

EFECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS E INDUSTRIALES SOBRE LA COMUNIDAD PLANCTONICA DEL LAGO COCIBOLCA

Hooker Offer, Evelyn

RESUMEN

Mediante el uso de técnicas de valoración biológica se determinó la condición ambiental de la zona costera del Lago Cocibolca en los meses de Julio, Noviembre 1995 y Abril de 1996. Los criterios biológicos empleados fueron la composición, distribución y abundancia del plancton en cuatro transectos ubicados frente a la ciudad de Granada. La riqueza de especies de la flora y fauna fue baja, la mayor diversidad se registró en los meses de lluvia. Las cianófitas y rotíferos aportaron el mayor número de taxa. Las algas verde-azules dominaron la comunidad en abundancia y biomasa en la mayoría de las estaciones de los cuatro transectos estudiados. La biomasa más alta del fitoplancton se registró en el mes de Noviembre, con 6.548 mg L^{-1} (peso fresco). La abundancia promedio total del zooplancton fue más alta en Noviembre ($242\ 655 \text{ Ind. m}^{-3}$) y menor en Abril ($190\ 783 \text{ Ind. m}^{-3}$). Los copépodos fueron siempre miembros importantes de la comunidad zooplanctónica, los copépodos nauplios contribuyeron en un 45% y un 50% a la abundancia total. La relación N:P por peso en la zona costera del Lago Cocibolca fue menor que 10, indicando la limitación de nitrógeno durante los meses de precipitación. La baja diversidad de especies planctónicas, la abundancia numérica de rotíferos y la dominancia de las algas verde-azules *Microcystis aeruginosa* y *Lyngbya contorta* reflejan la pobre condición ambiental del litoral del lago Cocibolca.

INTRODUCCION

La práctica generalizada de utilizar los cuerpos de agua superficiales como receptores de aguas residuales constituye un factor de alto riesgo para la salud y para el medio ambiente por el deterioro en la calidad del agua lo cual limita su uso potencial y altera las condiciones ambientales naturales, factor importante para el desarrollo de la vida acuática.

Las aguas servidas tanto domésticas como industriales tienen una composición compleja, conformadas por una gama de compuestos químicos; como metales, plaguicidas, derivados de hidrocarburos, materia orgánica e inorgánica y partículas en suspensión producto de los procesos industriales.

Las aguas residuales domésticas son ricas en nitrógeno y fósforo elementos esenciales para la vida acuática vegetal, no obstante, el exceso promueve el crecimiento excesivo de algas y macrófitos en los lagos y ríos, las cuales pueden alcanzar tal densidad que aumentan la turbidez biogénica, lo cual afecta la penetración de luz a un punto tal que limita su propio crecimiento. Esto reduce la concentración del oxígeno disuelto, así como variaciones en la composición del fitoplancton que induce a su vez, cambios en el resto de comunidades acuáticas, en especial del zooplancton que dependen de ellas como fuente de alimento.

Por su parte las sustancias tóxicas como los metales y plaguicidas provocan una serie de cambios en la fisiología de los organismos, las cuales se reflejan en cambios en la estructura comunitaria, disminución en las tasas de crecimiento y desarrollo, reducción en la abundancia y en pérdidas de la biodiversidad.

La zona costera del Lago Cocibolca (frente a Granada) funciona como cuerpo receptor para las aguas residuales domésticas e industriales que llegan con los desagües de los arroyos urbanos y de la actividad turística que involucra la disposición de desechos sólidos en la ribera. Además los procesos erosivos durante la época de lluvias arrastra sustancias tóxicas aplicados en la actividad agrícola para el control de plagas y fertilización de los suelos.

Este estudio está orientado a valorar los efectos de las aguas residuales tanto domésticas e industriales como los de escorrentía pluvial (cauces) sobre la comunidad planctónica del Lago Cocibolca localizadas frente a la ciudad de Granada, utilizando reconocimientos biológicos y otras mediciones directas de la biota residente.

METODOS

El muestreo se llevó a cabo durante tres campañas, el primero y el segundo en Julio y Noviembre de 1995 y el tercero en Abril de 1996. Los transectos se seleccionaron en función del uso del Lago Cocibolca como receptor de aguas servidas respondiendo esta estrategia de muestreo a la necesidad de analizar la capacidad natural de autodepuración de los contaminantes, expresados en el Proyecto "Generación de las Bases Científico-Técnicas y Sociales para la Formulación de un Plan de Saneamiento de Granada y su Area de Influencia" (Fig. 1)

Dos de los transectos se ubicaron en la desembocadura de los arroyos Aduana (AD) y Zacate Ligüe (ZL) que atraviesan la Ciudad de Granada y descargan sus aguas en las costas del Lago, recolectando durante su trayecto las aguas servidas de diferentes puntos de la Ciudad, los otros dos transectos se ubicaron al norte de la Ciudad, uno al nivel de la Laguna de Oxidación (LO) y otro a nivel del Barrio Santa Rita (SR), estos dos últimos reciben contaminantes de fuentes difusas. A lo largo de cada transecto se estableció cinco estaciones de muestreo a las siguientes distancias de la costa: **0**, ubicado directamente en la costa; **1**, a una distancia de 100 m de la orilla, **2**, a 300 m de la orilla; **3**, a 600 m de la orilla y **4**, a 900 metros de la costa.

Fitoplancton

Las muestras del Fitoplancton fueron recolectadas con una botella Van Dorn de 3.5 litros, transferidas a botellas de polietileno y fijadas con solución Lugol. La abundancia del fitoplancton se estimó a partir del conteo de las células en cámaras de sedimentación de acuerdo al método de Utermöhl (1968). La biomasa peso fresco se estimó utilizando el volumen promedio de cada especie calculada a partir de fórmulas geométricas. Las algas filamentosas y coloniales fueron medidas de forma individual. Una densidad de 1.0 g cm^{-3} fue asumida para convertir el volumen celular a peso fresco.

Zooplankton

El zooplankton fue recolectado a tres diferentes profundidades con una cámara Schindler de 12.6 litros de capacidad y transferidas a frascos de polietileno de 100 ml y fijadas con formalina al 4 %.

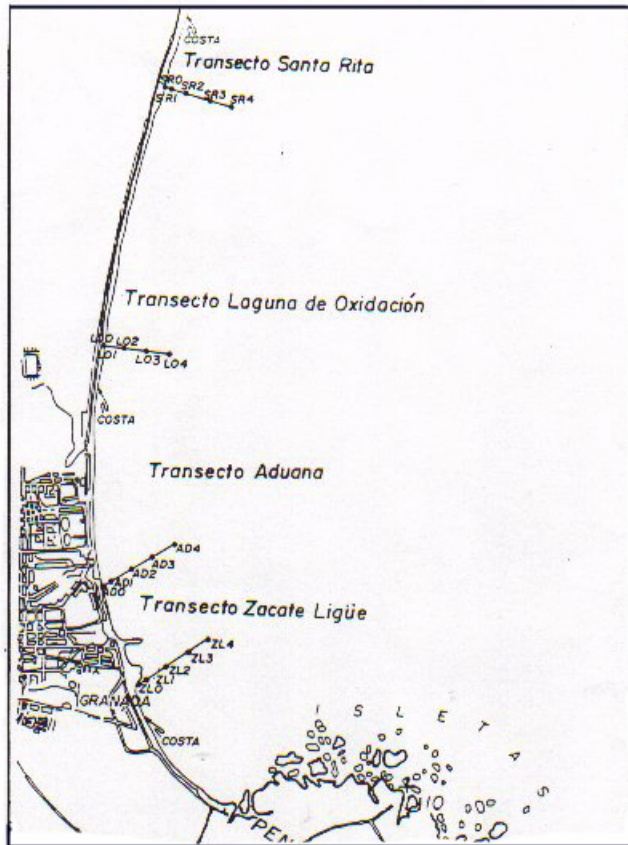
Cada muestra se llevó a un volumen conocido (250 ml), del cual se tomaron 3 alicuotas de un ml cada una con una pipeta Hensel-Stempel y contadas en un cámara de conteo tipo Bogorov. La densidad poblacional se estimó a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Ind}/\text{m}^3 = X \times V_c / V_f$$

X= Promedio de individuos contados.

V_c = Volumen concentrado de la muestra

V_f = Volumen filtrado



RESULTADOS Y DISCUSION

FITOPLANCTON

Diversidad y Composición de Especies

Un total de 54 géneros con 97 especies de algas fitoplanctónicas fueron identificadas, durante el estudio. La contribución porcentual de cada grupo taxonómico fue de: Chlorophyta 44.3 %, Bacillariophyta 29.8 % y 19.58 % Cyanophyta, contribuyendo estos tres grupos al 93.6 % de la diversidad. El análisis de riqueza de especies mostró la existencia de diferencias entre campañas de muestreo y entre las localidades (.Fig. 2).

Número de Especies

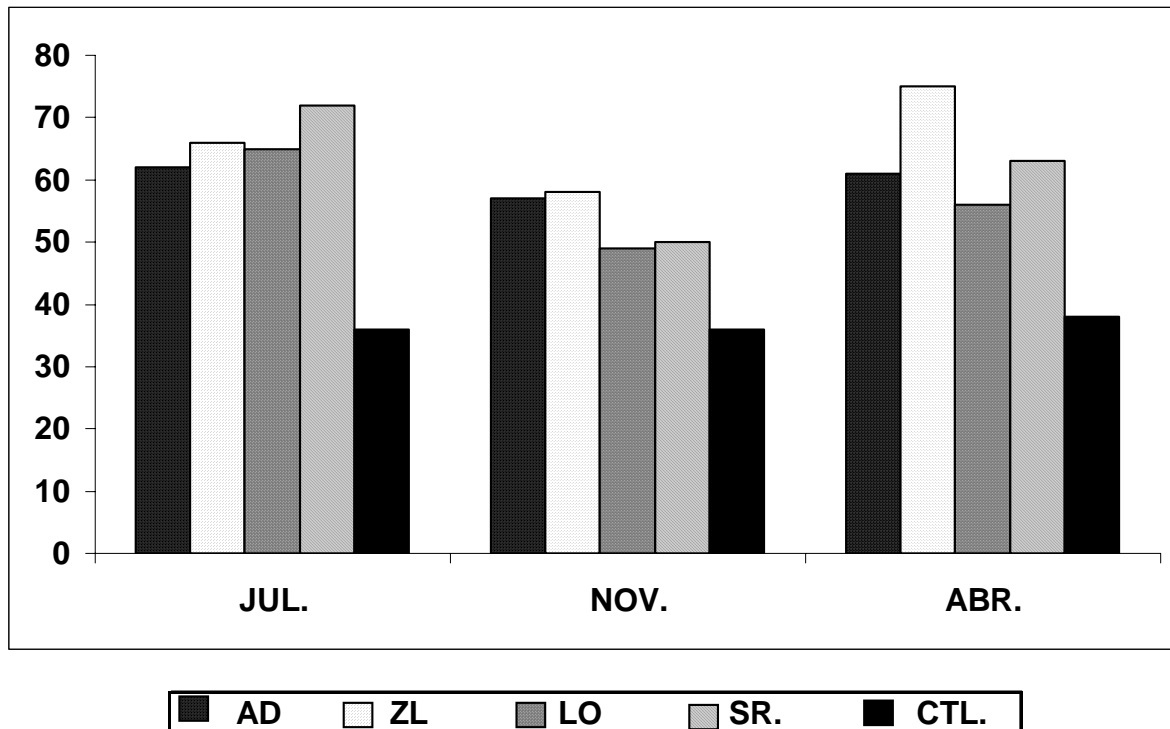
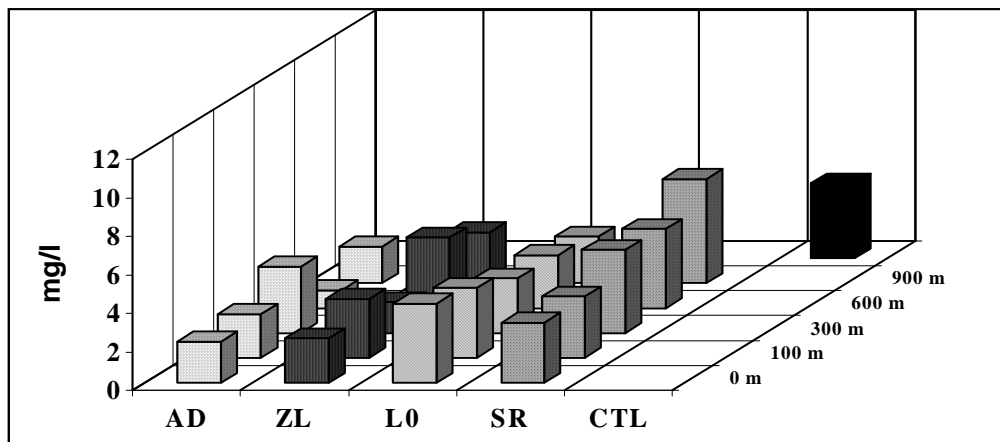


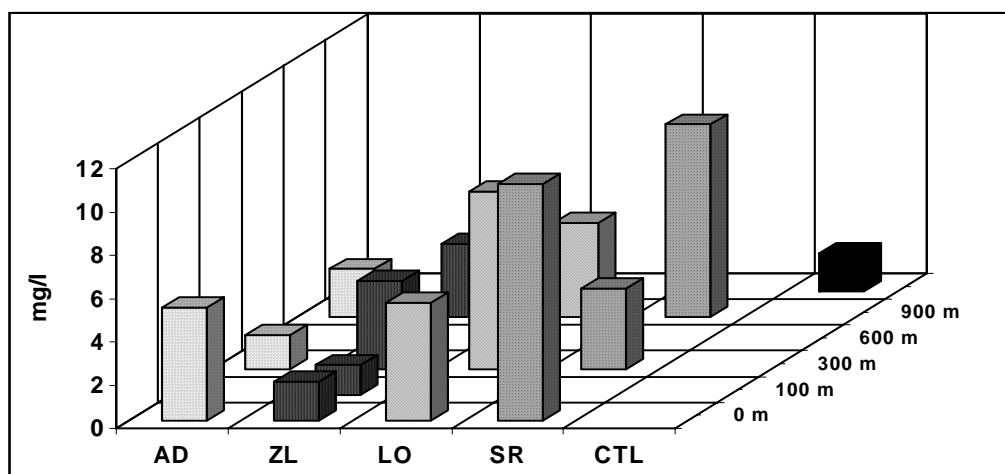
Fig. 2 Riqueza total de especies del Fitoplancton en los transectos y estación Control (CTL), por campaña de muestreo.

La mayor diversidad de especies se presentó durante la primera campaña (Julio, 1995), que corresponde a la estación de lluvias, con 60 especies, seguido por la estación seca (Abril, 1996), con 58 especies y al final de la estación lluviosa (Noviembre, 1995) con 50 especies.

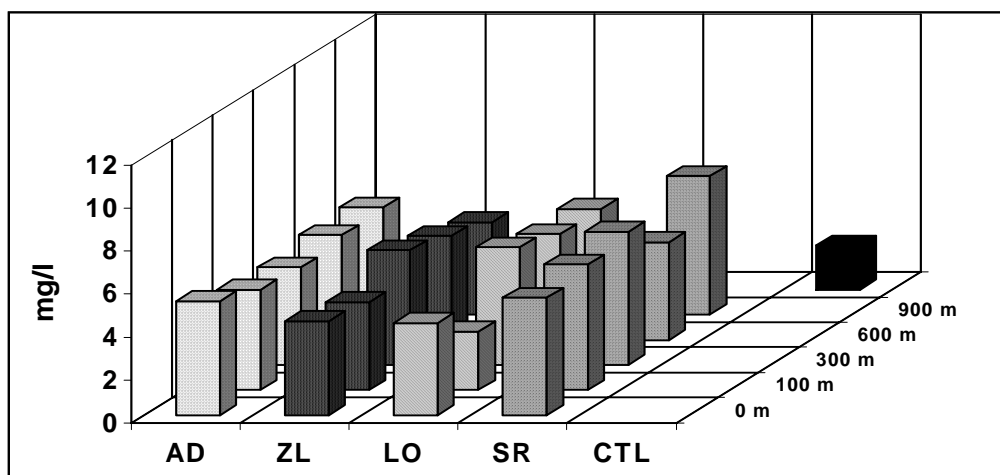
El mayor número de especies se registró en el transecto ZL (75 especies) en el mes de Abril y el menor en la estación Control (36 especies). Los valores más altos de riqueza se observaron en Julio en las estaciones de muestreo SR4, SR2, ZL3 y en Noviembre, en las estaciones AD2, SR0 y ZL4. En Abril las estaciones ZL4, ZL2 y ZL0 presentaron mayor riqueza. De manera global, se encontró que las estaciones SR4, SR2 y ZL4 registraron los valores más altos en cuanto a la riqueza de especies (Fig. 3).



Jul-95



Nov-95



Abr-96

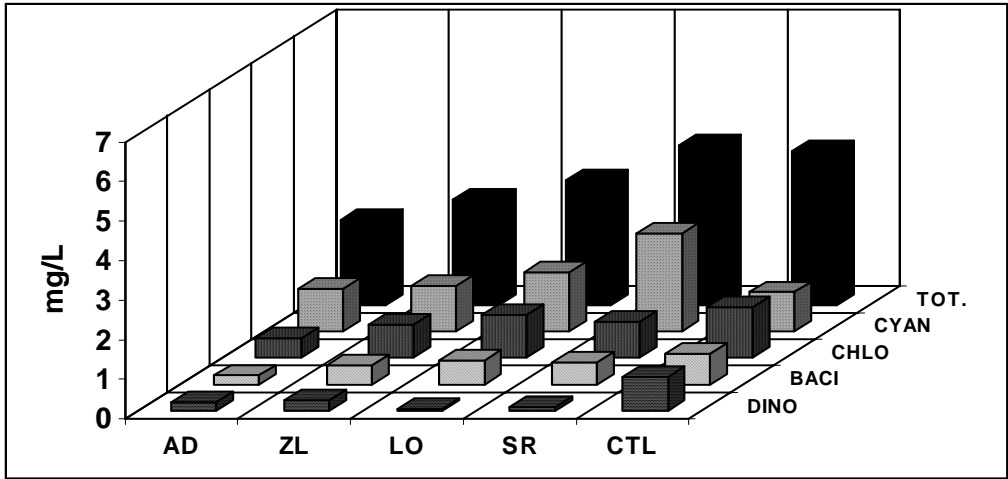
Fig. 5 Distribución de la Biomasa Total del Fitoplancton a lo largo de los Transectos en las tres campañas de muestreo.

La mayoría de las especies encontradas estuvieron presentes durante las tres campañas, sin embargo, fluctuaciones periódicas de ciertas especies hizo variar la composición total del fitoplancton. El grupo clorófita dominó la comunidad en términos de diversidad en las cinco estaciones de los cuatro transectos de muestreo, incluyendo el punto Control, seguido en orden de importancia por bacillariofita y cianófita (Fig. 3). El grupo clorófita dominó la comunidad en términos de diversidad en las cinco estaciones de los cuatro transectos de muestreo, incluyendo el punto Control, seguido en orden de importancia por bacillariofita y cianófita (Fig. 3). De las 97 especies de algas identificadas, 56 fueron encontradas en todas las localidades. Las especies de mayor frecuencia de aparición en todas las estaciones fueron: ***Microcystis aeruginosa***, ***Lyngbya contorta***, ***Chroococcus turgidus***, ***Gomphosphaerium aponina***, ***Spirulina*** sp. y ***Chroococcus*** sp., pertenecientes a las algas verde-azules. Las más frecuentes de las Bacillariofitas fueron: ***Aulacoseira granulata***, ***Cyclotella pseudostelligera***, ***Fragilaria ulna***, ***Navicula*** sp y ***Nitzschia*** sp. y del grupo Clorofita sobresalieron las especies , ***Coelastrum microporum***, ***Kirchneriella lunaris***, ***Kirchneriella obesa***, ***Oöcystis lacustris***, ***Scenedesmus quadricauda***, ***Chlorolobium*** sp. y ***Cosmarium*** sp., siendo éstas últimas las mayormente responsables de las ligeras diferencias observadas entre el número de especies por localidad.

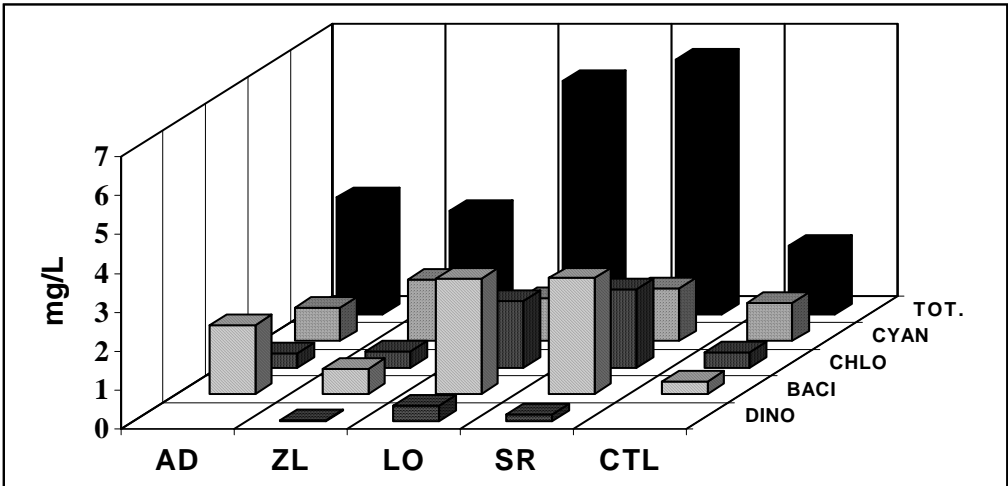
Biomasa del Fitoplancton

Las cianofitas dominaron totalmente la comunidad en términos de biomasa en la mayoría de las estaciones en Julio (Fig. 4). En este mes la biomasa más alta se registró en el transecto SR, con una biomasa promedio de 4.0374 mg.L⁻¹. La especie responsable de esta alta biomasa del fitoplancton fue ***Microcystis aeruginosa***, cuya supremacía se observó en todas las estaciones y dominante en las estaciones AD0, AD3, ZL0 y SR1, considerando como dominantes a las especies con porcentajes igual o mayor al 50 % de la biomasa total. El segundo grupo de importancia fue clorofita, el alga verde ***Pediastrum simplex*** fue la especie más abundante, con un máximo de 1.689 mg.L⁻¹ en la estación LO0. Aunque la abundancia numérica y los florecimientos de cianófitas no son endémicos de los trópicos, existe una cantidad de literatura considerable que ilustra la asociación entre florecimientos de algas verde-azules y polución (= actividad humana) (Wood, 1993). Además el proceso de enriquecimiento, como consecuencia de la entrada de nutrientes y otros contaminantes procedentes de las actividades humanas, favorece el aumento en la biomasa del plancton vegetal y la predominancia de las clorófitas y cianófitas (Cornejo y col. 1991).

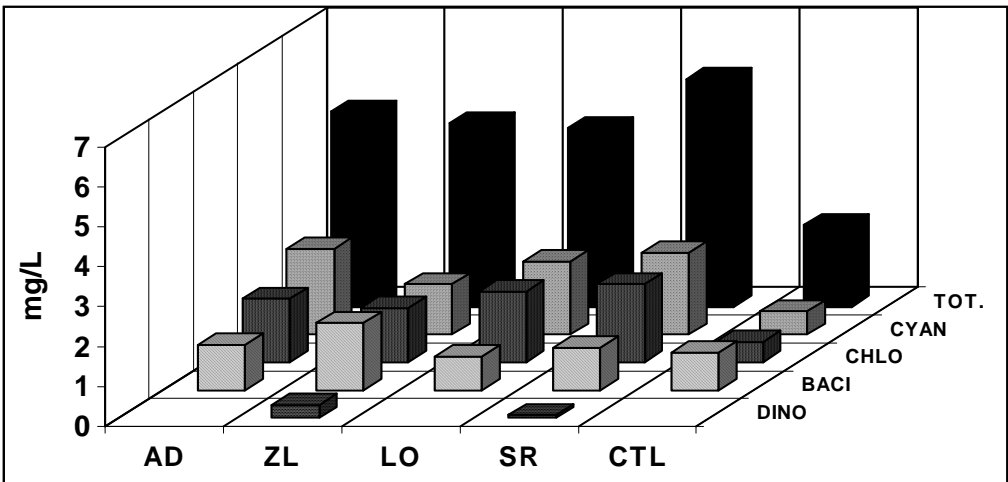
En Noviembre, se presentó una reducción en las algas verde-azules en relación al primer muestreo, y un incremento considerable en la biomasa de las diatomeas. Este grupo registró biomasa alta en las estaciones AD0, LO0, LO2 y SR0, ésta última con una biomasa de 7.431 mg L⁻¹, siendo este el máximo valor registrado para las diatomeas durante la segunda campaña de muestreo. Las especies responsables de este aumento en la biomasa fueron ***Aulacoseira granulata*** y un miembro del género ***Aulacoseira*** no identificado, cuya contribución fue de 2.441 mg L⁻¹ y 2.676 mg L⁻¹



Jul-95



Nov-95



Abr-96

Fig. 4 Contribución de los principales grupos taxonómicos a la biomasa total del Fitoplancton (valores promedios).

respectivamente. Se observó un incremento general de la biomasa total y la comunidad estuvo representada por diatomeas, clorófitas y cianófitas, no obstante, las cianofitas fueron muy importantes por su contribución a la biomasa total del fitoplancton. La contribución porcentual de las diferentes especies a la biomasa total varió entre un 10.8 % y 48 %. Un posible aumento en la concentración de nutrientes pudo haber provocado el incremento en las poblaciones de diatomeas en Noviembre. Harris & Baxter (1996) observaron aumentos en las poblaciones de diatomeas durante el período de mezcla e inmediatamente después de los períodos de intensas lluvias. Las lluvias aumentan los caudales de ríos y canales de drenaje pluvial, y conjuntamente con la resuspensión de sedimentos, aumentan la disponibilidad de nutrientes y sílice en la columna de agua, promoviendo de esta manera el desarrollo de las diatomeas en algunos transectos, particularmente el género **Aulacoseira**.

No fue evidente la dominancia de un grupo en particular del fitoplancton durante el mes de Abril, aunque las cianofitas registraron las biomásas más altas en casi todos los transectos. La contribución de las diferentes especies a la biomasa total del fitoplancton osciló entre un 13 % y 37.6% para las especies que más contribuyeron a la biomasa y entre un 8.52 % y 26.51 % para las especies menos abundantes. Es obvio además, el aumento en la biomasa de las clorofitas, en los transectos LO y SR, en relación con los primeros dos muestreos. En estos dos transectos, las algas verdes tuvieron un aumento de más o menos un 150 %, con los valores máximos en los transectos LO (1.779 mg L⁻¹) y SR (1.953 mg L⁻¹). **Microcystis aeruginosa** fue la especie con mayor biomasa en siete de las veinte estaciones, **Pediastrum simplex** en cuatro estaciones y **Pediastrum duplex** en tres.

El transecto SR registró la más alta biomasa algal entre campañas de muestreo, con un valor promedio de 4.037 mg.l⁻¹ (n = 5) en la I Campaña, 6.548 mg.l⁻¹ (n = 3) durante la II Campaña y 5.708 mg.l⁻¹ (n = 5) en la tercera. Se encontró además, que las biomásas más altas se registraron en aquellos transectos que reciben contaminantes de fuentes difusas como Laguna de Oxidación (LO) y Santa Rita (SR), al compararlas con los transectos ubicados en la desembocadura de los arroyos Zacate Ligüe (ZL) y Aduana (AD), colectores de efluentes de la actividad industrial, doméstica y agrícola de la ciudad de Granada y zonas circundantes.

Es probable que el arrastre de sedimentos y material orgánica hacia el lago sea el factor clave de los procesos que regulan los cambios en la abundancia relativa de las especies que conforman la comunidad fitoplanctónica en la zona costera del Lago Cocibolca. Talling (1966), Lewis (1978) y Hecky & Kling (1981) han enfatizado la importancia de la disponibilidad de nutrientes y de luz como factores determinantes de la sucesión de las especies del fitoplancton en lagos tropicales profundos. De igual manera, la poca variabilidad de los factores climáticos como la temperatura y la radiación en las regiones tropicales hacen que estos factores tengan muy poca incidencia sobre el fitoplancton como ocurre en las regiones templadas en donde los cambios de temperatura y radiación incidente son los factores que determinan la estacionalidad, la abundancia y biomasa del fitoplancton. En el lago Cocibolca, más bien debe considerarse el papel que juegan la disponibilidad de nutrientes y la materia orgánica alóctona que recibe el lago vía escorrentía superficial durante la época de lluvias, aunado al aporte sistemático de contaminantes de los efluentes domésticos e industriales.

86) en su trabajo sobre la estacionalidad del fitoplancton en lagos tropicales africanos enfatiza la importancia de los factores hidrográficos y hidrológicos como agentes reguladores de la abundancia y biomasa del fitoplancton en los trópicos. No obstante estos factores se ven realzados cuando se agrega el componente contaminación.

Jul-95						
Transectos	Turbidez UNT	Sólidos Totales mg L ⁻¹	Sol. Disueltos mg L ⁻¹	P-Total µg L ⁻¹	N-Total µg L ⁻¹	SiO ₂ mg L ⁻¹
AD	11.40	197.00	167.00	43.60	216.00	18.17
ZL	15.96	208.00	168.20	50.80	266.00	18.58
LO	10.30	183.50	146.80	35.00	234.00	14.86
	9.20	169.20	133.00	27.80	339.00	16.28
CTL	120.00	179.00	163.00	25.00	220.00	18.43
Nov-95						
Transectos	Turbidez UNT	Sólidos Totales mg L ⁻¹	Sol. Disueltos mg L ⁻¹	P-Total µg L ⁻¹	N-Total µg L ⁻¹	SiO ₂ mg L ⁻¹
AD	11.76	204.40	149.00	162.60		15.49
ZL	8.50	207.20	145.20	75.00		14.62
LO	6.67	173.40	148.40	71.33		14.29
SR	8.48	173.60	132.40	92.00		14.89
CTL	3.60	169.00	133.00	10.00		14.16
Abr-96						
Transectos	Turbidez UNT	Sólidos Totales mg L ⁻¹	Sol. Disueltos mg L ⁻¹	P-Total µg L ⁻¹	N-Total µg L ⁻¹	SiO ₂ mg L ⁻¹
AD	6.80	155.40	134.20	146.20		
ZL	7.78	145.40	86.80	96.40		
LO	7.26	201.40	142.20	116.40		
SR	6.46	162.00	132.40	141.80		
CTL	8.60	148.00	105.00	108.00		

Tabla 1. Valor promedio por transecto de los parámetros físicos y químicos en las tres campañas de muestreo.

Aunque los datos aquí presentados no sean los adecuados para estudios de estacionalidad, sí ofrecen información valiosa sobre el comportamiento del fitoplancton en dos épocas del año, en las cuales los factores hidrológicos son más marcados. La época de lluvias promueve el aumento en la concentración de los nutrientes y del material suspendido y disuelto, que a su vez aumentan la turbidez.

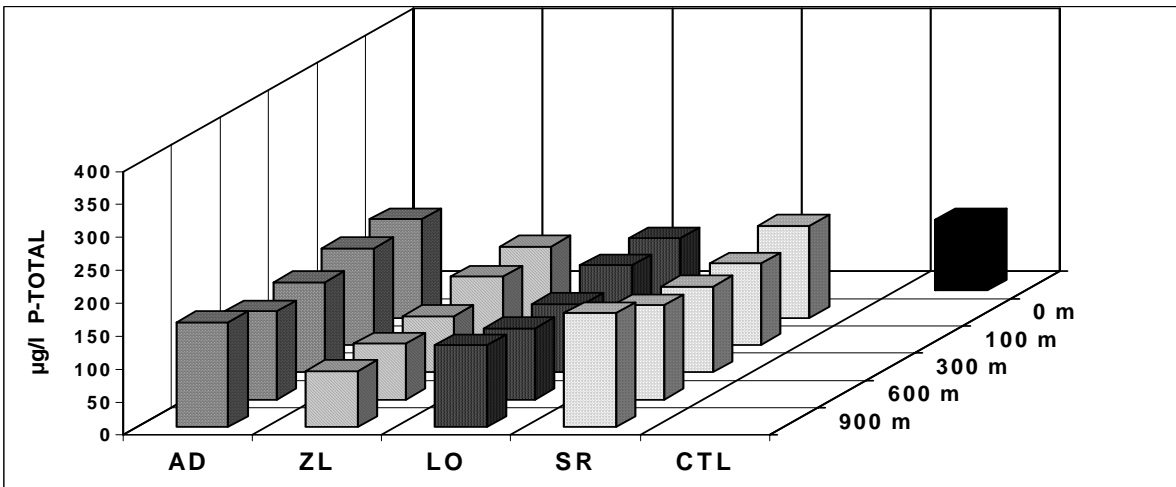
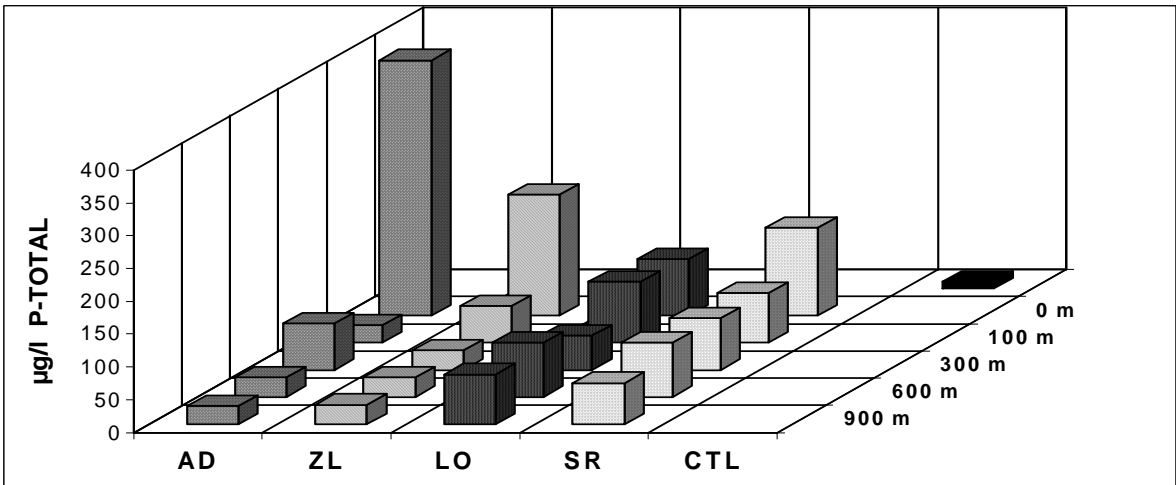
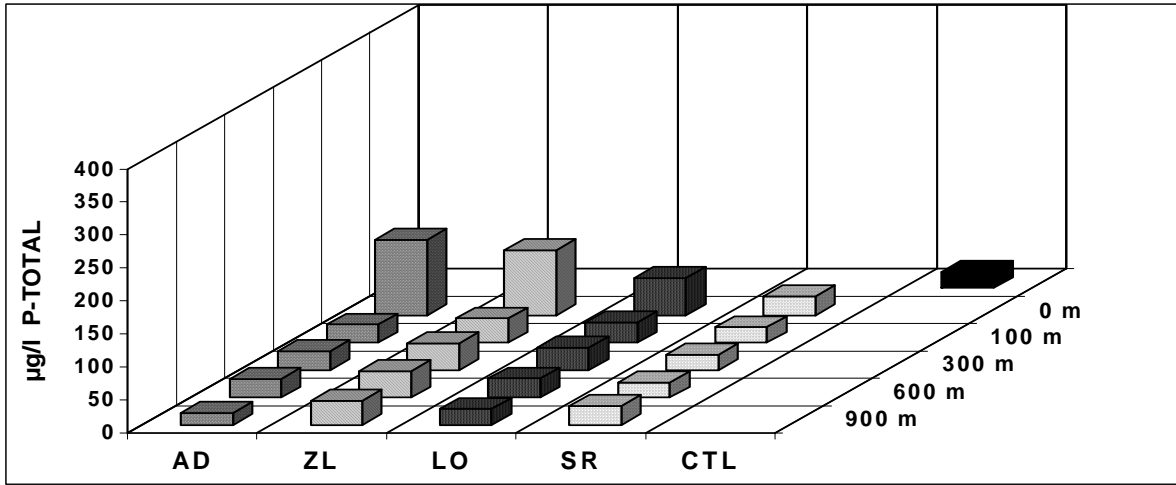


Fig. 6 Distribución del Fósforo Total en los transectos y estaciones de muestreo en las tres campañas.

Estas condiciones solamente permiten el desarrollo de especies del fitoplancton capaces de tolerar y crecer en ambientes turbios, tal es el caso de las cianófitas. La abundancia de cianófitas en casi todas las estaciones muestreadas en las tres campañas, específicamente, los géneros *Microcystis* (Julio y Noviembre) y *Anabaenopsis* (Abril) podría estar asociada con esta condición. No se encontró diferencias significativas en cuanto a la distribución de la biomasa del fitoplancton entre estaciones a lo largo de los transectos, con excepción, de un alza considerable en la biomasa de las diatomeas en las estaciones LO2 y SR0 a finales de la época de lluvias (Noviembre). También se detectó una ligera variación en la biomasa del fitoplancton entre los tres muestreos. Aunque se carece de mediciones de la transparencia del agua (disco secchi) y de la radiación subacuática en este estudio, los datos de turbidez y de los sólidos totales disueltos indican que posiblemente las condiciones de luz subacuáticas sean desfavorables para el desarrollo del fitoplancton en la zona litoral del Lago Cocibolca. La turbidez y sólidos totales fueron más altos en Julio, mes de alta precipitación y disminuye conforme se establece la estación seca (Tab. 1). El aumento de los caudales en los meses de mayor precipitación además de contribuir a elevar los niveles de nutrientes, también provoca resuspensión de sedimentos lo cual eleva la turbidez y la atenuación de la luz por las partículas disueltas y suspendidas. La atenuación de la luz por partículas no fitoplanctónicas es un fenómeno muy estudiado en lagos templados y africanos, encontrándose que en muchos de ellos, entre un 20 y 50 % de la atenuación se debe a las partículas en suspensión (Jewson, 1976,). De igual manera Hellström (1991) encontró que la atenuación de la luz causada por resuspensión de partículas del sedimento produjo una reducción del 15 % de la producción algal en el Lago..Tämnaren. Otro factor frecuentemente asociado con los procesos que regulan los cambios en la abundancia de las especies en la comunidad del fitoplancton, es la disponibilidad de nutrientes en la columna de agua. El mayor aporte de nutrientes a los lagos se da por la resuspensión de sedimentos inducida por diferentes agentes y por escorrentía superficial durante la estación de lluvias, así como la descarga de efluentes puntuales y no puntuales. La zona costera del Lago Cocibolca frente a la ciudad de Granada recepciona las aguas de los arroyos Zacate Ligüe y Aduana, los cuales recolectan las aguas servidas municipales, industriales y pluviales, por lo que los niveles de los nutrientes (N y P) presentaron fluctuaciones entre campañas de muestreo en dependencia de las condiciones hidrológicas persistente y el caudal de los efluentes industriales y domésticos. Los valores más bajos de fósforo total se registraron durante el mes Julio con 39.3 ± 24.7 mg/l y aumentaron en los meses de noviembre y abril a concentraciones de 85 ± 81.5 mg/l y 124.05 ± 24.65 mg/l respectivamente. El efecto de dilución pudiera ser una de las causas de la baja concentración de fósforo total en Julio, o que el fósforo estuviera incorporado en forma de tejido vegetal por la alta biomasa algal registrada en este mes. Las concentraciones de nitrógeno como nitrato fueron bajas durante el estudio, con concentraciones menores de 0.05 mg/l de $\text{NO}_3\text{-N}$, aunque el nitrógeno total fue alto con 263.75 ± 77.81 mg/l , pero solo se analizó durante el primer muestreo. Varios autores (Harper, 1992), encontraron que el patron de crecimiento del fitoplancton en varios lagos y en cultivos de laboratorio esta determinada por la relación N:P. Encontraron que las diatomeas dominan en cultivos a temperaturas bajas, si el fósforo y sílice no son limitantes. En cultivos expuestos a temperaturas más altas y con una relación N:P, de baja a moderada dominaron las algas verdes, mientras que las algas verde azules dominan a temperatura altas (24 °C) y una relación N:P por peso baja. En

el Lago Cocibolca se encontró una relación N:P por peso bajo (< 10), lo cual indica que el nitrógeno es el nutriente limitante (Dillon et al. 1974, Smith 1982, Kalff 1983). Esta condición favorece el establecimiento de las algas verde-azules (Smith, 1982). Desafortunadamente no se tienen registros de nitrógeno total de las dos campañas subsiguientes. En Julio, la comunidad del fitoplancton estuvo dominada en un 52.9 % por las cianofitas, específicamente *Microcystis aeruginosa*. Resultados similares fueron encontrados por Hecky (1993) en el lago Victoria, en donde una reducción en las concentraciones de sílice y de la relación N:P potenciaron el desarrollo de las algas verdeazuladas. El patrón de dominancia entre diatomeas (período de mezcla) y de cianófitas (período calmo) parece ser característico de los lagos tropicales y subtropicales (Talling, 1986, Infante, 1982, Hooker et al., 1991). Las lluvias aumentan la turbidez de los lagos, disminuyendo la transmisión de luz, favoreciendo el desarrollo de especies del fitoplancton con mecanismos de flotación que les permite mantenerse por más tiempo en la zona iluminada de la columna de agua.

La dinámica del fitoplancton partiendo de este estudio no está bien documentada, pero es claro que las poblaciones de la flora planctónica están influenciadas por las variaciones climatológicas, que promueve la turbidez y aumento de nutrientes durante los meses de precipitación y la resuspensión de nutrientes de los sedimentos promovido por el viento durante la época seca que conjuntamente con la reducción de caudales de los afluentes y disminución de volumen del lago incrementa el suministro de nutrientes para la flora acuática.

ZOOPLANCTON

Composición, abundancia y distribución del zooplancton

La comunidad del zooplancton durante el estudio estuvo integrada principalmente por copépodos, rotíferos y cladóceros. Los rotíferos fueron el grupo más diverso, con 25 especies, mientras que los cladóceros y copépodos estuvieron representados por cinco y tres especies. El mayor número de especies en los transectos muestreados se registró en Julio, 28 especies y la más baja en Noviembre, 19 especies (Fig.7).

Número de especies

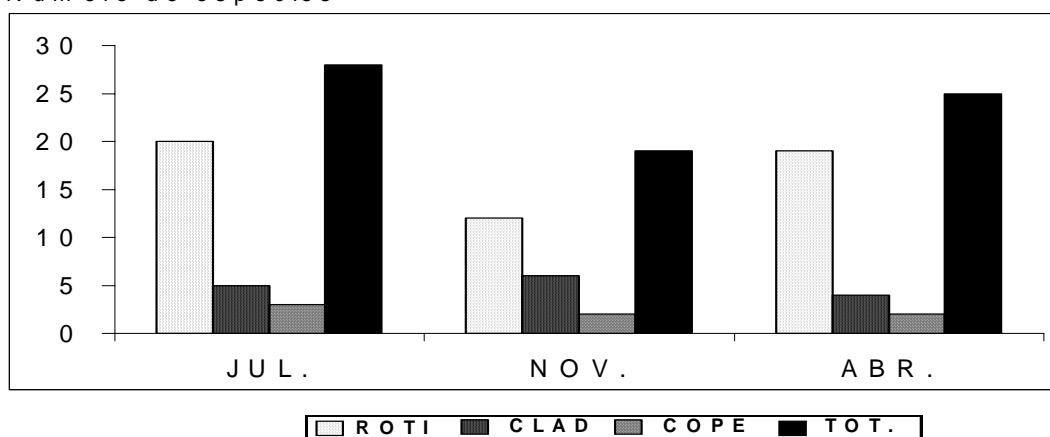


Fig. 7 Contribución por campaña de muestreo de los grandes grupos del zooplancton a la riqueza total de especies.

El número de especies disminuyó de manera general al final de la época de lluvias y aumentó durante el período seco. Esta variación en la riqueza de especies entre las tres fechas de muestreo fue causado por cambios en las poblaciones de rotíferos, ya que las poblaciones de cladóceros y copépodos se mantuvieron casi constantes. La desaparición de *Brachionus patulus*, *Brachionus quadridentatus*, *Keratella cochlearis*, y dos especies del género *Lecane*, entre otros condujeron al declive en la diversidad de especies en el mes de Noviembre. La riqueza de especies varió poco entre los transectos, no obstante, se observó diferencias significativas entre los transectos y la estación Control, registrándose en ésta última la riqueza más baja (Fig. 8).

Número de Especies

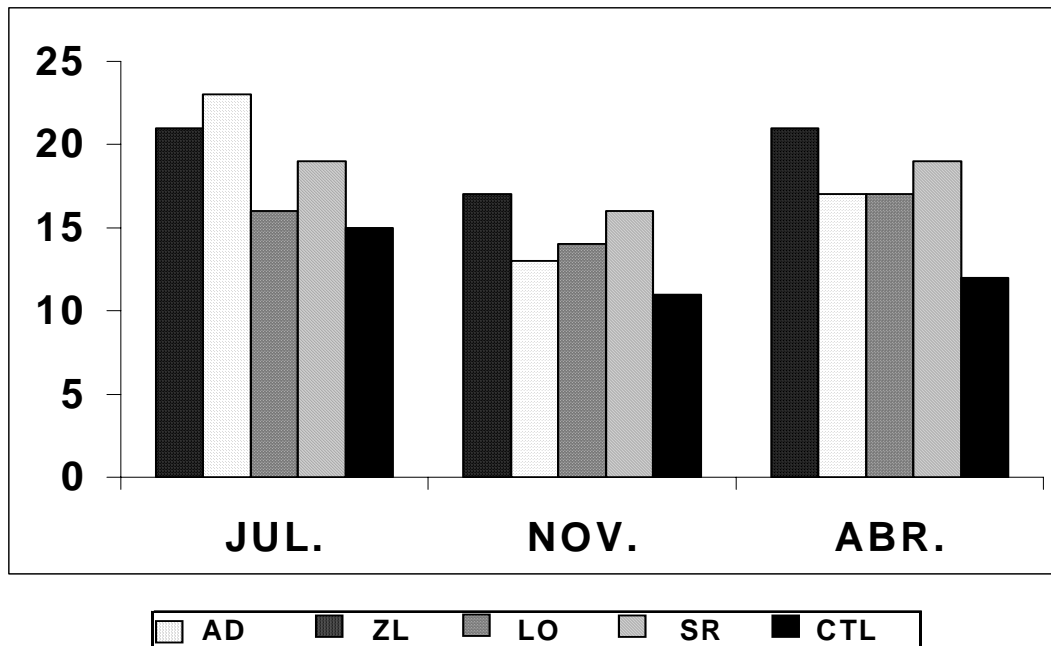


Fig. 8 Riqueza de especies del zooplankton entre campañas de muestreo y entre los transectos y la estación Control (CTL).

El transecto Aduana presentó el mayor número de especies en los tres muestreos, aunque la riqueza más alta del estudio se observó en el transecto Zacate Lige en Julio. Se observó diferencias mínimas (3 a 4 especies) entre las diferentes estaciones. En Julio, las estaciones ubicadas entre los 0 y 300 metros de los transectos Aduana y Zacate Lige presentaron mayor número de especies que las estaciones situadas a 600 y 900 metros. La situación inversa se registró en los transectos Lagunas de Oxidación y Santa Rita, en los cuales se encontró mayor riqueza de especies en las estaciones localizadas entre los 600 y 900 metros (Fig. 9). Este patrón de comportamiento no se observó en los muestreos subsiguientes, por la falta de información de las estaciones 0 y 600 m. Lo que sí prevalece es la tendencia hacia un aumento en el número de especies en las estaciones más alejadas de la zona costera en los transectos, Lagunas de Oxidación y Santa Rita.

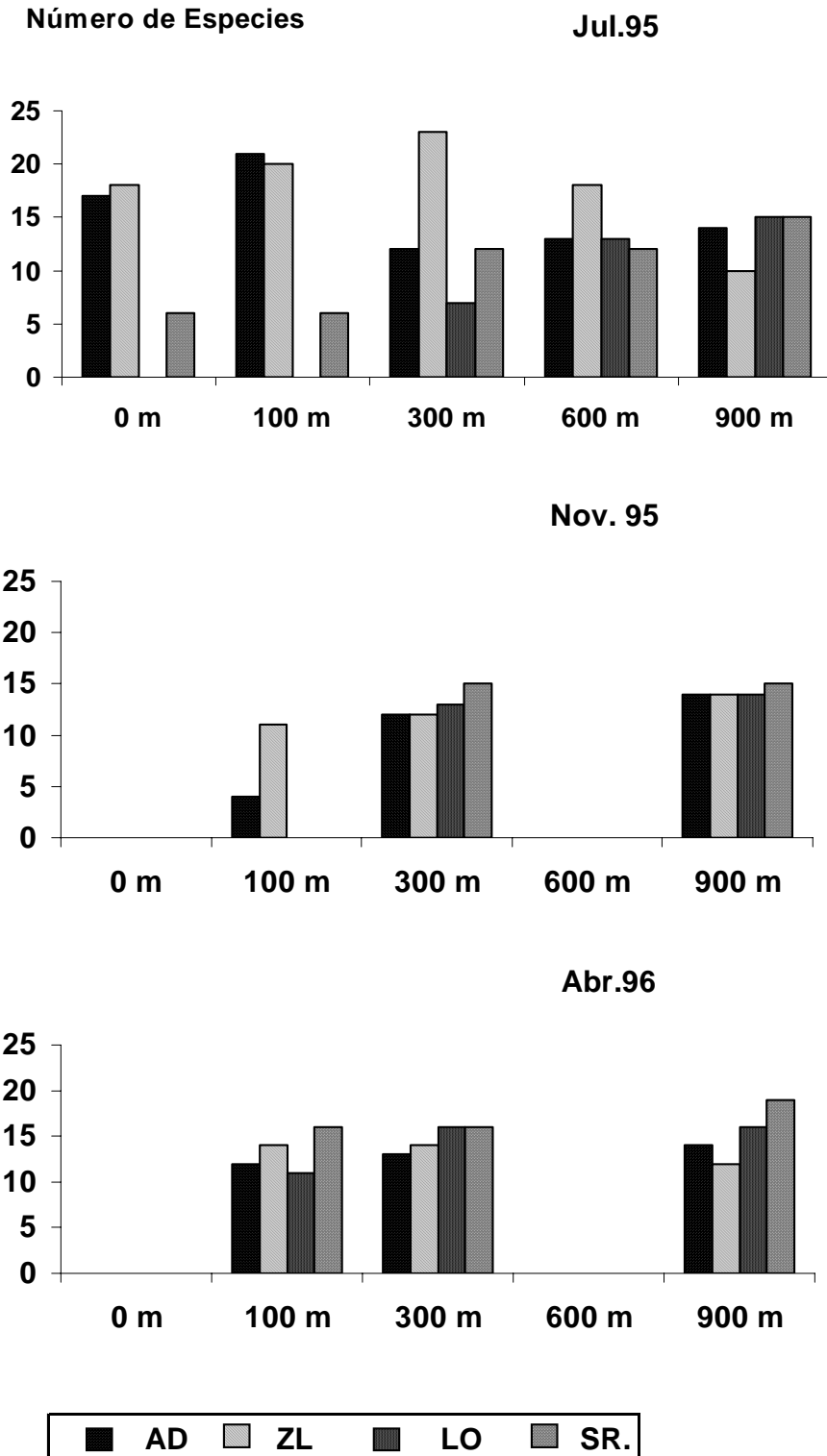
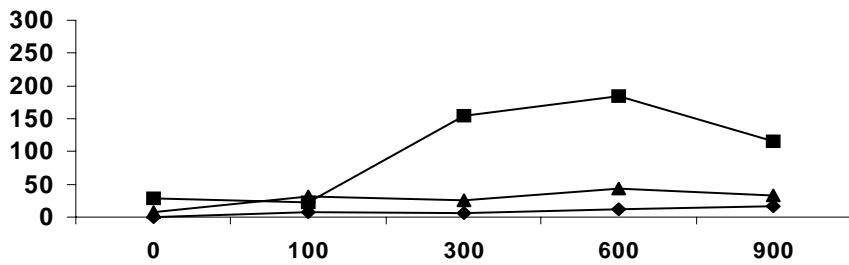


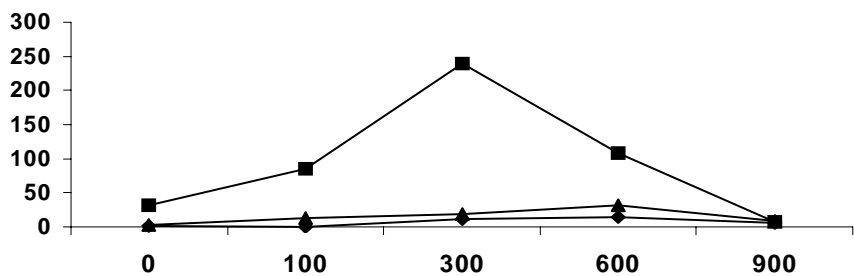
Fig. 9 Distribución de la riqueza de especies del zooplankton en los transectos del lago Cocibolca.

La baja diversidad de especies del zooplancton, es una condición común en lagos de las regiones subtropicales y tropicales, pero en el caso particular de la zona costera del Lago Cocibolca, la baja diversidad encontrada pudiera estar asociada con la poca variedad de hábitats, con la presencia de agentes contaminantes en el medio acuático y con la cantidad y calidad de alimento disponible para las poblaciones zooplanctónicas. Los copépodos constituyeron el grupo más abundante y estuvieron presentes en cada estación y en cada muestra analizada. Los copépodos ciclopoideos, representados por ***Thermocyclops inversus*** y ***Mesocyclops nicaraguensis***, contribuyeron más a la abundancia del zooplancton. ***Arctodiaptomus dorsalis*** fue la especie que representó al grupo Calanoida, pero su aporte a la abundancia total fue poco significativo. Los rotíferos fueron el segundo grupo en importancia, ***Keratella americana*** fue el integrante más importante seguido por dos especies del género ***Brachionus***. Entre los cladóceros sobresalen ***Bosmina longirostris*** y ocasionalmente ***Moina micrura*** y ***Diaphanosoma fluviatilis***. Los copépodos dominaron la comunidad del zooplancton, especialmente en Noviembre, con una densidad relativa promedio de 66.55 %. Por su parte los rotíferos y cladóceros mantuvieron densidades relativas promedio entre un 12.96 y 32.1 %, con la excepción del mes de Abril, en que los rotíferos superaron a los copépodos, 44.2 % y 42.5 % respectivamente. La dominancia de la comunidad de parte de los copépodos se debe a la abundancia de los estadios larvarios y juveniles. Los nauplios fueron mucho más abundantes que los copepoditos y adultos (Fig. 10 y 11). La contribución porcentual de los estadios larvarios y juveniles a la abundancia de los copépodos fue siempre superior al 80 % y en algunos casos igual al 100 % de la abundancia total de Copepoda. Burgis (1969) sugirió que se podía asociar la baja proporción de copépodos adultos y la alta densidad de nauplios y copepoditos en el lago George con la alta mortalidad de los últimos, aunque difícilmente este autor pudo precisar si la depredación fue el proceso regulador. De igual manera Infante (1982) encontró que la reducción de adultos en la población de ***Mesocyclops crassus*** en el lago Valencia probablemente fue producto de la alta mortalidad inducida por la depredación por peces.

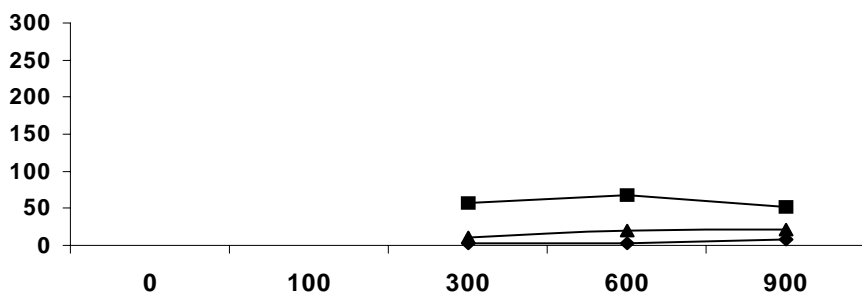
Miles de Ind.m⁻³ Jul. 95 Aduana



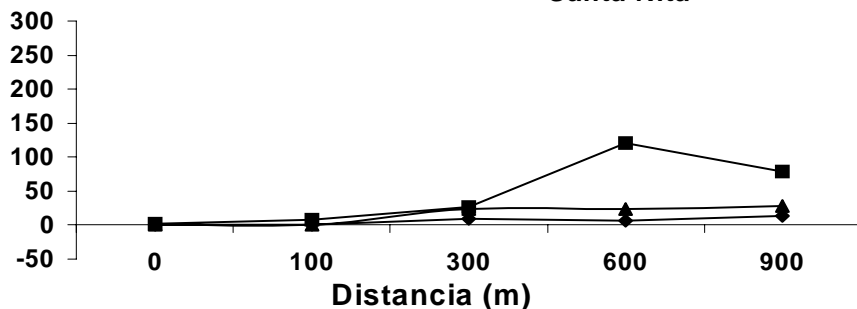
Zacate Lique



Lagunas de Oxidación



Santa Rita



◆—◆ Adultos ■—■ Nauplios ◀—▶ Copepoditos

Fig.10 Variación en la abundancia de copépodos (adultos, nauplios, copepoditos) a lo largo de los transectos.

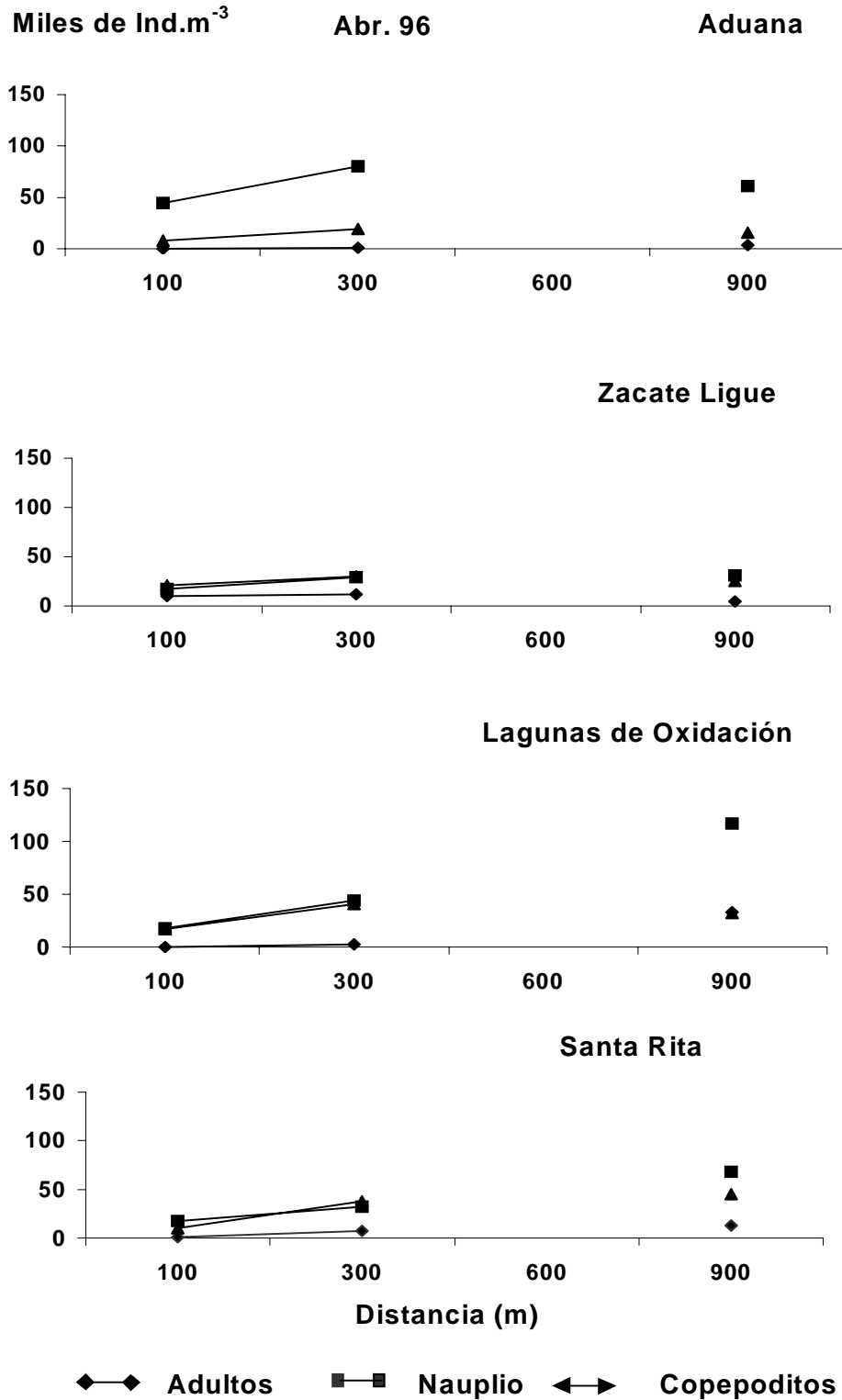


Fig. 11 Variación en la abundancia de copéodos (adultos, nauplios, copepoditos) a lo largo de los transectos.

La comunidad del zooplancton presentó cambios en la densidad poblacional, y en la composición de especies, entre los tres muestreos (Fig. 12). El máximo valor de densidad se observó en Noviembre, con un promedio total por mes de 245465 Ind. m⁻³, seguido por el mes de Julio con 201294 Ind. m⁻³ y la más baja en Abril (190783 Ind. m⁻³). Este incremento de la abundancia en Noviembre, fue por el aumento en las poblaciones de cladóceros, particularmente *Bosmina longirostris*, al duplicar su abundancia entre un muestreo y otro, lo que probablemente guarde relación con el tipo de alimento disponible. El tamaño de partículas ingeridas por *Bosmina* es mucho menor que las ingeridas por otros cladóceros permitiendo a este organismo alimentarse de detritus y bacterias Sendaez, 1984). De hecho, esta especie fue dominante al excluir de la densidad total a nauplios y copepoditos. La variación en la abundancia del zooplancton fue mínima en la estación Control durante los meses de estudio (236995 - 248349 Ind. m⁻³ (Fig. 13). Se encontró diferencias significativas entre transectos, Aduana y Zacate Lige presentaron mayor abundancia en Julio, mientras que en Noviembre la comunidad del zooplancton fue más numeroso en los transectos Lagunas de Oxidación y Santa Rita. En Abril la situación fue similar al presentado en Julio, la densidad fue un poco menor en Laguna de Oxidación y Santa Rita y mayor en el transecto Aduana. La excepción fue el transecto Zacate Lige que disminuyó gradualmente entre cada muestreo, con una densidad menor en el período seco (131577 Ind. m⁻³).

Miles de Ind. m⁻³

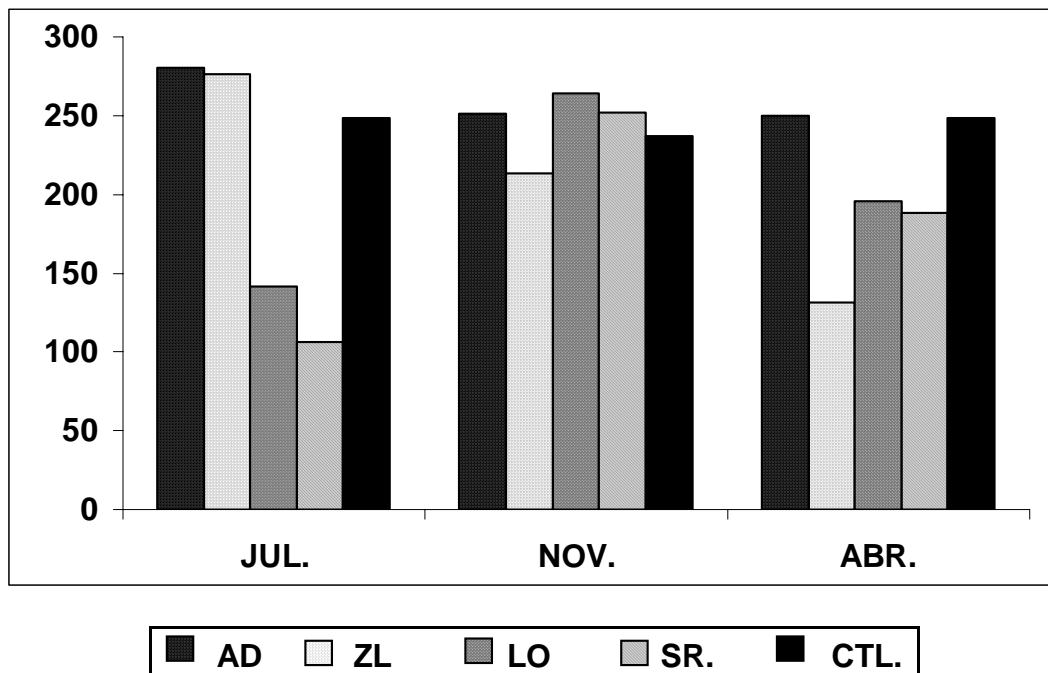


Fig. 12 Variación de la abundancia promedio del zooplancton entre las tres campañas, los transectos y estación Control (CTL).

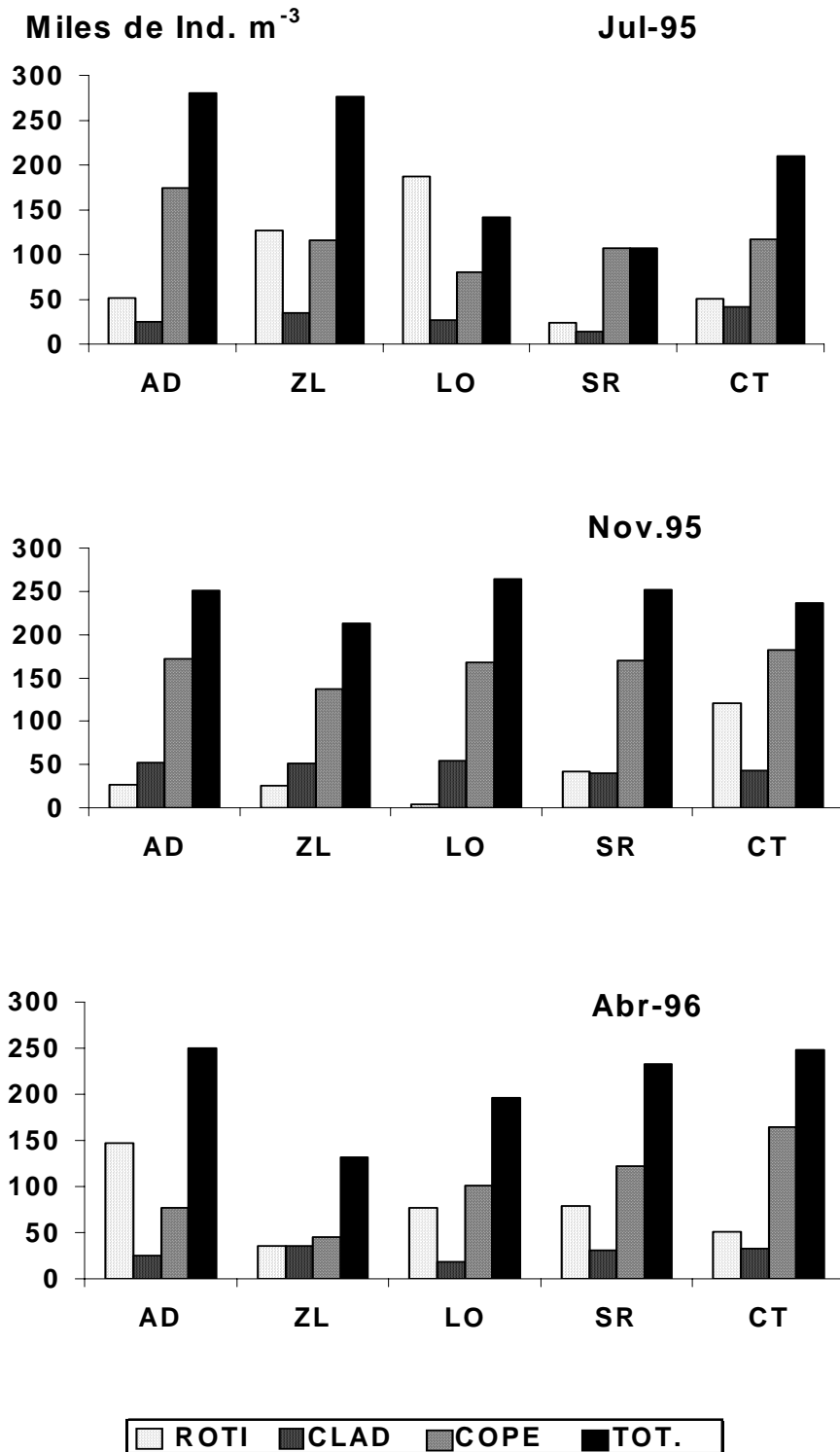


Fig. 13 Variación en la abundancia en los grandes grupos del zooplancton por transecto y por campaña de muestreo.

La eutrofización de los lagos per se no induce de manera directa una reducción en el número de especies del zooplancton, más bien es el efecto directo de la eutrofización sobre la disponibilidad de recursos potenciales de alimento (fitoplancton), los que regulan la variación en el número de especies y los cambios en la abundancia relativa de cada especie.

La variación en la densidad de los rotíferos fue la responsable de los cambios observados en la abundancia del zooplancton entre los transectos estudiados y los meses de muestreo (Fig. 13).

La diversidad y abundancia de los rotíferos pudiera relacionarse con un mayor contenido de materia orgánica producto de las lluvias que arrastra material en suspensión a través de los arroyos Aduana y Zacate Lige, así como las aguas residuales domésticas e industriales de la ciudad de Granada. Por otra parte, en el Lago Xolotlán se observó que en las zonas sometidas a mayor contaminación orgánica los rotíferos dominaron numéricamente (Cisneros y col. (1991). Este hecho explica las diferencias en diversidad y abundancia entre las estaciones de los transectos, si consideramos que estas diferencias son reguladas por los rotíferos, cuyas poblaciones se ven favorecidas por el alto suministro de alimento presente en las estaciones localizadas entre 0 - 300 m de los transectos Aduana y Zacate Lige. Por su parte Chacón (este Taller) encontró un patrón similar en cuanto a la distribución de bacterias totales a lo largo de los transectos. Otro factor relevante que pudo haber sido la dominancia de *Microcystis aeruginosa* en todas las estaciones en Julio, lo cual pudo haber inhibido el desarrollo de cladóceros y copépodos, organismos más selectivos en cuanto a alimentación (Infante, 1978).

Hallazgos similares fueron reportados por Sandez y col. (1982) en 17 reservorios de Brazil que en condiciones eutróficas hubo dominancia de rotíferos seguido por copépodos. Infante (1980), Saunders y Lewis (198) reportaron situaciones similares en el Lago de Valencia.

REFERENCIAS

- Blancher, E. C., 1984. Zooplankton-trophic state relationship in some north and central Florida lakes. *Hydrobiologia* 109: 252-263.
- Burgis, M. J., 1969. A preliminary study of the ecology of zooplankton in Lake George, Uganda. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 17: 297-302.
- Cisneros, R., E. I. Mangas & M. Van Maren, 1991. Qualitative and quantitative structure, diversity and fluctuations in abundance of zooplankton in Lake Xolotlán (Managua). *Hydrobiol. Bull.* 25(2): 151-156.
- Cornejo, E. E., F. Comín, J. Z. Arevalo Ch., M. V. Torres Ll. & M. S. Greaven, 1991. Efecto de la eutrofización sobre el fitoplancton. En: *Contaminación en el Lago Titicaca, Perú: Capacitación, Investigación y Manejo*. Eds. T. G. Northcote, P. Morales S., D. A. Levy & M. S. Greaven.
- Dillon. P. J. & F. H. Rigler, 1974. The phosphorus - Chlorophyll relationship in lakes. *Limnol. & Oceanogr.* 19 (5): 767-773.

- Harper, D. 1992. Eutrophication of Freshwaters: Principles, problems and restoration. Chapman & Hall, London. p. 103-113.
- Harris, G. P. & G. Baxter, 1996. Interannual variability in phytoplankton biomass and species composition in a subtropical reservoir. *Freshwater Biology*. 35: 545-560.
- Hecky, R. E. & H. J. Kling, 1981. The phytoplankton and protozooplankton of the eutrophic zone of Lake Tanganyika: species composition, biomass, chlorophyll content and spatiotemporal distribution. *Limnol. & Oceanogr.* 26: 548-564.
- Hecky, R. E., 1993. The eutrophication of Lake Victoria. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25: 39-48.
- Hellström, T., 1991. The effect of resuspension on algal production in a shallow lake. *Hydrobiologia* 213: 183-190.
- Hooker, E. & S. Hernández, 1991. Phytoplankton biomass in Lake Xolotlán (Managua): Its seasonal and horizontal distribution. *Hydrobiol. Bull.* 25 (2): 125-131.
- Infante, A. (1982). Annual variations in abundance of zooplankton in Lake Valencia (Venezuela). *Arch. Hydrobiol.*, 93 (2), 194-208.
- Infante, A. (1978). Natural food of herbivorous zooplankton of Lake Valencia (Venezuela) *Arch. Hydrobiol.*, Arch. Hydrobiol., 82 1/4, 347-358.
- Jewson, D. H., 1976. The interaction of components controlling net phytoplankton photosynthesis in a well-mixed lake (Lough Neagh, Northern Ireland). *Freshwater Biology* 6, 551-576.
- Kalff, J., 1983. Phosphorus limitation in some tropical African lakes. *Hydrobiologia*, 100: 101-112.
- Lewis, W. M. Jr., 1978a. Dynamics and succession of phytoplankton in a tropical lake: Lake Lanao, Philippines. *J. Ecol.*, 66: 849-880.
- Sendaez, S. (1984). A study of the zooplankton community of Billings Reservoir - Sao Paulo. *Hydrobiologia* 113, 121-127.
- Smith, V. H. (1982). The nitrogen and phosphorous dependence of algal biomass in lakes: an empirical and theoretical analysis. *Limnol. & Oceanogr.* 27, 1101-1112.
- Smith, V. H. (1983). Low nitrogen to phosphorous ratios favour dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. *Can. J. Fish. & Aqua. Sc.*, 43, 148-153.
- Talling, J. F., 1966. The annual cycle of stratification and phytoplankton growth in Lake Victoria (East Africa). *Int. Rev. ges. Hydrobiol.*, 51: 545-621.

Talling, J. F., 1986. The seasonality of phytoplankton in African lakes. *Hydrobiologia*, 138: 139-160.

Wood, R. B., 1993. Nuisance blooms of cyanobacteria in tropical freshwater systems. In: *Hypertrophic and Polluted Freshwater Ecosystems: Ecological Bases for Water Resource Management*. Proc. Int. Symp. Limnol., 119-135.

Tabla 1. Parámetros ecológicos por mes de recolección utilizando Número (N) de las Especies identificadas en las cuatro estaciones de muestreo y en el punto control.

EST	ESP	I CAMPAÑA		ESP	II CAMPAÑA		ESP	III CAMPAÑA	
		Ind/l X 100	DN		Ind/l X 100	DN		Ind/l X 100	DN
ADO	30	2462838	1.50	28	2462835	1.25	38	2758131	1.70
AD1	47	1975239	2.15				33	2941132	1.47
AD2	37	2177977	1.67	45	313575	2.25	33	2040553	1.49
AD3	29	1241960	0.75				35	2917322	1.56
AD4	44	1510038	2.03	37	1235902	1.72	36	1980628	1.64
ZL0	41	2776102	1.84	30	1286291	1.38	47	1100192	2.21
ZL1	40	1095996	1.87	35	923467	1.65	44	4600000	1.93
ZL2	45	1411006	2.09	31	3311900	1.37	47	1008866	2.22
ZL3	49	2250206	2.23				47	1506277	2.18
ZL4	39	1950446	1.78	42	2177207	1.91	51	1004079	2.41
LO0	47	1984928	2.15	33	178296	1.68	30	1065237	1.39
LO1	46	2479687	2.08				22	16902	0.79
LO2	46	2242893	2.09	39	831761	1.85	36	2566000	1.62
LO3	46	1876127	2.11				29	673088	1.38
LO4	45	1165517	2.11	31	2304006	1.39	31	719143	1.47
SR0	41	3025916	1.83	45	577871	2.18	38	2521302	1.71
SR1	46	3282023	2.05				32	260963	1.91
SR2	54	3310095	2.42	30	1149325	1.39	33	1639047	1.51
SR3	45	3709031	1.99				34	1400000	1.57
SR4	57	4137476	2.53	33	766659	1.56	33	2400000	1.48
CTL	43	1119123	2.02	38	1510377	1.75	38	578787	1.88