

## DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LAS AGUAS DEL RÍO APURE EN SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ORINOCO.

ARISTIDE MÁRQUEZ<sup>1</sup>, GREGORIO MARTÍNEZ<sup>1</sup>, WILLIAM SENIOR<sup>1</sup>, JULIÁN CASTAÑEDA<sup>1</sup>, & ÁNGEL GONZÁLEZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.  
aristd@gmail.com - aristide@sucre.udo.edu.ve*

<sup>2</sup>*Instituto Limnológico, Universidad de Oriente, Caicara del Orinoco, Venezuela.*

**RESUMEN:** En Venezuela los estudios limnológicos en los grandes ríos como el Apure, son escasos debido a la complejidad de la logística sobre todo, para la captación de las muestras. En esta investigación se determinaron algunos parámetros fisicoquímicos (nivel del río, conductividad, temperatura, pH, Oxígeno disuelto, Material en suspensión, turbidez, transparencia del agua, nitrógeno total, nitrato, nitrito, amonio, fósforo total, fosfato y silicato) durante dos años de estudio (2001-2002), en las aguas de su confluencia con el río Orinoco. Se determinó que el incremento en los niveles del caudal del río Apure, produce una influencia notable en la distribución de los componentes químicos del agua. Esta observación es confirmada por la presencia de dos períodos hidrológicos que incluyen, uno de aguas bajas (Diciembre-Abril) caracterizado por gradientes altos en los valores de las especies químicas disueltas y suspendidas y otro de aguas altas (Mayo-Noviembre) de gradiente descendente y concentraciones bajas. Se evidencian procesos erosivos y/o meteorización en la cuenca alta del río Apure reflejado por altos niveles de material en suspensión y silicato. Igualmente se observaron indicios del uso excesivo de fertilizantes y/o actividad antrópica alrededor de los márgenes del río, reflejados por altos valores de nitrógeno y fósforo total. La alta relación nitrógeno/fósforo evidencia una fertilidad de tipo orgánica en las aguas del río Apure.

Palabras claves: Río Apure, variaciones, aguas superficiales, parámetros fisicoquímicos.

**ABSTRACT:** In Venezuela there are few limnological studies of the large rivers, such as the Apure, principally owing to the complexity of the logistics for the taking of samples. In the present study results were determined for a number of physicochemical variables (river level, conductivity, temperature, pH, dissolved oxygen, suspended material, turbidity, transparency of the water, total nitrogen, nitrate, nitrite, ammonium, total phosphorus, phosphate and silicate) corresponding to the study years 2001-2002 in the discharge waters of this important river. It was determined that the variation of the water level of the Apure River produces a notable influence on the chemical components of the water. There are two annual hydrological periods, low water (December - June), characterized by high gradients of values of the suspended and dissolved chemical species, and high water (July - November), characterized by descending gradients and concentrations. Evidence is seen for erosive processes and weathering in the headwaters of the Apure River, as shown by high levels of suspended materials and silicate. Similarly, evidence is found for the excessive use of fertilizers and/or anthropic activity in the area of drainage of the river, as reflected by the high values of nitrogen and total phosphorus. The high nitrogen/phosphate ratio gives evidence for organic fertility in the waters of the Apure River.

Key words. Apure River, variations, surface waters, physicochemical parameters.

### INTRODUCCIÓN

El río Apure nace en la Cordillera de los Andes de Mérida, Estado Mérida, Venezuela entre la confluencia de los ríos, Sanare y Uribante (6° 45' Lat. N y 71° 00' Long. W). Transporta partículas finas (arenas finas, limos y arcillas) y otros materiales suspendidos, que se originan en terrenos con alta erosión y meteorización de rocas sedimentarias (DEZZEO *et al.* 2000). Su desembocadura

(7.63° Lat. N y 66.40° Long. W aproximadamente) se encuentra al Oeste de Cabruta, edo. Guárico, El Apure presenta un caudal estacional, que abarca un período de aguas altas desde Mayo hasta noviembre y otro de aguas bajas o sequía, desde diciembre hasta abril (JUNK 1997; LEWIS & SAUNDERS 1990; ZINCK 1982).

En la Actualidad, el gobierno venezolano está ejecutando el proyecto denominado: Eje Orinoco-Apure,

el cual contempla el dragado del canal principal del río Apure, con el propósito de crear una autopista de navegación entre los estados occidentales y orientales y así aprovechar la salida hacia el Atlántico, para facilitar el intercambio internacional por esta vía. Este proyecto podría traer consigo efectos adversos sobre el ecosistema, modificando la fisicoquímica del agua. El objetivo principal de esta investigación fue determinar el estado fisicoquímico actual de las aguas del río Apure en su desembocadura. La importancia del estudio radica en que los estudios fisicoquímicos en sus aguas son escasos. De esta manera, se aporta información que será de utilidad para futuros estudios fisicoquímicos y biológicos.

#### Materiales y métodos

##### Área de Estudio

El río Apure nace de la confluencia del río Sarare y el río Uribante, en el estado Apure. Fluye hacia el este a través de los llanos venezolanos, antes de llegar al río Orinoco a través de 6 bocas a unos 17 km al oeste de Cabruta, estado Guárico. El río Apure tiene 820 kilómetros de largo desde el Uribante-Sarare hasta la confluencia del Orinoco, aunque el sistema Apure-Uribante llega a los 1.000 km. Es navegable unos 800 km aguas arriba de su desembocadura en el Orinoco, donde tiene un curso pantanoso a través de los llanos, a pesar de unos rápidos alrededor del kilómetro 177 (ZINCK 1982; RODRÍGUEZ 1980). El Área de estudio (Fig. 1) está ubicada aproximadamente a 2 km de la confluencia del río Apure con el río Orinoco (07° 37' 14.5" Lat. N, 66° 24' 38.9" Long. W). La región de influencia del río Apure, está dedicada principalmente a la ganadería y a la agricultura (COMERMA & LUQUE 1971).

##### Diseño del muestreo.

El nivel del río (NR) fue medido en el centro del canal principal, utilizando una cinta métrica de 20 m adosada verticalmente a un tubo metálico de 25 m, el cual estaba fijado al lecho del río con una base móvil de concreto de 150 Kg. Se recolectaron mensualmente en el río Apure muy cerca de su confluencia con el río Orinoco, tres muestras de 2 L de agua superficial en los márgenes izquierdo, derecho y central desde febrero del 2001 hasta diciembre del 2002.

Las variables fisicoquímicas temperatura (°C), pH, oxígeno disuelto (ml/L), conductividad (mSc) y turbidez (NTU) se determinaron mediante una sonda multiparamétrica Hidrolab modelo Data sonde 4. Las concentraciones de oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>) fueron

verificadas utilizando el método de Winkler con precisión de  $\pm 0,03$  ml/L (AMINOT & CHAUSSEPIED 1983). La transparencia (DS) del agua se midió con disco de Secchi y el material en suspensión (MES) por gravimetría (SENIOR 1987).

Las concentraciones de nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) se determinaron por espectrofotometría con una precisión de  $\pm 0,01$   $\mu$ mol/L (BENDSCHNEIDER & ROBINSON 1952]. Los niveles de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) se obtuvieron mediante un sistema autoanalizador con precisión de  $\pm 0,01$   $\mu$ mol/l (WOOD *et al.* 1967), igualmente silicato (Si (OH)<sub>4</sub>) donde la precisión fue de  $\pm 0,10$   $\mu$ mol/l [MULLIN & RILEY 1955; TREGUER & LE CORRE 1975). Los valores de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) se determinaron de manera simultánea por el método de VALDERRAMA (1981). Para nitrógeno la precisión es de 4% a nivel de 30  $\mu$ mol/L y de 11,7% a nivel de 6  $\mu$ mol/l. Para fósforo total es de 0,2% a nivel de 5  $\mu$ mol/l y 2% a nivel de 1  $\mu$ mol/l. Las concentraciones de amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) se determinaron por espectrofotometría con precisión de  $\pm 0,01$   $\mu$ mol/l (KOROLEFF 1969), al igual que fosfato (ortofosfato; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) (MURPHY & RILEY 1962).

Las curvas de calibración para los análisis de nutrientes fueron preparadas con patrones certificados de clase analítica ultra pura, Marine Nutrients Standards BIT (MNSK), en Ocean Scientific International Ltd, South Down House, Station Road, Petersfield, Hants GU32 3ET, Great Britain.

Para validar los datos y determinar diferencias entre los meses y años, se aplicaron pruebas estadísticas de de Análisis de Varianza Multifactorial y de Rango Múltiple Student-Newman-Keuls. La correlación entre pares de variables fisicoquímicas, se determinó a partir del factor R correlación simple, utilizando análisis de correlación de Pearson. Para todos los casos, el nivel de significancia utilizado fue de P<0,05. Se utilizó el software comercial Statgraphics Plus versión 4.1 para la realización de las pruebas estadísticas.

#### Resultados y discusión

Los niveles métricos de las aguas del río Apure (Fig. 2) mostraron valores máximos de 12,32 y 12,35m para el mes agosto y mínimos entre 2,0 y 3,0m para el mes de marzo durante los dos años de muestreo. Los regímenes estacionales en los niveles de los ríos juegan un papel ecológico importante, específicamente mediante el

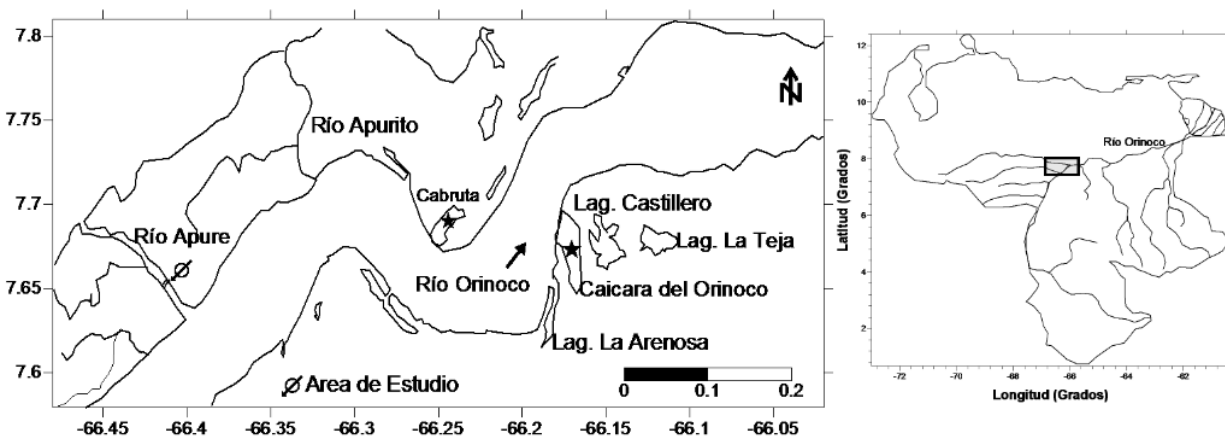


Fig. 1. Área de estudio mostrando el sitio de recolección de muestras en el río Apure durante los años 2001-2002.

transporte de diferentes volúmenes de sedimentos suspendidos los cuales se depositan y fertilizan con nutrientes los terrenos ubicados cerca de sus márgenes (WEIBEZAHN 1985).

La distribución de la temperatura (Fig. 2) mostró una tendencia muy similar con la incidencia solar y los niveles del río, evidenciado por la correlación positiva significativa entre ambas variables ( $r=0,61$ ,  $P<0,05$ ; Tabla 2). El promedio general fue de  $28,96^{\circ}\text{C}$ , mientras que el máximo valor ( $30,65^{\circ}\text{C}$ ) se observó en julio del 2002 y el mínimo ( $26,05^{\circ}\text{C}$ ) en los meses de febrero de ambos años (Figura 2).

El valor promedio del pH fue de 7,06 unidades. El pH fue básico en los meses de aguas bajas (enero-mayo), con magnitudes superiores a 7 unidades, concordante a lo reportados por DEPETRIS & PAULINI (1991) y LEWIS & SAUNDERS (1990) para el río Apure. Al incrementarse el caudal la distribución del pH se hizo ácido y alcanzó valores de 6,62 unidades en agosto de las 2001 y 6,50 unidades en julio 2002. El descenso del pH en aguas altas sugiere un incremento en el transporte de sustancias húmicas y fúlvicas, compuestos que tienen capacidad de interactuar con los iones metálicos, óxidos e hidróxidos metálicos, sustancias orgánicas y minerales para formar complejos solubles o insolubles en agua de estabilidad variable (LEWIS & SAUNDERS 1990).

Estudios realizados por ZINCK (1982) indican que el Apure presenta una alta capacidad amortiguadora, debido a la presencia de carbonatos a lo largo y ancho de su

cuenca. Sin embargo, los resultados obtenidos en esta investigación contradicen esas observaciones ya que de ser así, no se observarían las variaciones en el pH que se muestran en el presente estudio. Es probable que por tratarse de estudios puntuales, los valores de pH pudieron haber sido subestimados en los trabajos realizados por dicho autor.

El valor promedio de oxígeno disuelto fue de 6,17 ml/L, con máximos de 7,88 y 8,30 ml/L. Las distribuciones muestran disminuciones desde el período de aguas bajas hasta las altas con variaciones entre 4,58 y 4,62 ml/L para el período julio-agosto del 2001 y de 3,84 y 4,58 ml/L durante el 2002. Se encontró correlación positiva significativa ( $r = 0,70$ ;  $P<0,05$ ; Tabla 3) entre el pH y el oxígeno disuelto sugiriendo un consumo de oxígeno disuelto durante el proceso de oxidación del material orgánico transportado en el agua.

La conductividad promedio del agua del Apure fue de 0,13 mSc determinándose los máximos de 0,20 mSc durante el período de aguas bajas, específicamente en los meses de febrero-marzo y los mínimos (0,07 mSc) en los meses de agosto y septiembre de ambos años (Tabla 1). Se encontró una relación positiva altamente significativa con el pH ( $r = 0,94$ ;  $P<0,05$ ; Tabla 3). SAUNDERS & LEWIS (1989) indican que en el río Apure la correlación entre el pH y conductividad eléctrica está asociada a la concentración de iones básicos como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$  debido a que durante el período de aguas bajas se producen incrementos en el pH, y al aumentar el nivel de

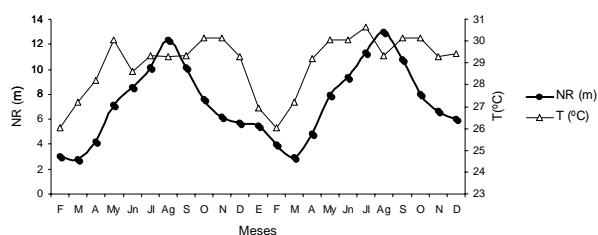


Fig. 2. Variación de los niveles de alturas del río Apure (NR) y de la temperatura superficial de sus aguas en una zona cercana a su confluencia con el río Orinoco (período febrero 2001-diciembre 2002).

las aguas, la concentración de estos iones se diluye produciendo un descenso en los valores de la conductividad y del pH.

Se observó una relación inversa de la concentración del material en suspensión con el incremento del nivel del río. Los valores máximos (Tabla 1) se determinaron en mayo de ambos años (404,40 mg/l en el 2001 y 361,47 mg/L en el 2002) y los mínimos en el período de aguas altas (83 mg/L en agosto del 2001 y entre 16,25 mg/L y 17,29 mg/L en el período julio- agosto del 2002). El valor máximo (404,40 mg/L) determinado en esta investigación, es comparable a los valores de 436 mg/L y 570 mg/L reportados por MEADE *et al.* (1990) para la misma zona de estudio durante los meses de octubre de 1984 y junio de 1985. El material en suspensión en el agua generalmente está compuesto de arcillas minerales, hidróxidos de hierro y manganeso en adición con pequeñas cantidades de material orgánico las cuales actúan como área de adsorción de muchos elementos (BEECK *et al.* 1988).

El valor promedio de la turbidez (Tabla 1) fue de 582,50 NTU con valores máximos de 1000 NTU y mínimos de 125,72 NTU. Los máximos de 1000 NTU fueron detectados para el mes de mayo y los mínimos de 184 NTU y 125,72 NTU en los períodos septiembre-octubre del 2001 y junio-agosto del 2002. Por otra parte, el valor promedio de la transparencia (Tabla 1) fue de 0,20 m, con valores máximos de 0,40 m y 0,48 m durante julio-agosto del 2002. Los valores mínimos de 0,11 m y 0,12 m fueron determinados en mayo del 2001 y 2002 respectivamente, concordando con los máximos del material en suspensión. Se determinó una correlación positiva significativa entre la turbidez y el material en suspensión ( $r = 0,62$ ;  $P < 0,05$ ; Tabla 3), así como una correlación negativa significativa entre la transparencia con el material en suspensión y la turbidez ( $r = -0,63$ ,

$P < 0,05$ ;  $r = -0,60$ ,  $P < 0,05$ ), sugiriendo que los factores que afectan la distribución estos tres parámetros en aguas del Apure tienen el mismo origen. Es lógico suponer que cuando aumentan los sólidos suspendidos en estas aguas se presenta un aumento de la turbidez y una disminución en la profundidad Secchi.

Las concentración promedio de los compuestos nitrogenados (Tablas 1 y 2) varió entre 37,89  $\mu\text{mol/L}$  para nitrógeno total, 11,30  $\mu\text{mol/L}$  en nitrato; 0,18  $\mu\text{mol/L}$  para nitrito y 6,68  $\mu\text{mol/L}$  para el amonio, determinándose al nitrato como forma inorgánica dominante.

Los máximos de nitrógeno total fueron de 68,95  $\mu\text{mol/L}$  (mayo 2001) y 56,21  $\mu\text{mol/L}$  (diciembre 2002), con mínimos de 15,36  $\mu\text{mol/L}$  (agosto del 2001) y 13,49  $\mu\text{mol/L}$  (enero del 2002), apreciándose correlación positiva significativa ( $r = 0,71$ ;  $P < 0,05$  y  $r = 0,75$ ;  $P < 0,05$ ) con las concentraciones de nitrato y nitrito respectivamente. Los valores mínimos de nitrato, los cuales no superaron los 0,08  $\mu\text{mol/L}$  se determinaron en aguas altas y los máximos (21,92  $\mu\text{mol/L}$ ) en mayo y en el lapso septiembre-diciembre de ambos años, coincidiendo con los menores niveles de las aguas (Tabla 2). Los valores de nitrato en las aguas de los ríos que drenan los llanos venezolanos, tal como el Apure, son producto de la oxidación del nitrógeno presente en la materia orgánica vegetal, desechos fecales de la ganadería y fertilizantes utilizados en la agricultura [MEADE *et al.* 1990].

Los máximos de nitrito en el río Apure, fluctuaron a comienzo de año entre 0,21  $\mu\text{mol/L}$  y 0,26  $\mu\text{mol/L}$  durante febrero-mayo del 2001 y de 0,19  $\mu\text{mol/L}$  hasta 0,28  $\mu\text{mol/L}$  en enero-abril del 2002 (Tabla 2). Los mínimos se observaron en aguas altas donde los valores no llegaron a superar los 0,08  $\mu\text{mol/L}$ . El nitrito en los ecosistemas acuáticos es originado por reducción bacteriana del nitrato (BEECK *et al.* 1988, MACDONALD *et al.* 1989).

La concentración promedio de amonio fue de 6,68  $\mu\text{mol/L}$ , mostrando la distribución tres picos de máximas concentraciones en período de aguas bajas (15,72  $\mu\text{mol/L}$  en abril del 2002, 13,89  $\mu\text{mol/L}$  y 10  $\mu\text{mol/L}$  en febrero y diciembre del 2002). Los niveles mínimos se observaron durante el período julio agosto del 2001 ( $< 2 \mu\text{mol/l}$ ) y en el período julio-agosto del 2002 (4  $\mu\text{mol/l}$ ). Estas observaciones evidencian mecanismos de descomposición de materia orgánica debido al mayor tiempo de retención de las aguas producto del menor nivel del río.

TABLA 1. Valores promedio de las variables fisicoquímicas Temperatura (Temp.), pH, Oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>), Conductividad (Cond.), Material en suspensión (MES), Turbidez (Turb.), Transparencia y Nitrógeno total (NT) en las aguas de la desembocadura del río Apure, período febrero 2001 - diciembre 2002.

| Año  | MES  | Temp.<br>(°C) | pH<br>(Unid.) | O <sub>2</sub><br>(ml/L) | Cond.<br>(mSc) | MES<br>(mg/L) | Turb.<br>(NTU) | Transp.<br>DS (m) | NT<br>(µmol/L) |
|------|------|---------------|---------------|--------------------------|----------------|---------------|----------------|-------------------|----------------|
| 2001 | F    | 26,05         | 7,46          | 6,46                     | 0,19           | 203,50        | 592,00         | 0,19              | 46,69          |
| 2001 | M    | 27,21         | 7,79          | 6,29                     | 0,20           | 189,83        | 780,00         | 0,18              | 46,80          |
| 2001 | A    | 28,21         | 7,30          | 5,84                     | 0,14           | 125,72        | 811,00         | 0,27              | 45,32          |
| 2001 | My   | 30,04         | 7,42          | 5,14                     | 0,16           | 404,40        | 1000           | 0,11              | 68,95          |
| 2001 | J    | 28,59         | 7,22          | 5,41                     | 0,14           | 153,00        | 897,80         | 0,12              | 30,23          |
| 2001 | Jl   | 29,34         | 6,74          | 4,62                     | 0,10           | 160,00        | 780,00         | 0,13              | 23,56          |
| 2001 | A    | 29,29         | 6,62          | 4,58                     | 0,07           | 83,00         | 380,00         | 0,22              | 15,36          |
| 2001 | S    | 29,34         | 6,72          | 5,59                     | 0,09           | 120,00        | 186,00         | 0,16              | 23,90          |
| 2001 | O    | 30,12         | 6,52          | 6,18                     | 0,10           | 124,33        | 184,00         | 0,14              | 24,65          |
| 2001 | N    | 30,14         | 6,78          | 7,38                     | 0,11           | 250,33        | 847,00         | 0,23              | 27,36          |
| 2001 | D    | 29,28         | 6,90          | 7,88                     | 0,14           | 153,00        | 718,00         | 0,21              | 44,90          |
| 2002 | E    | 26,92         | 8,30          | 7,92                     | 0,17           | 276,00        | 990,00         | 0,25              | 13,49          |
| 2002 | F    | 26,05         | 7,08          | 8,46                     | 0,19           | 93,36         | 592,00         | 0,19              | 23,90          |
| 2002 | M    | 27,21         | 7,22          | 7,88                     | 0,16           | 132,00        | 592,00         | 0,19              | 24,65          |
| 2002 | A    | 29,20         | 7,80          | 7,80                     | 0,14           | 149,22        | 1000,          | 0,19              | 14,98          |
| 2002 | My   | 30,04         | 7,30          | 5,14                     | 0,14           | 361,47        | 1000           | 0,12              | 45,32          |
| 2002 | J    | 30,04         | 6,90          | 5,41                     | 0,14           | 256,00        | 125,72         | 0,15              | 56,21          |
| 2002 | Jl   | 30,65         | 6,50          | 4,58                     | 0,14           | 17,29         | 160,00         | 0,48              | 49,91          |
| 2002 | A    | 29,34         | -,-           | 3,84                     | 0,10           | 16,25         | 165,00         | 0,40              | 45,32          |
| 2002 | S    | 30,12         | 6,52          | 5,59                     | 0,07           | 83,00         | 380,00         | 0,22              | 50,23          |
| 2002 | O    | 30,14         | 6,78          | 6,29                     | 0,09           | 120,00        | 186,00         | 0,16              | 46,69          |
| 2002 | N    | 29,28         | 6,90          | 6,18                     | 0,10           | 124,33        | 184,00         | 0,14              | 46,80          |
| 2002 | D    | 29,44         | 6,72          | 7,38                     | 0,11           | 250,33        | 847,00         | 0,23              | 56,21          |
|      | Máx  | 30,65         | 8,30          | 8,46                     | 0,20           | 404,40        | 1000           | 0,48              | 68,95          |
|      | Mín  | 26,05         | 6,50          | 3,84                     | 0,07           | 16,25         | 125,72         | 0,11              | 13,49          |
|      | Prom | 28,96         | 7,06          | 6,17                     | 0,13           | 167,23        | 582,50         | 0,20              | 37,89          |
|      | Ds   | 1,36          | 0,475         | 1,29                     | 0,04           | 96,80         | 327,02         | 0,09              | 15,38          |

Se detectaron correlaciones lineales significativas entre todos los compuestos de nitrógeno y el pH (Tabla 3), sin embargo, las correlaciones más significativas las muestran el nitrógeno total ( $r = 0,77$ ;  $P < 0,05$ ) y el nitrato ( $r = 0,82$ ;  $P < 0,05$ ). Para las especies químicamente reducidas estas correlaciones disminuyen ( $r = 0,52$ ;  $P < 0,05$  nitrito y  $r = 0,56$ ;  $P < 0,05$  amonio). Con el material en suspensión, solo el nitrógeno total ( $r = 0,74$ ;  $P < 0,05$ ) y el nitrato ( $r = 0,73$ ;  $P < 0,05$ ) se correlacionaron de manera significativa, sugiriendo posibles aportes desde fuentes similares que

posiblemente estarían asociadas al transporte de especies orgánicas suspendidas.

Las concentraciones de los compuestos nitrogenados determinadas son superiores a los reportados por LEWIS & SAUNDERS (1990) para el río Apure. Las concentraciones de fósforo total y fosfato presentaron tendencias similares ( $r = 0,90$ ;  $P < 0,05$ ). Los valores máximos y mínimos de fósforo total fueron de  $0,45 \mu\text{mol/l}$  y  $3,96 \mu\text{mol/l}$  con media de  $2,52 \mu\text{mol/l}$  y los de fosfato de  $0,26 \mu\text{mol/l}$  y  $2,25 \mu\text{mol/l}$

TABLA 2. Valores promedio de las variables químicas Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), Fósforo total (PT), Fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), Relación Nitrógeno total-Fósforo total (NT/PT) y Silicatos ( $\text{Si}(\text{OH})_4$ ) en las aguas de la desembocadura del río Apure, período febrero 2001 - diciembre 2002.

| Año  | MES            | $\text{NO}_3^-$<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) | $\text{NO}_2^-$<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) | $\text{NH}_4^+$<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) | PT<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) | $\text{PO}_4^{3-}$<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) | NT/PT<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) | $\text{Si}(\text{OH})_4$<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) |
|------|----------------|--|--|--|-----------------------------|---|--------------------------------|---|
| 2001 | F              | 18,43                                    | 0,26                                     | 2,22                                     | 3,18                        | 1,75  | 14,68                          | 173,15  |
| 2001 | M              | 18,11                                    | 0,21                                     | 8,33                                     | 2,63                        | 1,83  | 17,79                          | 134,70  |
| 2001 | A              | 16,47                                    | 0,25                                     | 3,89                                     | 2,76                        | 1,63  | 16,42                          | 130,90  |
| 2001 | M <sub>y</sub> | 21,92                                    | 0,22                                     | 5,00                                     | 3,21                        | 2,25  | 21,48                          | 185,36  |
| 2001 | J              | 16,16                                    | 0,14                                     | 3,33                                     | 2,83                        | 1,73  | 10,68                          | 132,00  |
| 2001 | Jl             | 12,53                                    | 0,16                                     | 2,22                                     | 2,93                        | 0,93  | 8,04                           | 112,23  |
| 2001 | A              | 6,28                                     | 0,08                                     | 1,67                                     | 0,45                        | 0,26  | 34,13                          | 86,65   |
| 2001 | S              | 10,07                                    | 0,18                                     | 3,89                                     | 0,96                        | 0,47  | 24,90                          | 124,73  |
| 2001 | O              | 10,79                                    | 0,19                                     | 4,61                                     | 1,89                        | 1,12  | 13,04                          | 132,23  |
| 2001 | N              | 14,44                                    | 0,20                                     | 2,78                                     | 0,67                        | 0,35  | 40,84                          | 169,68  |
| 2001 | D              | 7,97                                     | 0,23                                     | 3,33                                     | 2,58                        | 1,46  | 17,40                          | 144,70  |
| 2002 | E              | 13,49                                    | 0,16                                     | 8,84                                     | 3,96                        | 1,12  | 3,41                           | 160,30  |
| 2002 | F              | 12,53                                    | 0,25                                     | 13,89                                    | 2,76                        | 1,63  | 8,66                           | 130,90  |
| 2002 | M              | 10,07                                    | 0,19                                     | 10,56                                    | 3,21                        | 2,25  | 7,68                           | 144,70  |
| 2002 | A              | 8,84                                     | 0,28                                     | 15,72                                    | 2,75                        | 2,06  | 5,44                           | 173,15  |
| 2002 | M <sub>y</sub> | 9,90                                     | 0,11                                     | 6,02                                     | 2,12                        | 1,73  | 21,38                          | 134,70  |
| 2002 | J              | 9,83                                     | 0,18                                     | 10,00                                    | 3,54                        | 1,36  | 15,89                          | 130,90  |
| 2002 | Jl             | 1,62                                     | 0,08                                     | 4,44                                     | 1,56                        | 0,78  | 31,96                          | 83,12   |
| 2002 | A              | 1,56                                     | 0,06                                     | 3,44                                     | 2,83                        | 0,70  | 16,01                          | 112,23  |
| 2002 | S              | 2,03                                     | 0,14                                     | 7,78                                     | 2,93                        | 0,47  | 17,14                          | 86,65   |
| 2002 | O              | 7,97                                     | 0,18                                     | 10,00                                    | 2,58                        | 0,35  | 18,10                          | 124,73  |
| 2002 | N              | 12,53                                    | 0,19                                     | 10,56                                    | 2,76                        | 1,46  | 16,96                          | 132,23  |
| 2002 | D              | 16,47                                    | 0,20                                     | 11,11                                    | 2,76                        | 1,75  | 20,37                          | 169,68  |
|      | Méx            | 21,92                                    | 0,28                                     | 15,72                                    | 3,96                        | 2,25  | 40,84                          | 185,36  |
|      | Mín            | 1,56                                     | 0,06                                     | 1,67                                     | 0,45                        | 0,26  | 3,41                           | 83,12   |
|      | Prom           | 11,30                                    | 0,18                                     | 6,68                                     | 2,52                        | 1,28  | 17,50                          | 135,20  |
|      | Ds             | 5,40                                     | 0,06                                     | 4,02                                     | 0,88                        | 0,63  | 9,08                           | 28,10   |

l con promedio de 1,28  $\mu\text{mol/l}$ , representando el fosfato el 51% del fósforo total transportado por las aguas del río Apure. Las concentraciones de fosfato mostraron correlación positiva significativa a un nivel de significancia de  $P < 0,05$  con el nitrógeno total ( $r = 0,86$ ), nitratos ( $r = 0,75$ ), nitrito ( $0,58$ ) y amonio ( $r = 0,50$ ) evidenciando orígenes similares, que probablemente estén asociado a la descomposición de materia orgánica, y/o fertilizantes utilizados en la agricultura practicada en las zonas aledañas del cauce del río Apure. LEWIS & SAUNDERS (1990)

reportaron para el río Apure valores de 1,97  $\mu\text{mol/L}$  para fósforo total y 0,46  $\mu\text{mol/L}$  de fosfato, concentraciones que son inferiores a las determinados en la presente investigación.

La relación promedio de NT/PT (Tabla 2) fue alta (17,50) y estuvo dominada por las concentraciones de nitrógeno total. La máxima relación de 40,84 fue determinada para el mes de noviembre del 2001 y los mínimos para el período febrero-mayo del 2002, donde los valores decaen hasta

TABLA 3. Matriz de correlación de Pearson ( $P < 0,05$ ) entre pares de variables fisicoquímicas en aguas de la desembocadura río Apure, período febrero 2001 - diciembre 2002

|         | NR    | T     | PH    | O2    | mSc  | MES   | NTU   | DS    | NT   | NO3- | NO2- | NH4+ | PT   | PO43- | SI(OH)4 |
|---------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|---------|
| NR      | 1,00  |       |       |       |      |       |       |       |      |      |      |      |      |       |         |
| T       | 0,61  | 1,00  |       |       |      |       |       |       |      |      |      |      |      |       |         |
| PH      | -0,73 | -0,70 | 1,00  |       |      |       |       |       |      |      |      |      |      |       |         |
| O2      | -0,63 | -0,09 | 0,70  | 1,00  |      |       |       |       |      |      |      |      |      |       |         |
| mSc     | -0,87 | -0,74 | 0,94  | 0,34  | 1,00 |       |       |       |      |      |      |      |      |       |         |
| MES     | -0,71 | 0,14  | 0,45  | 0,08  | 0,44 | 1,00  |       |       |      |      |      |      |      |       |         |
| NTU     | -0,69 | -0,11 | 0,60  | 0,09  | 0,52 | 0,62  | 1,00  |       |      |      |      |      |      |       |         |
| DS      | -0,62 | -0,22 | -0,01 | 0,42  | 0,00 | -0,63 | -0,60 | 1,00  |      |      |      |      |      |       |         |
| NT      | -0,66 | -0,28 | 0,77  | 0,22  | 0,78 | 0,74  | 0,59  | -0,09 | 1,00 |      |      |      |      |       |         |
| NO3-    | -0,60 | -0,39 | 0,82  | -0,04 | 0,80 | 0,73  | 0,65  | -0,24 | 0,75 | 1,00 |      |      |      |       |         |
| NO2-    | -0,86 | -0,38 | 0,52  | 0,60  | 0,70 | 0,40  | 0,28  | 0,23  | 0,71 | 0,54 | 1,00 |      |      |       |         |
| NH4+    | -0,50 | -0,15 | 0,58  | 0,15  | 0,51 | 0,26  | 0,14  | -0,18 | 0,47 | 0,43 | 0,31 | 1,00 |      |       |         |
| PT      | -0,52 | -0,45 | 0,66  | -0,02 | 0,71 | 0,37  | 0,56  | -0,35 | 0,70 | 0,65 | 0,55 | 0,26 | 1,00 |       |         |
| PO43-   | -0,63 | -0,43 | 0,81  | 0,07  | 0,83 | 0,50  | 0,56  | -0,29 | 0,86 | 0,75 | 0,58 | 0,50 | 0,90 | 1,00  |         |
| SI(OH)4 | -0,62 | -0,10 | 0,46  | 0,50  | 0,61 | 0,83  | 0,47  | -0,12 | 0,73 | 0,70 | 0,73 | 0,19 | 0,40 | 0,52  | 1,00    |

$r > 0,50$  = significativo;  $r > 0,70$  altamente significativos

3,41 y 8,66. La alta relación entre el nitrógeno total y el fósforo total sugieren fertilidad de tipo orgánica en aguas del río Apure. WEIBEZAHN (1985) señala que, los ríos como el Apure que drenan los Andes Venezolanos, tienen altos contenidos de nutrientes, debido a que circulan por zonas sometidas a procesos de alta meteorización y erosión.

Las concentraciones de silicato variaron entre 83,12  $\mu\text{mol/L}$  y 185,36  $\mu\text{mol/L}$  con media de 135,20  $\mu\text{mol/L}$  (Tabla 2). La distribución de las concentraciones fue inversa al nivel del río como en el resto de los parámetros. Estas observaciones contradicen las reportadas de SAUNDERS & LEWIS (1989) quienes señalan, las concentraciones de silicatos guardan una relación positiva con la descarga en el río Apure. Por tratarse de estudios puntuales los resultados de SAUNDERS & LEWIS (1989) quizás pudieron estar sobrestimados.

Las concentraciones de silicato estuvieron asociadas de manera significativa con los valores de material en suspensión ( $r = 0,83$ ;  $P < 0,05$ ; Tabla 3), sugiriendo una asociación con la estructura del material transportado por el río que provienen de materiales sedimentarios meteorizados. Por estar asociadas las concentraciones de

silicatos al material en suspensión, la correlación altamente significativa podría evidenciar los procesos de meteorización en la cuenca del Apure.

Las pruebas estadísticas de ANOVA y de Rango Múltiple Student-Newman-Keuls, (Tabla 4), no indicaron variaciones significativas entre años para la mayoría de los parámetros a un nivel  $P < 0,05$ ; a excepción de las concentraciones de nitrato y amonio que mostraron diferencias significativas entre meses. Las fluctuaciones fueron mayores para la mayoría de las variables, sin embargo, en parámetros como la turbidez, transparencia del agua, nitrógeno total, nitrato, amonio, fósforo total y silicatos, no se observaron diferencias significativas.

## CONCLUSIONES

El incremento en el nivel del río Apure produce una fuerte dilución que hace decaer los valores de los parámetros fisicoquímicos de las aguas, sin embargo, las variaciones mensuales que muestran estas cantidades desde el punto de vista estadístico no son significativa para parámetros como la turbidez, transparencia del agua, nitrógeno total, nitrato, amonio, fósforo total y silicatos.

TABLA 4. Valores estadísticos del factor F y P < 0,05; obtenidos de los análisis de ANOVA para N=23 en los parámetros fisicoquímicos de las aguas del río Apure.

| Variable                      | Factores | F     | P      |    |
|-------------------------------|----------|-------|--------|----|
| NR                            | Año      | 0,12  | 0,73   | NS |
|                               | Meses    | 76,89 | 0,0001 | *  |
| T                             | Año      | 0,08  | 0,78   | NS |
|                               | Meses    | 12,21 | 0,0001 | *  |
| mSc                           | Año      | 0,01  | 0,91   | NS |
|                               | Meses    | 9,48  | 0,0004 | *  |
| pH                            | Año      | 0,31  | 0,58   | NS |
|                               | Meses    | 2,98  | 0,04   | *  |
| O <sub>2</sub>                | Año      | 0,62  | 0,43   | NS |
|                               | Meses    | 4,83  | 0,007  | *  |
| MES                           | Año      | 0,29  | 0,59   | NS |
|                               | Meses    | 4,15  | 0,013  | *  |
| NTU                           | Año      | 0,96  | 0,34   | NS |
|                               | Meses    | 1,96  | 0,14   | NS |
| DS                            | Año      | 1,84  | 0,19   | NS |
|                               | Meses    | 0,91  | 0,56   | NS |
| NT                            | Año      | 0,26  | 0,62   | NS |
|                               | Meses    | 0,62  | 0,78   | NS |
| NO <sub>3</sub> -             | Año      | 6,11  | 0,022  | *  |
|                               | Meses    | 1,03  | 0,48   | NS |
| NO <sub>2</sub> -             | Año      | 0,97  | 0,34   | NS |
|                               | Meses    | 5,06  | 0,006  | *  |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | Año      | 21,73 | 0,0001 | *  |
|                               | Meses    | 0,42  | 0,92   | NS |
| PT                            | Año      | 3,19  | 0,09   | NS |
|                               | Meses    | 0,83  | 0,62   | NS |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | Año      | 0,04  | 0,85   | NS |
|                               | Meses    | 5,06  | 0,006  | *  |
| NT/PT                         | Año      | 1,58  | 0,22   | NS |
|                               | Meses    | 0,96  | 0,53   | NS |
| Si(OH) <sub>4</sub>           | Año      | 0,33  | 0,57   | NS |
|                               | Meses    | 2,08  | 0,11   | NS |

F= Estadístico de Fischer; P= nivel de significancia;  
NS = No significativo; \*= Significativo

La investigación refleja discrepancias entre el comportamiento de las distribuciones señaladas en la bibliografía para algunos parámetros de las aguas del Apure y las determinadas en el presente estudio, tal es el

caso de pH y silicato. Esto sugiere que en el pasado, por tratarse de estudios puntuales pudo haberse hecho deducciones sobrestimadas con respecto al comportamiento de estos parámetros.

Los valores de silicatos reflejan procesos de meteorización y erosión en la cuenca del río Apure. Igualmente, los incrementos en el tiempo de las concentraciones de los compuestos de nitrógeno y fósforo reflejan usos excesivos de fertilizantes en la agricultura alrededor de la cuenca, no descartándose las descargas antropogénicas.

La alta relación mostrada entre el nitrógeno total y el fósforo total evidencian una fertilidad de tipo orgánica en aguas del río Apure.

#### Agradecimientos

Los autores agradecen a FUNDACITE GUAYANA toda la colaboración prestada para el desarrollo de esta investigación a través del financiamiento del proyecto 000606.

#### REFERENCIAS

- AMINOT, A. & M. CHAUSSEPIED. 1983. Dosage del' Oxygène dissous. Aminot, A., Chaussepied, M. (Eds), *Manuel des Analyses Chimiques en milieu Marin Centre National Pour L'Exploitation des Oceans, France*. CNEXO. 125 pp.
- BARKIS, N. & Y. M. CAGATAY. 2001. Factors controlling metal distributions in the surface sediments of the Erdek Bay, Sea of Marmara, Turkey. *Environ Int.* 27: 1-13.
- BEECK, G, H. BOOKES, D. RYSBERGEN. & R. STRAATMAN. 1988. The threat to Netherlands waterworks of nitrate in abstracted groundwater as demonstrated by the vierlings beek wellfield. *Water Supply.* 6 (3): 313-318.
- BENDSCHNEIDER, K. & R. ROBINSON. 1952. A new spectrophometric determination of nitrite in sea water. *J. Mar. Res.* 11:87-96.
- COMERMA, J. & O. LUQUE. 1971. Los principales suelos y paisajes del estado Apure. *Ag. Trop.* 21(5): 379-396.



- DEPETRIS, P. & J. PAOLINI. 1991. Biogeochemical Aspects of South American Rivers: The Paraná and the Orinoco. In: *Biogeochemistry of Major World Rivers* (Ed. E.T. Degens, S. Kempe & J.E. Richie). John Wiley and Sons, New York, USA. 105-125.
- DEZZEO, N., R. HERRERA, G. ESCALANTE. & N. CHACÓN. 2000. Deposition of sediments during a flood event on seasonally flooded forest of the lower Orinoco River and two of its black-water tributaries, Venezuela. *Biogeochemistry*. 49 (3): 241-257.
- JUNK, W. 1997. General aspects of floodplain ecology with special reference to Amazonian floodplains. In Junk, W (Eds) *The Central Amazon Floodplain*. Ecology of Pulsing System Ecological. Studies 126 Springer-Verlag. Berlin. 3-20.
- KOROLEFF, F. 1969. Direct determination of ammonia in natural water as indophenols blue. *Int. Count. Explor. Sea*. C.M. 1969/C. 9: 19-22.
- LEWIS, W. & J. SAUNDERS. 1990. *The Orinoco River as Ecosystem*. WEIBEZAHN F, H. ALVAREZ. & W. LEWIS, Eds. Impresos Rubel, Caracas, Venezuela. 211-240 pp.
- LEWIS, W. & J. SAUNDERS. 1990. Chemistry and element transport by the Orinoco Main Stem and lower tributaries. En: *El río Orinoco como ecosistema*. Weibezahn, F; H. Álvarez, & W. Lewis (Eds). Editorial Galac, S.A. Caracas. 211-239.
- MACDONALD, A., D. POWLSON, P. POULTON. & D. JENKINSON. 1989. Unused fertilizer nitrogen arable soils its contribution to nitrate leaching. *J. Sc. of food and agriculture*: 46: 407-416.
- MEADE, R., F. WEIBEZAHN, W. LEWIS. & D. PÉREZ-HERNÁNDEZ. 1990. Suspended-sediment budget for the Orinoco River. En: *El río Orinoco como ecosistema*. Weibezahn, F; H. Álvarez, & W. Lewis (Eds). Editorial Galac, S.A. Caracas. 55-79 pp.
- MULLIN, J. & J. RILEY. 1955. The spectrophotometric determination of silicate-silicon in natural waters with special reference to sea water. *Anal. Chim. Acta*. 12: 162-170.
- MURPHY, J. & J. RILEY. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta*. 12:162-170.
- RODRÍGUEZ, A. 1980. *Desarrollo del eje de navegación Orinoco-Apure-Arauca*. Informe Preliminar. Caracas: Vol. I, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.
- SAUNDERS, J. & W. LEWIS. 1989. Transport of major solutes and the relationship between solute concentration and discharge in the Apure River, Venezuela. *Biogeochem*. 8: 101-189.
- SENIOR, W. 1987. Manual de Métodos de Análisis de Agua de Mar. Inst. Oceanogr. Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. 119 pp.
- TREGUER, P. & P. LE CORRE. 1975. Manual d'analyses des sels nutritifs dans l'eau de mer. Utilisation de l' Auto-Analyzer II. Techicon. LOC-UBO. 2<sup>da</sup> Eds. France. 110 pp.
- VALDERRAMA, J. 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Mar. Chem*. 10: 109-122.
- WEIBEZAHN, F. 1985. Concentraciones de especies químicas disueltas y transporte de sólidos suspendidos en el Alto y Medio Orinoco y sus variaciones estacionales (Feb.1984-Feb. 1985). Informe Convenio MARN-PDVSA, Caracas, 223 pp.
- WOOD, E., F. ARMSTRONG. & L. RICHARDS. 1967. Determination of nitrate in sea water by cadmium and copper reduction nitrite. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 47: 23-31.
- ZINCK, A. 1982. Ríos de Venezuela. Lagoven (Petróleos de Venezuela, S.A.) Dpto. Rel. Publ. *Serie Cuadernos Lagoven*, Caracas. 63 pp.

RECIBIDO: Febrero 2009

ACEPTADO: Julio 2009