
EFECTOS DEL NITRÓGENO Y CLORUROS EN LA DINÁMICA DEL FITOPLANCTON DEL LAGO DE MARACAIBO, VENEZUELA

Gustavo Morillo, Lorena Jonte, Ismenia Araujo, Nancy Angulo, Lenín Herrera y Ever Morales

RESUMEN

La dinámica de la población del fitoplancton en la zona centro-oriental del Lago de Maracaibo, en el sector "Caño la O" del Municipio Lagunillas, Estado Zulia, Venezuela, está determinada en función de la concentración de los nutrientes y salinidad. En este trabajo se evaluó la dinámica de las microalgas del lago en dos diferentes concentraciones de nutrientes (4 y 6mM de NO_3) y cuatro niveles salinidad (1500, 6354, 9307 y 12423mg·l⁻¹ de cloruros). Los bioensayos se mantuvieron

en condiciones de laboratorio con fotoperíodo 12:12h y a 28 ±2°C. Se observó diferencias significativas en cuanto a la sensibilidad del fitoplancton a la concentración de sales y nutrientes, apreciándose que a mayor nivel de nutrientes y de sales aumentaba el número de células del fitoplancton. Con base en los resultados es posible inferir que la comunidad fitoplanctónica puede ser direccionada por las variaciones en salinidad y nutrientes en el ecosistema Lago de Maracaibo.

Introducción

Las aguas del Lago de Maracaibo, en la región noroccidental de Venezuela, han sufrido cambios en su composición física y química como producto de las actividades antrópicas desde la época colonial, cuando los desechos de centros poblados en crecimien-

to como Maracaibo, Mérida y Trujillo se descargaban a ríos afluentes o al lago directamente, creando un problema de contaminación, que se fue incrementando desde 1938, con el aumento de la población en la cuenca. Desde esa fecha se acentuó la intervención del hombre sobre el sistema debido a las actividades de explota-

ción petrolera, alterándose de manera dramática el equilibrio ecológico mantenido en el ecosistema por miles de años. A partir de 1956 se produjo un incremento en la concentración salina (Bautista, 1997), originado en gran parte por la construcción y continuo dragado del canal de navegación. El agua salada entra por la

zona de mayor profundidad del estrecho del lago y permite la formación de una cuña salina, que se origina por el intercambio entre el agua del mar y el agua salobre, cuyas diferencias de densidades originan una interfase entre las dos masas de agua (estratificación por densidad). La formación de dicha cuña se ve afectada por

PALABRAS CLAVE / Fitoplancton / Lago de Maracaibo / Nutrientes / Salinidad /

Recibido: 22/02/2008. Modificado: 10/06/2010. Aceptado: 17/06/2010.

Gustavo Morillo. Ingeniero Agrónomo y Maestría en Ingeniería Ambiental, La Universidad del Zulia (LUZ), Venezuela. Profesor, LUZ, Venezuela. Dirección: Centro de Investigación del Agua, LUZ. Ciudad Universitaria, lagunas de oxidación, frente a la Facultad de Agronomía.

Maracaibo, Venezuela. e-mail: gmorillo@fing.luz.edu.ve
Lorena Jonte: Licenciada en Biología y Maestría en Microbiología, LUZ, Venezuela. Profesora, Universidad José Antonio Páez, Venezuela.
Ismenia Araujo. Licenciada en Educación, Mención Ciencias

Biológicas, LUZ, Venezuela. M. Sc. en Microbiología, University of Georgia, EEUU. Profesora, LUZ, Venezuela.
Nancy Angulo. Licenciada en Biología y Maestría en Microbiología, LUZ, Venezuela. Profesora, LUZ, Venezuela.

Lenín Herrera. Ingeniero Químico, LUZ, Venezuela. M.Sc. en Ingeniería Ambiental y Salud, University of Texas, EEUU. Profesor, LUZ, Venezuela.
Ever Morales. Doctor en Ciencias Biológicas, Universidad de Santiago de Compostela, España. Profesor, LUZ, Venezuela.

EFFECT OF NITROGEN AND CHLORIDES IN THE PHYTOPLANKTON DYNAMICS OF THE MARACAIBO LAKE, VENEZUELA

Gustavo Morillo, Lorena Jonte, Ismenia Araujo, Nancy Angulo, Lenín Herrera and Ever Morales

SUMMARY

The dynamics of the phytoplankton in the west central area of the Lake of Maracaibo in the sector "Caño la O" of the Municipality Lagunillas, Zulia State, Venezuela, was determined under varying nutrient concentration and salinity. In this work the dynamics of microalgae was evaluated with different concentrations of nutrients and chlorides. Growth experiments were performed at two nutrient levels (4 and 6mM NO₃) and four salinity levels (1500, 6354, 9307 y 12423mg·l⁻¹ of chlorides). The

bioassays were maintained under laboratory conditions with a photoperiod of 12:12h and at 28 ±2°C. Significant differences in the sensitivity of phytoplankton to salt and nutrient concentration were found, the number of phytoplankton cells increasing at higher nutrient or salt concentrations. Based on the results it can be inferred that the phytoplankton community in the Lake of Maracaibo can be modified by handling salinity and nutrient concentrations.

EFEITOS DO NITROGÊNIO E CLORETOS NA DINÂMICA DO FITOPLÂNCTON DO LAGO DE MARACAIBO, VENEZUELA

Gustavo Morillo, Lorena Jonte, Ismenia Araujo, Nancy Angulo, Lenín Herrera e Ever Morales

RESUMO

A dinâmica da população do fitoplâncton na região centro-oriental do Lago de Maracaibo, no setor "Caño la O" do Município Lagunillas, Estado Zulia, Venezuela, está determinada em função da concentração dos nutrientes e salinidade. Neste trabalho foi avaliada a dinâmica das microalgas do lago em duas diferentes concentrações de nutrientes (4 e 6mM de NO₃) e quatro níveis de salinidade (1500, 6354, 9307 e 12423mg·l⁻¹ de cloretos). Os bioensaios foram mantidos em condições de la-

boratório com fotoperíodo 12:12h e a 28 ±2°C. Foram observadas diferenças significativas em relação à sensibilidade do fitoplâncton e concentração de sais e nutrientes, sendo notado que enquanto maior o nível de nutrientes e de sais, maior o número de células do fitoplâncton. Baseado nos resultados é possível inferir que a comunidade fitoplanctônica pode ser direcionada pelas variações de salinidade e nutrientes no ecossistema Lago de Maracaibo.

las condiciones hidrológicas que presenta el lago, las cuales están definidas por el caudal neto de agua dulce que entra, las corrientes existentes y la acción de los ciclos de mareas (Bautista, 1997; Rodríguez, 2000; ICLAM, 2003).

Es común observar a orillas del lago mantos de color verde que corresponden a intensos afloramientos microalgales. Existe una relación directa entre el contenido de nutrientes, en particular nitrógeno y fósforo, producto de las descargas de agua domésticas, de los ríos y de la lluvia, y la concentración de microalgas. Parra Pardi (1979) señaló que "En base a la relación Nitrógeno/Fósforo consistentemente baja (menor a 5) establecidos en los estudios de calidad de las aguas y de los sedimentos del Lago, así como de las carga de nutrientes de los ríos tributarios y a los programas de bioensayos, se puede con-

cluir, con cierta reserva, que el nutriente limitante de la productividad general en el Lago es el nitrógeno." Existen diferencias entre los géneros de microalgas en cuanto a sus necesidades nutricionales y en cuanto a su halotolerancia. Lo que no está claro es cuál sería el efecto en las poblaciones de microalgas del lago si se mantuviera o se incrementara la descarga de aguas servidas al estuario y se mantuviera el canal de navegación, con lo que la concentración de sales se mantendría y hasta tendería a aumentar. Por ello, el presente estudio evaluó, a nivel de laboratorio, los cambios en la concentración del fitoplâncton del Lago de Maracaibo en función de diferentes niveles de nutrientes y de cloruros.

Métodos

Con el objetivo de crear una matriz de evaluación

del fitoplâncton en diferentes zonas del lago, en este estudio se seleccionó un área del Lago de Maracaibo que representara las características de abundancia en fitoplâncton y contenido de nutrientes propios de aguas con problemas de eutrofización. Estudios previos muestran a la costa oriental como una zona con alta abundancia de fitoplâncton (Parra Pardi, 1979; Rodríguez, 2001) por lo que se tomó esta zona, entre los poblados de Cabimas y Lagunillas, para la recolección de muestras. Éstas fueron almacenadas en envases plásticos, y transportados al Centro de Investigación del Agua, Facultad de Ingeniería, y al Laboratorio de Organismos Fotosintéticos, Facultad Experimental de Ciencias, Universidad del Zulia; donde se realizaron los ensayos. Se procedió a realizar una caracterización físico-química

de los principales elementos contenidos en las muestras de agua; para lo cual se siguieron los métodos establecidos en APHA (1995). Las concentraciones de amonio se evaluaron a través del método potenciométrico directo, usando electrodos selectivos para ese ión. Los nitratos y nitritos se evaluaron por el método de la columna de cadmio. Para determinar el fósforo total se realizó una digestión utilizando persulfato de amonio y ácido sulfúrico 11N y los ortofosfatos se determinaron según método del ácido ascórbico. Igualmente se cuantificaron e identificaron los principales géneros de microalgas constitutivas del fitoplâncton de dichas aguas. (Abalde *et al.*, 1995; Arredondo *et al.*, 1997).

El agua del lago contentiva de fitoplâncton se colocó en frascos autoclavables, los cuales fueron iluminados la-

teralmente con lámparas fluorescentes Philips Daylight con tubos de 40W, con un fotoperíodo de 12:12h, controlado mediante un temporizador, y aireación constante proporcionada por compresores para acuarios Power 500 de dos salidas. La temperatura del agua de cultivo se mantuvo en $28 \pm 2^\circ\text{C}$. En todos los ensayos en los que se le adicionaron nutrientes, que fueron suplidos con el medio de cultivo comercial ALGAL (Fábregas *et al.*, 1984) a una concentración equivalente a 4 y 6mM de NO_3 (0,34 y 0,51g·l⁻¹ de NaNO_3 , respectivamente).

La dinámica de crecimiento de las microalgas fue seguida mediante recuentos celulares realizados cada tres días, hasta alcanzar la fase estacionaria. La abundancia de células se calculó mediante el recuento de alícuotas en una cámara de Neubauer de 0,1mm de profundidad utilizando un microscopio óptico binocular Olympus, modelo CH-BIMF11 (Arredondo *et al.*, 1997; Olivia, 1997).

Se llevaron a cabo dos bioensayos. El primero consistió en el estudio de la respuesta de crecimiento de las algas presentes en el agua del lago a dos concentraciones de nitratos, y en el segundo se evaluó la respuesta de crecimiento de microalgas a cuatro niveles de salinidad.

Crecimiento de microalgas en dos niveles de nitratos

Se evaluó el impacto de la adición de nutrientes al agua del lago, mediante la determinación del crecimiento del fitoplancton asociado. Se establecieron dos tratamientos: 1) agua del lago + medio ALGAL (372mg·l⁻¹ NO_3), y 2) agua del lago exclusivamente. De cada tratamiento se hicieron tres repeticiones, cada uno de ellos con 200ml de agua del lago dispensados en botellas de vidrio autoclavables. La totalidad de las botellas fueron colocadas en un agitador mecánico para simular las condiciones de movimientos de agua que se presenta en

el ecosistema lacustre, manteniendo las condiciones de temperatura y fotoperíodo. El ensayo tuvo una duración de 30 días consecutivos, en los cuales se determinó la abundancia de células de cada tratamiento.

Crecimiento de microalgas en cuatro niveles de salinidad

En este bioensayo se tomó nuevamente agua de la zona de estudio y se evaluó la evolución del fitoplancton en función de la salinidad, para lo que se establecieron seis tratamientos: 1) agua del lago sin filtrar; 2) agua del lago + nutrientes a nivel de 4mM NO_3 , (0,51g·l⁻¹ NaNO_3 ; Fuenmayor *et al.*, 2009); 3) agua del lago + nutrientes (4mM NO_3) + 6354mg·l⁻¹ de cloruros (0,8g NaCl por cada 100ml de agua); 4) agua del lago + nutrientes (4mM NO_3) + 9307mg·l⁻¹ de cloruros (1,3g de NaCl por cada 100ml de agua); 5) agua del lago + nutrientes (4mM NO_3) + 12423mg·l⁻¹ de cloruros (1,8g de NaCl por cada 100ml de agua del lago); y 6) agua del lago filtrada con Whatman 0,45µm como control. En cada tratamiento se realizó recuento celular cada tres días. El nivel de N se estableció como único tomando una concentración utilizada en cultivos de microalgas a nivel comercial, para asegurar que este elemento no fuera limitante (Abalde *et al.*, 1995).

Análisis estadístico

El análisis estadístico fue realizado mediante el paquete estadístico SAS (2002), realizando un procedimiento de modelos lineales generales (GLM) y aplicando la prueba de Tukey, con un nivel de confianza de 95%.

Resultados y Discusión

Caracterización del agua del lago utilizada

El análisis físico-químico realizado al agua utilizada en

los diferentes ensayos reportó resultados cuyos valores son característicos de cuerpos de agua afectados por procesos de intervención cultural (Tabla I). Se observan nutrientes, como el nitrógeno (N) en la forma de nitratos, en concentraciones similares a las reportadas para la zona en otros estudios (Escaples y Galindo, 2000; Gotilla *et al.*, 2003). Los niveles de concentración de N encontrados en las muestras de agua fueron suficientes para promover el crecimiento de fitoplancton durante el ensayo. Se ha mencionado (Parra Pardi, 1979; Rodríguez, 2000; Rivas *et al.*, 2009) que en el Lago de Maracaibo existe una relación directa entre el N presente y el contenido de microalgas, efecto que pudo observarse en los diferentes bioensayos, donde aquellos tratamientos con agua del lago sin nutrientes adicionados, presentaron, especialmente en los primeros días de experimentación, un crecimiento de microalgas que se atribuyó a la disponibilidad de los nutrientes existentes en la muestra de agua, en especial al N. Según Lewis (1978) es frecuente en ecosistemas tropicales que el N en forma de nitratos disminuya sus concentraciones a niveles por debajo de 1µg·l⁻¹, en zonas donde el fosfato y silicato no disminuyen considerablemente; zonas donde el nutriente limitante pasa a ser el N como ocurre en el Lago de Maracaibo.

En algunos ecosistemas el factor limitante es el fosfato, como sucede en la mayoría de los lagos de agua dulce. El límite para aguas no contaminadas para el P total es de 0,005mg·l⁻¹. El concepto de nutriente limitante está basado en el crecimiento de plantas acuáticas y la relación molar N/P. El valor de esta relación es determinada por el nutriente limitante en el cuerpo de agua. Así, el nutriente que controla la máxima cantidad de biomasa es aquel que se consume primero o que alcanza un mínimo antes que los demás nutrientes en

la estequiometría de la reacción. Como regla general, se considera que cuando la relación molar N/P es >16, cabe esperarse que el P sea el factor limitante. Cuando N/P=16 ninguno de los nutrientes es limitante; es decir, ambos elementos constituyen la proporción atómica en el fitoplancton, y cuando N/P<16, el nutriente limitante debería ser el N; es decir, que el N es menos abundante que el P con respecto a la demanda metabólica del fitoplancton. (Rivas *et al.*, 2009). Los requerimientos de N en las algas son superiores a los de P, lo que podría explicar porqué el N es el elemento limitante de su crecimiento (Lund, 1965; Teubner, 2003; Spokes, 2004).

En el periodo 1976-1978 (Parra Pardi, 1979) en todos los ríos se encontró al N como limitante e, igualmente, en la mayoría de los muestreos realizados en todos los ríos en 1996-1998, este elemento se mantuvo como nutriente limitante (Rivas *et al.*, 2009). La relación N/P en el lapso 1996-1998 es mayor que en el lapso 1976-1978. Este incremento obedece principalmente al incremento en la concentración de N y en la mayoría de las mediciones hubo disminución de la concentración de P (Rivas *et al.*, 2009).

Los aumentos en el contenido de microalgas en el Lago de Maracaibo se producen con mayor intensidad en los meses de abril, mayo y junio, cuando se inicia la temporada de lluvias. Durante estos meses aumenta el caudal de los ríos tributarios y, con ellos, la descarga de nutrientes en las aguas del lago aportados de manera puntual y no puntual por actividades agrícolas, aguas residuales y actividades industriales. La continua acumulación de N ha creado una fuente de este elemento en el fondo del lago que seguirá supliendo de N el ecosistema por muchos años, por lo que los procesos de nitrificación que ocurren en el fondo se deben tomar en cuenta en la cuantificación de los niveles

del elemento en el agua (Bautista; 1997; Rodríguez, 2000).

La Tabla I también permite observar que los valores de salinidad en las muestras de agua del lago están directamente relacionados con las concentraciones de iones cloruros (1500mg·l⁻¹) y sodio (813,75mg·l⁻¹). Esa composición es proporcionalmente similar a la composición de la salinidad en el agua de mar, de allí que la salinidad del estuario proviene generalmente del agua de mar, con el efecto de dilución del agua salada por el agua dulce (Bautista, 1997). En general, la proporción de sales disueltas en los estuarios se asemejan a la del agua de mar; sin embargo, en algunos momentos la concentración de agua dulce entrante puede modificar la relación iónica de los estuarios (Bautista, 1997). Este cambio en el nivel de salinidad puede inducir a cambios en la abundancia y composición de las microalgas componentes del plancton (Rodríguez, 2000).

El potasio raramente es considerado un factor limitante en el crecimiento de microalgas (Lund, 1965). De hecho se considera que, en muchos casos, los niveles de K son suficientemente altos para permitir el “consumo de lujo” por parte de la microalga (Lund, 1965). Los niveles de K encontrados en las aguas del lago (58,4mg·l⁻¹) permiten inferir que no representan un factor limitante en el crecimiento del fitoplancton; sin embargo, se hace necesario mayor investigación al respecto. Los valores del resto de los elementos del agua del lago muestran que esos no se encuentran en niveles bajos como para considerarse limitante en la producción primaria, por el contrario los niveles existentes son suficientes para permitir

TABLA I
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS
Y QUÍMICAS DEL AGUA
DEL LAGO MARACAIBO

Variable	
Alcalinidad total (mg·l ⁻¹ CaCO ₃)	92,0
Ca (mg·l ⁻¹)	44,0
Cloruro (mg·l ⁻¹)	1500,0
Conductividad (mS·cm ⁻¹ a 21,2°C)	4,99
Dureza total (mg·l ⁻¹ CaCO ₃)	570,0
Fe total (mg·l ⁻¹)	<0,10
Mg (mg·l ⁻¹)	111,9
Nitratos (mg·l ⁻¹)	2,7
Nitritos (mg·l ⁻¹)	0,0
P total (mg·l ⁻¹)	0,54
pH	8,6
K (mg·l ⁻¹)	58,8
Na (mg·l ⁻¹)	813,8
Sólidos disueltos totales (mg·l ⁻¹)	2776,5
Sulfatos (mg·l ⁻¹)	189,8
Turbidez (NTU)	2,0

TABLA II
ABUNDANCIA DE CELULAS (10⁶ CÉLULAS/ML) DE
LAS MICROALGAS EN AGUA NO ENRIQUECIDA CON MEDIO ALGAL

Día	Total (×10 ⁶ cél/ml)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
0	7,9	2	0,5	0,25	1,5	0,1	0,1	0,2	1,2	0,2	0,95	0,1	0,8

A: *Tetraedron*. B: *Selenastrum*. C: *Stichococcus*. D: *Scenedesmus*. E: *Pediastrum*. F: *Cosmarium*. G: *Merismopedia* H: *Microcystis*. I: *Arthosphira*. J: *Chlorella*. K: *Anabaena*. L: cianobacterias filamentosas.

un expresivo desarrollo de microalgas.

Crecimiento de las algas en dos niveles de nitratos

Las microalgas presentes en las muestras de agua del lago presentaron un comportamiento similar tanto para las muestras con el nivel de nutrientes presente en la muestra de agua (2,66mg·l⁻¹ NO₃), como aquellas que contenían medio ALGAL adicionado (4mM NO₃), lo que se aprecia en las curvas de crecimiento

TABLA III
EFECTO DE LA ADICIÓN DE
CLORUROS EN LA ABUNDANCIA
DEL FITOPLANCTON

Cloruros (mg·l ⁻¹)	Promedio (×10 ⁶ cél/ml) *
1500	0,450 c
6354	0,677 bc
9307	2,487 a
12423	1,134 b

* Letras iguales no muestran diferencias significativas (P>0.0005), Letras diferentes muestran diferencias significativas (P<0.0005).

(Figura. 1), donde se hallaron diferencia estadísticamente significativas en función al nivel de medio ALGAL utilizado (P>0,05). El número de individuos fue mayor en las muestras con medio ALGAL como una respuesta directa al incremento en el contenido de N en forma de nitrato. Tal como es referido en la literatura, se esperaba que los organismos fototróficos respondieran de manera directa a los cambios en los contenidos de nutrientes inorgánicos (Kelly, 1998). La diversidad y alta concentración de microalgas presentes en las muestras de agua permitió comprobar que,

en la zona de estudio, la producción primaria se encuentra directamente relacionada con el nivel de nutrientes presente (Tablas I, II y III) En este estudio se observó una alta diversidad de fitoplancton con un predominio de los géneros *Scenedesmus* y *Chlorella* en ambos tratamientos, presentando valores porcentuales iniciales de 19 y 12%, hasta alcanzar 39 y 56%, respectivamente, del total de la población microalgal, lo que corroboraría lo indicado por Rodríguez (2000) y Rivas *et al.* (2009) en relación a que el N es el factor limitante en el crecimiento del fitoplancton del lago.

Este comportamiento de mayor producción a mayor nivel de N permite inferir que un aumento en el aporte de nutrientes a través de la descarga de aguas residuales y de los ríos tributarios de la cuenca inducirá un aumento considerable en las concentraciones de microalgas

en el Lago de Maracaibo. La elevada concentración de nutrientes se traduce en una producción primaria alta, que se manifiesta por la presencia de una extensa capa superficial de cianobacterias y clorofitas, localmente conocida como “verdín” particularmente notable frente a las poblaciones de Ciudad Ojeda y Lagunillas (Rodríguez, 2001). Por el contrario, una disminución en los niveles de nutrientes en aguas residuales y ríos a través de su tratamiento, deberá conllevar a una disminución en el contenido de fitoplancton del lago.

Los resultados evidencian la ocurrencia de procesos de eutrofización en el agua, demostrada por el aumento de la población del fitoplancton a 72×10⁶ células por mililitro de agua a los catorce días de cultivo para el caso del agua del lago y a 99,7×10⁶ cél/ml en las muestras de agua enriquecidas. Esto muestra que no existen factores inhibitorios del crecimiento del fitoplancton en el agua del lago y que en la zona de muestreo las microalgas son una respuesta directa al nivel de nutrientes. Se observó en las muestras de agua una alta diversidad de géneros, los cuales se muestran en la Tabla II. Algunos de ellos se relacionan con aguas contaminadas y su alto número de individuos permite determinar que existe un grado importante de contaminación en la zona de estudio, ya que, la representación de ciertas especies del plancton es, a veces, indicativa de un cierto estado trófico. Así, por ejemplo, en lagos oligotróficos con aguas pobres en nutrientes se observan bajas densidades de población (Infante, 1988). Cuando se usan las especies planctónicas como indicadores del estado trófico, el conjunto de ellas y la abundancia relativa de cada una constituyen una excelente información. (Infante, 1988; Arhondistis *et al.*, 2004; De la Hoz, 2004; Ramírez, 2004)

En la Figura 1 se observa que durante los primeros días del ensayo y durante casi todo el periodo de estudio las densidades más altas del fitoplancton se encontró en el tratamiento con medio nutritivo lo que corrobora la hipótesis de que el crecimiento del fitoplancton en la zona es muy sensible a cambios en los contenidos de nutrientes en la columna de agua. La población de fitoplancton aumenta al existir mayor nivel de nutrientes aprovechables, que puedan asimilar y utilizar para su crecimiento y reproducción (Jeffrey y Humprey, 1975; Lewis, 1978; Fabregas *et al.*, 1984; Arauzo, 2000).

Crecimiento de microalgas en cuatro niveles de salinidad

Para el caso de la salinidad, se observó una mayor abundancia de células en el tratamiento que presentó una concentración de $9307\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de cloruros (Tabla III). Este tratamiento se diferenció claramente de los tratamientos con 6354 y $12423\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, perteneciendo estos últimos a un mismo grupo estadístico, así como de los tratamientos con 1500 y $6354\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ que tampoco presentaban diferencias significativas entre ellos ($P>0,05$). De esa manera, se presentaron tres grupos: el primero con mayor abundancia de células, presentaba un nivel de cloruros de $9307\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$; el segundo, que a niveles de salinidad de 12423 y $6354\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ presentaba una concentración de microalgas inferior al primero; y el tercer grupo diferenciado estadísticamente con menor concentración de microalgas a 6354 y $1500\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de cloruros. El mayor número de microorganismos en los tratamientos a $9307\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ podría estar relacionado con el establecimiento de las es-

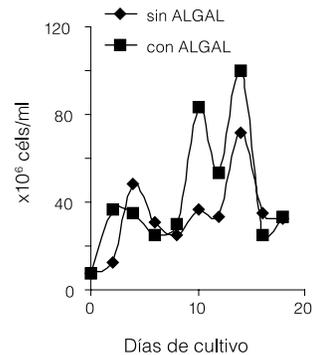


Figura 1. Curva de crecimiento del fitoplancton presente en aguas del lago con y sin medio ALGAL.

pecies más tolerantes a los cambios de salinidad, donde estas especies halotolerantes prevalecen y se multiplican al encontrarse bajo condiciones favorables para su desarrollo. Otro aspecto importante es que el fitoplancton del Lago de Maracaibo se encuentra bajo condiciones de altas temperaturas, lo que puede inducir resistencia a condiciones de altas salinidades como efecto de una respuesta de aclimatación a condiciones extremas (Abalde *et al.*, 1995; Ramírez, 2004).

La Figura 2 presenta el comportamiento de los diferentes tratamientos durante el periodo de experimentación; se observa que en el tratamiento con $9307\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de cloruros existe, en líneas generales, la mayor concentración de células durante todo

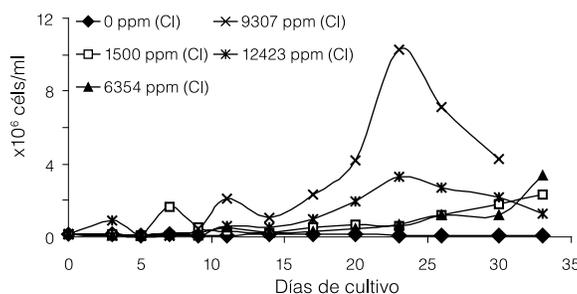


Figura 2. Curva de crecimiento del fitoplancton en función de la salinidad.

el período, seguido por el tratamiento con $12423\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. El análisis de la varianza y la prueba de Tukey, determinaron que a menor contenido de cloruros existía una mayor densidad poblacional de microalgas; a niveles altos de

salinidad, las especies halotolerantes prevalecieron sobre otros grupos de microalgas y lograron alcanzar altas concentraciones de individuos; sin embargo, este grupo de microalgas halotolerantes también tendería a desaparecer si continúa aumentando el nivel de salinidad en el agua, lo que se observa en la disminución de la población en el tratamiento con $12423\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, en comparación con el tratamiento con $9307\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. En este caso, al entrar en contacto toda la variedad de microalgas con aguas de mayor tenor de sales, se creó un estrés que produjo la disminución y, en algunos casos, la desaparición completa de ciertos microorganismos. Otras especies más resistentes pudieron soportar estos cambios y, debido al aporte de nutrientes, estas especies tolerantes pudieron desarrollarse, lo cual se reflejó en el crecimiento observado a $9307\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de cloruros.

En la Figura 2 también se observa que al iniciarse el ensayo todos los tratamientos presentan en líneas generales la misma concentración de microalgas, a medida que transcurre el tiempo se van produciendo los procesos de sucesión ecológica, y a partir del día 15 en los tratamientos con 9307 y $12423\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de cloruros se notó un aumento en la concentración de microalgas. En el resto de los tratamientos el crecimiento es menos marcado, seguramente como respuesta al equilibrio existente entre diferentes especies compitiendo por nutrientes, lo que se observa en la diferencia estadística presentada en la Tabla III, donde las menores concentraciones de cloruros corresponden a un grupo estadístico diferenciado.

Estudios anteriores señalan que en determinadas épocas del año, la concentración de N total se encuentra linealmente relacionada con el nivel de salinidad, lo que podría estimular el desarrollo

de microalgas (Fisher, 1988; Ramírez, 2004), tal como se observó en este estudio en los tratamientos con mayor nivel de cloruros. Se podría inferir que se produjo un fenómeno de adaptación del fitoplancton, favoreciendo aquellas especies capaces de desarrollarse en condiciones de alta salinidad.

Conclusiones

Los contenidos de nutrientes existentes en el agua de la zona centro-oriental del Lago de Maracaibo se encuentran en concentraciones suficientes para propiciar el crecimiento de microalgas.

Se determinaron doce géneros de microalgas, lo que permite afirmar que existe una gran variedad de éstos en la composición del fitoplancton presentes en la zona del Lago de Maracaibo.

El aumento en la concentración de cloruros por encima de $12\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ afecta negativamente el crecimiento de microalgas en la zona de estudio. Sin embargo, existen microalgas que pueden aclimatare a las condiciones de alta salinidad y expresaron aumento en sus comunidades. Aunque la adición de sales resultó en detrimento de la concentración de microalgas, la disminución se vió atenuada cuando los tratamientos presentaban mayor concentración de elementos nutritivos. Se observó que por debajo de la concentración limitante de sales, ya algunos géneros de microalgas habían desaparecido a medida que aumentaba la concentración de cloruros.

La comunidad fitoplanctónica puede ser direccionada por las variaciones en salinidad y nutrientes en el ecosistema Lago de Maracaibo.

REFERENCIAS

- Abalde J, Cid A, Figaldo P, Torres E, Herrero C (1995) *Microalgas: Cultivos y Aplicaciones*. Monografía N° 26. Laboratorio de Microbiología. Facultad de Ciencias. Universidad de La Coruña. A Coruña, España. 210 pp.
- APHA (1995) *Standard Methods for the Examination of Wa-*

- ter and Wastewater. 18^a ed. American Public Health Association. Washington, DC, EEUU. 905 pp.
- Arauzo M, Colmenarejo M, Martínez E, García M (2000) The role of algae in a deep wastewater self-regeneration pond. *Water Res.* 34: 3666-3674.
- Arhondistis G, Winder M, Brett M, Schindler D (2004) Patterns and mechanism of phytoplankton variability in lake Washington (USA). *Water Res.* 38: 4013-4027.
- Arredondo B, Cordero B, Herrero C, Abalde J (1997) *Manual de Técnicas Bioquímicas Aplicadas a la Ficología*. Universidad de La Coruña, España. 41 pp.
- Bautista S (1997) *Proceso de Salinización en el Lago de Maracaibo*. Instituto para la Conservación del Lago de Maracaibo. Venezuela. 109 pp.
- De la Hoz M (2004) Dinámica del fitoplancton de la ciénega grande de Santa Marta, Caribe Colombiano. *Biol. Invest. Cost.* 33: 159-179.
- De la Hoz C, Gotilla C (2009) Modelo para la predicción de parámetros de calidad del agua del Lago de Valencia utilizando imágenes de satélite. *Teledetección: Agua y desarrollo sostenible. XXX Congreso de la Asociación Española de Teledetección*. Calatayud (23-26/09/2009) pp. 113-116. www.aet.org.es/congresos/xiii/cal29.pdf.
- Esclapés M, Galindo I (2000) *Calidad de las Aguas del Lago de Maracaibo*. 2^a ed. Ediciones IVIC. Caracas, Venezuela. pp. 125-128.
- Fábregas J, Abalde J, Herrero C, Cabezas B, Veiga M (1984) Growth of the marine microalgae *Tetraselmis suecica* in batch cultures with different salinities and nutrient concentrations. *Aquaculture* 42: 207-245.
- Fisher T, Handing L, Stanley D, Ward L (1988) Phytoplankton, nutrients and Turbidity in the Chesapeake, Delaware and Hudson estuaries. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 27: 61-93.
- Fuenmayor G, Jonte L, Rosales-Loaiza N (2009) Efecto de la salinidad y la concentración de nutrientes sobre el crecimiento y composición bioquímica de la cianobacteria autóctona *Oscillatoria* sp. MOF-06. *Ciencia* 17: 50-57.
- Infante A (1988) *El Plancton de las Aguas Continentales*. Organización de los Estados Americanos. Washington, DC, EEUU. 130 pp.
- ICLAM (2003) *Problemas de Contaminación del Lago de Maracaibo*. Instituto para la Conservación del Lago de Maracaibo. Maracaibo, Venezuela. www.iclam.gov.ve/problematicasocioambiental.pdf.
- Jeffrey S, Humprey G (1975) New spectrophotonic equations for determining chlorophylls a, b, c₁ and c₂ in higher plants algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanz.* 167: 191-194.
- Kelly M, Whitton B (1998) Biological Monitoring of Eutrophication in Rivers. *Hydrobiologia* 384: 55-67.
- Lewis W (1978) Analysis of Succession in a Tropical Phytoplankton Community and a New Measure of Succession Rate. *Am. Journ.* 112 (984): 401-414.
- Lund JWG (1965) The ecology of the freshwater phytoplankton. *Biol. Rev.* 40: 231-293.
- Olivia B (1997) *Manual de Técnicas Bioquímicas Aplicadas a la Ficología*. Universidad de La Coruña, A Coruña, España. 13 pp.
- Parra P (1979) *Estudio Integral sobre la Contaminación del Lago de Maracaibo y sus Afluentes. Parte II. Evaluación del Proceso de Eutrofización*. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables. Caracas, Venezuela. 222 pp.
- Ramírez J (2004) Respuesta de la comunidad fitoplanctónica a experimentos de eutrofización artificial realizados en la represa La Fe, El Retiro, Antioquia, Colombia. *Caldasia* 27: 103-115.
- Rivas Z, Sánchez J, Troncone F, Márquez R, Ledo H, Colina M, Gutiérrez E (2009) Nitrógeno y fósforo totales de los ríos tributarios al sistema Lago de Maracaibo, Venezuela. *Interciencia* 34: 308-314.
- Rodríguez G (2000) *El Sistema de Maracaibo*. Ediciones IVIC. Caracas, Venezuela. 395 pp.
- Rodríguez G (2001) El Lago de Maracaibo como cuenca anaeróbica natural: uso de líneas de base históricas en estudios de impacto ambiental. *Interciencia* 36: 450-456.
- SAS (2002) *Statistical Analysis System*. SAS Institute Inc., Cary, NC, EEUU.
- Spokes L (2004) *El Sistema de Maracaibo: Biología y Ambiente*. 2^a ed. Ediciones IVIC. Caracas, Venezuela. 15 pp.
- Teubner K (2003) Phytoplankton pelagic community and nutrients in a deep oligotrophic alpine lake ratios as sensitive indicators of the use of P-resources. *Water Res.* 37: 1158-1592.