

Variación vertical y temporal de la productividad primaria y su relación con algunos elementos nutritivos en un reservorio de agua tropical, río Socuy, Venezuela

Julio César Marín L., Hilda Ledo de Medina, Jim L. Hernández R. y Carlos López¹*
Laboratorio de Química Ambiental, Departamento de Química. ¹Laboratorio de Limnología, Departamento de Biología. Facultad Experimental de Ciencias, La Universidad del Zulia. Maracaibo 4011, Estado Zulia, Venezuela

Recibido: 03-09-98. Aceptado: 29-04-99

Resumen

Un estudio sobre la variación vertical y temporal de la productividad primaria y las principales formas de nitrógeno y fósforo fue realizado en el embalse del río Socuy, Estado Zulia, Venezuela, principal fuente de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Maracaibo y zonas adyacentes. La toma de las muestras se llevó a cabo en forma estratificada a lo largo de la columna de agua, durante 9 meses, comprendiendo los periodos de lluvia y sequía. En general la actividad fotosintética fue relativamente alta, mostrando tres máximos en los meses de Enero, Abril y Agosto, con un promedio para la productividad neta de $94,0 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ y $176,2 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ para la productividad primaria bruta. La relación molar N/P (54:1) indica que el fósforo es el nutriente limitante de la producción. Fue característica la persistencia de una estratificación térmica, con bastante resistencia a la mezcla, el desarrollo de una termoclina y una curva clinógrada típica para el oxígeno durante la mayor parte del período de estudio, lo cual repercute fuertemente sobre la distribución de los nutrientes y en la calidad de las aguas del ecosistema.

Palabras clave: Distribución vertical; embalses tropicales; estratificación térmica; nutrientes; productividad primaria; variación temporal.

Vertical and temporal variation of primary productivity and its relationship with some nutrients in a tropical reservoir, Socuy river, Venezuela

Abstract

A study on the vertical and temporal variation of primary productivity and the most important forms of nitrogen and phosphorous was carried out in the reservoir of the Socuy river, Zulia state, Venezuela, principal supply of drinking water for the city of Maracaibo and adjacent zones. Water samples were taken in a stratified form in vertical profiles over a nine month period, during the dry and rainy periods. The overall photosintetic activity was high, showing three maxima in January, April and August, with an average net productivity of $94,0$

* Autor para la correspondencia. E-mail: hledo@solidos.ciens.luz.ve

$\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ and $176,2 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ for the primary brute productivity. The N/P molar ratio (54:1) indicates that the Socuy reservoir is P limited. The persistence of a thermal stratification, with enough resistance to the mixture, the development of a thermocline and a typical clino-grade curve for oxygen was significant during most of the study. These variables influence the distribution of nutrients and the water quality of the ecosystem.

Key words: Nutrients; primary productivity; temporal variation; thermic stratification; tropical reservoirs; vertical distribution.

Introducción

El explosivo crecimiento demográfico en América Latina y el Caribe durante las últimas décadas, y el subsecuente incremento de la demanda de recursos acuáticos, ha acelerado la construcción de reservorios artificiales para el almacenamiento y distribución del agua. Por esta razón, es necesario llevar a cabo un monitoreo continuo de las condiciones en las cuales se encuentran estos cuerpos de agua, en lo que se refiere a sus constituyentes biológicos y fisicoquímicos, sobre todo si se trata de depósitos de agua para consumo humano (1).

Los embalses, en general, son de gran interés debido a que poseen características muy distintas a la de otros tipos de ecosistemas acuáticos, de manera que caracterizar un sistema fluvial de esta índole constituye un tema muy interesante de estudiar de acuerdo a los múltiples usos que se le suele dar a sus aguas, más aún cuando se observan cambios en el ecosistema, como la reducción de su vida útil por acción directa del hombre.

El conducir un estudio sobre la productividad primaria en un ambiente acuático particular permite obtener información cuantitativa acerca de la cantidad de energía disponible para sustentar lo que se ha llamado "bioactividad" del sistema, o la capacidad de éste para la formación de energía potencial, y la subsecuente conversión de ésta a energía cinética por unidad de volumen o superficie. En resumen, la medida de la productividad proporciona un modo para conocer la eficiencia en la transferencia de energía dentro del sistema (2, 3).

En el caso de los embalses, la importancia de la productividad primaria es fundamental, tomando en cuenta los diversos usos que se le suele dar a sus aguas. A partir de la información obtenida sobre la producción primaria y los parámetros fisicoquímicos, que suelen realizarse simultáneamente, se puede tener una herramienta muy útil para evaluar la calidad de las aguas almacenadas. De igual forma es posible realizar un análisis de la etapa en la cual se encuentran los procesos de eutroficación y sedimentación que se puedan estar llevando a cabo y determinar su magnitud.

La productividad primaria es un proceso complejo en el cual están involucrados diferentes factores bióticos y abióticos. Entre los factores bióticos pueden mencionarse como los más importantes, la tasa de reproducción de los organismos y la herbivoría. Entre los factores abióticos, se consideran los más importantes, la radiación solar, la temperatura y los principales nutrientes (4).

La concentración de los nutrientes tiene un papel fundamental sobre la productividad del fitoplancton. Dentro de los más importantes se destacan las diferentes formas de nitrógeno y fósforo, los cuales son considerados generalmente como limitantes. La distribución de los nutrientes es controlada por diferentes factores, destacándose la estratificación térmica como la más importante (4).

En la presente investigación se determinaron la productividad primaria, las principales formas de nitrógeno y fósforo, la temperatura y el oxígeno disuelto en la columna de agua del embalse del río Socuy, Venezue-

la, con lo cual se evidenciaron las variaciones espacio-temporales, se establecieron algunas relaciones existentes y se evaluó el nivel trófico del sistema, con el propósito de conocer la calidad de las aguas almacenadas; principal fuente de abastecimiento para la ciudad de Maracaibo y zonas adyacentes.

Parte Experimental

Área de estudio

El embalse del río Socuy o embalse de Manuelote, se forma por el represamiento del río del mismo nombre. Este reservorio fue construido entre los meses de Agosto de 1973 y Octubre de 1978 para servir como principal fuente de abastecimiento de agua para la ciudad de Maracaibo y zonas aledañas, a las poblaciones de Campo Mara, La Concepción, La Paz y Altagracia, así como también a los complejos Petroquímico "El Tablazo" y Carbonífero del Zulia. Está ubicado en el municipio Mara del Estado Zulia,

Venezuela, a una altitud de 45 msnm entre las coordenadas geográficas: 10° 52' 52" - 10° 57' 32" de latitud norte y 72° 11' 44" - 72° 19' 32" de longitud oeste, aproximadamente a 100 Km al noroeste de la ciudad de Maracaibo. Este cuerpo de agua tiene un área aproximada de 25 Km², con profundidades media y máxima de 12,5 m y de 31,2 m, respectivamente. Se le considera como un embalse mesotrófico con una densidad fitoplanctónica promedio de 3.918 org/mL (5). La vegetación circundante está conformada principalmente por bosques intervenidos y pastos de vegetación secundaria.

Muestreo

El muestreo se llevó a cabo durante 9 meses, desde Enero hasta Septiembre de 1994, comprendiendo los períodos de lluvia y sequía. La estación experimental se estableció aproximadamente a 200 m del muro de contención (Figura 1) por ser ésta el área de mejor homogeneidad y comparable a un lago natural.

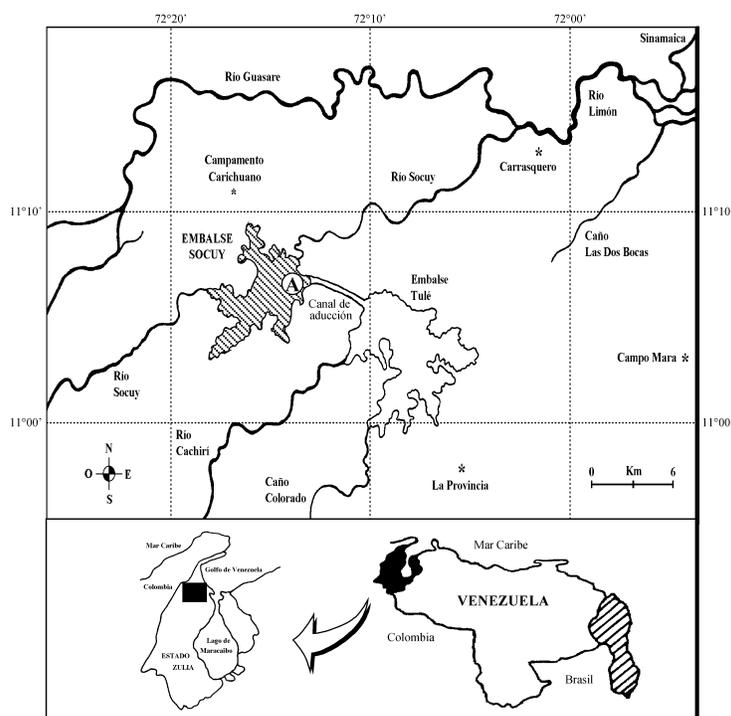


Figura 1. Ubicación de la estación de muestreo (A) en el embalse del río Socuy (Venezuela).

La captación de las muestras se realizó en forma estratificada a lo largo de la columna de agua, comenzando por la superficie, luego a 1 m de profundidad y cada 2 m hasta alcanzar el fondo (promedio: 18,0 m de profundidad).

Durante el período de estudio en el embalse del río Socuy, los valores de profundidad en el sitio de muestreo oscilaron desde un mínimo de 13,0 m; registrado en el mes de Julio, hasta un máximo de 23,0 m para el mes de Enero.

Métodos

Productividad primaria: Se cuantificó por el método basado en el cambio del contenido de oxígeno disuelto en botellas claras y oscuras incubadas *in situ* entre las 10:00 y 14:00 h del día, donde se esperaban las mayores tasas de fotosíntesis por ser este el período de mayor intensidad de radiación solar. Para calcular los valores de la productividad primaria se emplearon las siguientes expresiones (6):

$$PPB \text{ (mg C.m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}) = (\text{ODCl} - \text{ODObs}) \times 1.000/\text{Pq.t}$$

$$PPN \text{ (mg C.m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}) = (\text{ODCl} - \text{ODInic}) \times 1.000/\text{Pq.t}$$

$$R \text{ (mg C.m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}) = (\text{ODInic} - \text{ODObs}) \times Rq \times 1.000/t$$

donde: PPB: productividad primaria bruta; PPN: productividad primaria neta; R: respiración; ODCl: concentración de oxígeno disuelto en la botella clara; ODObs: concentración de oxígeno disuelto en la botella oscura; ODInic: concentración de oxígeno disuelto en la botella inicial; Pq: coeficiente fotosintético (1,2); Rq: coeficiente respiratorio (1,0); y t: tiempo de incubación (h).

Las estimaciones de productividad primaria fueron realizadas en la superficie, a 1, 3 y 5 m de profundidad en la columna de agua.

Parámetros fisicoquímicos: La temperatura del agua fue medida *in situ* utilizando un termómetro convencional de mercurio de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ de precisión. La concentración de oxígeno disuelto se determinó mediante el método de Winkler (7); los nitritos y nitratos por los métodos estándar colorimétrico y de reducción en la columna de cadmio, seguido por el método colorimétrico, respectivamente (7). La concentración de amonio se determinó por el método potenciométrico directo, utilizando un electrodo selectivo a este ion ORION Mod. 95-12 (8), conectado a un potenciómetro CORNING pHmeter 125; el nitrógeno total Kjeldahl por el método volumétrico (7), los ortofosfatos por el método colorimétrico del ácido ascórbico y el fósforo por el método de digestión con persulfato (7).

Resultados y Discusión

Parámetros fisicoquímicos

Temperatura: La temperatura del agua osciló entre 25,0 y 32,0°C con un promedio de 28,1°C. Los perfiles verticales de temperatura son mostrados en la Figura 2.

La permanencia de la estratificación térmica fue característica durante todo el período de muestreo, observándose en algunos casos una marcada diferencia durante su descenso con la profundidad, haciéndose notable en el mes de Enero, nuevamente en Abril para mantenerse hasta finales de año, meses correspondientes a la época de sequía. Este comportamiento evidencia la formación de una termoclina lo suficientemente resistente para impedir el mezclamiento de las aguas superficiales con las del fondo (9), favorecida por la relativa profundidad del embalse y la morfometría del área circundante.

Es notorio que con el transcurrir del tiempo, las capas superficiales de agua se van calentando, lo que tiene un efecto directo sobre un aumento considerable en la temperatura de las capas inferiores.

La estratificación térmica en los embalses está muy influenciada por las tasas de

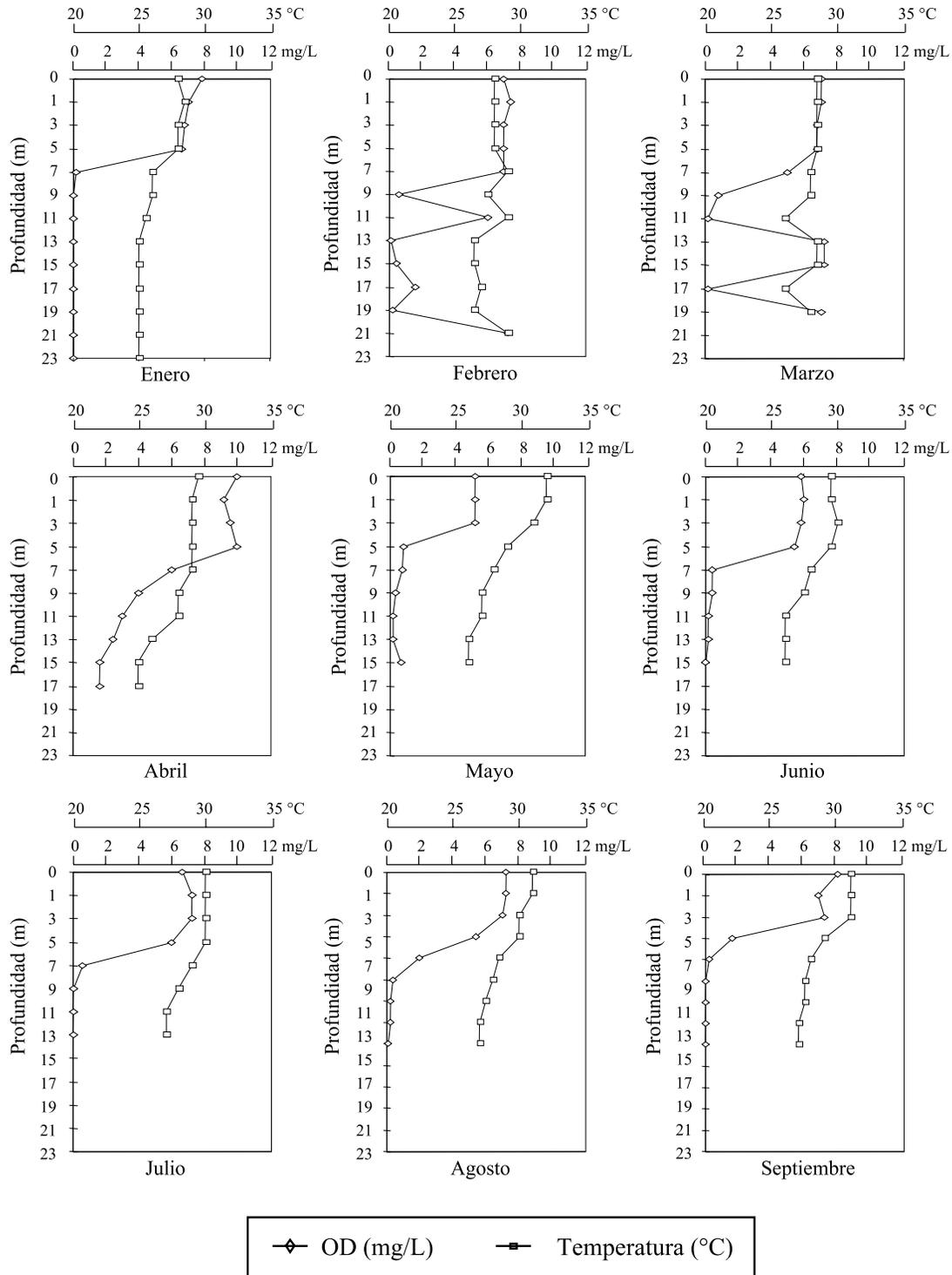


Figura 2. Distribución vertical del oxígeno disuelto (OD) y la temperatura en el embalse del río Socuy (Venezuela).

renovación del agua, así como por el nivel donde se produce la toma de agua. En el embalse del río Socuy, la compuerta que permite la salida de agua hacia el canal de trasvase (Figura 1) se encuentra a nivel profundo (6 m sobre la cota del fondo del río), por lo que la temperatura media del agua es alta. En tal situación, el embalse funciona como una trampa de calor ya que permite el desague de las aguas relativamente más frías del hipolimnio.

Aunque este embalse se ha clasificado como meromítico, por el hecho de no sufrir mezclado total (10), sería conveniente incluirlo dentro de la categoría de oligomítico debido a que los períodos de circulación son poco frecuentes (6).

Oxígeno disuelto: La concentración de oxígeno disuelto en el embalse estuvo comprendida entre 0,00 y 10,00 mg/L con un promedio de 3,49 mg/L. Los perfiles verticales se muestran en la Figura 2.

En general fue característico un descenso en la concentración de oxígeno con la profundidad, tan acentuado que causa la anoxia completa del hipolimnio por debajo de los 9 m durante la mayoría de los meses de estudio, lo que es otra evidencia de la rígida separación entre estas aguas y las del epilimnio.

La anoxia hipolimnética sólo fue rota, parcialmente, durante los meses de Febrero y Marzo, correspondientes a la época de lluvia. La entrada del río con aguas óxicas recarga el hipolimnio al desplazarse e intercarse entre la columna de agua por diferencia en sus densidades, lo cual va acompañado por el aumento de temperatura a estos niveles. Este influjo de agua no es capaz de romper la estratificación y causar el mezclado de las aguas, hecho que favorecería la oxigenación completa del hipolimnio.

La condición anóxica de las capas de aguas profundas además de proporcionar un hábitat adverso para la mayoría de las formas de vida, favorece la formación de ga-

ses nocivos tales como el ácido sulfhídrico (H_2S) y metano (CH_4) que repercuten negativamente sobre la calidad de las aguas (4). La drástica disminución en las concentraciones de oxígeno con la profundidad se ve influenciada por sus tasas de consumo durante los procesos de oxidación orgánica hipolimnética, mecanismo que se ve incrementado debido a las altas temperaturas de estas regiones tropicales (4). Otro factor que contribuye a la pérdida de oxígeno en esta zona es el trasvase de las aguas profundas por el canal de aducción hacia el embalse Tulé (Figura 1).

También la morfometría del sistema y del área circundante, contribuyen al poco mezclado de las aguas y por consiguiente a una distribución poco uniforme del oxígeno disuelto en la columna de agua. Esta escasez de oxígeno limita la posible utilización de este reservorio con fines piscícolas (11).

El resultado de la disminución del oxígeno disuelto con la profundidad es la persistencia de una curva clinógrada con respecto a la temperatura (Figura 2).

Nitrógeno: Los diagramas de la distribución vertical de nitrito ($N-NO_2^-$) se observan en la Figura 3. Sus concentraciones mostraron un promedio de 0,003 mg/L, con un mínimo de $< 0,001$ mg/L y otro máximo de 0,009 mg/L.

Las concentraciones de nitrito se mantuvieron bajas y estables durante los muestreos, con un ligero aumento con la profundidad. Este aumento en la concentración es consecuencia de las tasas de desnitrificación que ocurren durante el período de anoxia del hipolimnio; curva clinógrada de oxígeno (4).

Las concentraciones de nitrato ($N-NO_3^-$) registraron un mínimo de 0,002 mg/L y un máximo de 1,189 mg/L, con un valor promedio de 0,109 mg/L.

La Figura 3 muestra las concentraciones de nitrato en la columna de agua. En general no se observó un patrón determinado

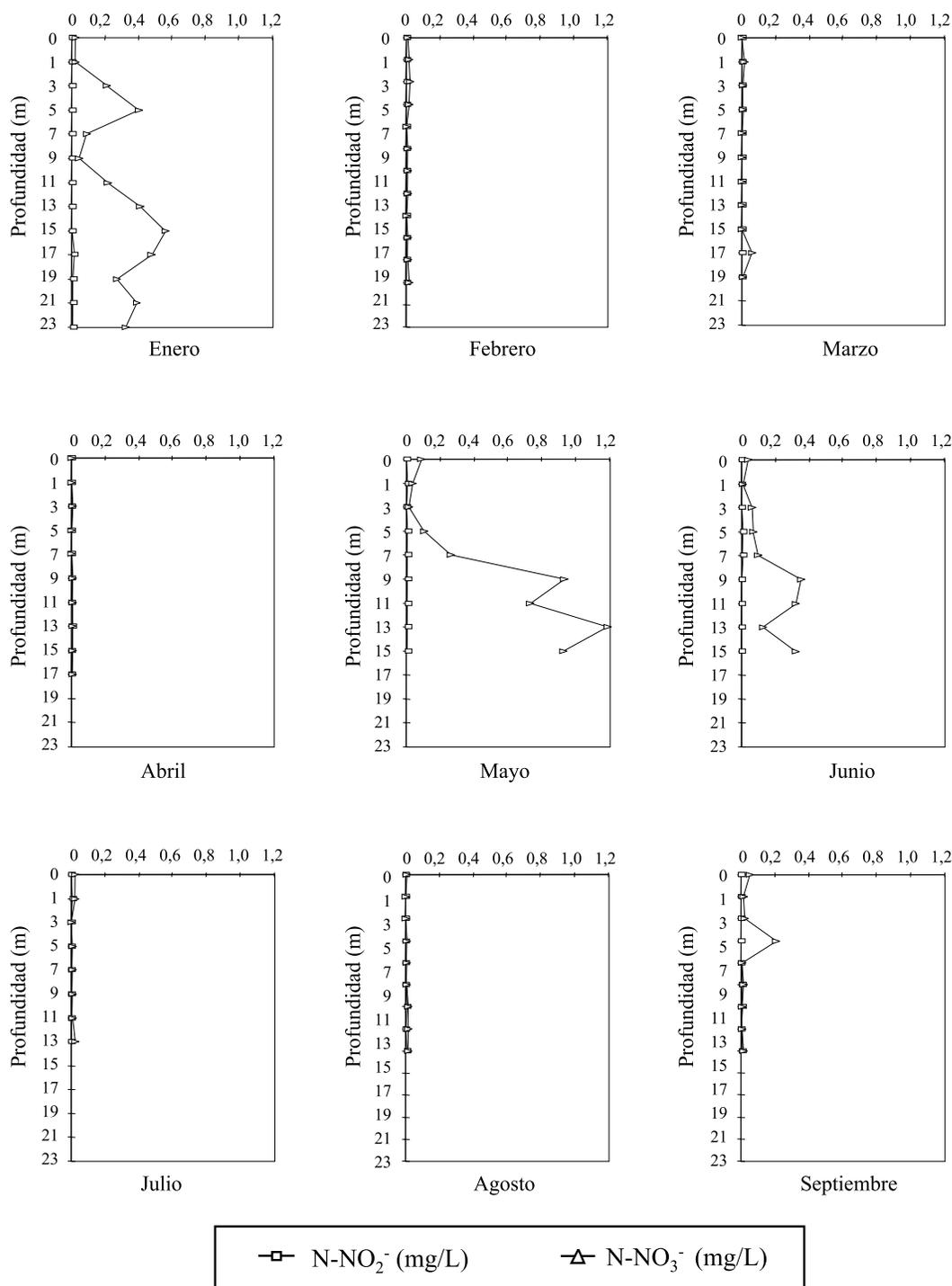


Figura 3. Distribución vertical de nitrito (N-NO₂⁻) y nitrato (N-NO₃⁻) en el embalse del río Socuy (Venezuela).

en su comportamiento con la profundidad. Sin embargo, durante el mes de Mayo es notorio un aumento de su concentración hacia el hipolimnio. La distribución de nitrato en la columna de agua está influenciada fuertemente por la actividad de las bacterias nitrificantes y desnitrificantes así como por la concentración de oxígeno disuelto. Muchas bacterias (anaerobias facultativas) en condiciones anaeróbicas son capaces de utilizar el nitrato como aceptor de hidrógeno, reduciéndolo a nitrito (N-NO_2^-), luego a amonio (N-NH_4^+) y posteriormente a nitrógeno molecular (N_2). Este fenómeno hace posible que estas bacterias oxiden el sustrato mismo en ausencia de oxígeno molecular (4). Este proceso puede estar desarrollando en alta proporción en el embalse, contribuyendo así a la disminución de las concentraciones de nitrato y al aumento del amonio.

Las concentraciones de amonio (N-NH_4^+) estuvieron comprendidas entre 0,35 y 9,65 mg/L, con una media de 2,53 mg/L.

Las máximas concentraciones de amonio se observaron hacia los meses de sequía; Junio, Julio, Agosto y Septiembre (Figura 4), donde se obtuvieron los menores valores de oxígeno disuelto (Figura 2).

En general se observó un aumento en las concentraciones de amonio con la profundidad. Este comportamiento va determinado en alto grado por su oxidación en la zona eufótica y las condiciones de anoxia encontradas hacia las capas de aguas profundas en donde se desarrollan los procesos de amonificación (4).

La distribución vertical de nitrito, nitrato y amonio en estos sistemas, por lo general, está directamente influenciada por la descomposición de la biomasa vegetal (nitrógeno orgánico) en la parte inferior de la columna de agua, ésta es responsable de la acumulación de estos nutrientes, especialmente el nitrógeno amoniacal (N-NH_4^+). En muchas épocas, sobre todo en los períodos

de sequía, la concentración de nitrógeno amoniacal en estos ambientes puede mostrar valores muy altos, en especial en la interfase agua-sedimento. Sin embargo, en algunos casos es posible encontrar altas concentraciones de nitrógeno amoniacal hacia la parte superior de la columna de agua (4).

Las concentraciones de nitrógeno orgánico (N-Org) se calcularon por diferencia entre el nitrógeno total Kjeldahl (N-Kj) y el nitrógeno amoniacal (7), encontrándose las mismas entre 0,07 y 6,46 mg/L, con un promedio general de 1,93 mg/L.

La Figura 4 muestra los perfiles verticales de las concentraciones de nitrógeno orgánico. Durante los primeros meses se observó una distribución irregular y en concentraciones menores a las de amonio, situación que se modificó notablemente hacia los meses de Mayo, Junio y siguientes, donde fue observada una disminución en los valores de nitrógeno orgánico y un aumento en los de amonio; esto es otra evidencia de las altas tasas de descomposición de materia orgánica y posterior formación de amonio, proceso favorecido por las condiciones anóxicas prevalecientes en el sistema. Durante el proceso de amonificación se lleva a cabo la descomposición de la materia orgánica disuelta y particulada. El amonio es formado como resultado de la degradación tanto aeróbica como anaeróbica de la parte nitrogenada de la materia orgánica por organismos heterotróficos. El sedimento es el principal lugar donde se llevan a cabo estas reacciones. En el medio acuático, el proceso de amonificación se realiza en mayor proporción cuando el pH es bajo, situación encontrada en este reservorio a principio de año (mínimo 4,99; máximo 10,05; promedio 7,64), resultado de la descomposición de la materia orgánica y evidenciando por el aumento de la concentración de amonio en los meses siguientes (4).

Estudios sobre bacterias amonificantes realizados en ecosistemas acuáticos de regiones tropicales muestran una mayor

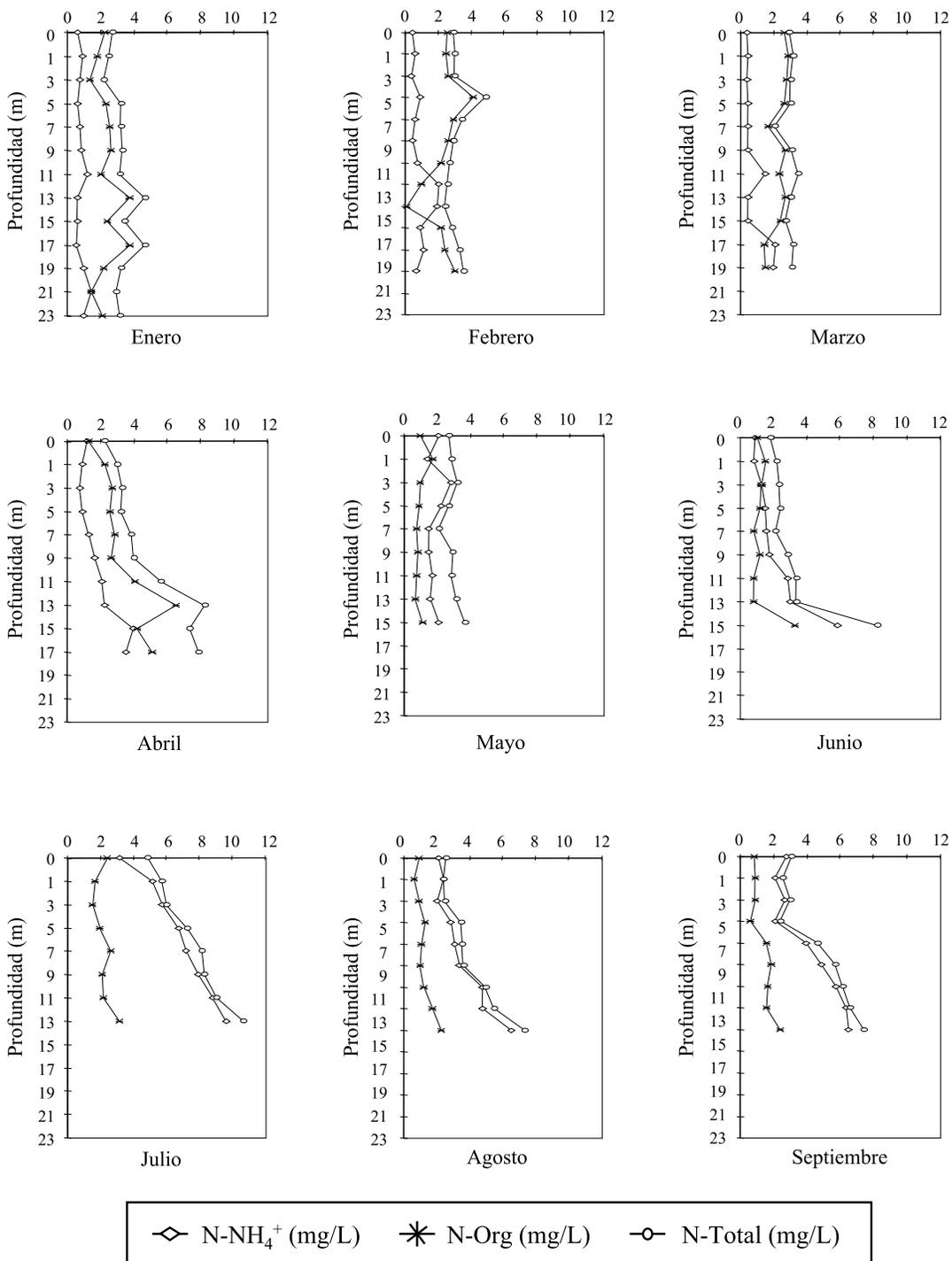


Figura 4. Distribución vertical de amonio (N-NH₄⁺), nitrógeno orgánico (N-Org) y nitrógeno total (N-Total) el embalse del río Socuy (Venezuela).

distribución de las mismas en época seca, es decir durante el período de estratificación térmica, factor que determina fuertemente su distribución en la columna de agua (4). Esto indica una mayor actividad de los mencionados microorganismos en el hipolimnio anaeróbico de estos sistemas y probablemente en el embalse del río Socuy, lo que estaría favoreciendo el proceso de amonificación.

Las concentraciones de nitrógeno total (N-total) en la columna de agua fueron calculadas sumando las de nitrógeno total Kjeldahl (N-Kj), nitrato y nitrito (7), y son detalladas en la Figura 4. El valor promedio para este parámetro se encontró en 4,02 mg/L, con una concentración mínima de 1,77 mg/L y otra máxima de 10,63 mg/L.

Se destaca un aumento de nitrógeno total hacia el hipolimnio (como N-NH_4^+ , principalmente), con variaciones irregulares en el resto de la columna de agua. Durante el mes de Febrero es notable el aumento de su concentración alrededor de los 5 m de profundidad, valor que podría ser atribuido a la presencia de un gran número de organismos, especialmente fitoplanctónicos, que estarían aportando nitrógeno en forma orgánica en esta zona.

Con el transcurrir del tiempo se observa un aumento marcado en la concentración de nitrógeno total hacia la profundidad, influenciado directamente por las concentraciones de amonio encontradas en esta zona, provenientes de la descomposición del nitrógeno orgánico. En este momento es el nitrógeno en forma amoniacal el que está contribuyendo en mayor proporción al nitrógeno total del sistema.

Fósforo: La concentración promedio de ortofosfato encontrada en el embalse del río Socuy durante el período de estudio fue 0,101 mg/L, con valores comprendidos entre 0,001 y 1,044 mg/L. La distribución de este parámetro en la columna de agua se muestra en la Figura 5.

La distribución de ortofosfato en la columna de agua mostró grandes variaciones, comportamiento relacionado principalmente con la concentración de oxígeno disuelto, la permanencia de la estratificación térmica y la profundidad del sistema. La liberación de gran parte del fosfato de los detritus ocurre antes de la sedimentación completa, pudiendo ser reasimilado por la comunidad fitoplanctónica en las aguas superficiales. Otra parte de los detritus que no es fácilmente descompuesto en la columna de agua, se deposita sobre el sedimento donde después de su completa descomposición es liberado en gran cantidad nuevamente al sistema (4), favorecido por las condiciones de anoxia detectadas durante todos los muestreos en este embalse. Estas condiciones están incrementando la liberación de fosfatos desde los sedimentos hacia la columna de agua (12, 13).

Las menores concentraciones de fosfatos, encontradas en las capas de aguas superficiales, son consecuencia de la utilización de este nutriente por parte de la comunidad fitoplanctónica y otros organismos acuáticos durante su crecimiento (13, 14, 15, 16, 17, 18), su aumento considerable hacia las aguas profundas, evidenciado con mayor claridad durante los meses de sequía, está influenciado por la curva clinógrada de oxígeno y la estratificación térmica establecida durante el período de estudio (19, 20), y es de hacer notar que bajo estas condiciones en el hipolimnio pueden establecerse permanentemente altas concentraciones de ortofosfatos (15).

Las concentraciones de fósforo total (P-total) oscilaron entre 0,01 y 1,15 mg/L, con un valor promedio de 0,10 mg/L. La Figura 5 muestra las variaciones de las concentraciones de fósforo total en la columna de agua. Es notorio un comportamiento similar al presentado por el ortofosfato, durante la mayor parte del tiempo, mostrando un incremento hacia la región hipolimnética. El intercambio de fósforo entre los sedimentos y el agua inmediatamente superior a

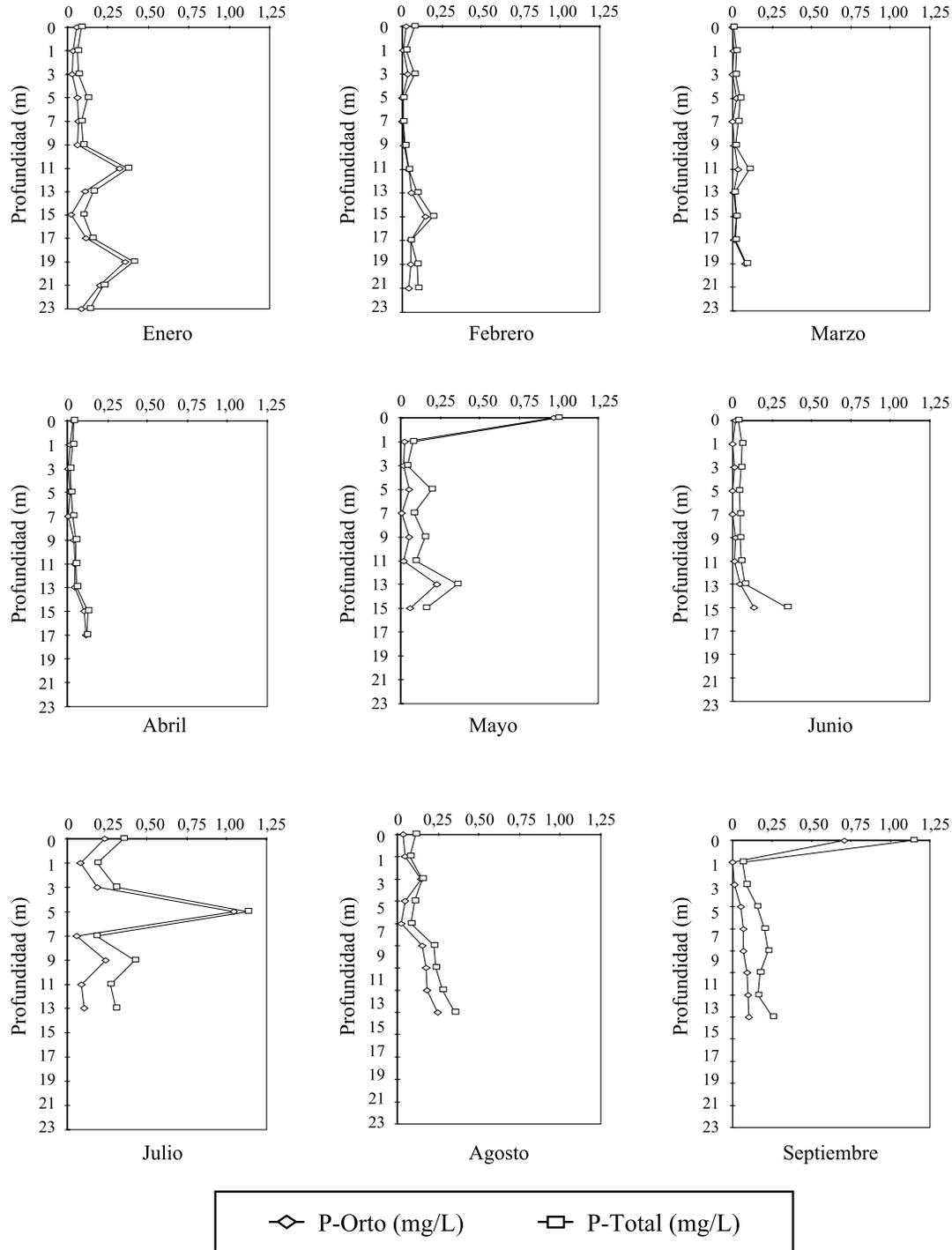


Figura 5. Distribución vertical de fósforo en el embalse del río Socuy (Venezuela).

ellos es un factor importante y está determinado por las condiciones fisicoquímicas de esta zona (21, 22). Las condiciones de anoxia establecidas en el hipolimnio de este embalse durante todo el estudio favorecen el movimiento del fósforo desde los sedimentos hacia la columna de agua (23, 24). Se conoce que géneros bacterianos como *Pseudomonas*, *Bacterium* y *Chromobacterium* están relacionados con la movilización de fósforo en los sedimentos (6).

De acuerdo con el concepto de nutriente limitante, la relación nitrógeno total a fósforo total de 9:1 para el fitoplancton es la más utilizada. Consecuentemente los lagos con relaciones de nitrógeno a fósforo mayor que 9 se considera que tienen potencialmente al fósforo como limitante, y aquellas relaciones menores que 9 presentan al nitrógeno como limitante (25, 26). Con base en esta premisa y los resultados obtenidos en el presente estudio, el nutriente que limita la producción fitoplanctónica en el embalse del río Socuy es el fósforo, con un alto valor promedio para la relación molar N/P de 54:1. Si bien esta relación fue menor en los meses de sequía (41:1), durante los meses de lluvia se incrementó considerablemente (95:1), lo que indica un gran flujo de nutrientes y en especial de nitrógeno durante la época de lluvia, hacia el embalse.

Productividad primaria

Las variaciones verticales de la productividad primaria bruta (PPB), productividad primaria neta (PPN) y respiración (R) del fitoplancton se ilustran en la Figura 6. Los valores promedio para PPB, PPN y R fueron 176,22; 94,04 y 98,61 $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$, encontrándose los mínimos en 0,00 $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ y los máximos en 427,08; 375,00 y 375,00 $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$, respectivamente. Estos resultados muestran una disminución de la tasa de productividad con la profundidad y un aumento progresivo de la respiración, con algunas variaciones durante el mes de Julio.

La distribución vertical de la biomasa fitoplanctónica, de la cual dependen direc-

tamente los coeficientes de productividad primaria bruta y neta, varía extraordinariamente de una profundidad a otra, con las variaciones en la composición de especies. El desarrollo espacial de las algas fitoplanctónicas obedece a una serie de factores que interactúan para su mejor crecimiento y reproducción, entre los que se cuentan los físicos como la luz y temperatura; de los mecanismos que les permita mantenerse dentro de la zona fótica ante las alteraciones de las tasas de sedimentación, el aporte de nutrientes inorgánicos, los micronutrientes orgánicos; y de los factores biológicos de competencia por los recursos y la depredación por otros organismos (27). En este embalse fue característico obtener bajos valores de productividad entre los 0 y 1 m de profundidad, esto se debe probablemente al efecto de fotoinhibición, el cual se produce por inactivación de una parte del mecanismo fotoquímico como un medio para proteger a las células que están expuestas a las altas intensidades luminosas que inciden sobre la superficie.

Durante el mes de Julio, se observa un notable incremento de la PPN a una profundidad próxima a los 5 m. Es posible esperar ante condiciones de baja intensidad luminosa, el desarrollo del proceso fotosintético a expensas de un mayor consumo de nutrientes así como una posible acumulación de algas a este nivel, producto del decrecimiento de la intensidad lumínica (28).

Variaciones temporales

Las variaciones temporales de los diferentes parámetros evaluados en este estudio son mostradas en la Figura 7, y corresponden a los promedios de las concentraciones en toda la columna de agua durante el período de estudio. Con relación a la variación temporal de la temperatura (Figura 7A), se observó un comportamiento uniforme. Sin embargo, un ligero incremento fue apreciado a partir del mes de Mayo con la entrada de la época de sequía.

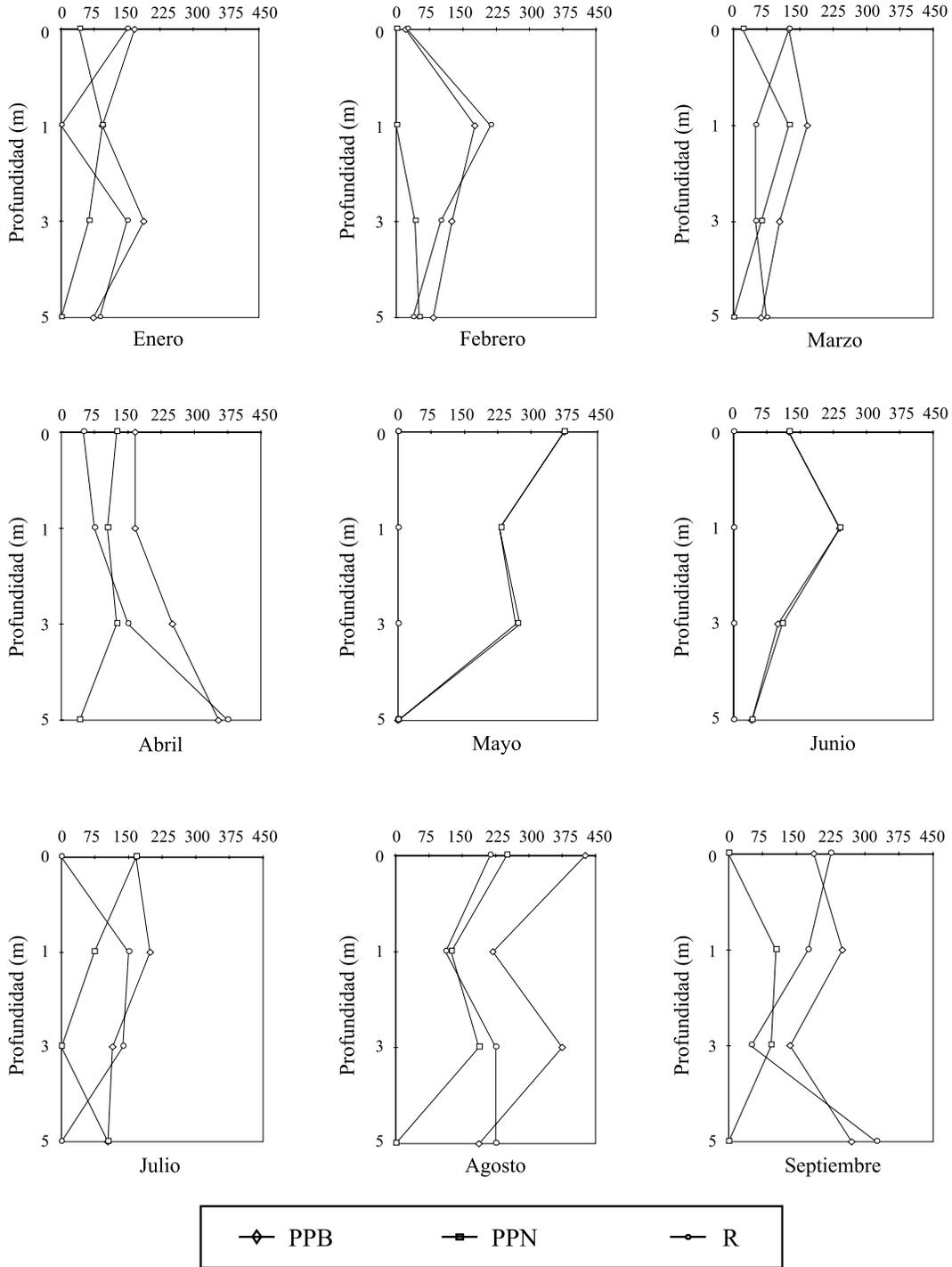


Figura 6. Distribución vertical de la productividad primaria bruta (PPB), neta (PPN) y respiración (R) ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$) en el embalse del río Socuy (Venezuela).

De acuerdo al análisis de correlación de variables, tomando $n = 9$; $p < 0,05$; $r = 0,632$ y $p < 0,01$; $r = 0,765$; la temperatura correlacionó significativa e inversamente con la profundidad ($r = -0,900$; $p < 0,01$). También se observaron valores significativos de correlación de la temperatura con el amonio ($r = 0,674$; $p < 0,05$).

En Abril (época de lluvia) se presentó la máxima concentración de oxígeno disuelto, la cual disminuyó durante los meses siguientes para estabilizarse a finales de año (Figura 7A).

El oxígeno disuelto no correlacionó significativamente con ningún otro parámetro evaluado en este estudio.

La Figura 7B muestra las variaciones estacionales de las diferentes formas de nitrógeno evaluadas.

El nitrito correlacionó significativamente con el nitrato ($r = 0,796$; $p < 0,01$) y la PPN ($r = 0,707$; $p < 0,05$). También se obtuvo una correlación inversa significativa de éste con el nitrógeno orgánico ($r = -0,642$; $p < 0,05$).

El comportamiento temporal de las concentraciones de nitrato es ilustrado en la Figura 7B, dos valores máximos fueron registrados en los meses de Enero y Mayo (períodos de estratificación térmica). Durante el resto del tiempo las concentraciones fueron bajas.

El nitrato presentó valores significativos de correlación solamente con nitrito ($r = 0,796$; $p < 0,01$).

Las altas concentraciones de amonio detectadas durante los meses de sequía son una muestra de los procesos de degradación de materia orgánica que se llevan a cabo en el hipolimnio, con un máximo observado en el mes de Julio (Figura 7B). Contribuyen también al incremento de estos valores la descomposición del material vegetal que se encuentra en el fondo del embalse y que no fue eliminado en el momento de su cons-

trucción, así como el fitoplancton y cualquier otro componente biológico propio del sistema (4, 29, 30).

Las mejores correlaciones del amonio se mantuvieron con la profundidad ($r = -0,778$; $p < 0,01$), ortofosfatos ($r = 0,791$; $p < 0,01$), fósforo total ($r = 0,852$; $p < 0,01$) y nitrógeno total ($r = 0,885$; $p < 0,01$), estos resultados muestran el influjo y acumulación de estos nutrientes hacia la zona más profunda del embalse, así como la intensificación de los procesos de amonificación con el transcurrir del tiempo.

En cuanto a las variaciones temporales de las concentraciones de nitrógeno orgánico, las mismas fueron disminuyendo a partir del mes de Abril, con un aumento progresivo en las concentraciones de amonio (Figura 7B).

El nitrógeno orgánico mostró correlación inversa y significativa con nitrito ($r = -0,642$; $p < 0,05$), lo que como es de esperarse evidencia la formación de materia orgánica en la zona fótica del embalse.

La distribución estacional del nitrógeno total se describe en la Figura 7B. Las menores concentraciones encontradas durante la época de lluvia, se van incrementando con el transcurrir del tiempo hasta llegar a los valores máximos encontrados durante el mes de Julio. Estos resultados están determinados por los procesos que se desarrollan en la zona eufótica e hipolimnética del embalse, donde se pueden observar los efectos de la nitrificación, la reducción-asimilación de nitrato y el proceso de amonificación incrementado hacia los fines de año. En las aguas oxigenadas de la superficie, la disminución de los compuestos nitrogenados está asociada con un aumento en la intensidad de asimilación planctónica, mientras que su aumento hacia las aguas profundas, va influenciado por la disminución de la nitrificación y el aumento en la tasa de reducción de nitrato y la intensificación de la amonificación.

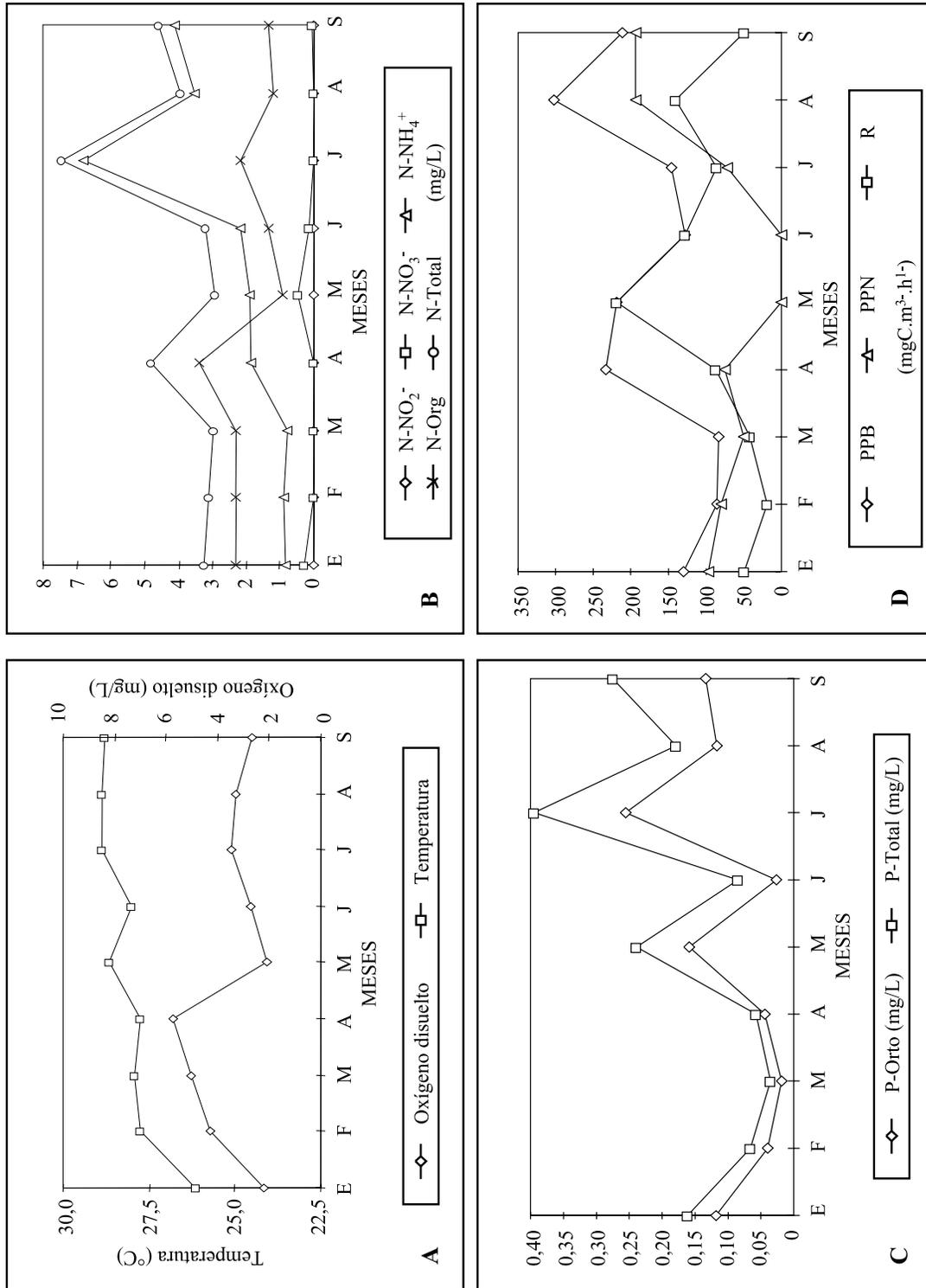


Figura 7. Variaciones temporales de oxígeno disuelto, temperatura, productividad primaria y de algunos nutrientes en el embalse del río Socuy (Venezuela).

En cuanto a las variaciones de las proporciones de las diferentes formas del nitrógeno, la Figura 7B destaca la sucesión y el desplazamiento del nitrógeno amoniacal sobre el nitrógeno orgánico. El mayor porcentaje de nitrógeno orgánico encontrado en los primeros meses de muestreo (período de lluvia), queda desplazado por el nitrógeno amoniacal formado a partir de éste hacia principios del período de sequía. La proporción de las diferentes formas de nitrógeno evaluadas en el embalse del río Socuy es $N-NH_4 > N\text{-Orgánico} > N-NO_3^- > N-NO_2^-$.

El nitrógeno total presentó buenas correlaciones con el fósforo total ($r = 0,694$; $p < 0,05$), ortofosfatos ($r = 0,691$; $p < 0,05$) y amonio ($r = 0,885$; $p < 0,01$), lo que muestra el incremento de los nutrientes hacia la zona hipolimnética del embalse.

La Figura 7C detalla las variaciones temporales de las concentraciones de ortofosfato durante el período de estudio. Un incremento hacia los meses de sequía es evidente, mostrando la acumulación de este nutriente hacia finales de año. Es importante destacar que durante el mes de Junio se observa un acentuado descenso en la concentración de ortofosfato, hecho similar al comportamiento del nitrógeno (Figura 7B), indicando una menor disponibilidad de estos nutrientes durante esta época.

El ortofosfato mostró valores significativos de correlación con el amonio ($r = 0,791$; $p < 0,01$), el nitrógeno total ($r = 0,691$; $p < 0,05$) y el fósforo total ($r = 0,972$; $p < 0,01$), estos valores confirman el consumo de nutrientes hacia la zona fótica y su posterior afloramiento desde la región hipolimnética del embalse.

Las variaciones temporales de las concentraciones de fósforo total son mostradas en la Figura 7C. Su comportamiento, muestra un patrón similar a las concentraciones de ortofosfato, destacándose dos niveles máximos durante los meses de Mayo y Julio, correspondientes a la época de sequía.

El fósforo total correlacionó significativamente con los fosfatos ($r = 0,972$; $p < 0,01$), el nitrógeno total ($r = 0,694$; $p < 0,05$) y con el amonio ($r = 0,852$; $p < 0,01$), debido a su acumulación con el tiempo y hacia las aguas profundas.

Las variaciones temporales de PPB, PPN y R son mostradas en la Figura 7D. Los resultados destacan el desarrollo de tres máximos de productividad correspondientes a los meses de Enero, Mayo y Agosto, lo cual puede ser considerado un evento trimodal, este hecho no es característico de otros cuerpos de agua ya que en la mayoría sólo se han reportado dos máximos de producción, durante el período lluvioso (28).

De acuerdo a los niveles de producción y con base en las concentraciones de los principales nutrientes, este embalse puede considerarse del tipo mesotrófico (1, 10). Sin embargo, se hace necesario un estudio detallado de estos nutrientes para determinar el verdadero nivel trófico del sistema.

No se obtuvo valores significativos de correlación entre la productividad primaria y el resto de los parámetros medidos en este estudio.

Conclusiones

El embalse del río Socuy presentó una estratificación térmica bastante estable y con suficiente resistencia al mezclado de sus aguas, lo que favorece la formación de una termoclina. Este hecho repercute directamente sobre el movimiento de las masas de agua, con lo cual se favorece la aparición y acumulación de sustancias que perjudican la calidad de las mismas.

La distribución del oxígeno disuelto en la columna de agua con relación a la temperatura presenta una curva clinógrada típica, condición que limita la posible utilización de este reservorio con fines piscícolas.

La anoxia hipolimnética detectada en este cuerpo de agua durante el período de estudio influye sobre la distribución vertical

de los principales nutrientes, condición que favorece su liberación desde los sedimentos.

Desde el punto de vista trófico y con base en los niveles de productividad primaria, el embalse del río Socuy es un cuerpo de agua del tipo mesotrófico, condición que se está modificando rápidamente debido a los acelerados mecanismos de amonificación experimentados en las aguas profundas.

Con base en la relación N/P, el fósforo es el nutriente limitante de la productividad en el embalse del río Socuy.

Referencias Bibliográficas

- MARGALEF R. *Limnología*, Ediciones Omega S.A. Barcelona (España), pp. 1005, 1983.
- FONG P., ZEDLER J., DONOHOE R. *Limnol Oceanogr* 38(5): 906-923, 1993.
- GOLDMAN C. *Am Zoologist* 8:31-42, 1969.
- ESTEVES F. *Fundamentos de Limnología*, Editorial Interciencia Ltda (Brasil), pp. 575, 1988.
- SOTO L., LÓPEZ C., BELLO C. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas* 28 (1): 1-18, 1994.
- WETZEL R. *Limnología*, Ediciones Omega S.A. Barcelona (España), pp. 679, 1981.
- American Public Health Association (APHA), American Water and Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19th Edition, USA, 1995.
- ORION Research Incorporated. *Instruction manual ammonia electrode model 95-12*. Laboratory Products Group, USA, 1987.
- ARCIFA M., MESCHIATTI A., GOMES E. *Hydrobiology Tropical* 23(4): 271-281, 1990.
- SOTO L. Caracterización físico-química del agua del agua del embalse de Manuelote (Río Socuy, Estado Zulia) (Tesis de Grado), Facultad Experimental de Ciencias. La Universidad del Zulia (Venezuela), pp. 108, 1986.
- BOOTSMA H., HECKY R. *Conservation Biology* 7(3): 644-656, 1993.
- RILEY J., CHESTER R. *Introducción a la química marina*, AGT Editor, S.A. (México), pp. 458, 1989.
- ALPHENAAR R., SLEYSER R., DE REUVER P., LIGTHART G., LETTINGA G. *Wat Res* 27(5):749-756, 1993.
- CHROST R., OVERBECK J. *Microb Ecol* 13: 229-248, 1987.
- JANSSON M. *Hydrobiologia* 170: 177-189, 1988.
- MORRIS D., LEWIS W. *Limnol Oceanogr* 37(6): 1179-1192, 1992.
- SUNDBY B., GOBEIL C., SILVERBERG N., MUCCI A. *Limnol Oceanogr* 37(6): 1129-1145, 1992.
- TEZUCA Y. *Microb Ecol* 19: 227-238, 1990.
- SENIOR C. Caracterización química del agua del embalse de Guanapito, Estado Guárico. (Tesis de Grado). Universidad Central de Venezuela (Venezuela), pp. 98, 1985.
- TALLING J. *Hydrobiologia* 51(4): 545-621, 1966.
- REDSHAW C., MASON C., HAYES C., ROBERTS R. *Hydrobiologia* 192: 233-245, 1990.
- STAUDINGER B., PEIFFER S., AVNIM-LECH Y., BERMAN T. *Hydrobiologia* 207: 167-177, 1990.
- LAURSEN J., CHRISTIANSEN C., ANDERSEN P., SCHWAERTER S. *Science of the Total Environment*. Supplement 1992.
- YUDUAN W., YUELING L., TINGZHONG G., LONGFA W., ZHIHONG Z. *Science of the Total Environment*. Supplement 1992.
- SALAS H., MARTINO P. *Wat Res* 25(3):341-350,1991.

-
26. VOLLENWEIDER R. **Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication.** OECD. Tech Report N° DAS/CSI/68.27,12,1968.
 27. KIMMEL B., LIND O., PAULSON L. **Reservoir primary production. Reservoir limnology: ecological perspectives,** John Wiley & Sons, Inc (USA), pp. 540, 1990.
 28. PRIETO J. Estudio de la productividad primaria del fitoplancton y su relación con algunos parámetros fisicoquímicos en el embalse Socuy, río Socuy, Estado Zulia (Tesis de Grado) Facultad Experimental de Ciencias. La Universidad del Zulia (Venezuela), pp. 94, 1984.
 29. EDMOND J., STALLARD R., CRAIG H., CRAIG V., WEISS R., COULTER G. **Limnol Oceanogr** 38(4): 725-738, 1993.
 30. MACISAAC J., DUGDALE R. **Deep-Sea Res** 16: 45-47, 1969.