

## DINÁMICA DE LA COMUNIDAD ZOOPLANCTÓNICA (EXCEPTO PROTOZOA) EN LA LAGUNA DEL PARQUE NORTE, MEDELLÍN (ANTIOQUIA, COLOMBIA)

DYNAMICS OF ZOOPLANKTON COMMUNITY (EXCEPT PROTOZOA) IN THE PARQUE NORTE LAKE, MEDELLÍN (ANTIOQUIA, COLOMBIA)

Lina J. Gallo-Sánchez<sup>1,2</sup>, Santiago Gaviria-Melo<sup>3</sup>, John J. Ramírez-Restrepo<sup>1,4</sup>

### Resumen

Con el fin de evaluar la estructura de la comunidad de zooplancton y la variación temporal de su densidad, y además, con el propósito de establecer las variables climáticas, físicas, químicas y biológicas asociadas a ella, se realizaron muestreos semanales de zooplancton y mensuales de las variables ambientales, en una estación de la laguna Parque Norte, Medellín (Antioquia, Colombia) durante el período comprendido entre mayo de 1999 y febrero de 2000. Se encontró que la comunidad zooplanctónica estaba compuesta principalmente por tres especies: el copépodo calanoide *Arctodiaptomus dorsalis*, el rotífero *Brachionus plicatilis*, y el branquiópodo cladóceros *Moina macrophthalma*. De estas tres especies, *A. dorsalis* fue la especie que presentó mayor cantidad de individuos durante casi todo el tiempo de muestreo. Mientras que los valores de dominancia fueron bajos, los de equidad fueron altos, debido a la codominancia que presentaron los morfotipos de *A. dorsalis*. La variación temporal de la estructura numérica de la comunidad fue poco inconstante, lo cual se explicó por los bajos coeficientes de variación que presentaron los índices de riqueza numérica, equidad y dominancia. La dinámica temporal de los distintos estadios de la comunidad zooplanctónica, resumida en el coeficiente de variación, fue alta. La misma fue mayor para ambas clases de edad de *M. macrophthalma*, para los copepoditos I a V y para las hembras ovadas de *B. plicatilis*. Los menores cambios en la dimensión tiempo de muestreo fueron presentados por los machos y hembras no ovadas de *A. dorsalis* y por las hembras no ovadas de *B. plicatilis*. Se encontró alta asociación entre los integrantes de la comunidad, debido a que ocupan nichos diferentes lo que atenúa la competencia entre ellos. Las variaciones en la densidad de la comunidad zooplanctónica dependieron del aumento o la disminución de *Botryococcus braunii*, el alga dominante en la laguna.

*Palabras clave:* zooplancton, dinámica poblacional, lago tropical alcalino, Colombia.

### Abstract

With the purpose to evaluate the structure, density, and temporal variation of the zooplankton community of the lake Parque Norte, Medellín (Antioquia, Colombia), and also, to study the climatic, physical, chemical, and biological variables associated with it, zooplankton organisms were sampled weekly in one station in the center of the lake from May 1999 and to February 2000. Environmental variables were measured monthly. The zooplankton community was composed mainly by three species, the calanoid copepod *Arctodiaptomus dorsalis*, the rotifer *Brachionus plicatilis*, and the cladoceran branchiopod *Moina macrophthalma*. During most of the studied period, the community was numerically dominated by *A. dorsalis*. Dominance values were low while evenness values were high, probably due to the codominance of morphotypes of *A. dorsalis*. Temporal variation of the numerical structure of the community showed low variability explained by the low variability of the richness, evenness, and dominance coefficients. Temporal dynamics of the different stages of the community indicated by the coefficient of variation, was high. While temporary coefficient of variation of both size classes of *M. macrophthalma*, copepodites I to V and ovigerous females of *B. plicatilis* were the highest; males, not ovigerous females of *A. dorsalis*, and not ovigerous females of *B. plicatilis* showed the lowest changes during the sampling period. This last phenomenon can be explained by a high association among the organisms of the community that is due to the low competition among them because they occupied different ecological niches. Variation in density of zooplankton community depends on the rise of the population of *Botryococcus braunii*, the dominant algae.

*Key words:* zooplankton, population dynamics, alkaline tropical lake, Colombia.

Recibido: agosto de 2004; aceptado para publicación: octubre de 2004.

<sup>1</sup> Grupo de Investigación LimnoBasE, Instituto de Biología, Universidad de Antioquia. A. A. 1226, Medellín (Antioquia), Colombia.

<sup>2</sup> Correo electrónico: <julianaga2003@yahoo.com>.

<sup>3</sup> Dep. of Limnology, Faculty of Life Sciences, University of Vienna. Althanstrasse 14, A-1090 Vienna, Austria. Correo electrónico: <santiago.gaviria@gmx.at>.

<sup>4</sup> Correo electrónico: <jjram@matematicas.udea.edu.co>.

## INTRODUCCIÓN

Las comunidades son dinámicas, cambian en el espacio y en el tiempo, presentan estructuras tróficas, tasas de fijación de energía y flujo, eficiencias, estabildades, diversidades, distribuciones de importancia relativa entre las especies, estructura en gremios, etapas sucesionales (Pianka, 1982).

Para la mayoría de los autores, la estructura de una comunidad comprende las variaciones temporales en la composición, la abundancia y la disposición de las especies, y las relaciones entre ellas. En general estas definiciones se han ocupado por establecer sólo la estructura numérica de la comunidad, olvidándose de la determinación de otras clases de estructuras que complementarían a la primera y contribuirían, en último término, a esclarecer la estructura definitiva. Independientemente de cuál tipo de estructura se utilice, el patrón hallado presenta generalmente a una especie dominante, seguida por unas cuantas especies de carácter abundante y una gran cantidad de especies raras (Lewis y Taylor, 1968).

La comunidad zooplanctónica de la laguna del Parque Norte fue descrita por primera vez por Ramírez (1987). Posteriormente Ramírez y Díaz (1996-1997), describieron la fluctuación estacional de la misma, a partir de muestreos efectuados en 1991 durante 10 meses. En ese año fue introducido accidentalmente el copépodo calanoide *Arctodiaptomus dorsalis* (Marsh, 1907) proveniente de un embalse oligo-mesotrófico situado a 2.100 msnm (Embalse La Fe). En 1993, el copépodo ciclópido *Thermocyclops decipiens* (Kiefer, 1929), uno de los integrantes normales del zooplancton en este lago, comenzó a ser desplazado por *A. dorsalis*. En 1994, en muestreos realizados en esta comunidad no se encontraron individuos de *T. decipiens* (Ramírez, obs. pers.).

Esta investigación pretende describir la magnitud de la variación temporal de la densidad y la estructura de la comunidad zooplanctónica, y su relación con los factores ambientales. Si se presentan diferencias temporales tanto en la densidad de los componentes como en la estructura de la comunidad zooplanctónica en la laguna del Parque Norte, entonces se predice que éstas se deben a la fluctuación de las características

climáticas, físicas, químicas y biológicas en cada muestreo y a las interacciones que se llevan a cabo en el seno de la comunidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La descripción del área de estudio puede encontrarse en Ramírez (1987), y Ramírez y Díaz (1994, 1995).

**Muestreo.** La toma de muestras (replicadas) se llevó a cabo entre mayo de 1999 y febrero de 2000 semanalmente, en una sola estación situada en el punto más profundo de la laguna (1,60 m). Las mediciones de las variables abióticas (climáticas, físicas, químicas y de clorofila *a*) se efectuaron mensualmente. De las 24 variables medidas inicialmente se escogieron aquellas que más se relacionaron con la comunidad investigada, según se especifica en la tabla 1.

**Tabla 1.** Valores de los estadígrafos de tendencia central y de dispersión relativa utilizados para el análisis descriptivo de las variables climáticas, físicas, químicas y biológicas medidas

Variable	Unidad	Media	CV%
Pluviosidad	mm	120,72	29,91
Temperatura del aire	°C	26,50	9,83
Temperatura del agua	°C	23,95	4,64
Velocidad del viento	m/s	2,24	32,10
Conductividad	µs/cm	1.866,00	11,52
Atenuación de la luz	m <sup>-1</sup>	1,83	5,49
Porcentaje de SSV	%	73,20	24,11
Porcentaje de SSF	%	26,80	65,86
Clorofila <i>a</i>	mg/l	142,88	37,28
<i>B. braunii</i>	ind./l	219,84	43,05
pH	Unidades de pH	9,76	1,72
Alcalinidad	mgCaCO <sub>3</sub> /l	131,50	29,66
Porcentaje de CO <sub>2</sub> libre	%	0,03	76,26
Porcentaje de HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	%	72,13	16,42
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0,12	80,58
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> total	mg/l	1,41	63,76
FST	mg/l	0,08	205,41

El muestreo de las variables biológicas se llevó a cabo integrando una columna de agua de altura equivalente a 1,40 m. Para ello se utilizó un tubo colector de 2 m y capacidad de 20 l introducido hasta dicha profundidad; su contenido fue concentrado con una red de 64  $\mu\text{m}$  de diámetro de poro y depositado en un frasco de 300 ml atado en el extremo de la red. Los organismos capturados se fijaron con formaldehído al 4% y para su identificación y conteo se tiñeron con rosa de bengala. Las claves utilizadas en la determinación de los organismos fueron las de Edmondson (1959), Kosté (1978), Kosté y Shiel (1987), Marsh (1907), Pennak (1978) y Stingelin (1914). Como medida de la biomasa de la comunidad fitoplanctónica se utilizó la clorofila *a* activa, usando etanol caliente al 96% como solvente extractor y se aplicó la ecuación de Lorenzen (1967) modificada, propuesta por Sartory y Grobbelaar (1984).

La densidad numérica de *B. braunii* (Kützing, 1845-1849) en cada muestreo fue suministrada por Ramírez y Corbacho (com. pers.), quienes estudiaron la autoecología de esta especie en el mismo sitio de muestreo y durante el mismo período de tiempo.

El conteo de *A. dorsalis* se efectuó bajo un estereoscopio separando los individuos por morfotipos: nauplios, copepoditos I a III, copepoditos IV a V, machos, y hembras con huevos y sin ellos, utilizando una cubeta de Bogorov de 10 ml en la que se contaron 50 campos aleatorios. *Brachionus plicatilis* y *M. macrophtalma* fueron contados también en 50 campos aleatorios en un microscopio invertido usando una cámara de sedimentación de 25 ml. La primera especie se contó discriminando entre hembras sin huevos y con ellos; la segunda, separando los individuos por tamaño, según se indica más adelante.

La biomasa de *A. dorsalis* se calculó midiendo la longitud de 20 machos, 20 hembras con huevos y 20 hembras sin huevos. Para *M. macrophtalma*, se seleccionaron 20 individuos los cuales fueron separados por dos clases de tamaño. Aquellos cuya longitud del cuerpo midió entre 0,2 y 0,3 mm se agruparon en la clase I y los que midieron entre 0,31 y 0,4 mm en la clase II. Todos los organismos fueron escogidos al azar. El valor medio obtenido en todos los casos fue convertido a valores de peso seco usando ecuaciones de regresión longitud-peso seco.

En el caso de *A. dorsalis*, se utilizó la ecuación de *A. spinosus* (Bottrell *et al.*, 1976) y para *M. macrophtalma* la fórmula empleada para *M. micrura* (Dumont *et al.*, 1975). Para *B. plicatilis* se midieron también 20 hembras con huevos y 20 hembras sin huevos y se usó la fórmula volumétrica propuesta por Ruttner-Kolisko (1977) para el género *Brachionus*.

**Análisis estadístico.** Se efectuó inicialmente un análisis exploratorio y descriptivo de los datos. Para ello se usó la media aritmética como medida de tendencia central, y al coeficiente de variación (CV) como evaluador de la dispersión relativa de los datos.

Para establecer la existencia de diferencias significativas entre la densidad de cada una de las especies y los tiempos de muestreo, se aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) de dos vías para diseño de bloques. En todos los casos los datos fueron transformados logarítmicamente. Para comparar las densidades entre machos y hembras de *A. dorsalis* y de las hembras ovadas y no ovadas del mismo taxón se usó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney. Para agrupar los tiempos de muestreo de los tipos de hembras *B. plicatilis* y de las clases de tamaño de *M. macrophtalma*, se aplicó el índice de distancia euclidiana cuadrada, utilizando como estrategia de agrupamiento el método de la varianza media de Ward. Los análisis anteriormente descritos fueron llevados a cabo con el paquete estadístico Statgraphics v. 3.0.

La estructura de la comunidad se determinó mediante el análisis de la variación de los índices de riqueza numérica ( $N_o$ ), diversidad ( $H'$ ) (Shannon y Weaver, 1949), equidad (E) (Pielou, 1975) y dominancia ( $D_s$ ) de Simpson (1949). Para estos análisis los nauplios y copepoditos del calanoide fueron considerados como unidades similares a especies, siguiendo las recomendaciones de Carrillo *et al.* (1987). Para evaluar la influencia individual de los componentes de la diversidad (riqueza numérica, equidad y dominancia) se llevó a cabo un análisis de regresión lineal múltiple.

La asociación entre los taxones zooplanctónicos y las variables físicas, químicas y biológicas se efectuó mediante un análisis de ordenación por componentes

principales (ACP), llevado a cabo con el paquete estadístico Statistica. De la matriz inicial de datos, se eliminaron las variables asociadas, es decir, aquellas altamente correlacionadas.

**RESULTADOS**

**El ambiente.** En la tabla 1 se observa que las variables climáticas pluviosidad y temperatura del aire fluctuaron relativamente poco. La pluviosidad varió 4,6 veces más que la temperatura.

Variables como la temperatura del agua, la conductividad, el coeficiente de atenuación de la luz, la alcalinidad, el HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y el pH oscilaron levemente alrededor de la media. Por lo contrario, los cambios en los valores de nutrientes, sólidos, alcalinidad y el porcentaje de CO<sub>2</sub> libre fueron altos.

**La comunidad.** El zooplancton de la laguna del Parque Norte está compuesto por rotíferos, copepodos y cladóceros, cada uno representado por una sola especie, a saber, *B. plicatilis*, *A. dorsalis* (sinónimia *Diaptomus proximus* Kiefer, 1936) y *M. macrophthalma* respectivamente. La densidad hallada durante todo el tiempo de muestreo para la comunidad de zooplancton fue de 2.951 ind./l, siendo *A. dorsalis* la especie que contribuyó con el más alto porcentaje (63,6%) a la densidad total, seguida por *B. plicatilis* (35,2%) y *M. macrophthalma* (1,3%) (figura 1).

**Dinámica de *Arctodiaptomus dorsalis*.** La densidad de los especímenes de esta especie presentaron diferencias significativas entre morfotipos (F = 204,3; α = 0,0000) y muestreos (F = 15,50; α = 0,0000).

La interacción morfotipos x muestreos también fue significativa (F = 1,45; α = 0,0024).

Este zoopláncter dominó la mayoría del tiempo de muestreo, excepto en las semanas de 24 de mayo, 16 de junio, 2 de agosto y 29 de febrero cuando fue sobrepasado por *B. plicatilis*. Su mayor densidad se presentó en las semanas del 2 de noviembre (114,2 ind./l) y enero 17 (107,4 ind./l) (figura 1).

De las formas larvales de *A. dorsalis* los nauplios fueron los más abundantes y los copepoditos I a III los de menor densidad; los machos presentaron una densidad 1,3 veces mayor que las hembras (tabla 2). La densidad de las hembras se incrementó casi simultáneamente con la de los machos (figura 2). Al comparar las medianas de la densidad de hembras y machos de *A. dorsalis*, los resultados del test de Mann-Whitney mostraron que no hubo diferencias significativas (W = 1074,5; α = 0,1958).

Las hembras sin huevos fueron 11 veces más densas que las hembras con huevos y presentaron menor variación en el tiempo. La prueba de Mann-Whitney mostró diferencias significativas entre las proporciones de ambos tipos de hembras considerados (W = 241,0; α = 0,0000), siendo la mediana de las hembras sin huevos significativamente menor.

La menor dispersión entre muestreos fue presentada por los machos y las hembras sin huevos, y la mayor por los copepoditos I a III (figura 3).

**Dinámica de *Brachionus plicatilis*.** Esta especie presentó diferencias significativas entre muestreos (F = 2,01; α = 0,0033) y tipos de hembras (F = 101,42;

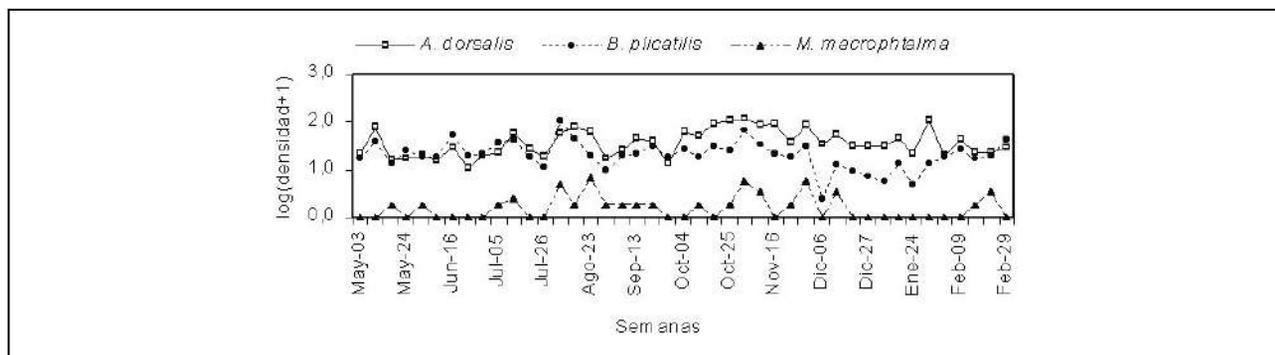
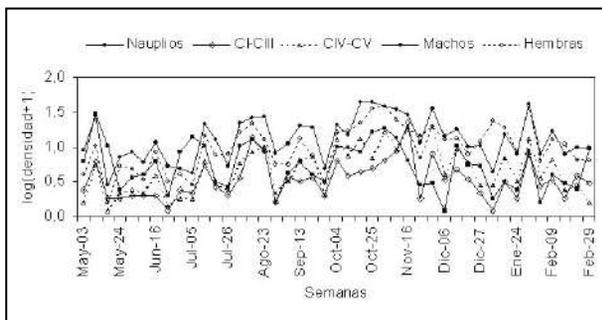


Figura 1. Variación temporal de densidad de *A. dorsalis*, *B. plicatilis* y *M. macrophthalma* en la laguna del Parque Norte

**Tabla 2.** Valores medios y de dispersión para cada uno de los morfotipos de los integrantes de la comunidad de zooplancton en la laguna del Parque Norte

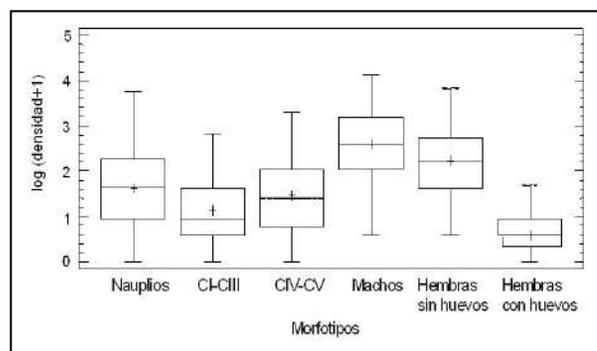
Taxones	Morfotipos	N (ind./l)	Media (ind./l)	CV(%)
<i>A. dorsalis</i>	Nauplios	259,30	6,00	93,51
	C <sub>I</sub> -C <sub>III</sub>	140,70	3,30	116,10
	C <sub>IV</sub> -C <sub>V</sub>	222,60	5,20	95,32
	Machos	711,40	16,50	70,71
	Hembras sin huevos	497,20	11,60	76,80
	Hembras con huevos	44,80	1,00	95,02
<i>B. plicatilis</i>	Hembras sin huevos	858,20	20,00	78,83
	Hembras con huevos	180,00	4,20	101,30
<i>M. macrophthalma</i>	Clase I	20,00	0,50	202,93
	Clase II	17,60	0,40	177,78



**Figura 2.** Variación temporal de los morfotipos de *A. dorsalis*

$\alpha = 0,0000$ ). La interacción tiempo x tipo de hembra no fue significativa ( $F = 0,59$ ;  $\alpha = 0,9691$ ). La población total presentó dos picos de máxima densidad (2 de agosto, 110,3 ind./l; y 2 de noviembre, 68,7 ind./l). La variación temporal de la densidad fue alta, tanto para las hembras con huevos como para las hembras sin huevos; estas últimas presentaron 4,8 veces la densidad de las ovadas (figura 4A). Los muestreos se separaron en dos grupos en la figura 4B: uno conformado por las semanas durante las cuales las densidades fueron bajas y otro por aquellas en que sus valores fueron intermedios y altos.

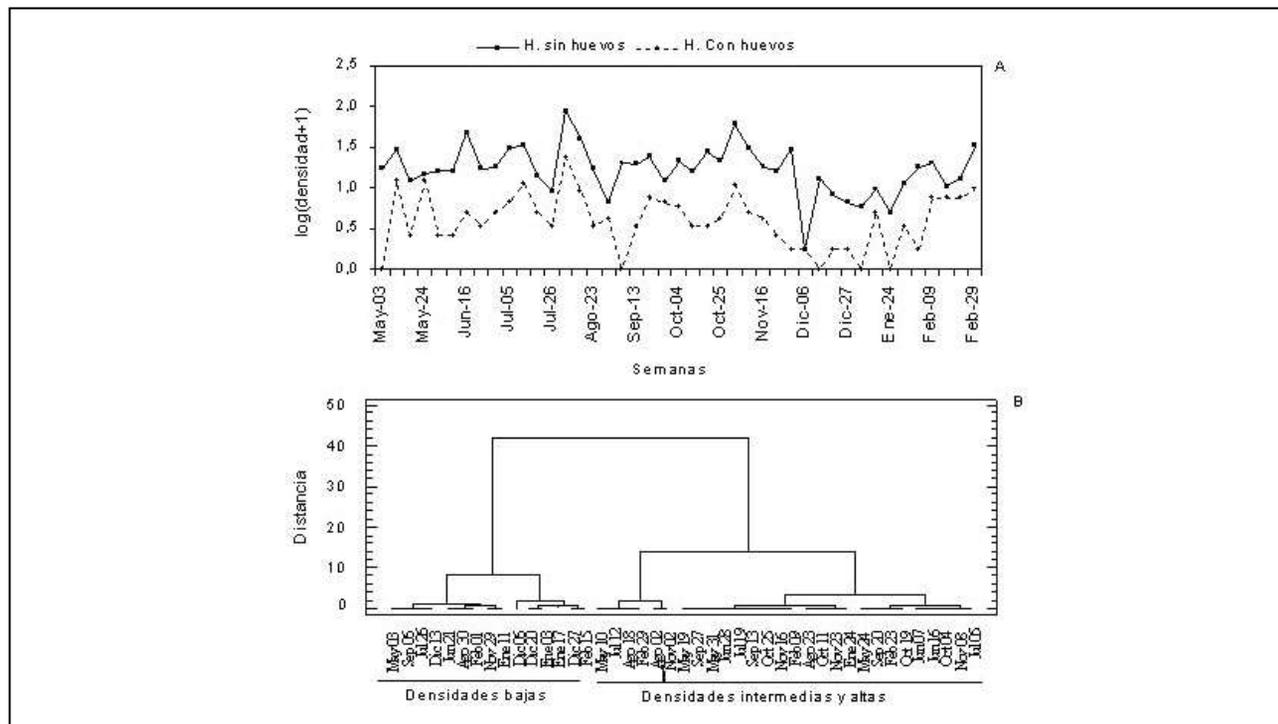
**Dinámica de *Moina macrophthalma*.** El cladóceros fue el organismo de menor representatividad en la comunidad zooplanctónica. Al igual que para los demás componentes, la variación temporal de su densidad fue significativa ( $F = 3,56$ ;  $\alpha = 0,0000$ ). Sin embargo, la variación en las dos clases de tamaño establecidas para las hembras no fue significativa ( $F = 1,75$ ;  $\alpha = 0,1899$ );



**Figura 3.** Variación de los valores de densidad obtenidos para cada uno de los morfotipos de *A. dorsalis*

tampoco fue significativa la interacción tiempo x clases ( $F = 1,03$ ;  $\alpha = 0,4392$ ). Su mayor densidad se registró en los muestreos de agosto y noviembre, ocurriendo el mayor pico el 23 de agosto (5,6 ind./l) (figura 5A). La magnitud de los cambios en la densidad durante el tiempo de muestreo para las dos clases en que se subdividió esta especie, fue la más alta encontrada. Los cuatro muestreos en los que se registraron las más altas densidades fueron separados en un grupo; los demás muestreos fueron divididos en otros dos grupos: aquel en el que la especie no se presentó y otro en el que se registraron bajas densidades (figura 5B).

**Biomasa y estructura de la comunidad.** El calanóide *A. dorsalis* fue la especie que contribuyó con el más alto porcentaje a la biomasa de la comunidad. La biomasa de las hembras fue tres veces mayor que la de los machos; la de las hembras sin huevos fue 47 veces mayor que la de las hembras ovadas. En cuanto a *B. plicatilis*, la biomasa de las hembras sin



**Figura 4. A.** Variación temporal de la densidad de los tipos de hembras de *B. plicatilis*. **B.** Análisis de agrupamiento de los tiempos de muestreo utilizando como descriptor la densidad media

huevo fue tres veces mayor que la de las ovadas. Para *M. macrophthalmia*, los individuos de la clase II presentaron 2,3 veces la biomasa de los individuos de la clase I (tabla 3).

Para todos los índices ecológicos (tabla 4), los valores de dispersión relativa fueron bajos ( $CV_{Hr} = 13,3\%$ ,  $CV_{No} = 11,12\%$ ,  $CV_E = 11,4\%$ ,  $CV_{Ds} = 23,9\%$ ). Mientras que los valores medios de riqueza numérica (4,4 taxones), diversidad (1,2 nats) y dominancia (0,36) fueron bajos, el de equidad (0,82) fue alto.

En el modelo de regresión múltiple, la riqueza, la equidad y la dominancia explicaron el 95,7% de la diversidad. El error medio absoluto fue bajo (0,018), lo que muestra que el ajuste es satisfactorio y que se presentó correlación entre las variables. La ecuación obtenida fue

$$H' = - 0,26 + 0,15N_0 + 1,17E - 0,40D_s$$

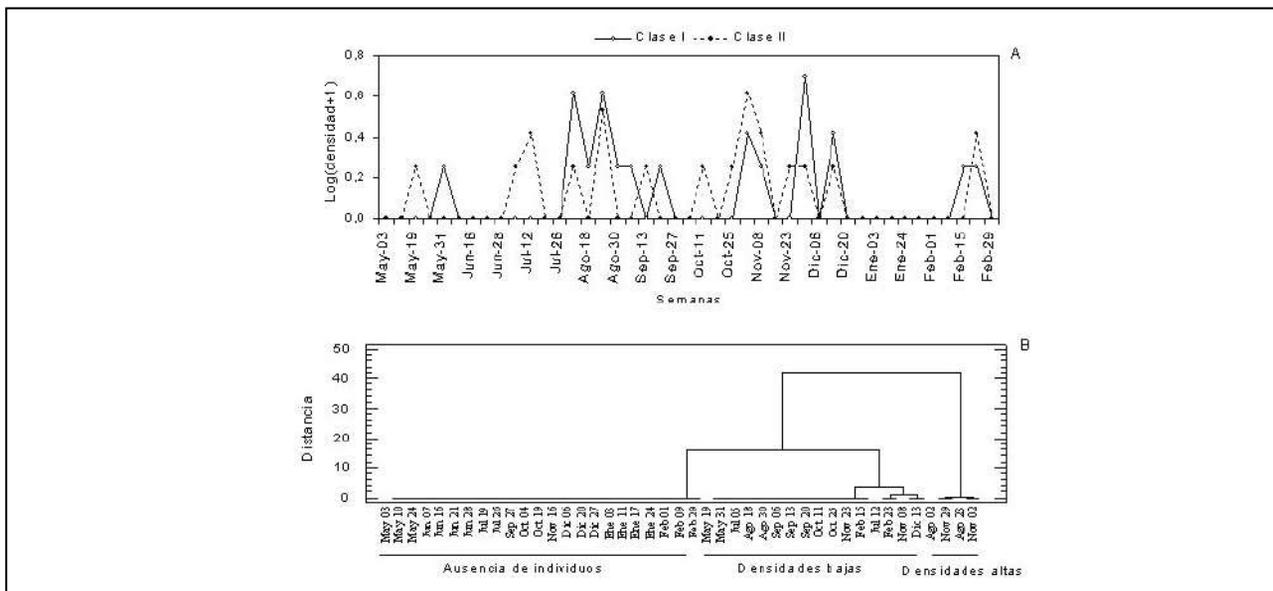
En esta ecuación, la dominancia afectó negativamente y en más alto grado a la diversidad (pendiente =  $m_{Ds} = - 0,40$ ,  $\alpha = 0,0336$ ); de los dos componentes

que influenciaron positivamente a la diversidad, la equidad mostró la mayor incidencia ( $m_E = 1,17$ ,  $\alpha = 0,0000$ ).

**Covariación comunidad-factores ambientales.**

Se observa que los taxones más asociados a la parte positiva del componente I fueron *M. macrophthalmia* y los copepoditos I-III de *A. dorsalis*; un poco más alejados se presentaron los demás componentes de la comunidad. Aunque todos los taxones estuvieron asociados, puede verse que los ángulos son menores entre los nauplios de *A. dorsalis* y *B. plicatilis*, los machos de *A. dorsalis* y los copepoditos IV-V. La asociación del nitrógeno inorgánico disuelto con *M. macrophthalmia*, *B. plicatilis* y los nauplios de *A. dorsalis* fue mayor. La alcalinidad y el alga verde *B. braunii* se asociaron negativamente a la comunidad zooplanctónica (figura 6).

Al componente principal II se asociaron variables ambientales como: clorofila *a*, atenuación lumínica, pH y velocidad del viento. Estas dos últimas variables ambientales, especialmente la velocidad del viento se asociaron negativamente con la densidad de los



**Figura 5.** A. Variación temporal de la densidad de las clases de tamaño de *M. macrophthalma*. B. Análisis de agrupamiento de los tiempos de muestreo (semanas) utilizando como descriptor la densidad media

nauplios y con aquella de *B. plicatilis*; la atenuación influyó débilmente estos taxones. La biomasa fitoplanctónica se mostró más asociada con las hembras de *A. dorsalis*. Por lo anterior, el componente I se denominó componente de la comunidad y el II componente de las variables ambientales.

**DISCUSIÓN**

Durante el tiempo de muestreo la pluviosidad y la temperatura del aire presentaron patrones de variación típicos de la zona neotropical, consistentes en cambios relativos mayores de la pluviosidad en el

**Tabla 3.** Valores medios y de dispersión de la biomasa calculada para cada uno de los morfotipos adultos de las especies zooplanctónicas que habitan la laguna del Parque Norte

Taxones	Morfotipos	Media (µg /l)	CV(%)
<i>A. dorsalis</i>	Machos	83,64	71,18
	Hembras sin huevos	249,62	84,86
	Hembras con huevos	5,31	96,57
<i>B. plicatilis</i>	Hembras sin huevos	6,86	71,00
	Hembras con huevos	2,35	61,70
<i>M. macrophthalma</i>	CI	0,03	232,50
	CH	0,07	288,71

**Tabla 4.** Valores de los estadígrafos de tendencia central y dispersión para las variables utilizadas para interpretar la estructura numérica de la comunidad

Estadígrafos	H' (nat)	No	E	Ds
m ± S	1,20 ± 0,16	4,37 ± 0,49	0,82 ± 0,09	0,36 ± 0,09
CV (%)	13,30	11,20	11,40	23,90
I de C (95%)	1,20 ± 0,05	4,37 ± 0,15	0,82 ± 0,03	0,36 ± 0,026

ciclo anual comparado con los cambios de la temperatura del aire, dada la estabilidad de esta última variable.

La alta conductividad eléctrica media indica aguas de composición iónica rica, cuyos valores son debidos básicamente a las altas concentraciones de calcio, magnesio, cloruros y material disuelto en general. Este último se refleja en los valores medios de los sólidos totales disueltos correspondientes a 1.187, 2 mg/l, los cuales corroboran que se trata de aguas altamente mineralizadas (Ramírez y Noreña, 2001).

Los valores altos del coeficiente de variación para las formas totales de los nutrientes responden más al procesamiento de las muestras que a la variabilidad ambiental real, debido a que para su análisis se requiere de un número mayor de etapas para su medición, los cuales pueden alterar los resultados.

El valor bajo del CV hallado para el coeficiente de atenuación vertical de luz muestra que el clima óptico de la laguna fue casi el mismo durante el tiempo de muestreo. Igual afirmación puede hacerse para el pH y para el valor de la conductividad. La primera variable en todas las colectas presentó valores básicos y poco cambiantes, debidos a los altos valores de la alcalinidad y de la conductividad (tabla 1). La poca variación de esta última demuestra que la composición iónica de las aguas de la laguna no varía entre muestreos.

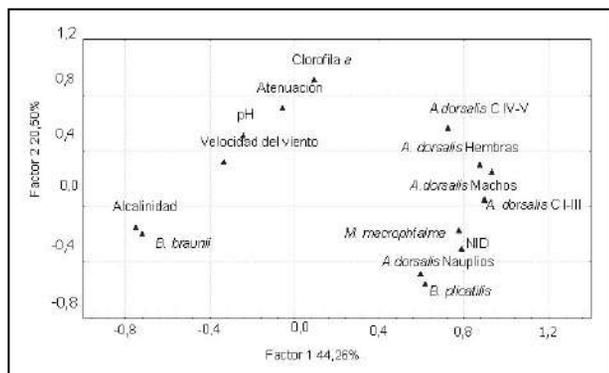
Por los valores altos de alcalinidad, conductividad eléctrica, pH y los valores relativamente bajos de

los coeficientes de variación CV correspondientes, puede concluirse, al igual que en otras investigaciones anteriores (Ramírez y Díaz, 1994; Sánchez y Ramírez, 2000), que durante el tiempo de muestreo la laguna del Parque Norte se comportó como un sistema altamente tamponado y con una reserva alcalina considerable. Se comprobó además que debido a su carácter polimíctico existe poca variabilidad desde el punto de vista físico y químico de las aguas, no estando influenciada por los cambios climáticos acaecidos durante el tiempo de muestreo.

La menor densidad de las hembras de *A. dorsalis* frente a la de los machos pudo deberse a que están sometidas a mayores tasas de depredación por ser más visibles, dado su mayor tamaño y su lenta locomoción (Hairston *et al.*, 1983). A pesar de ello, no se presentaron diferencias significativas entre los dos morfotipos. Las diferencias entre la densidad de las hembras ovadas y las no ovadas son usuales en otras especies y lagos, como el caso de *Colombodiatomus brandorffi* en la Laguna de Chingaza, donde se encontró que 20% es el máximo porcentaje de hembras ovadas (Gaviria, 1993). De igual manera *Eudiatomus graciloides* en el Lago Erken, Suecia nunca llegó a tener más de 20,3% de hembras ovadas y en el Bodensee, Alemania, un máximo de 30% (Nauwerk, 1963). La baja tasa reproductiva, representado en este caso por la baja proporción de hembras ovadas, está relacionada con una baja oferta alimenticia (Luger *et al.*, 2000).

Las bajas densidades que presentaron los copepoditos I a III pudieron ser causadas por la presión de depredación que ejercen peces planctívoros sobre algunos estadios iniciales del ciclo de vida de los organismos zooplanctónicos (Fernando, 1994).

Según Ramírez y Díaz (1994), las altas densidades de los morfotipos de esta especie, así como sus altos CV, significan que la especie posee baja especialización ecológica. Esto permite que ocupe una amplia porción de su nicho fundamental. Ello implica a su vez, que debe presentar adaptaciones claras a las condiciones cambiantes en el tiempo. En el aspecto ecológico significa que el organismo hace uso discriminado de la dimensión temporal del nicho, mostrando preferencia por unos instantes de tiempo más que por otros. Para



**Figura 6.** Análisis de componentes principales para evaluar la covariación de la comunidad de zooplancton con los factores ambientales

Ramírez (1996), los nichos amplios son considerados estrategias óptimas en los ambientes fluctuantes e inciertos tales como el estudiado, donde la incertidumbre proviene principalmente de las variaciones espacio-temporales a las que la especie está sujeta. En la dimensión tiempo, un organismo generalista es aquel que utiliza un alto porcentaje de esta dimensión como efectivamente lo hace *A. dorsalis*.

*Arctodiaptomus dorsalis*, también ha sido registrado para Colombia en otros cuerpos de agua de Antioquia: laguna del Jardín Botánico de Medellín (Gaviria, ob. pers.), Embalse de La Fe (Estrada, 1999) y Lago Santander en Rionegro (Jaramillo y Gaviria, 2003), y Embalse Porce II (Gaviria y Vásquez, ob. pers.). En Cauca se conoce en el Embalse de Salvajina (Gaviria, ob. pers.) y en Chocó, en la laguna de Bojayá en el Atrato medio (Gaviria, ob. pers.). La mayor altura a la que ha sido registrado en Colombia es la de Rionegro (2.100 msnm) y la menor es en la ciénaga de Bojayá (~ 300 msnm). Esta especie es americana y tiene amplia distribución en el norte del Neotrópico, extendiéndose desde el sur de los Estados Unidos hasta Panamá, Colombia y Venezuela. Ha sido además reportada en las Antillas, v. g.: Hispaniola y Cuba (Dussart y Defaye, 2002).

Las especies del género *Brachionus* son habitantes de cuerpos de agua rasos (Ruttner-Kolisko, 1977) y son comunes en aguas ricas en calcio o están restringidas a ellas; junto con los copépodos son abundantes en cuerpos de agua donde las concentraciones de cloruros, sulfatos y carbonatos son altas, y en consecuencia ocasionan rápida disminución de la abundancia de otros organismos (Margalef, 1983; Pennak, 1978). Especies de *Brachionus* son además reportadas como habitantes típicos de cuerpos de agua eutróficos (Gannon y Stenberger, 1978; Sendacz *et al.*, 1985). Todas las características anteriores se cumplen en la laguna del Parque Norte.

Las diferencias halladas entre las hembras con huevos y sin ellos de *B. plicatilis* se pueden explicar por la facilidad con que los huevos se desprenden del cuerpo, ya que no poseen estructuras fuertes de adhesión (Nogrady *et al.*, 1993). En la comunidad de rotíferos del lago de irrigación Parakrama Samudra en Sri Lanka, se encontraron entre 3 a 5 veces

más huevos libres en el agua que adheridos al cuerpo (Duncan, 1984).

La baja densidad de *M. macrophthalmus* en comparación con la de *A. dorsalis* y *B. plicatilis*, se debe a que es un organismo que no tiene adaptaciones para vivir en condiciones con cantidades altas de material en suspensión (Sendacz *et al.*, 1985). Ramírez y Noreña (2001) indicaron que, por su condición polimíctica, el material particulado circula permanentemente en la laguna y presenta valores absolutos altos.

Lewis (1977) plantea que las especies con altos coeficientes de variación, tienen marcadas fuerzas de incremento bajo un estrecho rango de condiciones favorables, pero disminuyen radicalmente su abundancia en otros tiempos debido al cambio de las mismas y de los recursos subyacentes, como es el caso con la dinámica de la comunidad zooplanctónica en el lago Parque Norte.

Los bajos CV de los índices utilizados para analizar la estructura numérica de la comunidad, demuestran la poca variabilidad temporal de dicha estructura. Los valores relativamente bajos de la dominancia y como consecuencia, los altos de la equidad se deben a la codominancia de los morfotipos de *A. dorsalis* durante el tiempo de muestreo. La baja diversidad presentada por la comunidad zooplanctónica en el ecosistema estudiado puede explicarse por el estado de eutroficación del mismo (Ramírez y Díaz, 1994). Sin embargo, debe considerarse que el valor de diversidad hallado es casi el máximo que puede soportar el sistema, como lo muestra el valor alto del complemento de la equidad (0,28) y su valor bruto (0,82).

Estudios anteriores (Estrada y Ramírez, 1995; Ramírez y Díaz, 1996-1997; Sánchez y Ramírez, 2000), mostraron a *B. plicatilis* como taxón dominante en la comunidad zooplanctónica de la laguna. Los resultados de este estudio muestran que por su mayor biomasa y densidad numérica, *A. dorsalis* es la especie clave actual en esta comunidad.

A pesar de que *A. dorsalis* llegó “accidentalmente” a esta laguna (Ramírez, ob. pers.), en este hábitat encontró las condiciones necesarias para optimizar

su tasa reproductiva y ampliar su nicho. Esto fue favorecido por su mayor poder de discriminación trófica, pues puede ser tanto filtrador como depredador (Pace, 1986); esta especie selecciona entre partículas que difieren en tamaño y valor nutricional, filtrando partículas pequeñas o capturando las más grandes (Allan, 1976; Sterner y Hessen, 1994).

Los altos valores de biomasa presentados por los machos y las hembras sin huevos de *A. dorsalis* durante el tiempo de muestreo, tuvieron relación directa con los valores de densidad y tamaño. Según Margalef (1983), los crustáceos son el grupo que contribuye en mayor proporción a la biomasa de la comunidad cuando se compara su tamaño con el de los demás grupos zooplanctónicos.

Muchos estudios han revelado que la interrelación entre los diferentes tamaños del zooplancton, raramente conduce a la exclusión competitiva. La influencia negativa del viento sobre los componentes de la comunidad estudiada es uno de los factores que impide la exclusión competitiva propiamente dicha, debido a que la polimixis ocasionada por este factor coloca constantemente las poblaciones a diferentes niveles. De ahí los altos valores de asociación presentados por la comunidad durante el tiempo de muestreo.

Según Burgis (1969), en las regiones tropicales muchas especies son perennes y pueden exhibir un número variable de picos de densidad a través del ciclo anual, mostrando una fluctuación irregular. Parece ser que en estas áreas, las fluctuaciones estacionales tienden a estar más relacionadas con las variaciones en la pluviosidad, mientras que en las áreas templadas ellas están correlacionadas con la temperatura, esto ocurre inclusive en los lagos de las altas montañas tropicales de Colombia (Gaviria, 1991). En esta

investigación es evidente que las variaciones en la densidad tienen que ver con disminuciones en la oferta alimenticia, ocasionadas por la dominancia del alga *B. braunii*, lo que causa la disminución en la densidad de las poblaciones fitoplanctónicas restantes. Debido a que esta alga es muy grande para ser consumida por cualquiera de los integrantes de la comunidad zooplanctónica, éstos deben utilizar fuentes alternas como bacterias y material detrítico para suplir sus requerimientos energéticos.

La mezcla diaria del agua ocasiona la resuspensión del sedimento concentrándose partículas de tamaño no apto para los pequeños filtradores; de esta forma disminuye principalmente la tasa de filtración y por ende la densidad de *B. plicatilis*, los nauplios de *A. dorsalis*, *M. macrophtalma*, y demás morfotipos de *A. dorsalis*. González (1968), en su estudio sobre el desarrollo larvario de *A. dorsalis* encontró que en condiciones de laboratorio y usando como alimento *Chlamydomonas*, el tamaño de los nauplios (N) varía entre 0,139 (N I) y 0,318 mm (N VI) y aquel de los copepoditos (C) entre 0,322 (C I) y 0,840 mm (C VI).

Rotíferos, cladóceros y los estadios iniciales de los copépodos reciclan rápidamente los nutrientes, especialmente el nitrógeno, a través de sus excrementos; por ello, la alta asociación presentada entre éste y los miembros de la comunidad estudiada.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al comité de investigación Codi de la Universidad de Antioquia por su apoyo económico; a las autoridades del Parque Norte por su apoyo logístico; a Mónica Corbacho, Juan Fernando Noreña y Hernán Alcaraz por su colaboración en las labores de campo y laboratorio.

## REFERENCIAS

- Allan JD. 1976. Life history patterns in zooplankton. *Am Nat* 110:165-180.
- Bottrell HH, Duncan A, Gliwicz ZM, Grygierek E, Herzig A, Hillbricht-Ilkowska A, Kurosawa H, Larsson P, Weglenska T. 1976. A review of some problems in zooplankton production studies. *Norwegian J Zoo* 24:419-456.
- Burgis MJ. 1969. A preliminary study of the ecology of zooplankton in lake George, Uganda. *Verh Int Limnol* 17:297-302.
- Carrillo PI, Cruz-Pizarro V, Morales R, Sánchez-Castillo P. 1987. Cambios estacionales en las comunidades de fitoplancton y zooplancton de la Albufera de Adra. *Limnetica* 3:243-254.
- Dumont HJ, Van De Velde EI, Dumont S. 1975. The dry weight estimate of biomass in a selection of Cladocera, Copepoda and Rotifera from the Plankton, Pheriphyton and Benthos of continental waters. *Oecologia* 19:75-97.
- Duncan A. 1984. Assessment of factors influencing the composition, body size and turnover rate of zooplankton in Parakrama Samudra, an irrigation reservoir in Sri Lanka. *Hydrobiologia* 113:201-215.

- Dussart B, Defaye D.** 2002. *World Directory of Crustacea Copepoda. I- Calaniformes*. Backhuys Publishers Bv, Leiden.
- Edmondson WT.** 1959. *Fresh-water Biology*. John Wiley & Sons, Inc. 2nd ed., New York.
- Estrada AL.** 1999. Variación espacial e temporal da comunidade zooplanctônica do Reservatório “La Fe”, Antioquia, Colombia. Dissertacao Mestre em Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Estrada AL, Ramírez JJ.** 1995. Disposición espacial del rotífero *Brachionus plicatilis* en la laguna del Parque Norte, Medellín, Colombia. Tesis de grado, Universidad de Antioquia, Departamento de Biología, Medellín.
- Fernando CH.** 1994. Zooplankton fish an fisheries in tropical freshwaters. *Hydrobiologia* 272:105-103.
- Gannon JE, Stenberger RS.** 1978. Zooplankton (especially crustaceans and rotifers) as indicators of water quality. *Trans Am Mi Soc* 97:16-35.
- Gaviria S.** 1991. Monitoreo de embalses de la sabana de Bogotá. *Rev Acodal* 147:29-47.
- Gaviria S.** 1993. Crustacean plankton of a high altitude tropical lake: Laguna de Chingaza, Colombia. *Verh Int Verein Limnol* 25:906-911.
- González A.** 1968. Desarrollo larvario de *Diatomus proximus* Kiefer (Copepoda, Calanoida). *Hydrobiologia* 32:528-544.
- Hairston NG, Walton WE, Kao TL.** 1983. The causes and consequences of sex- specific mortality in a freshwater copepod. *Limnol Oceanogr* 28:935-947.
- Jaramillo JC, Gaviria S.** 2003. Caracterización física, química y estructura de la comunidad zooplanctónica de un pequeño lago tropical, Lago Santander (Rionegro, Antioquia, Colombia). *Caldasia* 25(2):355-380.
- Kiefer F.** 1929. *Crustacea Copepoda. 2. Cyclopoida Gnathostoma*. Das Tierreich, Berlin and Leipzig.
- Kosté W.** 1978. *Rotatoria: Die Radertiere Mitteleuropas, Ein Bestimmungswerk, begründet von Max Voigt, Überordnung Monogonta. 2. Auflage neugearbeitet von Walter Kosté*. I. Textband; II. Tafelband., Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- Kosté W, Shiel R.J.** 1987. Rotifera from Australian Inland Waters II. Epiphanidae and Brachionidae (Rotifera: Monogonta). *Invert Taxon* 7:949-1021.
- Kützing TE.** 1845-1849. Tabulae Phycologicae oder Abbildungen der Tangae I. pp. 54.
- Lewis Jr W.** 1977. Ecological significance of the shapes of abundance-frequency distributions for coexisting Phytoplankton species. *Ecology* 58:850-859.
- Lewis T, Taylor LR.** 1968. *Introduction to experimental ecology*. Academic Inc., New York.
- Lorenzen C.** 1967. Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnol Oceanogr* 12:343-346.
- Luger MS, Schabetsberger R, Jersabek CD.** 2000. Life cycles, size and reproduction of two coexisting calanoid copepods *Arctodiatomus alpinus* (Imhof, 1885) and *Mixodiatomus laciniatus* (Lilljeborg, 1889) in a small high-altitude lake. *Arch Hydrobiol* 148(2):161-185.
- Margalef R.** 1983. *Limnologia*. Ed. Omega S. A., Barcelona.
- Marsh C.** 1907. A revision of the North American species of *Diatomus*. *Ecology* 58:850-859.
- Müller OF.** 1786. *Animalcula Infusoria fluviatila et marine*. Hauniae.
- Nogrady T, Wallace RL, Snell TW.** 1993. *Rotifera. Vol I: Biology, Ecology and Systematics*. Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World. Nr. 4. SPB Academic Publishing, The Hague.
- Nauwerck A.** 1963. Die Beziehungen zwischen Zooplankton und Phytoplankton im See Erken.- *Symbolicae Botanicae Upsaliensis* 17(5):1-163.
- Pace ML.** 1986. An empirical analysis of zooplankton community size structure across lake trophic gradients. *Limnol Oceanogr* 31:45-55.
- Pennak RW.** 1978. *Freshwater invertebrates of the United states*. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Pianka E.** 1982. *Ecología evolutiva*. Omega. S. A., Barcelona.
- Pielou EC.** 1975. *Mathematical Ecology*. Wiley Pub., New York.
- Ramírez JJ.** 1987. Contribución al conocimiento de las condiciones limnológicas de la laguna del Parque Norte. *Actual Biol* 16:12-30.
- Ramírez JJ, Díaz A.** 1994. Caracterización limnológica y estructura de la comunidad fitoplanctónica en la laguna del Parque Norte, Colombia. *Hoehnea* 21:9-29.
- Ramírez JJ, Díaz A.** 1995. Cambios diurnos de temperatura y variables físicas y químicas en dos épocas del año en la laguna del Parque Norte, Colombia. *Acta Limnol Br* 7:23-34.
- Ramírez JJ.** 1996. Autecology of *Cyanocatena bicudoi* sp. nova, a new Cyanophyceae from Parque Norte lagoon, Colombia. *Algological Stud* 80:21-34.
- Ramírez JJ, Díaz A.** 1996-1997. Fluctuación estacional del zooplankton en la laguna del Parque Norte, Medellín, Colombia. *Rev Biol Trop* 44/45:549-563.
- Ramírez JJ, Noreña JF.** 2001. Comportamiento de la tasa de sedimentación del material sestónico en dos periodos climáticos contrastantes en un lago urbano raso: laguna del Parque Norte Medellín (Colombia). *Actual Biol* 23(74):65-74.
- Ruttner-Kolisko A.** 1977. Suggestions for biomass calculation of plankton rotifers. *Archiv Hydrobiol Beih Ergebn Limnol* 8:71-76.
- Sánchez JI, Ramírez JJ.** 2000. Dinámica de la comunidad zooplanctónica (excepto protozoa) en las zonas limnética y litoral de la laguna del Parque Norte, Medellín, Colombia. *Actual Biol* 22(72):65-82.
- Sartory DP, Grobbelaar JU.** 1984. Extraction of Chlorophyll a from freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis. *Hydrobiologia* 114:177-187.
- Sendacz S, Kubo E, Cestarolli MA.** 1985. Limnologia de reservatórios do sudeste do estado de São Paulo, Brasil. VIII. Zooplankton. *Bol Inst Pesca* 12:187-207.
- Shannon CE, Weaver W.** 1949. *The mathematical theory of information*. The University of Illinois Press, Urbana, Illinois.
- Simpson EH.** 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163:688.
- Sterner RW, Hessen DO.** 1994. Algal nutrient limitation and the nutrition of aquatic herbivores. *Ann Rev Ecol Syst* 25:1-29.
- Stingelin TH.** 1914. Cladoceren aus den Gebirge von Kolumbien. *Mém Soc Neuchâtel Sci Nat* 5:600-638.

