

## Características físico-químicas de las aguas de los afluentes del Embalse Arenal, Costa Rica y su relación con el plancton

Pia Paaby

Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica, 2050 San Pedro, Costa Rica.

(Revised 17-X-1994. Accepted I-XI-1994)

**Abstract:** The Arenal watershed (NW Costa Rica) is comprised of (1) the Caño Negro and Chiquito rivers and (2) the Sábalo, Piedras, Jilguero, Aguacate, Rugama and Dos Bocas stream systems. The first system is characterized by higher values of total suspended solids, conductivity, pH, dissolved oxygen, nitrate and phosphorus, as well as lower temperatures than the second system of streams. Because of morphometrical and depth differences throughout the length of the receiving reservoir, the effect of the various affluents on plancton population dynamics are hypothesized to vary accordingly.

**Key words:** Reservoirs, affluents and mixing, Neotropical, water quality, Costa Rica.

La limnología es el campo de la ciencia que se define como el estudio de las aguas epicontinentales (Goldman & Horne 1983). Sin embargo, la geomorfología regional resulta en una diversidad de condiciones; tal como, aguas escurriendo en quebradas y ríos o circulando en lagos y estuarios. Entre estos dos extremos están los embalses, los cuales generalmente presentan una dimensión de profundidad pero con un movimiento de aguas preferencialmente hacia la toma de aguas. La tasa de utilización de las aguas embalsadas determina la tasa de renovación del sistema (Margalef 1983).

La construcción de sistemas regulados aumenta con el aumento de la población para satisfacer necesidades de energía hidroeléctrica, para almacenar agua potable o para irrigación, recreación, y otros. Margalef (1983) calcula que entre una décima y una tercera parte del caudal total mundial se encuentra bajo algún tipo de regulación artificial. En Costa Rica existen varios embalses, siendo Arenal el más grande y el responsable del 80 % de la producción hidroeléctrica (Depto. Estudios Especiales, ICE com.pers., 1992).

El embalse Arenal ha sido sujeto a una serie de estudios hidrológicos previos a su construcción (Bussing & López 1977, ICE 1972, 1974), estudios ecológicos durante el llenado (CCT 1980) y algunos estudios climáticos posteriores a su llenado (Chacón 1984). Desde el punto de vista limnológico, el estudio del embalse se ha enfocado en el zooplancton (Collado *et al.* 1984), y el fitoplancton (Umaña & Collado 1990).

La dinámica de corrientes del Embalse Arenal se ha discutido especialmente en lo referente al efecto del viento, la posición de la toma de aguas y la fuerza de entrada de los afluentes (ICE 1985). Ese estudio concluye que el agua y sus corrientes dentro del embalse se mueven siguiendo el eje principal, esto es, en dirección noroeste. La estratificación y mezcla también se considera en el trabajo del ICE (1985), concluyendo que no hay estratificación en el embalse. Horne (1985) reconsidera estos datos de temperatura y oxígeno disuelto presentados en el estudio del ICE (1985) y enfatiza que el embalse sí presenta estratificación durante la mayor parte de los meses del año. Con todo esto,

estas disertaciones olvidan considerar el efecto que el agua de los afluentes tiene sobre la dinámica general de mezcla cuando posee una mayor densidad. De esta manera, el presente estudio determina las características de las aguas de los afluentes del Embalse Arenal y compara los resultados con los datos existentes para las aguas del Embalse.

### MATERIAL Y METODOS

**Area de estudio:** El embalse Arenal (Fig. 1) es el resultado de la construcción de una represa de tierra (55 m) sobre el Río Arenal (1978) que cubrió una laguna natural. Se localiza en una depresión tectónica de la Cordillera de Tilarán al norte de Costa Rica (10° 30' N, 84° 50' W). Tiene una elevación sobre el nivel del mar de 545 m y posee un volumen de 1.7 millones m<sup>3</sup> (Horne 1985). Las características

descriptivas del embalse se resumen en el Cuadro 1. En contraste a la estacionalidad marcada que se observa en la precipitación y los vientos, la radiación solar y la temperatura se mantienen relativamente constantes en el año (Fig. 2).

El área de drenaje del embalse consiste de colinas redondeadas deforestadas en su mayoría y continuamente expuestas a la fuerza de los vientos alisios provenientes del Caribe. Estos vientos pueden tener un efecto significativo sobre la mezcla del embalse ya que las colinas únicamente sobrepasan los 250 m de la superficie del agua. Actualmente, los afluentes del embalse son 48, de donde 34 son de primer orden, 14 de segundo y dos de tercero (basado en mapa 1:50000) (según clasificación de Horton-Strahler; Horton 1945, Strahler 1952). Las quebradas definidas aquí como de primer orden constituyen en su mayoría (obs. pers.) afluentes intermitentes con excepción de la Q. Rugama

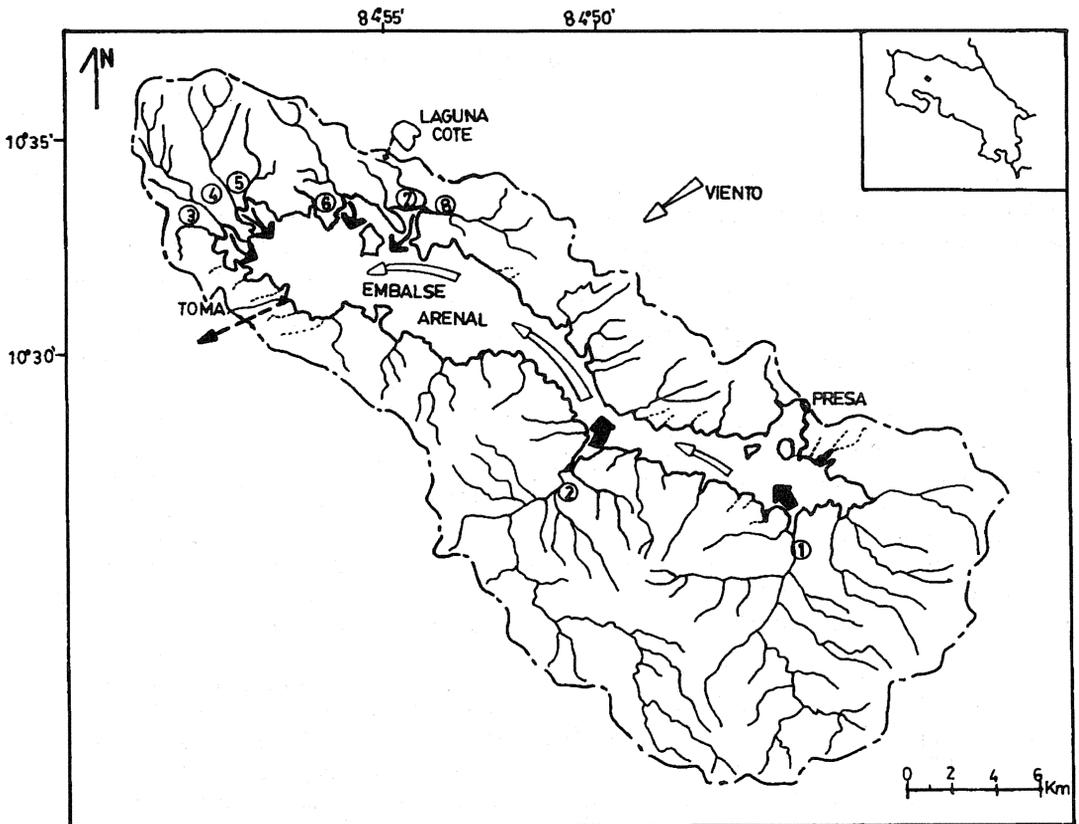


Fig. 1. Delimitación del área de drenaje del embalse Arenal. Flechas negras ilustran el caudal proporcional de 1. R. Caño Negro, 2. R. Chiquito, 3. Q. Sábalo, 4. R. Piedras, 5. Q. Jilguero, 6. Q. Aguacate, 7. Q. Rugama y 8. Q. Dos Bocas. Flechas blancas ilustran el movimiento de aguas hacia la toma de aguas.

## CUADRO 1.

Algunas características morfológicas del embalse Arenal,  
Costa Rica.

Área superficial máxima (km <sup>2</sup> )*	87
Longitud máxima (km)	29
Ancho máximo (km)	6
Profundidad media (m)	20.88
Profundidad máxima (m)	55
Volumen (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	1.67
Longitud litoral (km)	105
Desarrollo de orilla	3.31
Área de la cuenca (km <sup>2</sup> )**	403.5
Escurrimiento medio anual (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	1545
Tiempo de renovación (años)	1.1

\* Nivel de 539 m snm

\*\* Sin tomar en cuenta el espejo del embalse. Total 490.5 km<sup>2</sup>

Fuente: Vega-Mejía, 1980.

(sin tributarios) que recibe agua de la Laguna Cote (por un túnel de desvío) y por ende fluye durante todo el año.

Para este estudio se escogió los siguientes afluentes: Río Caño Negro, Río Chiquito, Quebrada Sábalo, Río Piedras, Quebrada Jilguero, Quebrada Aguacate, Quebrada Rugama y la Quebrada Dos Bocas (Fig. 1). En el Cuadro 2 se presenta el área de drenaje, el caudal e importancia relativa de estos afluentes al total de la escurrimiento que entra al embalse.

**Métodos:** La presente investigación se llevó a cabo durante los meses de junio de 1990 y agosto de 1991. Las visitas a la zona de estudio siguieron los patrones de cambio estacional y fueron lo más frecuente posible (i.e. máximo de mes por medio) Las quebradas y ríos se muestrearon en el punto cercano a su desembocadura en el embalse. Los ríos Caño Negro y Chiquito se muestrearon utilizando una embarcación de pequeño bote y el resto de los sitios se visitaron por tierra.

En el campo se tomó datos de temperatura (termómetro común) y oxígeno disuelto (YSI58), y se tomó muestras de 1000 ml de agua sin filtrar en botellas de polietileno prelavadas con agua destilada. De esta muestra se determinó el pH (electrónico de pH), la alcalinidad (titulación con ácido débil, Wetzel & Likens 1979), la conductividad (conductímetro) y el total de sólidos en suspensión (filtrado y secado en filtros pre-pesados de fibra de vidrio

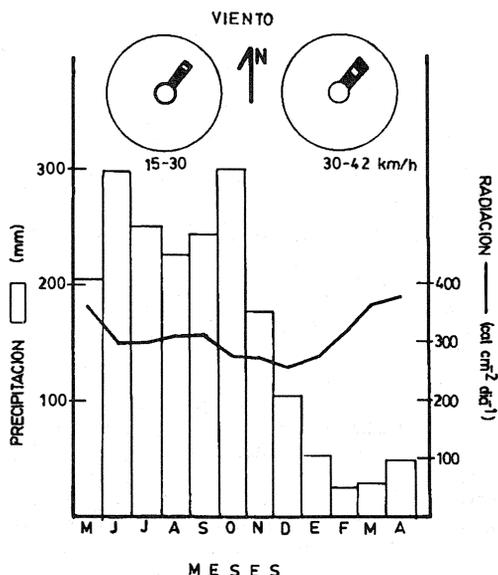


Fig. 2. Distribución mensual de la precipitación, radiación solar y dirección e intensidad del viento. Datos de 1978-1983, Estación Tronadora (Horne 1985).

Whatmann GF/C, Wetzel & Likens 1979) en el laboratorio. Además, en botellas de 60 ml de polietileno prelavadas con HCl y agua destilada se tomó dos muestras sin filtrar para determinar las concentraciones de fósforo total y amonio; y dos muestras filtradas con filtros de 0.45  $\mu$ m para medir nitrato y fósforo reactivo disuelto. El fósforo reactivo disuelto y el fósforo total se analizaron siguiendo el método de azul de molibdeno (APHA 1985) pero con la diferencia de que, para determinar el fósforo total, la muestra se somete a una digestión con ácido sulfúrico concentrado e incubado en un autoclave durante 20-30 minutos. El análisis de nitrato sigue el método de reducción por hidrazina (Kamphake *et al.* 1967) y el amonio, el método de indofenol (Solórzano 1969). Todas las muestras para nutrientes se les congeló y posteriormente se analizó en los laboratorios de la Estación Biológica La Selva (Organización para Estudios Tropicales) antes de un período de tres meses.

## RESULTADOS

Los afluentes del Embalse Arenal incluidos en el presente trabajo representan, en conjunto, el 55 % del total del área de drenaje y el 40 %

CUADRO 2

*Algunas características de los principales afluentes del embalse Arenal, Costa Rica.*

	Cuenca (km <sup>2</sup> )	Longitud (km)	Número tributarios	Caudal anual (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Orden	Aporte total escorrentía (%)	Aporte total drenaje (%)
Caño Negro	77	30	11	260.2	3	16.84	19.08
Chiquito	92	60	14	217.48	3	14.08	22.80
Sabalo	12	15.5	3	29*	2	1.88	2.97
Piedras	12	13.5	3	28.95	2	1.87	2.97
Jilguero	5.5	10.5	1	13.5*	2	0.87	1.36
Aguacate	9	12.5	2	22*	2	1.42	2.23
Rugama	5***	10.5	0	12.06**	1	0.78	1.24
Dos Bocas	10	13.5	2	24.5*	2	1.59	2.48

\* Calculado con base en el área de drenaje

\*\* Subestimación ya que recibe las aguas de la laguna Cote

\*\*\* Unicamente de la quebrada

Incluyendo el área de drenaje de Cote más el espejo de agua= 5+8+3= 16 km<sup>2</sup>

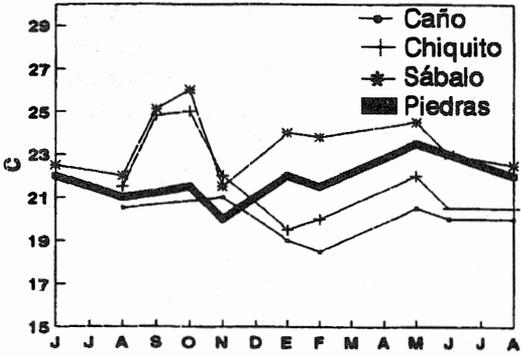
Mediciones basadas en mapa cartográfico 1:50000 Instituto Geográfico Nacional.

CUADRO 3

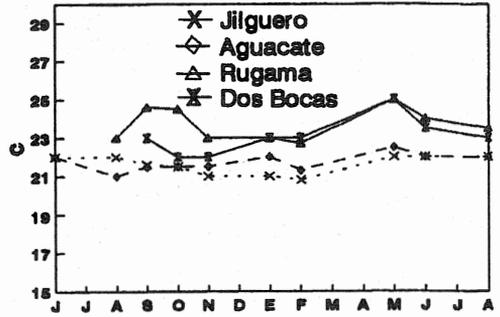
*Resumen de los datos físico-químicos recolectados entre junio 1990 y agosto 1991 de los principales afluentes del Embalse Arenal, Costa Rica*

Afluente	Temp C	O2 mg/l	pH uS	cond mg	alcal CaCO3/l	TSS mg/l	NO3-N ug/l	PO4-P ug/l	PT ug/l	NH4-N ug/l	
n	7	8	8	8	7	6	8	8	6	2	
Caño Negro	X d.e.	19.93 0.89	9.00 1.77	6.90 0.57	64.00 25.06	20.14 12.51	95.37 148.96	173.25 130.76	35.63 12.77	130.92 132.69	
n	9	9	9	9	7	7	9	9	7	5	
Chiquito	X d.e.	21.76 1.98	8.47 1.98	7.10 0.51	88.88 30.49	31.14 16.71	141.80 311.57	103.44 80.67	39.11 17.76	210.93 174.72	36.50 24.82
n	10	10	10	10	8	7	10	10	7	6	
Sabalo	X d.e.	23.49 1.44	7.49 2.19	6.68 0.42	53.50 31.37	23.13 13.03	12.03 8.81	48.60 35.06	35.10 21.44	94.43 69.88	29.75 30.95
n	10	10	10	10	8	7	10	10	7	6	
Piedras	X d.e.	21.77 0.99	8.37 1.95	6.79 0.47	41.90 11.92	14.68 8.07	8.43 5.11	49.40 27.84	28.60 12.55	66.43 40.96	31.42 36.13
n	10	10	10	10	8	7	10	10	7	6	
Jilguero	X d.e.	21.59 0.49	8.46 1.85	6.86 0.48	45.60 16.54	19.30 13.07	10.51 6.92	45.90 25.71	29.05 16.18	55.00 23.89	47.17 75.99
n	10	10	10	10	8	7	9	10	7	6	
Aguacate	X d.e.	21.71 0.41	8.32 1.35	6.39 0.49	28.50 10.64	10.88 12.86	9.91 7.76	46.00 28.15	19.75 16.83	34.64 16.99	23.17 10.56
n	9	9	9	9	8	7	9	9	7	6	
Rugama	X d.e.	23.70 0.85	8.21 1.38	6.61 0.56	32.40 9.15	9.13 6.66	8.31 5.19	19.50 12.39	23.72 21.48	57.43 32.00	32.08 19.72
n	8	8	8	8	7	6	7	7	7	6	
Dos Bocas	X d.e.	23.06 0.94	7.94 0.79	6.73 0.57	55.38 16.63	28.14 20.83	10.38 5.47	61.64 37.85	16.86 9.99	80.43 61.27	20.08 7.19

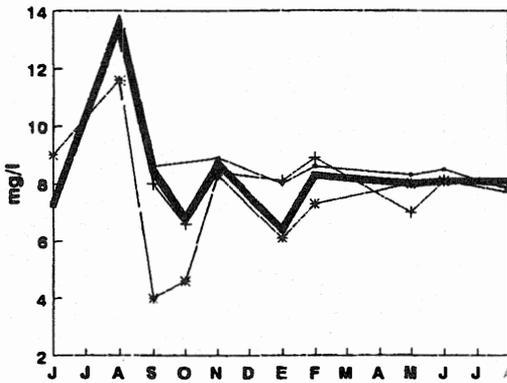
n= número de muestreos, X= promedio, d.e.= desviación estándar.



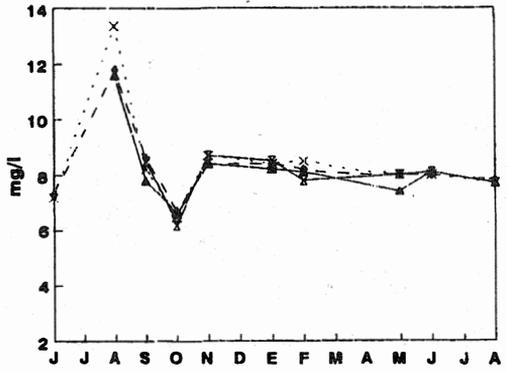
a.



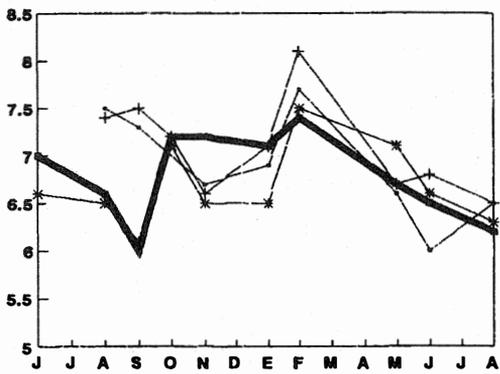
b.



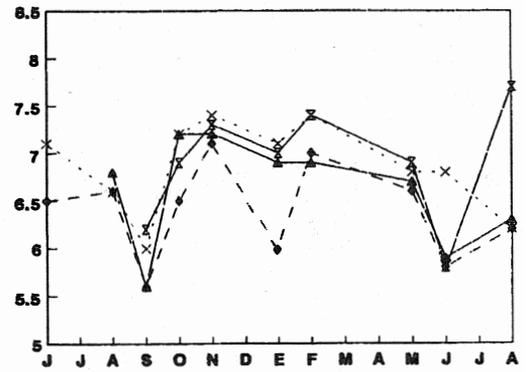
c.



d.

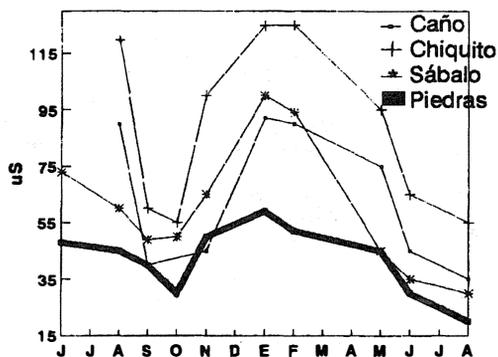


e.

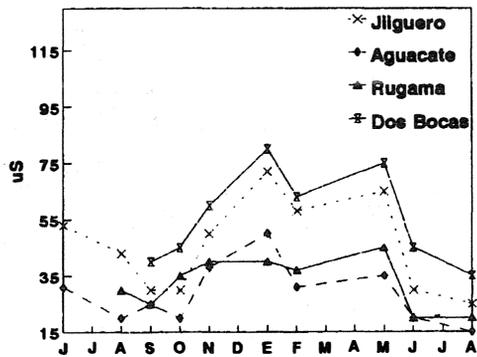


f.

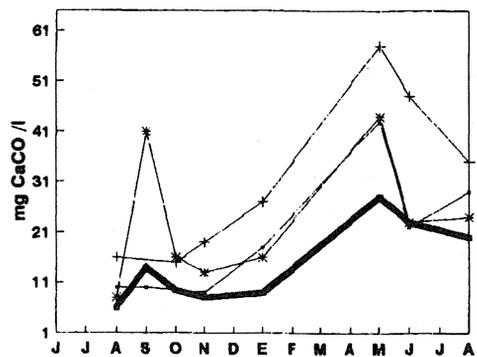
Fig. 3. Distribución mensual de la temperatura, (a,b) oxígeno disuelto (c,d) y pH (e,f) de las aguas de los afluentes del embalse Arenal (junio 1990 - agosto 1991).



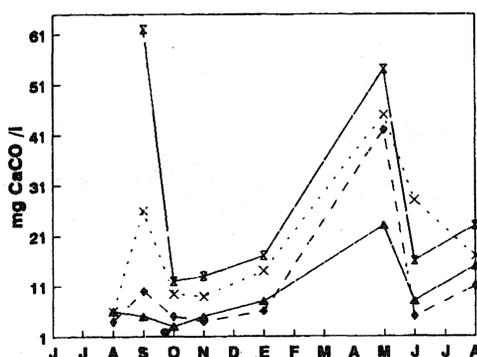
a.



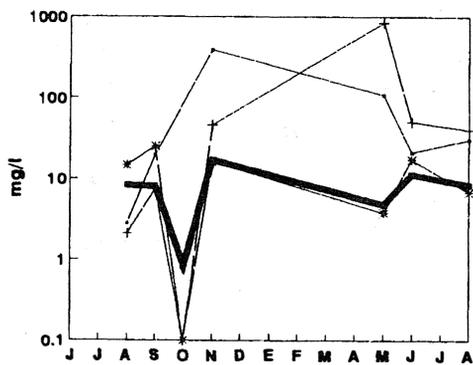
b.



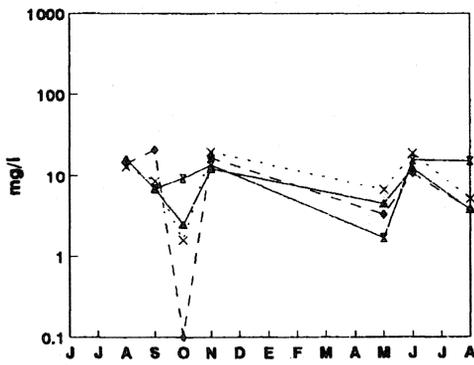
c.



d.



e.



f.

Fig. 4. Distribución mensual de la conductividad (a,b) alcalinidad (c,d) y total de sólidos en suspensión (e,f) de las aguas de los afluentes del embalse Arenal (junio 1990 - agosto 1991).

de la escorrentía total. Las variables medidas a través del estudio se resumen en el Cuadro 3 y la distribución mensual en las Figs. 3-5. Es importante notar que, en promedio, los ríos Caño Negro y Chiquito presentan valores de nutrientes (nitrato, fosfato reactivo disuelto y fósforo total), conductividad, pH, oxígeno disuelto y total de sólidos en suspensión (TSS) mayores que los encontrados en las demás áreas de drenaje de la cuenca (Cuadro 3). El aporte absoluto de TSS es mayor para estos dos ríos, pero el aporte por unidad de área de drenaje es similar al de los otros sistemas. La temperatura de R. Caño Negro y Chiquito es significativamente menor ( $F_{6,52}=10.52$ ,  $p<0.05$ ) que en cualquiera de los demás de diciembre a agosto (Fig. 3). La alcalinidad de R. Chiquito en cada muestreo es siempre mayor que la determinada en los demás afluentes (Fig. 4). Sin embargo, sólo es significativamente mayor (LSD,  $P<0.05$ ) que en las quebradas Piedras, Aguacate y Rugama. En general, al analizar el comportamiento de todas las variables medidas a lo largo del año, se encuentra una alta variabilidad (Fig. 3-5), encontrando ninguna diferencia significativa ( $F_{1,7}=0.88$ ,  $P>0.05$ ) entre los meses lluviosos y los secos.

En la Fig. 6 se describe al embalse Arenal con base en su: 1) entrada de afluentes, 2) temperatura (desembocadura de los afluentes), 3) total de sólidos en suspensión (desembocadura de los afluentes), 4) morfología del reservorio, 5) batimetría, 6) profundidad de la termoclina, 7) dirección y fuerza del viento. Con base en la temperatura y TSS de las aguas de los afluentes y del embalse junto con la ocurrencia de viento y su batimetría (profundidad), el embalse Arenal tiene dos "sub-sistemas" (A,B; Fig. 6) claramente definidos.

## DISCUSION

**La Cuenca:** Vega-Mejía (1980) llevó a cabo un estudio preliminar de los afluentes del embalse Arenal en setiembre de 1979 durante el llenado del embalse. Comparando sus datos con el presente trabajo durante el mismo mes, no se encuentra diferencia en el fosfato disuelto, aunque con temperatura, pH, alcalinidad y TSS más alto que lo determinado en setiembre 1990 durante el actual estudio. Los menores valores actuales significan una estabilización en las obras de la construcción de carreteras,

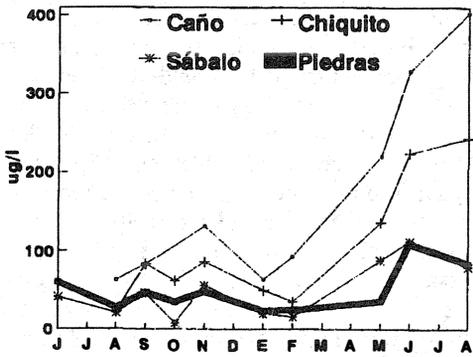
además de una disminución en las actividades altamente erosivas en el área de drenaje.

Los ocho ríos estudiados se pueden dividir en dos grupos; un grupo (1) con el R. Caño Negro y el R. Chiquito y otro grupo (2) con los otros seis. Fundamentalmente, el tamaño del área de drenaje de los afluentes en el grupo 1 acompañado de un alto porcentaje de cobertura vegetal (CCT 1980) resultan en una menor temperatura, mayor concentración de nutrientes y, en ocasiones, mayor alcalinidad y conductividad que lo determinado para las aguas de los tributarios del segundo grupo. Las áreas de drenaje de los afluentes del grupo 2 se encuentran mayormente bajo pastizales o zonas arbustivas bajas (CCT 1980), que han estado expuestas a la acción del clima por mucho tiempo. Esto es, los nutrientes del suelo han sido lixiviados del sistema.

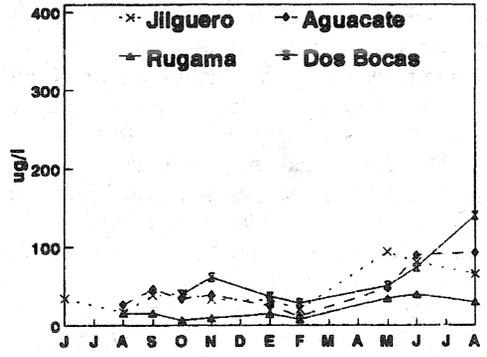
El amonio en un sistema no perturbado es una forma que permanece poco tiempo como tal ya que es absorbido rápidamente por los productores primarios o transformado inmediatamente por bacterias a nitratos (nitrificación). De esta manera, las concentraciones normales en los ríos se espera que sean bajas (Margalef 1983). Sin embargo, en Vega-Mejía (1980) y en el presente estudio se ha encontrado valores intermedios-altos y con fluctuaciones variables a través del tiempo. Los deshechos de las lecherías, las porquerizas y las letrinas, comunes en la cuenca de la Q. Sábalo, R. Piedras, Q. Jilguero, Q. Aguacate y Q. Dos Bocas, son actividades que influyen en las concentraciones de este nutriente en las aguas de los ríos.

Así, las aguas que entran en el Embalse Arenal tienen buena oxigenación, un pH cercano al neutro y con acarreo de sedimentos y nutrimentos comparables a otras regiones poco perturbadas de Costa Rica (Paaby 1988, Pringle et al. 1986, 1990).

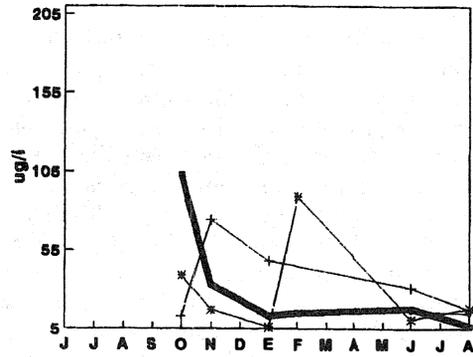
**Los afluentes y el embalse:** Al comparar las características de los afluentes con las de las aguas del Embalse, todos los afluentes poseen temperaturas menores y total de sedimentos en suspensión mayores que lo medido en el fondo de varios sitios en el embalse (Fig. 6) (Vega-Mejía 1980, Horne 1985). Consecuentemente, las aguas de los afluentes poseen densidades mayores que lo encontrado en el embalse y se espera que éstas, al entrar al embalse, se localicen por debajo de la termoclina (15-20 m, véase Fig. 6) (Vega-Mejía 1980, Horne 1985). El



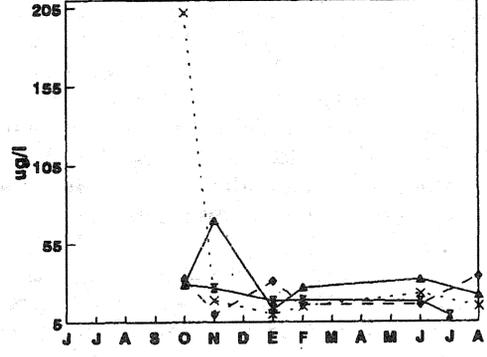
a.



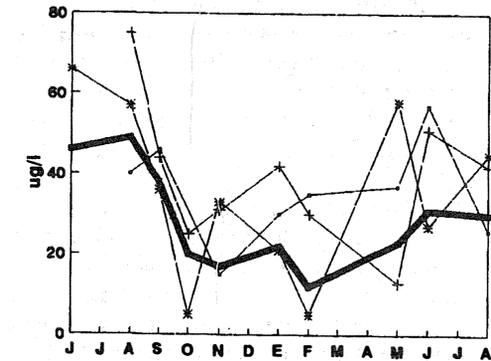
b.



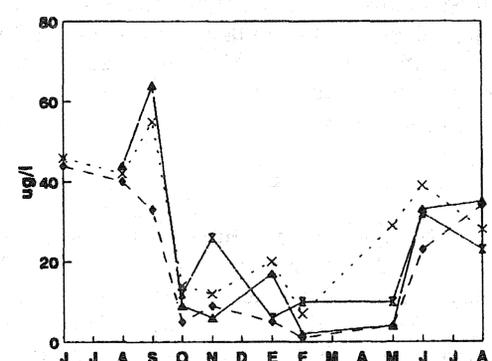
c.



d.



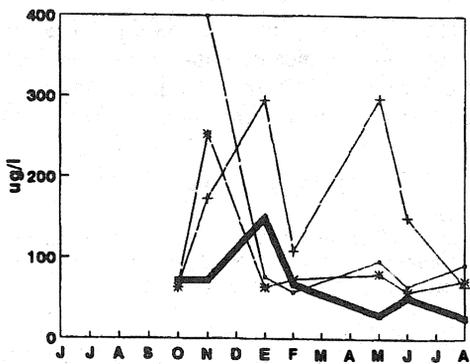
e.



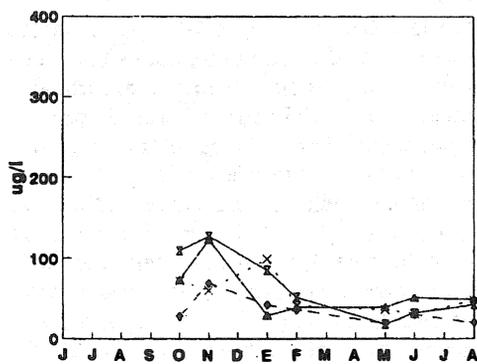
f.

Fig. 5. Distribución mensual del nitrato-N, (a,b) amonio-N, (c,d) fosfato-P (e,f) y fósforo total (g,h) de las aguas de los afluentes del embalse Arenal (junio 1990 - agosto 1991).

Continúa



g. Fig. 5. Continuación.



h.

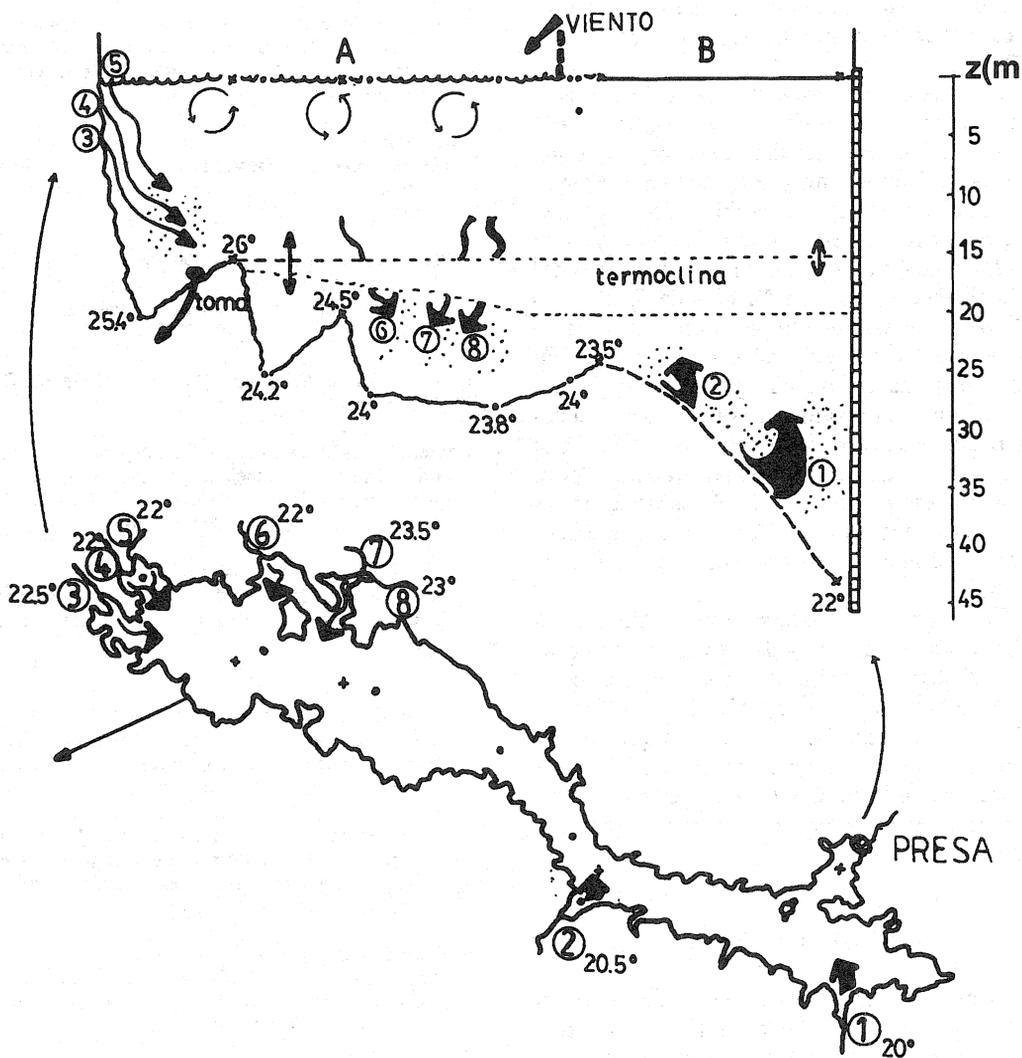


Fig. 6. Morfometría y batimetría del embalse Arenal. La temperatura de las aguas de los afluentes 1. R. Caño Negro, 2. R. Chiquito, 3. Q. Sábalo, 4. R. Piedras, 5. Q. Jilguero, 6. Q. Aguacate, 7. Q. Rugama y 8. Q. Dos Bocas. (punto) corresponde a los sitios de muestreo de la temperatura del fondo (Vega-Mejía 1980), (cruz) del ICE (1985).

efecto inmediato de que las aguas de los afluentes se localicen en el fondo, es la deposición de su material en suspensión contribuyendo inmediatamente al llenado del reservorio especialmente en el sub-sistema B (Fig. 6). En el sub-sistema A, la combinación de 1) una mayor intensidad de viento, 2) una menor profundidad y 3) succión por parte de la toma de aguas (a 15 m de profundidad), resultará en una mezcla de las aguas profundas hacia las superficiales. En el sub-sistema B, la profundidad es considerablemente mayor, el viento es imperceptible durante muchos meses del año, y las temperaturas menores del agua del R. Caño Negro y Chiquito contribuyen a la ocurrencia de una estratificación fuerte como la que planteó Horne (1985).

Las diferencias propuestas en la dinámica de mezcla entre los sub-sistemas del embalse debe resultar claramente en diferencias en las poblaciones de fitoplancton y zooplancton presentes. En la zona A se espera cambios rápidos e irregulares, especialmente durante la época seca en contraposición con una comunidad planctónica más estable en la zona B. Umaña & Collado (1990) presentan un estudio sobre el fitoplancton y zooplancton del embalse Arenal con datos de riqueza de especies y abundancia a través del año de un sitio que corresponde a la zona B cerca de la desembocadura del R. Caño Negro. Estos autores concluyen que hay "poca variación en la composición de especies en las diferentes épocas del año", resultados que apoyan las características propuestas para el sub-sistema B.

En resumen, los afluentes de la cuenca del Arenal tienen un efecto directo sobre las aguas y su dinámica poblacional; sin embargo, el efecto sobre las aguas superficiales es diferente a lo largo del embalse. Así, se hipotetiza que la incorporación de las aguas profundas a la zona superficial en la zona noroeste es bastante rápida, y muy lenta, si existe, en la zona sureste del reservorio.

#### AGRADECIMIENTOS

El presente estudio se llevó a cabo con el apoyo del Centro de Investigaciones de Ciencias del Mar y Limnológicas y financiado por la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica (808-90-017). Agradecemos

también el apoyo indirecto de la Organización para Estudios Tropicales (laboratorio y equipo de análisis) y el estímulo y ayuda con las figuras que recibí de Margarita Núñez.

#### REFERENCIAS

- American Public Health Association. 1985. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th Ed., Nueva York.
- Bussing, W.A. & M.I. López. 1977. Distribución y aspectos ecológicos de los peces de las cuencas hidrográficas de Arenal, Bebedero y Tempisque, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 25: 13-37.
- Centro Científico Tropical. 1980. Estudio Ecológico de las Zonas de Afectación del Proyecto Arenal. Informe Consultoría al Instituto Costarricense de Electricidad, San José. 338 p.
- Chacón, R. 1984. Informe climático de la zona circundante al embalse Arenal. Depto. Estudios Básicos. Oficina de Hidrología. Instituto Costarricense de Electricidad, San José.
- Collado, C., D. Defaye, B.H. Dussart & C.H. Fernando. 1984. The freshwater copepoda (Crustacea) of Costa Rica with notes on some species. *Hydrobiologia* 119: 89-119.
- Goldman, C.R. & A.J. Horne. 1983. *Limnology*. Mc Graw-Hill, Nueva York.
- Horne, A.J. 1985. Preliminary limnological investigation, origin and causes of the emergence of "Gamalote", and recommendations for future studies. Instituto Costarricense de Electricidad, San José.
- Horton, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 56: 275-370.
- Instituto Costarricense de Electricidad. 1972. Informe hidrológico del proyecto Arenal. Oficina de Estudios Básicos. Sección Hidrometeorológica, Instituto Costarricense de Electricidad, San José.
- Instituto Costarricense de Electricidad. 1974. Frecuencia de avenidas en el sitio de presa del proyecto Arenal. Oficina de Estudios Básicos, Instituto Costarricense de Electricidad, San José.
- Instituto Costarricense de Electricidad. 1985. Documento de trabajo sobre investigación del Gamalote en el embalse Arenal. Depto. Estudios Especiales. Instituto Costarricense de Electricidad, San José.
- Kamphake, L.J., S.A. Hannah y J.M. Cohen. 1967. Automated analysis for nitrate by hydrazine reduction. *Wat. Res.* 1: 205-216.

- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Omega, Barcelona.
- Paaby, P. 1988. Light and nutrient limitation in a lowland Costa Rican stream. Ph.D. Thesis, University of California, Davis. 194 p.
- Pringle, C.M., P. Paaby, P. D. Vaux & C.R. Goldman. 1986. In-Situ nutrient assays of periphyton growth in a lowland Costa Rican stream. *Hydrobiologia* 134: 207-213.
- Pringle, C.M., F.J. Triska & G. Browder. 1990. Spatial variation in basic chemistry of streams draining a volcanic landscape on Costa Rica Caribbean slope. *Hydrobiología* 206: 73-85.
- Solórzano, L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method. *Limnol. Oceanogr.* 14: 799-801.
- Strahler, A.N. 1952. Hypsometric area (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 63: 1117-1142.
- Umaña, G. & C. Collado. 1990. Asociación planctónica en el Embalse Arenal, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 38: 311-321.
- Wetzel, R.G. & G.E. Likens. 1979. *Limnological Analysis*. W.B. Saunders, Philadelphia.
- Vega-Mejía, A. 1980. Estudio de limnología. Embalse de Arenal. pp. 267-291. In *Estudio Ecológico de las Zonas de Afectación del Proyecto Arenal*, Centro Científico Tropical, San José.