



PRODUCTIVITY AND BIOMASS FITOPERIFÍTICA IN THE LAKES YAHUARCACA Y TARAPOTO (AMAZONAS-COLOMBIA)

PRODUCTIVIDAD Y BIOMASA FITOPERIFÍTICA EN LOS LAGOS YAHUARCACA Y TARAPOTO (AMAZONAS-COLOMBIA)

Castillo, C. T.* *M.Sc. Carlos Tomás Castillo León.

Profesor Ocasional, Programa de Biología, Facultad de Ciencias Básicas.

Universidad de Pamplona, Tel: 2233194 Btá.

e-mail: carloscastillo@unipamplona.edu.co--- carlostom31@yahoo.es

Abstract: In the littoral zone, near of the matrix the macrophytes, main for *Paspalum* spp the lake Yahuaraca and Tarapoto; the floodplain of the Amazon River-Colombia, through were designed system of artificial substratum, we quantify the productivity primary phytoplankton for chlorophyll a, through method espectrophotometric and the biomass for ash free dry weight; in three periods hidrology low water, filling water and high water; for two four and eight day the colonization; four deep levels. The factor has large effect over the primary productivity and the biomass phytoplanktonic and its relationship with the mineralization of the water, with the transportation of nutrients of afluentes, macrophytes, the flood forest, decomposition and the recirculation of nutrients in the water column.

Resumen: En la zona litoral, cerca de la matriz de macrófitas conformadas principalmente por *Paspalum* spp en los lagos Yahuaraca y Tarapoto, del plano de inundación del Río Amazonas-Colombia, mediante el diseño de un sistema de substratos artificiales, se cuantificó la productividad primaria fitoperifítica por clorofila a, mediante el método espectrofotométrico y la biomasa por peso seco libre de cenizas (PSLC), en tres periodos hidrológicos, aguas bajas, ascenso y altas o desborde; a los 2, 4 y 8 días de colonización y cuatro niveles de profundidad (cada 10 cm). Estos factores tienen gran efecto sobre la productividad y biomasa fitoperifítica, estando relacionados con la mineralización de las aguas, el transporte de nutrientes de los afluentes, los macrófitos, el bosque inundable, la descomposición de la materia orgánica y la recirculación de nutrientes en la columna de agua. la descomposición de la materia orgánica y la recirculación de nutrientes en la columna de agua.

Keywords: Biomasa, productividad, fitoperifiton, peso seco libre de cenizas, clorofila a.

1. INTRODUCCIÓN

En 1982 se realizó la primera reunión de trabajo donde se dan las directrices y perspectivas para el desarrollo de la investigación en perifiton. Rai & Hill (1984) publicaron el primer estudio cuantitativo de productividad primaria del perifiton en el Lago

Cristalino (Amazonia Brasileira). Más tarde, han publicado Engle & Melack (1990; 1993), Putz & Junk (1997). En los lagos Yahuaraca y Tarapoto se han estudiado aspectos limnológicos (Duque, 1997; Bahamón, 1994; Jiménez, 1994; Lagos, 1997; Castellanos,





1998, Díaz (1995), Hurtado (1998) y Ramos (1999).

1.1 Marco teórico

La investigación limnológica en la cuenca amazónica (Sioli, 1984; Junk, 1997) muestra como existen dos planteamientos centrales respecto al entendimiento de los procesos que se responsabilizan como los más importantes para el soporte de las pesquerías de la región. La primera idea se centró en el bosque inundable como el componente del ecosistema que aportaba el alimento a la mayoría de los peces (Goulding, 1980; Goulding et al, 1988). Más tarde, se plantea que la presencia de un ítem alimentario en el contenido estomacal de un pez no es certeza que sea aprovechado por él; estudios de la relación isotópica C12/C13 en productores primarios, como organismos de estrategia fotosintética C3 (fitoplancton, fitoperifiton, algunos macrófitos y bosque inundable), permite conocer que elementos de las primeras cadenas alimentarias son asimilados por peces detritófagos que presentan la mayor biomasa en la Amazonia. Bayley (1989), ubica a las algas del fitoplancton y del fitoperifiton como importantes contribuyentes de la biomasa íctica de la región.

1.2 Descripción del área

El Lago Yahuaracaca está ubicado (4°11'16" LS y 69°58'06" LW) en la planicie de inundación del Río Amazonas, cerca de Leticia (Dpto. Amazonas-Colombia). El Lago Tarapoto (3°47'52" LS y 70°25'04" LW) es un ecosistema lateral del Río Loreto Yacú, el cual es afluente del Río Amazonas, cerca de la población de Puerto Nariño. En el Cuaternario al final del Pleistoceno, los sedimentos formaron las actuales zonas de várzea y lagos laterales constituidos por depósitos no consolidados. Los suelos son predominantemente arenosos, la fase mineral presenta alto grado de acidez, poca saturación de bases, ausencia de calcio, magnesio y potasio, pobreza de fósforo y altos contenidos de aluminio.

Las zonas aledañas a los lagos presentan un bosque bajo anualmente inundable, rodales

de palmas y etapas sucesionales. La abundancia y cobertura de los cinturones de macrófitas varía con el régimen hidrológico.

En el período de estudio (Junio de 1997-Julio 1998) los meses de menor precipitación son Junio, Julio y Agosto de 1997 y 1998, que presentaron precipitaciones cercanas a 100 mm (datos de precipitación del Aeropuerto de Leticia). El mes más lluvioso fue Mayo/98 con cerca de 450 mm. El menor nivel del Río Amazonas (aguas bajas) se presentó en Junio de 1997, fecha del primer período de muestreo (datos del Puerto de Leticia). En Febrero-Marzo de 1998, se presentó una transición (aguas en ascenso) hacia los niveles altos del Río Amazonas correspondiendo al segundo muestreo y en Julio-Agosto de 1998, el tercer período de muestreo, corresponde a un nivel alto de las aguas.

El Lago Yahuaracaca es afectado por el desborde del Río Amazonas una vez al año en los períodos de ascenso y aguas altas, aportando nutrientes y sedimentos. La conexión con el Río Amazonas ocurre a través de un canal estrecho; cuando hay aguas altas el Río Amazonas desborda e inunda el lago directamente. La Quebrada Yahuaracaca es un afluente, cuyos aportes son importantes en las aguas bajas.

El Lago Tarapoto debido al alejamiento de la influencia del Río Amazonas se encuentra en transición a igapó (Duque, 1993). El Río Amazonas algunas veces penetra al lago Tarapoto, cuando alcanza picos máximos cada cuatro o cinco años, observándose agua turbia. El principal aportante al Lago Tarapoto es el Río Loreto Yacú a través del Lago El Correo y un canal que comunica el Lago Tarapoto y El Correo. La Quebrada Tarapaguazu desemboca en el Lago Tarapoto, tiene influencia de aguas negras originadas en la floresta amazónica.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 Equipo Muestreador

Se dispusieron cuatro bandejas de resina poliéster a diferentes niveles de profundidad





con dispositivos para montar substratos artificiales de vidrio, protegidos con de malla de polietileno, con flotadores en poliestireno expandido de alta densidad y lastre en bronce. Los equipos se ubicaron en la margen litoral de los dos lagos, por la presencia de macrófitas como *Paspalum* spp. Se muestrearon tres períodos hidrológicos en las siguientes fechas:

1. Aguas bajas, entre Julio-Agosto de 1997.
2. Aguas en ascenso, entre Enero-Febrero de 1998.
3. Aguas altas, en Julio 1998.

En cada período hidrológico las muestras se colectaron a los 2, 4 y 8 días de colonización de los substratos artificiales.

2.2 Clorofila a

Se utilizaron 288 unidades muestrales, en cada período hidrológico, teniendo en cuenta tres replicas para cada uno de los siguientes factores: 2, 4 y 8 días de colonización; 4 profundidades (cada 10 cm). Las muestras se preservaron en 100 ml de agua desionizada antes de ser llevadas al laboratorio, donde se raspó el perifiton de los substratos artificiales. Se filtró el perifiton diluido mediante una bomba de vacío, utilizando filtros de microfibras de vidrio GF/F Whatman 0.45 de μm de poro. Los filtros con la muestra se colocaron en papel aluminio 6KR a 3.000 rpm, durante 15 minutos, con el fin de eliminar la turbidez. Posteriormente, el sobrenadante se utilizó para leer a 430, 664, 665 y 750 nm, en un espectrofotómetro computarizado Perkin Elmer U/VIS Lambda 2S, con celda de cuarzo de 1 cm de recorrido de luz. Con 750 nm, se hizo corrección y sirvió para determinar la turbidez.

Como blanco se utilizó acetona analítica al 90 %. Se efectuó corrección por presencia de feofitinas, acidificando el extracto con 0.1 ml de HCl 1 N, se esperó dos minutos homogenizando y se volvió a leer a las mismas longitudes de onda. El dato que se obtuvo en las lecturas del espectrofotómetro fue la absorbancia, que mediante las fórmulas propuestas por APHA-AWA-WEF (1992) se calculó la concentración de clorofila en mg/m^2 .

2.3 Biomasa por Peso Seco Libre de Cenizas

Se utilizaron 288 unidades muestrales, en cada período hidrológico teniendo en cuenta tres replicas para cada uno de los siguientes factores: 2, 4 y 8 días de colonización; 4 profundidades (cada 10 cm). Se retiraron las unidades muestrales y se colocaron en recipientes plásticos secos sellados. En el laboratorio se secan los substratos en un horno MLW a 78°C , durante 2 horas. Después de dejarlos reposar (2-3 horas) se colocan en una campana de vidrio, donde se mantienen a una humedad constante mientras se pesan en una balanza analítica Plus Ohaus, con 4 decimales, a la temperatura del laboratorio (18°C). Después se determina el Peso Seco Libre de Cenizas (PSLC) utilizando una mufla MLW (Web electro bad frankenhausen) a 400°C durante 3 horas. Con el peso seco y peso de cenizas se calculó la biomasa en g/m^2 .

2.4 Parámetros Físico-químicos

Se tomaron las muestras en la zona litoral en la superficie, a 1 disco Secchi (DS), a 2 disco Secchi (2DS) y en el fondo. "in situ" se midió el oxígeno disuelto mediante un oxímetro, pH, temperatura (potenciométrico digital) y conductividad (conductímetro digital). Para preservar las muestras se filtraron a través de una membrana miliporo de microfibras, Whatman GF/F de 0.45 μm de poro, utilizando una bomba de vacío. Para la determinación de metales se agregaron 2 ml de HNO_3 y para nitratos y nitritos se le adicionó 2 ml de H_2SO_4 . Todas las muestras se mantuvieron refrigeradas antes de ser analizadas. Los métodos para el análisis de los diferentes parámetros físico-químicos se realizaron según APHA-AWA-WEF (1992).

2.5 Estadística

Para el cálculo de la clorofila a y peso seco libre de cenizas se utilizaron las fórmulas recomendadas por APHA-AWA-WEF (1992). Se realizó una estadística descriptiva, realizando un "brushing" de los datos extremos que pudieran afectar las medias estadísticas. Para las variables biomasa fotosintética y biomasa por peso seco sin cenizas (PSLC) se realiza un Análisis de Varianza Multifactorial. La prueba





de rangos múltiples se utilizó para discriminar la diferencia significativa entre las medias. Para ver la tendencia de la curva en las medias estadísticas de clorofila y PSLC por colonización, se utilizó un análisis de regresión lineal. Para los cationes se utilizó una comparación múltiple de medias.

Para evitar que la luz incidiera; se guardaron en bolsas plásticas individuales, conservándose a 4°C. Las muestras se maceraron con 10 ml acetona al 90%, en obscuridad; se colocaron en tubos de ensayo a 4°C y oscuridad, durante 24 horas, para la completa extracción del pigmento (APHA-AWA-WEF, 1992). Las muestras se centrifugaron en una centrifuga Beckman GS.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

Los lagos Yahuaraca y Tarapoto son ecosistemas acuáticos de un continuo río-lago caracterizados por la morfología de cubeta alargada, que favorece la acción del viento; las fluctuaciones del nivel de las aguas cambian la dirección del flujo, resultando en diferencias de la concentración de partículas suspendidas, nutrientes, mezclas en la columna de agua y variaciones en la disponibilidad de nutrientes y luz para la productividad primaria (Kimmel & Groeger, 1984).

La dinámica de lagos Yahuaraca y Tarapoto sometidos a pulsos de inundación periódicos y los factores de producción, son conceptualizados en cuatro dimensiones bajo una perspectiva holística (Ward, 1989). La dimensión longitudinal tiene que ver con el transporte de nutrientes por interacción de los afluentes (Río Amazonas, Río Loretoyacu y Quebrada Yahuaraca, Richey et al, 1975). La dimensión lateral incluye interacciones entre el canal, el litoral y el sistema plano de inundación (macrófitos y bosque inundable) en la entrada de nutrientes a los lagos. La dimensión vertical posee componentes en la columna de agua y la recirculación de nutrientes. Todo esto está implicado con el concepto del pulso de inundación planteado por Junk et al (1989) y el concepto de continuum de río (Vannote et al, 1980).

Tres factores tienen un efecto significativo estadísticamente a un nivel de confianza del 95 %. Estos factores son en orden de mayor a menor efecto: colonización, periodos hidrológicos y profundidad (fig. 1 y 2). Dos interacciones son significativas, el periodo hidrológico con la colonización y profundidad.

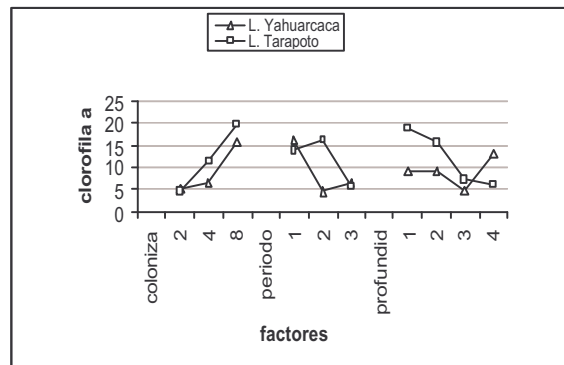


Figura 1. Comparación de Medias de clorofila a en los lagos Yahuaraca y Tarapoto según factores

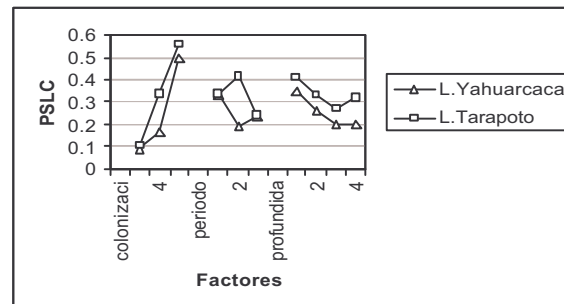


Figura 2. Comparación de Medias de PSLC en los lagos Yahuaraca y Tarapoto según factores

La colonización permite el establecimiento de la comunidad fitoperifítica, como lo dicen Tilley & Haushild (1975), él observa una curva sigmoide y e indica cierta estabilidad de la comunidad. Por su lado, Hansson (1992) establece que la relación curvilínea en la biomasa fitoperifítica está asociada a la productividad del lago y al sedimento, sugiriendo la limitación de nutrientes como el mayor factor determinante de la biomasa. El fitoperifiton es una fuente de alimento de invertebrados (Lamberti et al, 1989).

Un patrón de la colonización de substratos por el perifiton ha sido observado. Inicialmente se forma un revestimiento orgánico (detritus) que





es pre-requisito para la fijación de bacterias, que son los colonizadores primarios. Este sustrato orgánico constituye una superficie de fijación de los demás colonizadores, que en su mayoría son las diatomeas de bajo perfil. Luego vienen las diatomeas de largo perfil pedunculadas y organizadas en rosetas; después llegan las clorofíceas y cianofíceas filamentosas, generando un cambio de una comunidad bidimensional a una estructura biológica tridimensional (Moura, 1997). Según Neal et al (1967), la sucesión en algas perifíticas se inicia con cianofíceas, seguida por diatomeas y por último con clorofíceas. A medida que la comunidad se desarrolla, se pueden producir modificaciones de las condiciones microambientales, como la producción de mucílago y la adhesión de partículas sobre la superficie del perifiton, favoreciendo la fijación de nuevos organismos. Cuando las algas de la capa inferior mueren debido a la baja disponibilidad de luz y nutrientes, la probabilidad de desprendimiento de este parche de algas aumenta con la biomasa, (Stevenson, 1983). Durante el proceso de acumulación de biomasa se distinguen tres fases:

1. Colonización, de 0-2 días y una velocidad de (3.1 mg clorofila a/m²/día para el establecimiento de propágulos, gran cantidad de detritus y una baja densidad algal (Amaya, 1999; Moura, 1997).

2. Crecimiento logarítmico, de 2-4 días, la velocidad de acumulación de clorofila (2.5 mg/m²/día) un poco menor a pesar de una mayor tasa de invasión de especies de estrategia r, de rápido metabolismo (especies de bajo perfil), la tasa de acumulación de biomasa es mayor.

3. Cima asintótica, en la que la velocidad de acumulación de clorofila disminuye ligeramente (2.4 mg/m²/día), ya que la producción es balanceada por los pastoreadores o removido por factores como la velocidad del agua o la lluvia (Kever et al, 1966; Tilley & Haushild 1975) o por competencia por la luz debido al autoensombrecimiento y aparición de especies de largo perfil con estrategias k.

Las concentraciones de clorofila a de los sustratos artificiales de los lagos Yahuaraca y Tarapoto teniendo en cuenta los días de colonización, no se ajusten apropiadamente a un modelo lineal de crecimiento continuo. Aplicando un análisis de regresión múltiple para la clorofila por colonización, el modelo se ajusta en un 20.5 %, luego la correlación lineal no es significativa al 95% de intervalo de confianza. Al extrapolar las medias estadísticas del PSLC por colonización y aplicar un análisis de regresión múltiple, el modelo se ajusta en un 86.2 %, luego la correlación lineal es significativa al 95% de intervalo de confianza.

Teniendo en cuenta el período hidrológico el valor medio más alto de clorofila a corresponde al período 1 (aguas bajas) 20 mg/m²; siendo mayores los valores en aguas bajas y menores en ascenso y altas (fig. 1 y 2). Es decir, hay una relación inversa de la producción y acumulación de biomasa del fitoperifiton con el nivel de inundación del lago. La cantidad de clorofila a en la comunidad fitoperifítica declina con el aumento del nivel de las aguas (Bigg, 1995). La biomasa algal y la productividad primaria en las planicies de inundación amazónicas están fuertemente influenciadas por el pulso de inundación (Junk et al, 1989).

Engle & melack (1993) encuentran que la transición de condiciones lénticas a lólicas coincide con alta biomasa epifítica y baja biomasa fotoplantónica. Además revelan que la turbiedad inorgánica regula la habilidad para la utilización de nutrientes por las algas perifíticas y encuentran que la biomasa algal epifítica decrece después del contacto con las aguas no diluidas. En los períodos de aguas bajas se incrementa el nivel trófico, mientras que en aguas altas disminuye (Bahamón, 1984; Díaz, 1995; Duque et al, 1995).

Lagos (1997) para Yahuaraca anota que la transformación del sistema léntico a lólico, es la que determina el cambio de producción; el elemento limitante es el arraste que produce la corriente del Río Amazonas al entrar al lago;





disminuyendo el tiempo de residencia del agua, por lo que, aún las poblaciones con altas tasas reproductivas son mermadas. La fluctuación anual entre una condición oligotrófica (aguas altas) a eutrófica (aguas bajas) es mencionada por Payne (1986). Entradas adicionales de agua y nutrientes provienen del agua lluvia y de los afluentes (Melack & Fisher, 1983; Forsberg et al, 1988).

De igual manera, la biomasa y producción primaria fitoperifítica de los substratos artificiales en Yahuaraca y Tarapoto presentan una relación inversa con la precipitación; en meses de mayor precipitación pluviométrica, ocurren menores valores de biomasa y producción. La mayor precipitación provoca un flujo más rápido de agua y variaciones del contenido de elementos biogénicos (Schladow y Hamilton, 1997).

Moura (1997) analiza la acumulación de biomasa fotosintética del perifiton sobre substratos artificiales en el Lago Ninfeias (Brasil) y encuentra que en los períodos secos, la biomasa sufre menos fluctuaciones y analiza que durante el período lluvioso las pérdidas de biomasa están asociadas al factor perturbatorio de la lluvia acentuada, que propicia un desprendimiento mecánico alogénico de la comunidad; sin embargo, él observa que los procesos de acumulación de biomasa son más acelerados en el período lluvioso. En nuestro estudio los períodos de aguas en ascenso y altas corresponden con los mayores promedios de precipitación y se presentaron menores valores de PSLC y de clorofila.

Respecto a la profundidad, la biomasa y producción primaria obtenida en los lagos Yahuaraca y Tarapoto es inversa, es decir mayor en la superficie y menor a mayor profundidad (fig. 1 y 2); la transparencia del agua es sin duda uno de los factores que afectan a la comunidad. Para Hill y Boston (1991) la fotoinhibición en el fitoperifiton declina con el sombreamiento; con el desarrollo de las comunidades fitoperifíticas la luz comienza a ser limitante y el sombreamiento influye significativamente en la fotosíntesis de las comunidades viejas

fitoperifíticas. La fotosíntesis no se realiza completamente bajo intensidades de luz bajas (Hill y Boston, 1991).

Los resultados muestran que la biomasa fitoperifítica sobre substratos artificiales es mayor en L. Tarapoto respecto a L. Yahuaraca. La mayor influencia del R. Amazonas (cerca del 80% del volumen) en L. Yahuaraca aporta nutrientes al ecosistema (143,3 MS/cm), pero a la vez los sólidos en suspensión generan menor transparencia (20 cm). En cambio, el L. Tarapoto recibe el mayor volumen de aguas del R. Loretoyacu (aguas negras) que antes de afectar al L. Tarapoto pasa por el L. El Correo donde buena parte del material en suspensión se decanta. En aguas bajas, aunque el L. Yahuaraca no recibe aguas del R. Amazonas, su cubeta menos profunda (3m) hace que se mantengan aguas turbias, en este caso por la constante resuspensión del sedimento. El Tarapoto mantiene una mayor profundidad en el período de estiaje (8 m) y una transparencia (80 cm). En el período de aguas altas, el Río Amazonas y el Lago Yahuaraca poseen similitudes en las características físico-químicas de sus aguas. En aguas bajas cuando se separa el Río Amazonas del Lago Yahuaraca recibe la influencia de la Quebrada Yahuaraca.

La acumulación de biomasa resulta de la integración de dos procesos, ganancia por crecimiento y pérdida por predación, al igual que por perturbaciones físicas (Biggs, 1995). El método usado para la determinación de las tasa de acumulación no representa la tasa de crecimiento y renovación, particularmente cuando hay pérdidas acentuadas por mortalidad y emigración (Stevenson, 1996). La medida con base en la acumulación de PSLC representa una productividad total de la comunidad, ya que no separa la producción primaria de la secundaria (Sladeczek & Sladeczkova, 1964). Wetzel & Likens (1991) consideran que el secado por calor puede resultar en una pérdida apreciable de constituyentes orgánicos volátiles. La medida PSLC fue afectada por la gran cantidad de detritos, ya que el contenido de cenizas tuvo una gran contribución porcentual en el peso seco del





perifiton (60-98%). La materia inorgánica y orgánica proveniente del sedimento es un factor que interfiere los valores de peso seco; por lo tanto, el error en la estimación PSLC aumenta.

El índice autotrófico presentó una tendencia a aumentar con la colonización de los substratos artificiales, siendo menores en las fases iniciales y mucho mayor en la última fase de colonización. El período de aguas en ascenso presentó la media del índice autotrófico más alta, atribuido a las altas tasas de descomposición y la gran participación de detritus. Con la profundidad la media del índice autotrófico aumenta por la disminución de la actividad fotosintética, dando una condición más heterotrófica y los substratos de mayor profundidad acumulan más detritus (Bigg, 1985). Entre lagos la media del índice autotrófico fue mayor en Tarapoto que Yahuaraca. Lowe y Pan (1996) comentan que en lagos tropicales valores altos del índice autotrófico son de sistemas oligotróficos.

Para ambos lagos se encontraron valores de pH entre 6.0 y 7.6, con una mayor frecuencia entre 6.5 -7.2 y una media de 6.8. El período es el factor que más influye en la variabilidad del pH. El lago Yahuaraca es neutro (7.06) en aguas bajas y ácido en ascenso (6.6) y altas (6.83). La comparación de medias de pH, permite establecer que es más ácido el L. Yahuaraca (6.7) y el L. Tarapoto tiende a la neutralidad (6.9). El pH cerca de la superficie tiende a la neutralidad y con la profundidad se hace ácido, presentándose diferencias significativas de las capas superficiales con las del fondo.

El cambio de pH por períodos es afectado por los aportes de los afluentes secundarios Q. Yahuaraca, Q. Tarapaguzú y el R. Loretoyacu, con alto contenido de ácidos húmicos y pH ácido. Los suelos adyacentes tienen una fracción de material caolinítico que le dan un carácter ácido a las aguas. El pH en el Río Amazonas está cerca a la neutralidad.

Entre lagos la conductividad fue mayor en el Tarapoto (138 mS/cm) que en Yahuaraca (112 mS/cm). En un perfil de profundidad fluctúa entre

94-154 mS/cm con una media de 130 mS/cm. La conductividad es mayor en el Río Amazonas (143 mS/cm) que en los lagos y los afluentes: Q. Yahuaraca (53,9 mS/cm) y Río Loretoyacu (132 mS/cm). La conductividad es mayor en ambos lagos durante el período de aguas bajas y menor durante el período en ascenso y altas. La descomposición del material vegetal producido en la temporada seca, especialmente los macrófitos (Furch & Junk, 1992) aporta nutrientes al agua en el período de aguas bajas. En aguas altas, la dilución por efecto de los afluentes y el incremento de las lluvias producen disminución de los nutrientes y de la biomasa y productividad (Rodríguez, 1994). Los valores de conductividad en el fondo fueron mayores a los de superficie, debido a la decantación de material en suspensión y los procesos químicos en el hipolimnio. Las fluctuaciones de la conductividad en la columna se deben a la mezcla de los lagos.

Una comparación de medias a un nivel de un 95 % de confianza con un intervalo LSD, muestra que las mayores concentraciones corresponden a los aniones bicarbonato > cloruros > sulfatos y para los cationes es Ca > Na > Mg > K. Las concentraciones de NH₄, NO₂, NO₃, PO₄, P soluble, P total y P particulado se encuentran en bajas concentraciones. Las medias de las concentraciones de nitratos y fosfatos sugieren deficiencia de fósforo. Los NO₃ son mayores en el L. Tarapoto que en L. Yahuaraca. Con la profundidad la concentración de nitratos disminuye; siendo mayor en la superficie. El fósforo total soluble y particulado con la profundidad aumenta, siendo mayor en el fondo que en la superficie. Las bajas concentraciones de nutrientes, según Rai y Hill (1984) podrían implicar un rápido reciclamiento de nutrientes.

La temperatura presenta diferencias estadísticamente significativas entre los períodos a un nivel de confianza del 95%. La temperatura media en los tres períodos fluctúa entre 27,6°C (altas) y 29,8°C (ascenso) y 29,6°C (bajas). Entre lagos las temperaturas medias son 28,5°C en Yahuaraca y 29,5°C en Tarapoto. En la superficie la temperatura media es de 30°C y





disminuye hasta 270C a un metro de profundidad, bajando cada metro 10C. De acuerdo al comportamiento térmico y teniendo en cuenta el modelo de Hutchinson & Loffler (1956), los lagos pueden ser clasificados como oligomícticos en aguas altas y polimícticos en aguas bajas. Basados en la clasificación de Lewis (1983) y Tundisi et al (1984) cálidos polimícticos continuos.

Duque et al (1997) proponen la existencia de una termoclina a 1m de profundidad en el lago Tarapoto. La temperatura del agua entre la superficie y el fondo varía 4 °C y cambia lo largo del día de acuerdo con la radiación solar, por la noche el gradiente decae debido al enfriamiento de la superficie y se produce la mezcla, que promueve el intercambio de nutrientes entre el epilimnio y el hipolimnio.

El lago Yahuaraca presentó menor concentración promedio de oxígeno disuelto (OD) (1.5 mg/L) que el L. Tarapoto (2.0 mg/L); en el Río Amazonas es más alto el valor que los lagos (4.4 mg/l) debido a las mayores corrientes que presenta. En la superficie las concentraciones de OD (5.65 mg/L) son altas por efecto del viento y la producción fotosintética (Junk et al, 1989; Melack & Fisher, 1983) y disminuye hasta la anoxia en el fondo. Esteves (1988) estima que tiene mayor influencia sobre la concentración de oxígeno las características morfométricas que influyen sobre la acción del viento, los tiempos de duración de las estratificaciones térmicas y la cantidad de materia orgánica disuelta en el agua.

4. CONCLUSIONES

Los factores que inciden en la producción y biomasa fitoperifítica de los substratos artificiales en los lagos Yahuaraca y Tarapoto en la Amazonia colombiana son principalmente el período hidrológico, el tiempo de colonización y la profundidad; factores que en conjunto determinan los mayores o menores valores de productividad primaria de la comunidad, medida por clorofila a y acumulación de biomasa medida por Peso Seco Libre de Cenizas (PSLC).

Los substratos artificiales en ambos lagos en los primeros 2 días de colonización son dominados por los detritos, se inicia una sucesión más heterotrófica y a medida que transcurre el tiempo de colonización (4-8 días), hay un cambio hacia una condición más autotrófica.

Los altos valores de materia orgánica sugeridos por los altos valores del índice autotrófico, indican el importante papel que juegan los microorganismos, en especial las bacterias, en las rutas tróficas o los ciclos "microbial loop".

La comunidad fitoperifítica de los substratos artificiales es más autotrófica cerca de la superficie y más heterotrófica con la profundidad.

Las fluctuaciones de la productividad y biomasa fitoperifítica de los substratos artificiales en los lagos Yahuaraca y Tarapoto relacionada con la mineralización de sus aguas es producto de los diferentes aportes que hace el Río Amazonas y los tributarios menores; así, la producción fitoperifítica del lago Yahuaraca es influida en aguas altas o desborde por el flujo de nutrientes del Río Amazonas y en aguas bajas por la Quebrada Yahuaraca; en tanto la producción fitoperifítica del Lago Tarapoto está influenciada en aguas bajas por la Quebrada Tarapagazu y en aguas de ascenso y altas por el Loretoyacú, aunque esporádicamente, en algunos años puede tener influencia del R. Amazonas (Díaz, 1995).

La concentración de nutrientes en los lagos Yahuaraca y Tarapoto medida indirectamente por la conductividad es mayor durante el período de aguas bajas (limnofase). Durante el período en ascenso es menor la conductividad por la dilución de las aguas, ya que los afluentes secundarios que nacen en las peniplanicies antiguas aportan pequeñas cantidades de nutrientes. En aguas altas (potamofase), la conductividad aumenta por influencia del Río Amazonas.

El pH de los lagos estudiados es afectado por los aportes de las aguas ácidas de los





tributarios secundarios, debido a los solutos de tipo húmico, originados por la descomposición parcial de materia orgánica de los macrófitos, el bosque inundable, y el lavado de suelos podzólicos.

La influencia del Río Amazonas enriquece las aguas del Yahuaraca, en nutrientes pero, la cantidad de carga sedimentaria disminuye la penetración de la radiación y por tanto, disminuye la zona fótica, afectando la productividad en la época de desborde. Los lagos pueden ser clasificados como várzeas pertenecientes al plano inundable del Río Amazonas. Tienen influencia de aguas negras originadas en la foresta amazónica, con alto contenido de ácidos húmicos, baja concentración de nutrientes y pH

ácido, así como de aguas blancas con grandes cantidades de material en suspensión, pH neutro y altos valores de conductividad. Los lagos corresponden así mismo al grupo descrito por Esteves (1988), como lagos poco profundos, que pueden o no presentar estratificaciones térmicas constantes o periódicas, con aporte de nutrientes a partir de los ríos o de las áreas adyacentes, con una dinámica que es controlada por los ríos que los alimentan con diferentes grados de influencia de acuerdo con el régimen hidrológico. Son considerados también de acuerdo con lo sugerido por Duque et al (1995), al grupo de "Aguas Blancas de Tipo 1", con alta transparencia, baja turbidez y altos valores de biomasa fitoplanctónica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaya V. K. 1999. Composición y estructura del fitoperifiton en el Lago Tarapoto (Amazonas-Colombia) durante dos períodos hidrológicos. Tesis de Biología Universidad Nacional de Colombia.
- APHA, AWA, WEF. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. Ed. American Public Health Association. Washington D. C.
- Bahamón N., 1994. Estudio limnológico, con énfasis en la comunidad de fitoplancton en algunos lagos de inundación del río Amazonas (Colombia). Tesis Universidad Nacional, Santafé de Bogotá
- Bayley, P. B. 1989. Aquatic environments in the Amazon basin, with an analysis of arbon sources, fish production, and yield. p. 399-408 in D. P. Dodge (ed). Proceedings of the International Large River Symposium. Can. Spec. Public. Fish. Aquatic. Sci. 106.
- Biggs B. J. F. 1988. Artificial substrate exposure times for periphyton biomass estimates in rivers. New. Zealand. J. Mar. Fresh. Res. 22: 507-515
- Castellanos L. 1998. Caracterización de algunos elementos del hábitat usado por los delfines Inia y Sotalia en lagos Tarapoto, El Correo y Caballo Cocha. Tesis Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá.
- Díaz, M., 1995. Caracterización limnológica preliminar de los lagos de Tarapoto, El Correo y Caballo Cocha, Amazonia central (Colombia - Perú). Tesis Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santafé de Bogotá.
- Duque S. R., J. E. Ruiz, J. Gómez & E. Roessler. 1997. Limnología. En IGAC (ed.). Zonificación ambiental para el plan modelo Colombo - Brasileiro (Eje Apaporis - Tabatinga: PAT). Editorial Linotipia. Santafé de Bogotá. 71-134
- Engle D. L. & J. M. Melack. 1993. Consequences of riverine flooding for seston and the periphyton of floating meadows in an Amazon floodplain lake. Limnol. Oceanogr. 38(7): 1500 - 1520.
- Esteves, T. & Roland. 1984. Comparación del metabolismo de dos lagos del plano inundable del Río Trompetas (Pará- Brasil), basado en un estudio de variación diaria. Amazonica 13(1/2): 33-46.





- Goulding M. 1980. The fishes and the forest. University of California Press.
- Goulding, M.; Carvalho & E. G. Ferreira. 1988. Rio negro, rich life in poor water. SPB Academic Publishing.
- Hansson, L. A. 1992. The role of food chain composition and nutrient availability in shaping algal biomass development. *Ecology* 73: 241-247.
- Hill, W. R. & Boston H. L. 1991. Community development alters photosynthesis- irradiance relations in stream periphyton. *Limnol. Oceanogr.* 36 (7) 1375-1389.
- Hurtado J. 1998. Aspectos biológico-pesquero del *Arapaima gigas* en el sistema de várzea (lagos de Tarapoto, El Correo y zonas aledañas) en el Mpio. de Puerto Nariño, Amazonas colombiano. Tesis Universidad del Valle, Cali
- Jiménez, L. F. 1994. Estructura de la comunidad íctica en gramalotes del Trapecio Amazónico colombiano. Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá.
- Junk, W. J.; Baley, P. B. and Sparks R. E. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. In D. P., Dogge (de) Proceedings of the International Large River Symposium. *Can Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 106.
- Junk, W. J. 1997 (ed.). The central Amazon Floodplain. Ecology of a pulsing system. Springer. Germany
- Lagos L. 1997. Productividad primaria y biomasa fitoplanctónica en el lago Yahuaraca (amazonia colombiana). Tesis Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá.
- Lowe, R. L. & Pan, Y. Periphyton patters in lakes. In: *Algal Ecology. Freshwater benthic ecosystems.* Jan-Stevenson, R. Bothwell, M.; Lowe, R. L. California Press limited p.57-76.
- Melack, J. M. & Fisher T. R. 1983. Diel oxygen variations and their ecological implications in amazon floodplain lakes. *Arch. Hydrobiol.* 98: 422-442.
- Neal, E. C. Patten, B. C. 6 Deepoe, C. E. 1967. Periphyton growth on artificial substrates in radio actively contaminated lake. *Ecology* 48(6): 918-924.
- Putz, R. Junk W. J. 1997. Phytoplankton and Periphyton. In *The central Amazon foodplain. Ecology of a pulsing system.* W.J. (ed) Springer-Verlag. p207-222.
- Rai. H & G. Hill. 1984. Primary production in the Amazonian aquatic ecosystem. *The Amazon Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin.*
- Ramos R. M. 1999. Contribución al conocimiento de la ecología alimenticia de los delfines de río *Inia geoffrensis* y *Sotalia fluviatilis* en algunos sistemas lénticos de la Amazonia colombiana. Tesis Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá.
- Richey, J.E. Salati, E. and Santos U. 1985. Biochemistry of the Amazon River: an update. *Mitt. Geol. Palaont. Inst. Univ. Hamburg SCOPE/UNEP Sonderbd.* 58: 245-257.
- Schladow, S.G. y Hamilton, D P. (1997). Prognóstico de calidad agua en lagos. *Modelación Ecológica.*
- Sioli H. (ed.). 1984. *The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin.* Dr. Junk Publishers. Boston
- Tilley L.J.; Haushild, W.L. 1975: Use of productivity of Periphyton to estimate water quality. *Journal of the water pollution Control Federación* 47: 2157-2171.
- Tundisi, J.G; Fosberg, B.R.; Devol, A H.; Zoret, T. M.; Tundisi, T. M.; Dos Santos, A.; Ribeiro, J.S. y Hardy E.R. 1984. Mixing patterns in Amazon lake. *En: Hydrobiología* 108: 3-15.
- Vannote, R. L. ; Minshall, G. W. ; Cummins, K. W. Sedell, J.R. and Cushing C.E. 1980. The river continuun concept. *Canadian journal of fisheries and Aquatic Sciences* 37: 130-137.
- Ward J. V. 1989. The four dimensional nature of lotic ecosiystems. *J N. Am. Benthol. Soc.* 8(1):2-8.
- Wetzel, R.G. 1983. *Limnology* CBS. College Publishing 2ª ed. USA. 793p.

