapsa* sp.1, *Gloeocapsa* sp.2 y *Stigonema dendroideum*, que se mantuvieron también durante la época seca. Otras parecen sensibles a condiciones de sobresaturación de agua y crecieron sólo cuando hubo humedad en el suelo pero no saturación, por ejemplo *Gloeocapsopsis* sp. y *Gloeothece* sp. 2.

Petalonema cf. *densum* al parecer requirió saturación de agua para germinar, pero una vez establecidos los talos, pudo tolerar humedad continua. Es posible que las poblaciones de esta especie requirieran para germinar una mayor cantidad de agua que las de aquellas que se establecieron desde el inicio de lluvias.

La época seca no fue favorable para algunas especies que pudieron observarse solamente durante las lluvias y el periodo anegado, tales como *Tolypothrix* sp., *Nostoc* sp., *Microcoleus* sp., *Hidrocoleus* sp. y *Hassallia* cf. *bysoidea*. Mientras que *Fischerella* cf. *reptans* sólo se presentó en el periodo seco.

Hay especies como *Chroococcus* sp.2 y *Chroococcus* sp.3 que quizá requirieron de mayor tiempo con saturación total de agua para germinar, pues sólo se observaron en el fin de lluvias, cuando el tinal ya no estaba constantemente anegado.

Scytonema sp. se presentó sólo en la época anegada. Es posible que sea mucho más sensible a la desecación que todas las demás. En el cultivo, esta especie apareció en la 9ª semana, es decir cuando la anegación puede considerarse bien establecida, lo que posiblemente subraya su sensibilidad a la desecación. Otras como *Gloeothece* sp.1 y *Schizothrix violacea* que también estuvieron ausentes en época seca, en el cultivo la primera apareció en la 3ª y 4ª semana mientras que la segunda hasta la 9ª semana, lo que podría indicar tiempos diferenciales de germinación.

Las observaciones semanales de perifiton del cultivo tanto como las revisiones de muestras del tinal revelaron que con la anegación del terreno el número total de especies aumentó.

En el cultivo crecieron 3 especies (*Anabaena* sp; *Leptolyngbya* sp; y *Phormidium* sp.) que no se manifiestan masivamente en el tinal, estas especies son oportunistas porque cuando las condiciones de la costra variaron pudieron crecer. Posiblemente el factor que les permitió crecer fue menor el número de especies que se manifestaron en el cultivo con respecto a las condiciones naturales. Estas 3 especies aunque no se manifiesten masivamente *in situ*, se encuentran formando parte de las costra sólo que de manera latente, esperando que las condiciones naturales varíen y puedan crecer. A este tipo de especies Novelo (1985) y Ávila (1989) les llamaron flora potencial. Ávila (1989) también menciona la importancia de los cultivos para conocer la flora potencial que en algún momento podría ser una flora manifiesta y así entender la dinámica de las poblaciones de una flora.

4.2. Abundancia de las especies.

En el tinal la estructura de la costra esta compuesta por especies que se comportan como acuáticas y/o aerofíticas (cuando se encuentran sólo en periodo anegado o sólo en periodo seco); pero la mayoría de las especies se mantienen durante casi todo el ciclo hidrológico es decir que son tolerantes a los cambios de humectación del sustrato, no sin un cambio importante en su abundancia; ¿podemos decir que las especies que son más abundantes en el periodo seco son aerofíticas y las que son más abundantes en el periodo anegado son acuáticas?. Para discutir este punto se introduce el concepto de hábitat adecuado, que se maneja en un modelo llamado dinámica fuente – sumidero (Pulliam 1988). En este modelo el hábitat adecuado es aquel en donde existe un crecimiento de la población y esto nos habla de las condiciones ideales para crecer (Pulliam 2000).

La abundancia como se mencionó en la introducción es una medida de la población. Si tenemos una población con abundancias que fluctúan a lo largo de un año; las condiciones ideales para crecer de esta especie son aquellas en donde la población es más abundante. Con base en lo anterior podemos hablar de especies aerofíticas cuando se encuentren más abundantes en condiciones subaéreas aunque estén presentes también en el periodo anegado. De la misma manera, podemos hablar de especies acuáticas si se encuentran más abundantes en el periodo anegado no importa su presencia en los otros periodos.

La estructura de la costra de acuerdo a su abundancia de especies es de la siguiente manera:

- a. Especies con restricciones ambientales para crecer o menor tolerancia a cambios ambientales:
 - Especies estrictamente acuáticas: *Petalonema* cf. *densum*, *Hidrocoleus* sp.; *Aphanothece* cf. *hegewaldii*, *Aphanocapsa* sp.3, *Chroococcus* sp. 4. *Chroococcus* sp. 5 y *Nostoc* sp. Estas especies sólo se presentaron en el periodo anegado.
 - Especies estrictamente aerofíticas: *Aphanothece* sp.3. Sólo se observó en el periodo seco.

- b. Especies con cierta tolerancia a los cambios de humedad, no se observaron durante todo el ciclo:
 - Acuáticas que toleran condiciones aerofíticas: *Scytonema* sp., *Aphanocapsa* sp. 4, *Microcoleus* sp., *Chroococcus* sp. 2. Estas especies son más abundantes en el periodo anegado pero toleran condiciones aerofíticas con humedad; *Aphanocapsa* sp. 4 y *Microcoleus* sp. parece que comienzan a germinar a partir del periodo anegado. *Scytonema* sp. y *Chroococcus* sp. 2 comienza a germinar cuando el suelo es humectado por las primeras lluvias.
 - Aerofíticas que toleran condiciones acuáticas: *Aphanothece* sp.2, *Gloeocapsa* cf. *compacta*, *Fischerella* cf. *reptans*, estas especies no soportan la temporada anegada. *Aphanothece* sp.2, *Gloeocapsa* cf. *compacta* son más abundantes en la temporada seca y resisten condiciones de humedad (la primera crece muy bien en abril, se mantiene en agosto y en noviembre no fue observada, mientras que la segunda sólo fue vista en abril y noviembre); mientras que

Fischerella cf. *repans* requiere humedad para crecer es decir que es más abundante en los periodos aéreos pero húmedos.

- Aerofiticas que requieren cierta humectación pero no toleran condiciones acuáticas: *Aphanothece pallida* y *Entophysalis* sp son especies que viven en condiciones aéreas pero necesitan condiciones de humectación constante para crecer. Estas especies no podrían ser catalogadas como aerofiticas o acuáticas y tal vez sean flora potencial de la condición seca o húmeda (Novelo 1985; Ávila 1989).

c. Especies con rangos amplios de tolerancia a los cambios en el ciclo hidrológico, se observaron durante todo el ciclo:

- Aerofiticas: *Gloeocapsa* sp.1, *Chroococcus* sp.1, *Gloeocapsa* sp.2. Especies abundantes en el periodo seco, resisten periodos de humedad y anegación; se observaron bastante afectadas en el periodo anegado que se ve reflejado en una disminución de su abundancia.
- acuáticas: *Gloeothece* sp.1, *Aphanocapsa* sp.1, *Aphanothece* sp.1, *Tolypothrix* sp. y *Hassallia* cf. *byssoides* son especies que se encuentran muy abundantes en el periodo anegado pero resisten periodos con sólo humedad en el sustrato y temporadas secas.

Schizothrix violacea y *Stigonema dendroideum* son especies que se mantiene mas o menos constantes a lo largo del ciclo hidrológico, por lo que no pueden ser nombradas como aerofiticas o acuáticas. Pero *Schizothrix violacea* no soporta cambios bruscos de desecación (que se presentan en el mes de noviembre), porque aunque no desaparece en estas condiciones la abundancia baja considerablemente. Mientras que *Stigonema dendroideum* es una especie que se

mantiene con una abundancia baja todo el tiempo, para esta especie los cambios en la humectación no son importantes, por lo que podría tener otro tipo de restricciones para crecer.

Los dos últimos grandes grupos de especies (b y c) arriba mencionados, son importantes en la estructura de la costra porque se sobrelapan en el tiempo y el espacio; por lo que hay una continuidad en la comunidad a través del ciclo hidrológico y esta continuidad es lo que nos permite decir que la costra es una sola comunidad dinámica y no varias comunidades.

4.3. Biomasa

Cuando comenzó la anegación se encontraron 17 especies de cianoprocariones en la costra. Una vez establecido el período anegado en octubre, se encontraron 23 especies de este grupo y, para el final de la anegación hubo 18 especies. Si comparamos la biomasa entre períodos anegado y seco, es considerablemente mayor en el período anegado; sin embargo, si comparamos entre los meses de muestreo, los valores siguen una proporción diferente porque la biomasa es mayor al final del período anegado, cuando las cianoprocariones han decrecido aparentemente. Es interesante que según el análisis de Jaccard (Fig. 13), octubre presenta la composición de especies menos cercana con los otros meses, así que las diferencias entre la anegación máxima y el final de la anegación son en varios sentidos, diversidad, composición y biomasa.

Los resultados tanto del humedal como del cultivo parecen indicar que puede ser importante la diversidad y composición, pero la biomasa presenta algunos problemas de interpretación. Por ejemplo, el valor más alto en noviembre podría deberse a la presencia de carófitas por acumulación de los talos. Con los muestreos realizados, aunque puede verse una tendencia al decaimiento vegetativo, sería necesario un muestreo más frecuente para evaluar el porcentaje que está siendo efectivamente afectado por la disminución del nivel de agua.

Por otra parte, no sabemos cómo pueden contribuir particularmente a la biomasa de la costra de cianoprocariones, las chroococales y las filamentosas y por la manera como crecen no parece factible hacer una valoración independiente en las condiciones *in situ*.

Sin embargo, realizando experimentos de colonización sobre sustratos desnudos, podría ser factible hacer evaluaciones puntuales en este sentido.

4.4. Diversidad

El análisis de diversidad con el índice de Shannon-Weaver nos dice que en el periodo anegado (octubre) tenemos el valor más grande de diversidad de especies. Este valor nos indica que la riqueza de especies y el número de individuos de cada especie son los más altos en el ciclo hidrológico. Con el índice de Jaccard (Cuadro 4) podemos observar que entre los periodos anegado y seco existe una clara diferencia siendo estos meses los que tienen el menor grado de similitud en todo el ciclo. La diversidad en el periodo anegado se debe a que la mayoría de las especies de algas se encuentran creciendo bien en estas condiciones hídricas (especies acuáticas).

El periodo seco (abril) tiene la menor diversidad de todo el ciclo hidrológico, y se debe a que sólo cuenta con el rocío como único aporte de agua y el tinal tiene un dosel abierto que deja al perifiton expuesto a la radiación solar; por lo que las especies que se establecen en este periodo no sólo necesitan ser resistentes a la falta de agua sino también a la radiación solar continua.

En el principio de lluvias (agosto) hay un pequeño aumento en la diversidad que podría corresponder al inicio en la germinación de algunas especies debido a la humectación constante del sustrato. El índice de Jaccard indica que la similitud entre el periodo seco y el principio de lluvias es alta 63% es decir que la variación en la composición de especies es baja, y el aumento en la diversidad corresponde más a una aumento en la abundancia de las especies establecidas desde el periodo anterior (el seco). Llegan a establecerse nuevas especies pero con una abundancia muy baja que no representan un aporte importante a la diversidad. Las especies filamentosas comienzan a aparecer en poblaciones más abundantes y en mejor estado a partir de este periodo, pero el índice de diversidad para principio de lluvias es aun muy bajo, por lo que los cambios que estamos mencionando todavía no son significativos en la diversidad de la costra algal.

Para el fin de lluvias (noviembre) se observa que la diversidad es ligeramente mayor que el valor obtenido en el principio de lluvias (agosto). Mientras que en el principio de lluvias las condiciones de humectación parcial del sustrato son favorables para el inicio de la germinación de algunas especies y para el establecimiento de poblaciones un poco más grandes que en el periodo seco, parece ser que las condiciones de humectación parcial del sustrato en el fin de

lluvias no son suficientes para conservar en buenas condiciones a poblaciones bien establecidas como las que se encontraban creciendo en el periodo anegado.

4.5. Los nutrimentos

La proporción en la que las algas requieren nutrimentos solamente ha sido investigada para fitoplancton, proporción Redfield - Reynolds (Reynolds 1984), pero quizá puede darnos un indicio de que en el tinal podría haber un déficit muy alto de nitrógeno, tanto en periodo anegado (en Agua y suelo) como seco (sólo suelo), aún si suponemos que durante el periodo anegado los nutrimentos disponibles para la costra en el agua, se sumaran a los del suelo. Si esto es correcto, implica que la proporción entre el nitrógeno y fósforo presentes en el ciclo hidrológico del tinal, es insuficiente para sustentar la biomasa. El análisis de regresión muestra que todo el fósforo de la costra está siendo utilizado en biomasa, esto sugiere una posible utilización del fósforo disponible en el medio para la costra. Por otra parte los valores de nitrógeno total en la costra aumentan considerablemente en octubre y se observa que hay una acumulación de este nutrimento ya que en noviembre se presentan los valores más altos en el ciclo hidrológico. Lo que nos hace suponer que la costra (y podría hablarse del perifiton en general) se soporta principalmente con el nitrógeno fijado. Esta interpretación es consecuente con la relación inversamente proporcional entre la fijación de nitrógeno que aumenta del periodo seco al anegado, y el fósforo en el suelo que disminuye. También nos podría explicar porque el perifiton en el tinal está compuesto principalmente por cianoprocariones.

Existe una diferencia importante en la fijación de nitrógeno entre periodos del ciclo hidrológico (Vargas 2000). Si comparamos los periodos extremos (seco y anegado) en cuanto a nutrimentos disponibles en el suelo, composición de especies, abundancia, nivel de organización, y la fijación de nitrógeno. En el periodo seco tenemos los valores más altos de nutrimentos, las especies más abundantes son algas coloniales que aunque Vargas (2000) demostró que también fijan nitrógeno es poco, comparado con las especies que tienen heterocitos. En el periodo anegado tenemos los valores más bajos en nutrimentos, las especies en mayor número y más abundantes son filamentosas heterocitosas y los valores de fijación de nitrógeno son altos.

En este trabajo no se puede explicar por que en el periodo anegado hay una disminución en los nutrimentos del suelo, pero las filamentosas heterocitas aparecen en abundancia justo cuando el suelo tiene pocos nutrimentos; por lo que es probable que estas especies estén sustentando a la diversidad de la costra algal en el periodo anegado (que es el periodo con la diversidad más alta en todo el ciclo).

Los análisis de regresión que fueron realizados en este trabajo son sólo de exploración, no se pueden considerar como análisis de comportamiento debido a que fueron pocos los datos registrados, pero de acuerdo a los resultados obtenidos, vale la pena incrementar el número de muestras para tener un análisis confiable que nos permita predecir el comportamiento de la biomasa y la diversidad.

4.6. La estacionalidad.

El análisis de factores muestra que en el tinal podrían existir dos estadios de humectación importantes, tomando en cuenta los cambios en la abundancia de especies que hay durante el ciclo hidrológico. Tendríamos una primera estacionalidad que va desde el ambiente seco al húmedo con los meses de abril (temporada seca), agosto (principio de lluvias). La segunda estacionalidad es la que corresponde al periodo anegado, en el mes de octubre, que al aparecer cuenta con mayor abundancia, riqueza y diversidad de especies.

Noviembre que podría estar englobado dentro de la primera estacionalidad, según este análisis tiene suficientes diferencias como para separarlo del resto de los meses y ponerlo en el mismo eje que octubre. Es interesante este resultado pues hemos visto que algunas especies requieren del periodo anegado previo para establecerse, aunque sin condiciones de anegación permanentes, es decir, sólo con humedad o periodos de anegación intermitentes, propios del fin de la época de lluvias.

Estos resultados sólo pueden ser usados de manera exploratoria debido al número de datos utilizados, pero tienen sentido porque corresponden con otros análisis realizados como el de similitud entre los meses, el cual indica que los más cercanos son abril (temporada seca) y agosto (principio de lluvias) y los meses con menor similitud son abril (seco) y octubre (anegado).

En el área de estudio manejo datos precisos de humedad, temperatura y precipitación (obtenidos de la estación metereológica de El Eden), cuya finalidad en este trabajo sólo es demostrar que entre cada periodo hay diferencias ambientales significativas en el ciclo hidrológico.

Para poder interpretar los resultados obtenidos en este trabajo a la luz de los datos ambientales (humedad, temperatura y precipitación) es necesario utilizar análisis de componentes principales (que nos permite saber cual de estos factores nos explica mejor los resultados) y la metodología utilizada en este trabajo no lo permite.

CONCLUSIONES

El crecimiento como hojuelas parece preferir condiciones aerofíticas con suficiente humectación para crecer en abundancia, pero se mantiene a lo largo del ciclo hidrológico.

Las carofíceas tienen un comportamiento fenológico en donde la condición anegada se vuelve un recurso con el cual su ciclo de vida está sincronizado. En el periodo seco aportan fósforo al suelo cuando se desintegran los talos.

En la costra, la composición y abundancia de especies parece variar dependiendo del grado de humectación del suelo; pero también parece ser que la proporción de nutrimentos juega un papel importante en estas variaciones.

La costra es una comunidad dinámica, que cambia en la composición y la abundancia de las especies pero que mantiene una continuidad a lo largo del ciclo hidrológico.

El "perifiton" es una sola comunidad aunque los crecimientos que la componen tengan variaciones a lo largo del ciclo hidrológico.

El periodo anegado es donde encontramos la mayor diversidad en la costra debido a que en este periodo se relaciona el mayor número de especies con abundancias significativas.

La biomasa (que posiblemente tiene una variación cíclica) en el tinal podría estar regulada por la proporción de nitrógeno-fósforo y esta variación parece ser independiente a la composición, abundancia y diversidad de especies. La proporción de nitrógeno-fósforo en el ambiente es menor al óptimo teórico (Reynolds, 1964), sin embargo el fósforo se está incorporando en la biomasa del perifiton. La investigación realizada por Vargas y Novelo (2000) sobre fijación de nitrógeno en el perifiton nos da elementos para pensar que la costra algal utiliza la fijación para poder utilizar satisfactoriamente el fósforo del medio.

El nitrógeno escaso en el ambiente y la exposición constante a la radiación solar podrían ser limitantes para el crecimiento de otros grupos de algas en el perifiton del tinal.

Si comparamos los resultados del análisis de las especies obtenidos entre el método de ausencia-presencia (composición de especies) y la abundancia, encontramos algunas diferencias que podrían estar dadas por los factores de error de cada método, sin embargo aunque en algunos casos serán necesarias más observaciones para reducir el factor de error, la abundancia brindó una información más rica que sólo la composición de especies para entender el papel ecológico de las especies en el ecosistema dentro del tinal.

PERSPECTIVAS

Este trabajo es una base para próximos trabajos ecológicos en comunidades algales, y nos da un panorama amplio de lo que está sucediendo en el tinal; apuntala muy bien los problemas ecológicos que se presentan en el tinal, aunque no les da solución. Más que contestamos preguntas y llegar a conclusiones que nos reflejen la realidad de lo que está sucediendo con las comunidades algales en el tinal, surgen más preguntas.

Es necesario realizar estudios de ecología de las comunidades (composición de especies, abundancia y diversidad) en los otros ambientes del humedal de El Edén y compararlos con este trabajo.

Con un número mayor de muestreos, puede ser útil realizar análisis de componentes principales para saber cuales son los factores ambientales que nos explican mejor las respuestas de la comunidad del tinal.

Se debe estudiar con más detalle (diseños experimentales) la relación de las Carófitas con el ciclo de nutrientes, principalmente el fósforo.

Se deben realizar estudios taxonómicos de las especies presentes en El Edén y determinar sus ciclos de vida.

Se deben realizar estudios de interacciones entre especies en donde se pueda ver qué tanto la competencia, el mutualismo, y la depredación determinan la estructura de la comunidad.

Es necesario realizar experimentos en cultivos (aislamiento de especies) para saber la relación entre las especies presentes en el humedal de El Edén con los nutrientes.

Podría ser informativo hacer análisis con modelos nulos que nos permiten ver si las variaciones en el perifiton se deben solamente a algún factor del ciclo hidrológico, a varios factores abióticos o que tanto podría ser aleatorio.

Se recomienda que se hagan estudios de diversidad alfa, beta y gama en el humedal de El Edén.

Es necesario hacer estudios más detallados con la fijación de nitrógeno.

REFERENCIAS

- Anagnostidis K & Komárek J. 1988. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 3. Oscillatoriales. *Algological Studies* 50-53: 327-472 pp.
- Ávila NJ. 1989. Ficoflora potencial de suelo húmedo del Valle de Tehuacan, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de ciencias UNAM. 93 pp.
- Bold H & Wynne M. 1985. Introduction to the algae, structure and reproduction. Segunda edición. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, Inc.
- Browder JA, Gleason PJ & Swift DR. 1994. Periphyton in the Everglades: Spatial variation, environmental correlates, and ecological implications. In Davis MS & Ogden JC eds. *Everglades: The ecosystem and its restoration*. St. Lucie Press.
- Carlton RG & Wetzel RG. 1988. Phosphorus flux from lake sediments: effect of epipelagic algal oxygen production. *Limnol. oceanogr.* 33:562-570.
- Desikachary TV. 1959. Cyanophyta. I.C.A.R. *Monographs on algae*. Indian Council of Agricultural Research. New Delhi. 686 pp.
- Frémy P. 1929. Les myxophyceae de l'Afrique équatoriale française. *Archiver de Botanique*. Tome III. Memoires N° 2. 508 pp.
- Font Quer P. 1985. Diccionario de Botánica. Barcelona: Labor. 1244 pp.
- García E. 1981 Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 3era ed. FOCET Larios S.A. México D.F. 252 pp.
- Geitler L. 1932. Cyanophyceae. Akademische Verlagsgesellschaft m.b.H. Leipzig.
- Geitler L & Ruttner F. 1935. Die Cyanophyceen der Deutschen limnologischen Sunda - Expedition, ihre Morphologie, Systematik und Ökologie. Arch. Hydrobiol./ suppl.14 (Tropische Binnengew.). 6:308-369, 371-483.
- Giller EK & Wilson JK 1991. Nitrogen fixation in tropical cropping systems. C.A.B International. 313 pp.

- Goldsborough G & Robinson GC. 1996. Pattern in wetlands. In Stevenson RJ, Bothwell ML & Lowe RL, editores. *Algal ecology. Freshwater Benthic Ecosystems*. San Diego: Academic Press. 78 – 117 pp.
- Gopal B, Junk WJ & Davis JA, editores. 2000. Biodiversity in wetlands: assesments, function and conservation. **Volumen I**. Leiden: Backhuys Pub. 353 pp.
- Hach. 1997. *DR2010 Spectrophotometer*. Procedures Manual. Loveland: Hach Co. 824 pp.
- Hair J, Anderson R & Tatham R. 1990. Multivariate date analysis. Macmillan Publishing Company. 449 pp.
- Hejny S & Segal S. 1998. General Ecology of Wetlands. In. Wetlake DF, Kvet J & Szczepanski, editors. *The Production Ecology of Wetlads*. A 1-77 Cambridge University Press.
- Hillebrand H. 1983. Development and dynamics of floating cluster of filamentous algae. In Wetzel RG, editor. *Periphyton of freshwater ecosystems*. The Hague: Dr. W. Junk Pub. p:31-39.
- Hutchinson GE. 1961. The paradox of the planckton *Am. Nat.* 95:137-145.
- Jacksik AF. 2001. Ecología de comunidades. Ediciones Universidad Católica de Chile. Chile.
- Kadlec RH & Knight R. 1996. Treatment Wetlands. Boca Raton: CRC. Lewis pub. 893 pp.
- Komárek J & Anagnostidis K. 1999. Cyanoprokaryota. I. Teil Chroococcales. Gustav Fischer. Stuttgart: Fisher. 548 pp.
- Magurran A. 1988. Ecological diversity and its measurements. Croom IEM. 179 pp.
- Morin PJ. 1999. Community ecology. Blackwell, Massachussets.
- Novelo E. 1998. Floras Ficológicas *del Valle de Tehuacan Puebla*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias UNAM. 599 pp.
- Novelo E & Tavera R. 1999. Algas y Humedales de Quintana Roo. *Ciencias* 55-56: 44-45.

- Novelo E. 1985. Flora dinámica del suelo del Valle de Tehuacan, Puebla. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias UNAM. 151 pp.
- Olmsted 1993. Wetlands of México. En wetlands of the world, ed. Whigham. D.F., Amsterdam: Academic Publishers. 637-677.
- Pulliam HR. 2000. On the relationship between niche and distribution. *Ecology letters* 3:349-361
- Pulliam HR. 1988. Source, sinks: empirical evidence and population regulation. *Am. Naturalist*. 132:652-661.
- Reynolds Cs. 1984 The ecology of freshwater Phytoplankton. Cambridge, London. 384 pp.
- Siqueiros D A, Ibarra O S & Loya S D. 1985. Una aproximación a la estructura florística de las diatomeas epifitas de *Zoostera marina* y sus variaciones temporales, en Bahía falsa, san Quintín, B.C. *Ciencias marinas* 11(3): 69-88(20).
- Sládečková A. 1962. Limnological investigation methods for the periphyton community. *Bot rev, Apr-Jun*, 286-350 pp.
- South RG & Whittick A. 1987. Introduction to phycology. Blackwell Scientific publications. 341 pp.
- Starmach K. 1966. Cyanophyta-Sinice. Glaucophyta-Glaukofity. Flora Slodkowodna Polski. T-10. Polska Akademia Nauk. Warszawa-Kraków. 750 pp.
- Tilman D. 1977. Resource competition between planktonic algae: An experimental and theoretical approach. *Ecology*. 58:338-348.
- Tiner RW. 1999. Wetland indicators: A guide to wetland identification, delination, classification, and mapping. Boca Raton: Lewis Publishers.
- [USEPA] United States Environmental Protection Agency. 1997. Method 445.0 *In vitro* determination of chlorophyll *a* and phaeophytin *a* in marine and freshwater algae by fluorescence. <http://www.epa.gov/nerlewww/marinmet.htm>.

- Van Den Hoek C, Mann DG & Jahns H. 1995. *Algae. An introduction to phycology.* Cambridge University Press. 627 pp.
- Vargas-Ramos R & Novelo E. Fijación de nitrógeno por cyanoprokariota en la reserva ecológica El Edén Q.R. México. *Estudios Mexicanos/Mexicans studies.* (enviado).
- Vargas RR. 2002. Fijación de nitrógeno por cyanoprokaryota en la reserva ecológica El Edén, Quintana Roo, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias UNAM. 77 pp.
- Vymazal J. 1995. *Algae and element cycling in wetlands.* Boca Raton: CRC-Lewis Pub. 689 p.
- Weitzel RL. 1979. "Periphyton Measurements and applications", *Methods and Measurements of Periphyton Communities: A review*, ASTM STP 690. R.L. Weitzel, Ed., American Society for Testing and Materials pp. 3 – 33.
- Welch H. 1948. *Limnological methods.* The blakiston Comp. Philadelphia. 381 pp.
- Wood DR & Imahori K. 1965. A Revisión of the Characeae, *Monograph of the Characeae*, Weinheim, 903 pp.
- Young OW. 1945. A limnological investigation of periphyton in Douglas Lake, Michigan. *Trans. Amer. Micr. Soc.* 64(1):1-20.