



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NÚCLEO DE SUCRE**  
**INSTITUTO OCEANOGRÁFICO DE VENEZUELA**  
**DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFÍA**

**DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICA Y**  
**CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN DE LAS AGUAS DEL ORINOCO**  
**MEDIO, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA**

**MSc. Aristide Márquez**

**Trabajo de Ascenso Presentado como Requisito Obligatorio para Ratificar la Categoría**  
**de Profesor Agregado**

**Cumaná, 2011**



## INDICE GENERAL

<u>INDICE GENERAL.....</u>	<u>i</u>
<u>LISTA DE FIGURAS.....</u>	<u>ii</u>
<u>LISTA DE TABLAS.....</u>	<u>v</u>
<u>RESUMEN.....</u>	<u>vi</u>
<u>INTRODUCCIÓN.....</u>	<u>1</u>
<u>MATERIALES Y MÉTODOS.....</u>	<u>9</u>
<u>ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS.....</u>	<u>11</u>
<u>RESULTADOS.....</u>	<u>16</u>
<u>CORRELACIONES ENTRE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE LAS AGUAS DEL ORINOCO MEDIO. ....</u>	<u>73</u>
<u>CONCLUSIONES.....</u>	<u>76</u>
<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</u>	<u>78</u>
<u>ANEXOS.....</u>	<u>90</u>
<u>HOJA DE METADATOS.....</u>	<u>94</u>

## LISTA DE FIGURAS

	Pag
<a href="#"><u>Fig.1. Descargas de desechos en las aguas del Orinoco Medio, en las cercanías de Caicara del Orinoco, estado Bolívar.....</u></a>	<a href="#"><u>9</u></a>
<a href="#"><u>Fig. 2. Área de estudio mostrando, los sitios de recolección de muestras en el Orinoco Medio.....</u></a>	<a href="#"><u>11</u></a>
<a href="#"><u>Fig.3. Niveles métricos (m) y caudal del río Orinoco (m<sup>3</sup>/s), transepto Caicara del Orinoco, estado Bolívar.....</u></a>	<a href="#"><u>16</u></a>
<a href="#"><u>Fig. 4. Distribución de la temperatura superficial por años, meses y estaciones en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (período 2001, 2002). (+ = media) .....</u></a>	<a href="#"><u>23</u></a>
<a href="#"><u>Fig. 5. Distribución de la conductividad por años, meses y estaciones en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (período 2001, 2002). (+ = media) .....</u></a>	<a href="#"><u>24</u></a>
<a href="#"><u>Fig. 6. Distribución del oxígeno disuelto por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media) .....</u></a>	<a href="#"><u>25</u></a>
<a href="#"><u>Fig. 7. Distribución del pH por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media) .....</u></a>	<a href="#"><u>31</u></a>
<a href="#"><u>Fig. 8. Distribución del MES por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media) .....</u></a>	<a href="#"><u>32</u></a>
<a href="#"><u>Fig. 9: Remociones temporales (%) de las concentraciones de Material en suspensión de el Medio Orinoco durante el año 2001 (0 a 34.93 Km).....</u></a>	<a href="#"><u>32</u></a>
<a href="#"><u>Fig. 10: Dilución temporal de las concentraciones de Material en suspensión en aguas del Medio Orinoco durante del año 2001.....</u></a>	<a href="#"><u>32</u></a>
<a href="#"><u>Fig. 11. Correlaciones espacio-temporales entre concentraciones de material en suspensión y la distancia en aguas del Medio Orinoco durante los meses mayo y abril del año 2001.....</u></a>	<a href="#"><u>33</u></a>
<a href="#"><u>Fig. 12. Distribución de la Turbidez (NTU) por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media).....</u></a>	<a href="#"><u>35</u></a>

<u>Fig.13. Distribución de la transparencia por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media).....</u>	<u>37</u>
<u>Fig. 14. Concentraciones de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media).....</u>	<u>42</u>
<u>Fig. 15. Concentraciones de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media).....</u>	<u>43</u>
<u>Fig.16. Concentraciones de amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media).....</u>	<u>44</u>
<u>Fig. 17. Concentraciones de nitrógeno total por años, meses y estaciones en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela (período 2001, 2002), (+ = media).....</u>	<u>45</u>
<u>Fig. 18. Concentraciones de fosfato total por años, meses y estaciones en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (período 2001, 2002) (+ = media).....</u>	<u>49</u>
<u>Fig. 19. Concentraciones de fosfatos por años, meses y estaciones) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (período 2001, 2002), (+ = media).....</u>	<u>50</u>
<u>Fig. 20. Concentraciones de silicatos por años, meses, zonas y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media).....</u>	<u>51</u>
<u>Fig. 21. Concentraciones de Hierro (Fe) por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media).....</u>	<u>66</u>
<u>Fig. 22. Concentraciones de Manganeso (Mn) por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media).....</u>	<u>67</u>
<u>Fig. 23. Concentraciones de Cobre (Cu) por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media).....</u>	<u>68</u>
<u>Fig. 24. Concentraciones de Zinc (Zn) por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media).....</u>	<u>69</u>
<u>Fig. 25. Concentraciones de Níquel (Ni) por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media) .....</u>	<u>70</u>
<u>Fig. 26. Concentraciones de cromo (Cr) por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela (+ = media).....</u>	<u>71</u>
<u>Fig. 27. Concentraciones de plomo (Pb) por años, meses y estaciones (período 2001, 2002)</u>	

<u>en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela (+ = media).....</u>	<u>72</u>
<u>Fig. 28. Concentraciones de cadmio (Cd) por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela (+ = media) .....</u>	<u>73</u>

## LISTA DE TABLAS

<u>Tabla 1. Valores estadísticos del factor F obtenido de los análisis de ANOVA en los parámetros T (° C); MsC, O2, pH, MES, NTU y T (m) en las aguas del Orinoco Medio, período 2001-2002.....</u>	<u>90</u>
<u>Tabla 2. Valores estadísticos del factor F obtenido de los análisis de ANOVA en los parámetros nutritivos NO3-, NO2-, NH4-, NT, PO4-3 y Silicatos en las aguas del Orinoco Medio, período 2001-2002. ....</u>	<u>91</u>
<u>Tabla 3. Valores estadísticos del factor F obtenido de los análisis de ANOVA de los metales pesados las aguas del Orinoco Medio, período 2001-2002.....</u>	<u>92</u>
<u>Tabla 4. Matriz de correlación de Pearson (P&lt;0,05) entre los parámetros fisicoquímicos de las aguas del Orinoco Medio, Venezuela.....</u>	<u>93</u>

## RESUMEN

En Venezuela los estudios limnológicos en los grandes ríos como el Orinoco, 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). También se investigaron los metales Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Cr, Cd y Pb durante dos años de estudio (2001-2002), en las aguas de un transepto del Orinoco medio. Se determinó que el incremento en los niveles del caudal del río, 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. Estadísticamente los Análisis de Varianza reflejan diferencias significativas entre años para la temperatura, pH, material en suspensión, turbidez, transparencia, nitrato, amonio, nitrógeno total, fosfato, fósforo total y silicatos, así como los metales, Cu, Pb. Entre meses y estaciones se detectaron diferencias para todas las variables estudiadas, observándose al mismo tiempo una fuerte influencia de la descarga del río Apure sobre las aguas del Orinoco Medio y que todas las variables tienen un gradiente decreciente en sus valores desde el margen izquierdo del río hacia el derecho. Se evidencian procesos erosivos y/o meteorización en la cuenca alta y media del río Orinoco 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 valores importantes de nitrógeno y fósforo total. Las concentraciones promedios ( $\mu\text{mol.l}^{-1}$ ) de metales pesados en agua en el período de estudio son bastante bajas encontrándose los mayores niveles en el período de menor gasto del río y no apreciándose la presencia de mercurio. La distribución espacial observada en las concentraciones de los metales con excepción de cadmio, fue similar a la apreciada para el material en suspensión. Los valores en  $\mu\text{mol/l}$  variaron en orden de decreciente de acuerdo a la relación: Fe (54,99) > Mn (0,76) > Zn (0,26) > Cr (0,08) > Cu (0,04) = Ni > Pb (0,013) > Cd (0,006) sugiriéndose entradas de Cd y Pb de origen antropogénico. En conclusión a diferencia de lo que ocurre al material en suspensión, nitrógeno y fósforo total no se evidencian alteraciones debido a metales en el ecosistema que pudiera considerarse como importantes. De acuerdo a estas últimas observaciones se concluye que durante los años 2001 y 2002, los valores y concentraciones de la mayoría de los parámetros evaluados podrían considerarse como naturales estando regidos el régimen hidrológico del Orinoco.

Palabras claves: Río Orinoco, variaciones, aguas superficiales, parámetros fisicoquímicos. Metales.



## INTRODUCCIÓN

Los estudios de calidad de las cuencas hidrográficas han adquirido gran interés en las últimas décadas, dado el incremento de población en sus riberas, el creciente grado de industrialización y los aportes del sector primario que se presentan. Las principales fuentes fijas de alteración y contaminación corresponden a las plantas industriales, desechos municipales y sitios de extracción, explotación y construcción como excavaciones (explotación agrícola, aprovechamiento forestal, minería, etc). Los contaminantes presentes en las fuentes industriales son por lo general nutrientes, metales pesados, compuestos orgánicos específicos, radionúclidos y propiedades fisicoquímicas específicas como pH, salinidad, demanda de oxígeno, dureza, etc. Los componentes de los desechos son microorganismos patógenos, nutrientes y carbono orgánico y se encuentran combinados con aceites, grasas y productos químicos derivados de las industrias, los que entran en las corrientes de desechos domésticos a través de los sistemas de alcantarillado y la escorrentía pluvial. Los desechos industriales contienen además cantidades altas de materia orgánica provenientes de las plantas procesadoras de alimentos y bebidas y de la industria del cuero y de la madera. Otras actividades aumentan la descarga de sedimentos como los relaves mineros (GESAMP, 2001).

El caso de los elementos nutritivos es de suma importancia ya que se ha demostrado la influencia de pluma del Orinoco sobre las aguas internacionales como, Trinidad, Tobago, Antillas Caribeñas, Puerto Rico (Muller-Karger y Valera, 1990). En tiempo de lluvia este fenómeno es importante ya que la mezcla entre las corrientes provoca un pulso de nutrientes que genera una abundancia del plancton. Los elementos nutritivos nitrógeno, fósforo y silicio se presentan bajo diversas formas minerales en solución. En el caso del nitrógeno se distinguen los diferentes grados de oxidación: nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ), en este último caso el amonio es la forma predominante siendo una especie muy utilizada como indicador de contaminación.. Por último el nitrógeno total es la suma de todas las especies nitrogenadas. Para el fósforo, se utiliza el término fosfato, que engloba todas las formas de ortofosfatos presentes ( $\text{H}_n\text{PO}_4^{(3-n)}$ ). El término silicio, que contempla las formas  $\text{Si}(\text{OH})_4$  y  $\text{SiO}(\text{OH})_3$ , representa casi la totalidad del silicio disuelto, respectivamente al pH del agua de mar. Luego del desarrollo del fitoplanctónico en las aguas

estos elementos pueden llegar a ser inferiores a los límites de detección. Los niveles de nutrientes por lo general, son mayores en el agua de los ríos que en las aguas costeras superficiales y oceánicas. Los procesos naturales que originan la presencia de nutrientes en los ríos son variados y diferentes. La concentración de fosfato es regulada inorgánicamente por la solubilidad del ortofosfato. Los compuestos nitrogenados son más solubles y su concentración está regulada por la mineralización del nitrógeno orgánico en el suelo y el uso de los fertilizantes, entre otros. El silicato proviene de la meteorización de las rocas o minerales arcillosos (Libes, 1990). La distribución vertical y horizontal de estos nutrientes es lo que hace realidad todos los procesos biológicos que se desarrollan en los ecosistemas acuáticos (Senior y Castañeda, 2000).

Las concentraciones de micro nutrientes, los cuales son sustancias fundamentales para el desarrollo de los procesos biológicos en el mar, están reguladas por procesos fisicoquímicos y biológicos. Sin embargo, esas concentraciones pueden aumentar significativamente ante aportes antropogénicos. Como ejemplos, se pueden citar: el aumento de nutrientes nitrogenados ligado a descargas cloacales costeras (Baalsrud, 1967) o el de fosfatos relacionados con presencia de detergentes (Capuzzo, 1981). Un aumento en la disponibilidad de nutrientes genera un desmedido crecimiento biológico (crecimiento de biomasa fitoplanctónica), lo que finalmente puede producir un colapso del sistema costero a través del proceso de eutrofización (aprovechamiento excesivo y acelerado de nutrientes, fundamentalmente fósforo y nitrógeno); (Horman, 1990). Luego de ser alcanzado este nivel por el crecimiento excesivo de vegetales acuáticos se incrementa la producción de materia orgánica, biodeposición de la misma en los fondos, implicando reducciones de concentración de oxígeno disuelto presente en el medio, debido a la necesidad de ser utilizado éste en los procesos de descomposición de la materia orgánica (Clément, 1993).

En el caso de elementos como los metales pesados es de vital importancia de su estudio en las aguas y sedimentos debido a su elevada toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación por los organismos vivos. Los efectos tóxicos que estos elementos ocasionan, no se detectan fácilmente a corto plazo, aunque sí puede haber una incidencia muy importante a medio y largo plazo. Las investigaciones sobre el estudio de los metales pesados en los

ecosistemas acuáticos, se han intensificado en los últimos años, debido a la preocupación de proteger el medio ambiente y a causa del papel que algunos de estos elementos juegan en los seres vivos. Los metales pesados representan uno de los constituyentes inorgánicos mayores en los ecosistemas acuáticos (Emoyan *et al.* 2006). Su entrada en las aguas superficiales de los ríos y posterior deposición en los sedimentos representa un serio problema para estos ecosistemas (Scherer *et al.* 2011). En las aguas de los ríos, provienen de procesos naturales como meteorización de rocas y erosión de los suelos, sin embargo, los aportes de las actividades antropogénicas contribuyen significativamente al incremento de las concentraciones. A través de la precipitación y la deposición atmosférica, importantes cantidades de estos metales entran también en el ciclo hidrológico a través de las aguas de la superficie (Furhan *et al.* 2006; Feria *et al.* 2010). En los medioambientes contaminados, los organismos los bioacumulan, debido a la estabilidad química que presentan (Ibragimow y Głosińska, 2010). Es por ello que, el monitoreo del contenido del metales pesados en los cuerpos del aguas, especialmente el derivado de las actividades antropogénicas es una actividad particularmente importante para la valoración de la calidad y protección de los ecosistemas (Priju y Narayana 2007; Márquez *et al.*, 2010). La distribución del metal en los sedimentos de fondo es afectado por la composición mineral y la composición en el material suspendido, por la influencia antropogénico y los procesos in situ como, deposición sobre el sedimento, adsorción y enriquecimiento por microorganismos (Jain *et al.*, 2005).

La toxicidad de los metales pesados sobre los organismos acuáticos, está influenciado por algunos factores limnológicos como, pH, Alcalinidad, dureza, salinidad, materia orgánica, sólidos totales y carga sedimentaria (Aprile *et al.*, 2005; Aprile y Nouvy, 2008). Las actividades humanas pueden modificar los ciclos geoquímicos de los metales pesados resultando en una contaminación ambiental. La determinación del impacto antropogénico sobre la composición sedimentaria natural es esencial para el estudio de monitoreo ambiental, porque el sedimento es muy sensitivo y puede grabar los niveles de contaminantes derivados no solo de los procesos naturales, sino también de los antropogénicos (Förstner y Wittmann, 1981; Szefer, 2002, Selvaraj *et al.*, 2010). Los metales pesados tienen un gran significado como indicadores de la calidad ecológica de todo flujo de agua debido a su toxicidad y muy especialmente al comportamiento bioacumulativo. Asimismo los metales pesados tienen

tendencia a formar asociaciones, con sustancias minerales (carbonatos, sulfatos, etc.) y en mayor grado con sustancias orgánicas, mediante fenómenos de intercambio iónico, adsorción, quelación, formación de combinaciones químicas, etc., por lo que se acumulan en el medio ambiente, principalmente en los sedimentos de ríos, lagos y mares (Förstner y Wittmann, 1981). No es de extrañar, que la detección de los metales pesados se haya convertido en un parámetro clave en los análisis del medio ambiente. Su ubicua presencia en el ambiente, especialmente en los medios acuáticos, les convierte en sustancias a las cuales estamos expuestos en forma continua.

El objetivo principal de esta investigación fue determinar y hacer una descripción de las características y del estado fisicoquímico y de metales pesados en de las aguas en un tramo del río Orinoco, estado Bolívar, Venezuela. La importancia del estudio radica en que los estudios fisicoquímicos en sus aguas son escasos y que de esta manera, se aportará información que será de utilidad para futuros estudios fisicoquímicos y biológicos, considerando que en la actualidad está en construcción del tercer puente sobre el río Orinoco en las aéreas adyacentes donde se realizó esta investigación. Es por ello que en esta investigación se planteo como objetivo general: Realizar una

Como objetivos específicos se planteó

1. Hacer una descripción de las características fisicoquímicas y estudiar la variación espacio temporal de las mismas
2. - Determinar los valores y concentración de los parámetros fisicoquímicos: conductividad, oxígeno disuelto, pH, temperatura, amonio, turbidez, material en suspensión, nitrato, nitrito, fósforo total, fosfato, silicio y amonio en las muestras de aguas superficiales del río Orinoco en el tramo señalado.
3. Cuantificar las concentraciones de cadmio, zinc, plomo, hierro, manganeso, cromo, cobre, níquel, en las aguas superficiales del río Orinoco en el tramo comprendido entre la desembocadura del río Apure y Caicara del Orinoco, Municipio Cedeño, Estado Bolívar.

4. - Evaluar la interrelación entre las concentraciones de los metales pesados en las aguas superficiales y el material en suspensión.
5. Hacer un estudio estadístico aplicando análisis multifactorial de ANOVA para determinar las variaciones de los parámetros a escala temporal y espacial.
6. – Generar información que pueda permitir la creación de una línea base respecto a las distintas variables fisicoquímicas, al igual que de los metales pesados en las aguas superficiales en el área a estudiada.
7. - Verificar el posible impacto antropogénico por metales pesados en las aguas superficiales en la zona estudiada.
- 8.- Aportar información sobre la calidad de las aguas en de las aguas del río Orinoco en la zona de estudio señalada, con el propósito de contribuir a diseñar planes de control, ordenación y manejo de los vertidos líquidos y sólidos que son vertidos sobre su cuenca.

### **ANTECEDENTES EN EL RIO OINOCO**

La descarga del río Orinoco combinada con la del Amazonas representa aproximadamente 16 % del aporte anual de agua dulce a los mares del globo (Muller-Karger y Valera, 1990). Los estudios dirigidos a conocer más profundamente al Orinoco, se han intensificado en los últimos años. Se creó que este importante río venezolano, considerado entre los 10 más caudalosos y del mundo y uno de los mayores transportadores de sedimentos, se encuentra poco intervenido (Sánchez, 1990), sin embargo la industria pesada venezolana (hierro y aluminio), parte de la industria petrolera del futuro (crudos pesados), la construcción de varios complejos hidroeléctricos y de puentes de importancia, que se desarrollan a lo largo de su cuenca (Monente, 1990), podrían inevitablemente alterar el régimen sedimento lógico y ecológico del río. Todo lo planteado justifica la importancia que se le han dado a los estudios en los últimos años. En la actualidad es conocido que empresa del aluminio Bauxilum, opera en los márgenes del Medio Orinoco, vertiendo a sus aguas, los desechos mineros producto de la explotación de la Bauxita (González *et al.*, 2000).

La cuenca del Orinoco drena tres grandes zonas: el Escudo Guayanés, al sur; los Llanos al norte y oeste y la región de los Andes al oeste y noroeste. Drena un área aproximada de 989.00 K m<sup>2</sup>, de los cuales un 33 % se encuentra en territorio Colombiano, ocupando cerca de la mitad de los llanos de este país, y aproximadamente un 67 % se encuentra en territorio venezolano. El río recorre unos 2.060 Km. hasta la desembocadura en el Atlántico, donde tiene una descarga promedio de 36.000 m<sup>3</sup>/s (Yáñez y Ramírez, 1988). Por su margen derecha recibe la descarga de los ríos que discurren por el escudo Guayanés, muchos de los cuales tienen gastos superiores a 1.000 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> y por el margen izquierdo los que transitan por los llanos venezolanos con un área total de 226.300 Km<sup>2</sup>, dentro de este grupo se encuentra el río Apure el cual es uno de los principales tributarios y aporta 6,7% (7,3x10<sup>10</sup> m<sup>3</sup>/año de agua) de la descarga total de todos los tributarios de ese margen 110x10<sup>10</sup> m<sup>3</sup>/año (Millican y Meade, 1983), lo cual tiene gran incidencia de aportes terrígenos (20-25 x10<sup>6</sup> ton/año de sedimentos suspendidos) y de vertidos líquidos al cauce principal del Orinoco.

Las grandes dimensiones de la red fluvial del río Orinoco en conjugación con la poca pendiente promedio (< 0,01%. Vila, 1960; Zinck, 1977) determina un tiempo de tránsito de agua considerable, de bastante importancia biológica. Los hidrógramas del Orinoco muestran una descarga uní modal, caracterizada por un periodo de aguas altas que se extiende desde junio a noviembre, como consecuencia del régimen pluvial dominante en la zona sur de Venezuela, donde la lluvia constituye el principal elemento del clima (EDELCA, 1984; Yáñez y Ramírez, 1988).

Durante la década de los años setenta, cuando las investigaciones sistemáticas sobre la Limnología y la Pesquería en el río Orinoco comenzaron, una variedad de trabajos analíticos aparecieron, los cuales visualizan críticamente los avances de las pasadas dos décadas, surgiendo así mismo, nuevas áreas de investigación basadas en esas observaciones. Para facilitar el intercambio científico de los datos concernientes al Orinoco, un simposio fue dedicado a el río durante 1986 (El Ecosistema del Orinoco: Conocimientos Presentes y Necesidad de Estudios Futuros), resultados que fueron publicados en 1990 (Vázquez y Wilbert, 1992; Weibezahn *et al.*, 1990; citado en Calow y Petts, 1992). En 1990 un segundo gran simposio fue realizado en Venezuela (Simposio Internacional Sobre los Grandes Ríos

Latinoamericanos) en el cual el Orinoco figuró como el mayor tópico de discusión (Vázquez y Wilbert, 1992; citado en Calow y Petts, 1992).

Las investigaciones de los aspectos sociales y ecológicos del sistema del río Orinoco y los estudios de impactos ambientales relacionados con la explotación de las reservas petroleras recibieron considerable soporte en el pasado a través de las industrias petroleras y del gobierno nacional a través de los antiguos Ministerios de Energía y Minas y el M.A.R.N.R). Sin embargo los estudios relacionados con las características fisicoquímicas y de la distribución de metales pesados en los ríos, costas y estuarios en Venezuela son muy pocos. Respecto a el río Orinoco, estos estudios son limitados; algunos aspectos relacionados con la química y fitoplancton del Orinoco fueron estudiados en la zona de Ciudad Bolívar y el río Caroní encontrándose una ligera acidez de estas aguas, baja conductividad y poco desarrollo de las especies fitoplanctónica (Lewys y Weibezahn, 1981). Sánchez -Suarez y Trocone-Osorio (1995) estudiaron el efecto de la descarga del río Orinoco en la transparencia de las aguas del Golfo de Paría y su relación con la distribución de la clorofila *a*, encontrando que aun cuando la descarga del Orinoco causa un descenso considerable en la transparencia del agua debido básicamente a los aportes del material disuelto/suspendido, el suministro de luz es lo suficientemente alto para sostener grandes poblaciones de fitoplancton y la producción de clorofila.

En el río Orinoco dentro los pocos estudios de metales que se conocían antes de esta investigación, los del proyecto PECOR en los años 84-85, los cuales fueron trabajos muy puntuales. Otros trabajos como los de Salazar (1989) realizados en el, indicaron concentraciones moderadas de los metales pesados (Fe, Mn, Zn y Cu) en la región estuarino-deltaica del río Orinoco. El río Orinoco y su cuenca constituyen un polo de desarrollo de gran importancia para el futuro de Venezuela. Este desarrollo ha comenzado a traer consigo una serie de efectos aislados y acumulativos, con carácter degradativo para el medio ambiente, en menor o mayor grado (Ver Fig.1). En la actualidad informaciones relacionadas con este tema y en especial con el estudio de metales pesados, son bastantes escasas y las que existen son puntuales y restringida a ciertas áreas de estudio de regiones físicas-geográficas muy limitadas.







**Fig.1.** Descargas de desechos en las aguas del Orinoco Medio, en las cercanías de Caicara del Orinoco, estado Bolívar.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

## Área de estudio

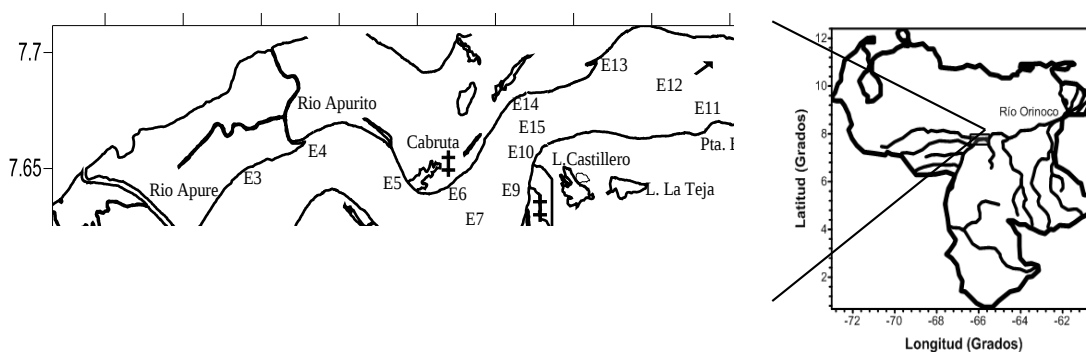
El río Orinoco ocupa el tercer lugar entre los ríos más caudalosos del mundo. Su elevada descarga promedio ( $1,1 \times 1.012 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ ) solamente es superada por los ríos Amazonas ( $6,3 \times 1.012 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ ) y Zaire ( $1,3 \times 1.012 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ ) (Milliman y Meade, 1983). La cuenca está compartida geopolítica-mente por Venezuela y Colombia y abarca una superficie de 1.080.000  $\text{km}^2$ , de los cuales Venezuela posee el 71% y Colombia el 29% restante. El río Orinoco se ha delimitado geográfica e hidrológicamente en alto, medio y bajo Orinoco (Vila, 1960, Mora Polanco *et al*, 2007). Por su margen derecha, el Orinoco recibe los aportes de tributarios que drenan el Escudo Guayanés mientras que por su margen izquierda recibe los ríos que drenan los Andes colombianos y venezolanos, al igual que los Llanos ubicados entre los Andes y el Escudo Guayanés (Cressa *et al*, 1993). El Área de estudio se ubicó específicamente en la zona comprendida entre la desembocadura del río Apure hasta Caicara del Orinoco, Municipio Cedeño del estado Bolívar (Fig.2) en un transepto aproximado de 36 Km. Este transepto tiene como característica especial que, en las aéreas aledañas a se lleva a cabo en la actualidad, la construcción del tercer puente sobre el río Orinoco, el cual unirá a los estados Guárico y Bolívar a través de las ciudades Cabruta y Caicara del Orinoco. También se encuentran los puertos de embarcaciones de ambas ciudades. El río Apure es uno de los principales tributarios de la margen izquierda del río Orinoco en esta zona ya que aporta el 6,7% ( $7,3 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{año}$  de agua) de la descarga total de todos los tributarios de ese margen  $110 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{año}$  (Milliman y Meade, 1983), lo cual tiene gran incidencia de aportes terrígenos ( $20\text{-}25 \times 10^6 \text{ ton/año}$  de sedimentos suspendidos) y de vertidos líquidos al cauce principal del Orinoco.

## Diseño del muestreo

Los muestreos tuvieron una duración de 2 años. 15 estaciones fueron fijadas para la recolección mensual de muestras para agua de superficie y sedimentos del lecho del río, cubriendo una distancia de aproximadamente 36 Km. Los muestreos de agua se realizaron mensualmente desde febrero del 2001 hasta Diciembre del 2002. En la zona se establecieron estaciones claves para estudiar la posible influencia antropogénica, estas fueron identificadas como: E1 (influencia del río Apure), E4 (desembocadura del río Apurito, E5 y E6 (Puerto de

Chalanas de Cabruta, estado Guárico), E9 (entrada de la laguna Arenosa) y E10 (Puerto de Chalanas de Caicara del Orinoco, Estado Bolívar)

15 muestras mensuales de agua superficial fueron recolectadas desde febrero 2001 hasta diciembre del año 2002 en el cauce principal Orinoco Medio Las 15 muestras se distribuyeron aguas abajo, en una distancia desde la desembocadura del Apure hasta la población de Caicara del Orinoco en el estado Bolívar, Venezuela (N 07° 38'68.8 W 66° 11'24.5) (Fig. 2). Las muestras fueron tomadas de tal manera que se permitieran observar el comportamiento de cada parámetro, en los márgenes izquierdo, central y derecho del Orinoco Medio.



**Fig. 2.** Área de estudio mostrando, los sitios de recolección de muestras en el Orinoco Medio.

Las coordenadas de la zona muestreada fueron obtenidas mediante un GPS marca Garmin Modelo 12 XL. Los valores de los niveles río (expresado en metros y referido a S.N.M.M) y caudal ( $m^3/s$ ), fueron suministrados por el Instituto Nacional de Canalizaciones, División de Caicara del Orinoco, Estado Bolívar, Venezuela. Las Muestras de agua superficiales fueron colectadas en envases de plástico de 20 L de capacidad para facilitar las medidas de pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, amonio y turbidez y que las medidas pertenecieran a la misma parcela de agua.

## ANALISIS DE LAS MUESTRAS

### **Determinación de temperatura, pH conductividad, oxígeno disuelto, turbidez y transparencia del agua.**

Estos análisis se realizaron por medición *in situ* utilizando una sonda multiparamétrica digital computarizada SOUVEYER, marca HIDROLAB. Las medidas de oxígeno fueron confirmadas posteriormente en el laboratorio por el Método de Winkler el cual permite alcanzar una precisión rutinaria de  $\pm 0,03$  ml/l (Aminot y Chaussepied, 1983). Los valores de transparencia se obtuvieron por medición con disco de Secchi, utilizando para las medidas una cinta métrica de 0,10 cm de precisión

### **Determinación de material en suspensión**

El contenido de material en suspensión se determinó por filtración de las muestras a través de membranas de mezcla ester celulosa con poros de  $0,45 \mu\text{m}$  y 47 mm de diámetro, utilizando un equipo Millipore. Los filtros fueron secados posteriormente en estufa y secados a peso constante (Senior, 1987).

### **Determinación de elementos nutritivos.**

Las muestras fueron tomadas en envases de polietileno de poliestireno de capacidad 500 ml, los cuales son fueron previamente lavados con HCl 10 % y enjuagados 3 veces con agua des-ionizada. Posteriormente fueron filtradas al vacío en membranas de  $0,45 \mu\text{m}$ . Los envases posteriormente fueron preservados verticalmente bajo congelación a temperaturas de  $-4^\circ\text{C}$  hasta sus análisis.

### **Nitrato**

El nitrato se determino mediante un sistema autoanalizador según el método descrito por Treguer y Le Corre (1975). Lo que se mide en realidad es la suma de las concentraciones de los iones  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NO}_3^-$ . Por sustracción de la concentración de nitrito, se obtiene la concentración de nitrato. La reducción de los iones nitrato a nitrito, se efectúa por el paso de la

muestra a través de una columna que contiene cadmio granulado tratado con cobre (Wood *et al.*, 1967). El método tiene una precisión de  $\pm 0,10 \mu \text{ mol /L}$ .

### **Nitrito**

Se procedió según el método descrito por Bendschneider y Robinson (1952) y descrito por Strickland y Parsons (1972). Los iones nitritos presentes en las muestras de agua forman un diazoico con la sulfanilamida en medio ácido ( $\text{pH} < 2$ ). Luego el compuesto diazótico reacciona con N-naftil-etilendiamina para formar un colorante rosado, el cual tiene un máximo de absorción a 543 nm. El método presenta una precisión de  $\pm 0,01 \mu \text{ mol /L}$

### **Amonio**

Estos análisis se realizaron por medición *in situ* utilizando una sonda múltipara métrica digital computarizada, marca HIDROLAB posteriormente, se confirmó utilizando el método descrito por Koroleff (1969), el cual mide la totalidad del nitrógeno amoniacal  $\text{N-NH}_3 + \text{N-NH}_4^+$ ;

### **Fosfato.**

Para los análisis de fosfato se utilizó el método de Murphy y Riley (1962). Los iones fosfato reaccionan con el molibdato de amonio, en presencia de antimonio (III), para formar un complejo que es reducido posteriormente por el ácido ascórbico. Esta forma reducida de fósforo presenta una coloración azul, tiene un máximo de absorción a 885 nm. La gama de concentraciones medidas es muy extendida y comprende de 0,02 a 28  $\mu \text{ mol /L}$ . El método tiene una precisión de  $\pm 0,01 \mu \text{ mol /L}$

### **Fósforo y nitrógeno total.**

Se determinaron de manera simultánea por el método de Valderrama (1981). Para nitrógeno la precisión es de 4% a nivel de 30  $\mu \text{ mol/L}$  y de 11,7% a nivel de 6  $\mu \text{ mol/L}$ . Para fósforo total es de 0,2% a nivel de 5  $\mu \text{ mol/L}$  y 2% a nivel de 1  $\mu \text{ mol /l}$ .

**Silicato.**

Los silicatos se analizaron por el método de Treguer y Le Corre (1975). Este método se basa en la formación de un complejo silicomolibdico que después de ser reducido con una solución de metolsulfito, ácido oxálico y ácido sulfúrico, da una coloración azul intensa. El método presenta una precisión de  $\pm 0,1 \mu \text{mol.l}^{-1}$ . 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, SouthDown House, Station Road, Petersfield, Hants GU32 3ET, Great Britain.

Los cálculos de todos los elementos nutritivos se obtuvieron por interpolación utilizando las curvas de calibración elaboradas para cada parámetro. El valor de absorbancia corregido de la muestra (Abs.medida-Abs.blanco) fue multiplicado por el valor de la pendiente de la curva de calibración y los resultados expresados en  $\mu \text{mol.l}^{-1}$ . Las mediciones de las concentraciones de nitrito y fosfato se efectúan utilizando un Espectronic 401 marca Milton Roy. Nitrato y silicato por su parte se determinaron de forma automatizada utilizando un auto analizador Technicon II.

**Determinación de metales pesados en aguas superficiales**

Los análisis de metales pesados se hicieron en muestras de aguas filtradas con el propósito de hacer una mayor preconcentración de la muestra, siguiendo al mismo tiempo las sugerencias de Sánchez (1990), quien señala que en las aguas del Orinoco las mayores proporciones se encuentran formando parte de los minerales que conforman el material en suspensión. 2 litro de agua para cada una de las muestras fue filtrado a través de membranas de mezcla ester-celulosa con poros de  $0,45 \mu \text{m}$ , utilizando un equipo Millipore. Los filtros fueron secados en una estufa y sometidos a digestión con 15 ml de una mezcla de  $\text{HNO}_3$ :  $\text{HClO}_4$ :  $\text{HCl}$  en proporción 3:1:1 (Lewis y Landing, 1992). Las determinaciones se hicieron por Espectrofotometría de Absorción Atómica con llama de aire-acetileno y corrección de fondo de deuterio, utilizando un equipo Perkin Elmer 3100. Los patrones de calibración y los

blancos recibieron el mismo tratamiento.

### **Tratamiento estadístico**

La separación por zonas las cuales corresponden a los márgenes izquierdo, derecho y central se realizó aplicando un análisis de conglomerados a los resultados obtenidos lo cual permitió agrupar las diferentes estaciones, tal como se muestra en la figura 3. Para validar los resultados se realizaron Análisis de Varianza Multifactorial (3 factores). Los factores se denominaron: año, mes y estaciones. En todos los casos se aplicó la prueba “a posteriori” SNK (Student-Newman-Keuls) a un nivel  $\alpha=0,01$  y  $\alpha=0,05$ . 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 y SYSTAT 10.0 para la realización de las pruebas estadísticas.

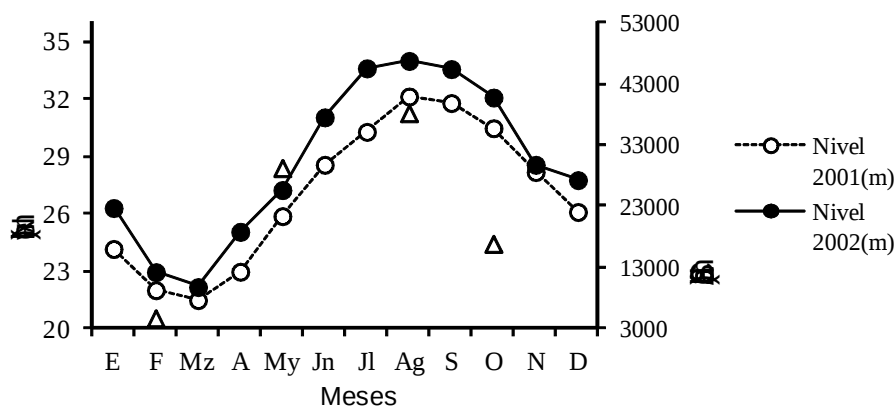
## RESULTADOS

Los resultados obtenidos en todos los parámetros están representados en gráficos de cajas, los cuales muestran los resultados por años, meses, y estaciones, en los cuales se muestran los valores medios, mínimos y máximos. De manera general el factor tiempo y los cambios estacionales (precipitación, temperatura, evaporación, e insolación), introducen una variable importante en el componente hidrológico del Orinoco, la descarga que condiciona regímenes de volumen en los ríos y que conllevan procesos erosivos de lavado y de acarreo de masas químicas disueltas y particulada cambiantes, determinan fenómenos de transportes muy variados en el Orinoco Medio. Por otra parte la fuerte influencia que presenta la descarga del río Apure en la zona del Orinoco Medio, condiciona el comportamiento de la mayoría de los parámetros estudiados, lo cual se ve reflejado a distancias superiores 23 Km, después de la descarga de este tributario sobre las aguas del Orinoco Medio.

### Hidrología

#### Niveles métricos y caudal del río Orinoco.

En la Fig.3 se presentan los niveles métricos mensuales del Medio Orinoco durante los años 2001 y 2002, además de los caudales de los meses marzo, junio, agosto y diciembre del año 2001.



**Fig.3.** Niveles métricos (m) y caudal del río Orinoco ( $m^3/s$ ), transecto Caicara del Orinoco, estado Bolívar.



El ciclo hidrográfico del río Orinoco se caracterizó por presentar un incremento paulatino en sus niveles y caudales desde marzo hasta a agosto (mes de máximo nivel) y un descenso posterior desde agosto hasta febrero (mes de mínimo nivel). Los niveles del río durante el año 2002 fueron superiores a los del 2001. Se registraron valores mínimos en los niveles de 21,52 y 22,98 m durante los meses de febrero del 2001 y 2002 respectivamente, incrementándose estos valores hasta un máximo de 32,14 m en el 2001 y 34,04 m en los meses de agosto de los años 2001 y 2002 respectivamente. En los meses posteriores al mes de agosto, los niveles descendieron nuevamente de manera progresiva, observándose niveles menores de a 30 m en los meses de agosto hasta diciembre en el año 2001 y valores de entre 33,70 m y 28,02 en el 2002. Este incremento en el nivel del río está asociado al aumento del caudal del río como se aprecia en la Fig. 3, para el año 2001, los cuales se incrementaron desde un valor de 4789,68 m<sup>3</sup>/s en el mes de marzo hasta 38210,99 m<sup>3</sup>/s en el mes de agosto del 2001 y luego descender de nuevo hasta valores de 16.904 m<sup>3</sup>/s en el mes de octubre. Desde febrero hasta agosto se apreció una correlación positiva altamente significativa entre el nivel del río y el tiempo ( $r = 0,99$ ), en los meses posteriores a agosto esta correlación se invierte ( $r = -0,94$ ).

### **Temperatura**

La temperatura es uno de los parámetros más importantes del ambiente marino, sobre todo en lo referente a los ciclos biológicos que tienen efecto sobre la pesca, reproducción, etc. La mayor o menor intensidad de las reacciones químicas o procesos biológicos dependen de la temperatura del agua del ambiente donde se manifiestan. Con los valores de la temperatura se puede establecer el campo de densidad ya que está relacionada con la distribución de las masas de agua y la derivación de algunas propiedades ambientales; origina diferencias de densidades cuando predominan los gradientes, determinando la direccionalidad de los constituyentes químicos del agua (Shumilin *et al.*, 1993; Márquez, 1997).

La Fig.4 muestra las distribuciones de las temperaturas (° C) en el Orinoco Medio por año, meses y estaciones. Se observaron diferencias altamente significativas ( $\alpha = 0,05$ ) a nivel temporal (años y meses), no así a nivel espacial (Fig.3, Tabla. 1). Entre los años se encontró

que el año 2002 presentó valores promedios ( $29,17 \pm 0,08$  ° C) superiores al año 2001 ( $28,88 \pm 0,07$  ° C). Las pruebas a posteriores para los meses, permitieron identificar 6 grupos bien definidos comprendidos por febrero, enero, agosto, marzo, junio - julio, y un último grupo homogéneo, constituido por los meses de abril, septiembre, diciembre, noviembre, mayo y octubre. Entre los meses se observaron menores temperaturas a comienzos de año enero-febrero ( $28,04 \pm 0,01$  y  $26,87 \pm 0,01$ ) siendo las temperaturas de febrero significativamente menores a las de enero. Para los otros meses, valores intermedios son observados en marzo ( $28,64 \pm 0,01$  ° C), y en el período junio-agosto ( $28,91 \pm 0,01$  a  $29,14 \pm 0,01$  ° C). En el resto del año se registraron temperaturas más altas, que son superiores a  $29,39 \pm 0,01$  °C. En cuanto a la distribución de las temperaturas por zonas los mayores valores, se observaron en las estaciones ubicadas en la cercanía de la desembocadura del río Apure hasta Cabruta (inicio)  $29,15 \pm 0,01$  y en el margen izquierdo del Orinoco Medio ( $29,15 \pm 0,11$ ). En los márgenes derecho y central los valores oscilaron alrededor de  $28,99 \pm 0,01$  ° C, siendo los del margen izquierdo ligeramente superiores (Fig.4). Los valores encontrados en las temperaturas son comparables a los reportados por Senior y Castañeda (2000) para otras zonas del Orinoco, como Isla Iguana, Caño Macareo, Caño Mariusa (28 a 30 ° C) y el delta del Orinoco (26 a 31 ° C), así como por Márquez *et al.*, 2010 para las aguas del río Apure (28,96) °C.

## **Conductividad**

La conductividad es un Parámetro que se determina por las concentraciones de iones disueltos en el agua y suele estar en relación directa con el grado de mineralización del los cuerpos de agua (Senior y Castañeda, 2000).

La Fig.5 muestra el comportamiento de la conductividad (mS/C) en las aguas del Medio Orinoco. Los valores promedios fueron de  $0,046 \pm 0,003$  (mS/C) para el año 2001 y  $0,042 \pm 0,003$  (mS/C) para el 2002. No se observaron diferencias significativas entre los años para este parámetro ( $\alpha = 0,05$ ), aunque sí entre meses y estaciones ( $\alpha = 0,01$ ; Tabla. 1), al igual que una influencia marcada de las aguas del río Apure sobre las del Orinoco. Entre los meses se distinguieron cuatro grupos: el de menor conductividad (período agosto-octubre) con

conductividades que oscilaron entre  $0,027\pm 0,007$  y  $0,032\pm 0,007$  (mS/C); intermedia (períodos junio-julio; noviembre-diciembre), con valores comprendidos entre  $0,039\pm 0,007$  y  $0,042\pm 0,007$  (mS/C), luego se presenta una etapa de transición (abril-mayo; enero-febrero) con valores entre  $0,047\pm 0,007$  a  $0,055\pm 0,007$  (mS/C), registrándose los mayores valores en el mes de marzo ( $0,069\pm 0,007$ ). Espacialmente las máximas conductividades son encontradas en la zona de descarga del río Apure, con valores promedios de  $0,082\pm 0,003$ , luego se produce un descenso de los valores en el margen izquierdo como consecuencia del proceso de dilución de las aguas del Apure en las aguas del Orinoco, alcanzándose valores de  $0,035\pm 0,003$ . El margen derecho y centro del río se comportaron de manera similar con los menores valores ( $0,017\pm 0,003$  y  $0,026\pm 0,003$  (mS/C)).

El aumento de la conductividad que se observa con los bajos niveles del río se debe a la concentración de la carga iónica del río por el aumento de la evaporación durante los meses de sequía, por el contrario los descensos observados en aguas altas sugiere que los procesos de dilución debido al aumento de la masa de agua influye sobre la disminución de las sales y sólidos que son arrastrados por el río. Weibezahn (1985) y Vásquez y Wilbert (1992) reportan conductancias promedios bajas en el río Orinoco en el orden de 6,20 a 72,9  $\mu\text{S}/\text{Cm}$ , con valores mínimos de 3,40 y máximos de 134,00  $\mu\text{S}/\text{Cm}$ , señalando que las conductancias del Medio y Alto Orinoco son complejas debido al tipo de las sales presentes e indicando que las relaciones de concentraciones iónicas y conductancia son complicadas, particularmente cuando las concentraciones de estas sales son altas, donde la relación pierde su linealidad. La alta conductividad apreciada en el río Apure (E1), sugiere presencia de altas concentraciones de electrolitos en las aguas de este río debido a que drena la zona de los llanos Venezolanos, confirmando las observaciones realizadas por Sánchez (1985). Este autor reporta conductividades bajas para el Orinoco que oscilan entre 10 y 30  $\mu\text{mho}/\text{Cm}$  en el período de aguas altas y de 17 a 52  $\mu\text{mho}/\text{Cm}$  en aguas bajas, indicando que los bajos valores obedecen a que el contenido de electrolitos presente en el agua son bajos, debido a que la mayor parte drenada por el Orinoco, forman parte del Escudo Guayanés, los cuales son suelos rocosos, altamente drenados debido a una elevada pluviosidad (800 a 2000 (mm/año)).

Senior y Castañeda (2000) reportan valores promedios de  $12,33 \pm 1,53$   $\mu\text{S}/\text{Cm}$  para

la conductividad de zonas del Orinoco cercanas al delta, como Isla Iguana y 23  $\mu\text{S}/\text{Cm}$  para Caño Macareo. Para algunos ríos de la zona como el apure, Saunders y 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 las aguas, la concentración de estos iones se diluye produciendo un descenso en los valores de la conductividad y del pH.

### **Oxígeno Disuelto.**

El oxígeno es un gas que se encuentra en la atmósfera y juega un papel importante en los procesos de fotosíntesis y respiración. Este gas puede disolverse en el agua dependiendo su solubilidad de la ley de Henry  $G(g) = G(aq)$ , siendo G la solubilidad del gas en ambas fases (Manahan, 1982). En las aguas naturales las concentraciones son controladas por la disolución del aire en el agua y de la actividad fotosintética de los organismos vegetales presentes (Senior, 1994), difusión y mezcla en el seno de las masas de agua y difusión del movimiento de las ondas internas (Senior y Castañeda, 2000). Los factores que controlan la distribución del oxígeno en las aguas superficiales son la temperatura, salinidad, actividad biológica, corrientes y mezclado de las aguas, los cuales tienden a modificar el efecto de la actividad biológica (Salcedo, 1980).

La Fig.6 muestra las concentraciones de oxígeno en el Orinoco Medio, durante el período 2001 a 2002. El comportamiento general observado fue un descenso en las concentraciones con el aumento del nivel de las aguas, encontrándose las menores concentraciones en los meses de aguas altas. El promedio en las concentraciones encontrado en los dos años fueron de 6,24 mg/l para el año 2001 y 6,38 mg/l para el 2002. La tendencia general observada fue un descenso de las concentraciones de oxígeno disuelto con el aumento del caudal, apreciándose disminuciones de 7 mg/l a 4 mg/l desde febrero hasta agosto. Los análisis de ANOVA señalaron diferencias significativas ( $\alpha = 0,01$ ; Tabla. 1) solo entre meses, no apreciándose tendencias claras a lo largo de los años. En términos generales la prueba “a posteriori” determinó la existencia de cuatro grupos de menor a mayor contenido de oxígeno

disuelto: El primer grupo formado por los meses de mayo-junio, agosto; con valores de oxígeno comprendidos entre  $5,10 \pm 0,16$  y  $5,45 \pm 0,16$  mg/l, un segundo comprendido por julio, octubre-noviembre, con niveles de oxígeno entre 5,82 y 6,45 mg/l; el tercero integrado por enero, marzo-abril, con niveles entre 7,03 y 7,27 mg/l y el cuarto compuesto por diciembre, febrero, septiembre con concentraciones entre 7,35 y 7,56 mg/l.

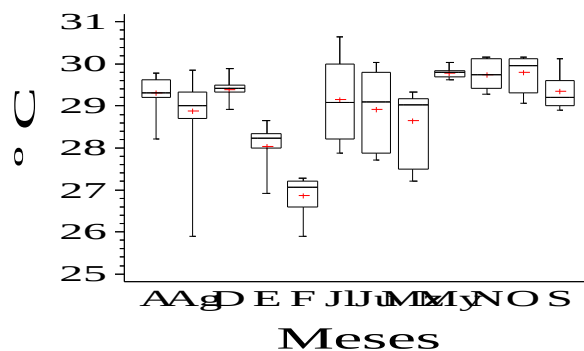
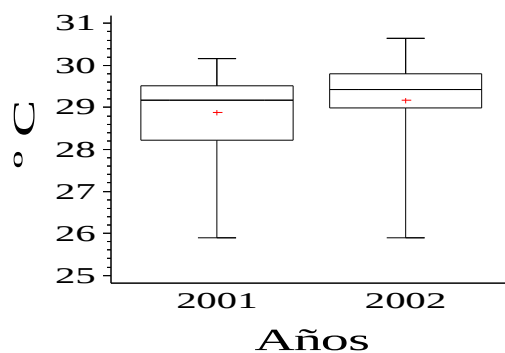
Las distribuciones de las concentraciones de oxígeno, encontradas en esta investigación, coinciden con los de Sánchez (1985), quien señala que el incremento en los primeros meses del año, está relacionado con la actividad fotosintética que tiene lugar durante el período de aguas bajas. En el de aguas altas no se observa este fenómeno ya que la proliferación del fitoplancton es menor debido a que son arrastrados por el incremento de la corriente de los ríos. Los niveles promedios por otra parte también coinciden con los trabajos de Senior y Castañeda (2000) quienes señalan que en general las masas de aguas del río Orinoco, se caracterizan por estar bien oxigenadas con concentraciones promedios de 6,43 mg/l y reportan concentraciones entre 6,47 y 7,05 mg/l para Caño Macareo, 5,36 mg/l para Caño Mariusa y superiores a 6,00 mg/l en Isla Iguana.

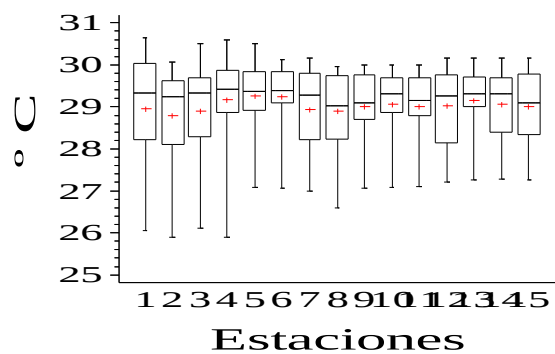
## pH

El pH de las aguas se debe a la presencia en ellas, tanto de los iones  $H^+$ , como a la de sustancias capaces de liberar protones directamente a partir de sus moléculas, como los ácidos orgánicos tales como el tánico e inorgánicos como es el caso del ácido carbónico, o indirectamente como consecuencia de su reacción con el agua con el  $CO_2$  y sales hidrolizables como  $Fe_2(SO_4)_3$  y  $Al_2(SO_4)_3$ . En las aguas naturales el pH proviene principalmente del  $CO_2$  atmosférico que penetra en el agua por disolución. Es un parámetro que juega un papel primordial en la distribución y destino de algunos elementos como los metales pesados en los estuarios, ya que, los cambios que puedan ocurrir en la zona de mezcla favorecen las transformaciones de las formas iónicas a especies hidrolizadas (Shumilin *et al.*, 1993). Generalmente se encuentran valores de 6,5 a 8,7 en los ríos, y de 8 a 8,3 en los mares debido a las reacciones alcalinas que tienen lugar por efecto de las grandes concentraciones de sales disueltas; aunque valores mayores pueden ser encontrados en presencia de una fuerte actividad

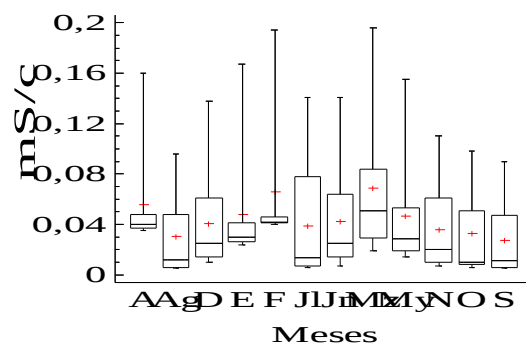
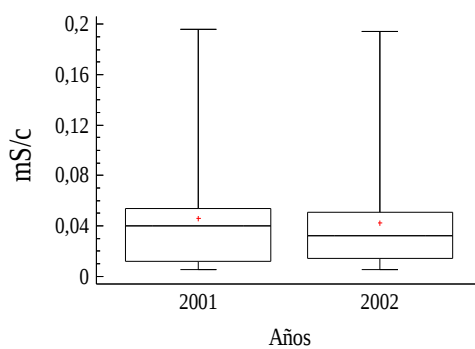
fotosintética. En los medios costeros y estuarinos, algunos vertidos industriales producen variaciones en el pH, pudiendo este ser utilizado como un indicador de contaminación (Senior y Castañeda, 2000).

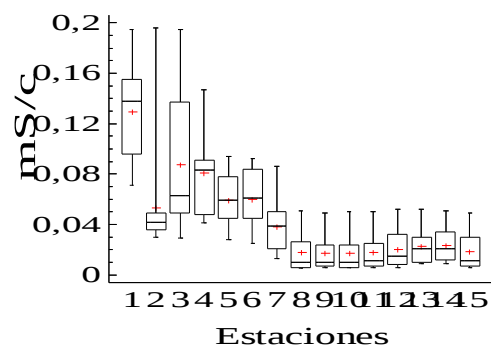
La tendencia observada fue un descenso en los valores del pH con el aumento del nivel y caudal del río, desde los primeros meses del año hasta los meses de aguas altas (julio, agosto, septiembre) (Fig.7). Los análisis de varianza revelaron diferencias altamente significativas ( $\alpha = 0,01$ ; Tabla. 1) entre años, meses y zonas. La prueba a posteriori indico que durante el 2001 el pH es más alto respecto al 2002, siendo los valores promedios de estos dos años  $6,63 \pm 0,07$  y  $6,25 \pm 0,07$  respectivamente.



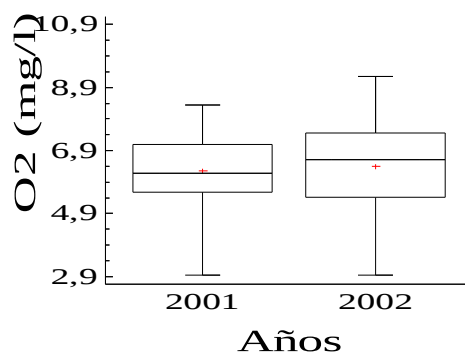


**Fig. 4.** Distribución de la temperatura superficial por años, meses y estaciones en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (período 2001, 2002). (+ = media)

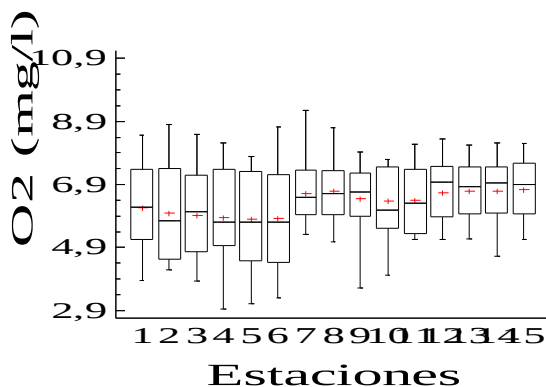
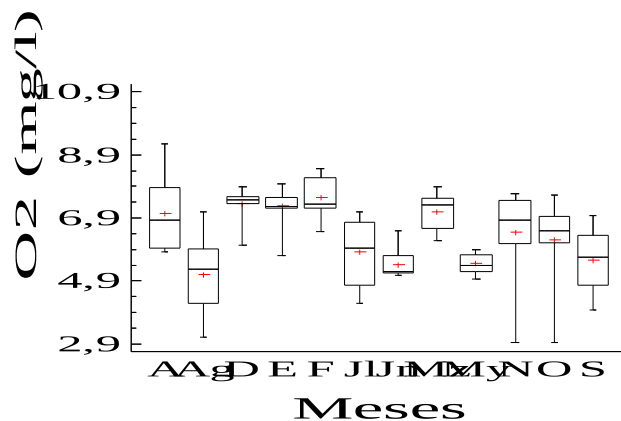




**Fig. 5.** Distribución de la conductividad por años, meses y estaciones en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (período 2001, 2002). (+ = media)







**Fig. 6.** Distribución del oxígeno disuelto por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media)

Entre los meses se observa que la segunda mitad del año presenta pH menor que los primeros meses. La prueba a posteriori agrupó los pH por meses de manera ascendente de la siguiente forma: 1) agosto ( $5,31 \pm 0,11$ ) 2); julio ( $5,59$ ); 3) septiembre, junio, diciembre, octubre y noviembre con valores entre  $6,07 \pm 0,11$  a  $6,34 \pm 0,11$  (4) marzo-mayo ( $7,04 \pm 0,11$  a  $7,08 \pm 0,11$ ) y por último febrero-enero con valores de  $7,22 \pm 0,11$  y  $8,02 \pm 0,11$  respectivamente. Espacialmente las estaciones cercanas a la descarga del río Apure presentaron mayor pH en comparación con el resto del ecosistema, siendo el valor promedio para esta zona  $6,75 \pm 0,11$ . Las restantes zonas se comportaron como un solo grupo homogéneo, presentando valores

medios de  $6,21 \pm 0,11$  para el margen derecho;  $6,29 \pm 0,11$  para el centro y  $6,34 \pm 0,11$  para el margen izquierdo (Fig.7).

El descenso del pH en aguas en aguas altas observados en el Orinoco, sugiere una influencia de transporte de compuestos orgánicos (ácidos húmicos y flúvicos) originados por arrastre del material detéctico y al lavado de zonas que poseen suelos ácidos, debido al incremento de las lluvias en la parte alta de la cuenca. Weibezahn (1990) señala que los valores promedios de pH para las aguas del Orinoco y algunos de sus tributarios son ligeramente ácidas con promedios entre 6,20 a 6,80 y que estos valores guardan una relación negativa muy significativa con la descarga en su cauce principal. Al mismo tiempo, señala que presenta correlaciones positivas e igualmente altas con la temperatura, conductancia y sílice; hecho que es confirmado en la presente investigación, ya que se encontraron correlaciones altamente significativa con estos parámetros (Tabla.1 y Fig.7). La mayor descarga del río Orinoco y su efecto diluyente, aparentemente controla la variación estacional del pH. En otras zonas del Orinoco, Senior y Castañeda (2000) reportan valores promedios de pH de 5,84 para Isla Iguana, 5,88 para Caño Macareo y 6,68 para Caño Mariusa.

### **Material en Suspensión (MES).**

La presencia de sedimentos suspendidos o sólidos en el agua de los ríos es una característica física de gran importancia. Los sedimentos suspendidos son finos y llegan a las corrientes de los ríos por procesos de erosión pluvial de la cuenca vertiente o por lavado del material suelto de los márgenes y pueden tener un efecto perjudicial directo sobre la vida de los organismos acuáticos y su hábitat, así como, un efecto indirecto a través de su influencia sobre la turbidez y reducción de la penetración de la luz en el agua, reduciendo la producción primaria y entorpeciendo el desarrollo de las Macrofitas bénticas (Muncy *et al.*, 1979). La capacidad de un río para transportar sedimentos en suspensión depende de las fuerzas de sustentación que se generan como componentes verticales de la velocidad del flujo, dependiendo de estas fuerzas de sustentación de la magnitud de la velocidad de flujo y, por tanto, del caudal, mientras la componente vertical que sostiene una partícula del sedimento sea mayor que el peso de esta, la partícula se mantiene en suspensión; de esta forma, el caudal

clasifica las partículas que el río puede transportar, tanto en tamaño como en número.

El material en suspensión transportado por los ríos está constituido por materia orgánica particulada y materia inorgánica en concentraciones variables, dependiendo las concentraciones, de la localización de la zona y del tiempo (Meade, 1990; Zhang, 1995). Este parámetro tiene importancia en la producción primaria en los ríos y estuarios aun cuando los nutrientes se encuentren en altas proporciones (Harding *et al.*, 1986; Senior y Godoy, 1991; Márquez, 1997) ya que influyen en el grado de penetración de la energía luminosa que es indispensable desde el punto de vista biológico y condiciona los mecanismos de visión de los animales y en menor escala los de reproducción (Márquez, 1997). De igual manera muchos contaminantes como los metales de transición se adhieren a la superficie del material en suspensión transportados por algunos ríos, en grandes cantidades en los períodos de mayor pluviosidad (Morse *et al.*, 1993; Shumillin *et al.*, 1993; Zhang, 1995).

La Fig.8 muestra la distribución del MES en las aguas del Medio Orinoco. Se observó una relación inversa de la concentración del material en suspensión con el incremento del nivel del río. Los análisis de varianza revelaron diferencias altamente significativas ( $\alpha=0,01$ ; Tabla. 1) entre años, meses y estaciones. La prueba a posteriori indicó que durante el año 2001 la cantidad promedio de MES fue más alta respecto al 2002, siendo los valores promedios para esto dos años  $99,44 \pm 6,01$  y  $85,05 \pm 5,76$  mg/l. Entre los meses se puede distinguir que el mes de máximo nivel del río (agosto, Fig.3) los valores promedios de esta variable fueron mínimos (38,36 mg/l), otro grupo estuvo constituido por febrero, marzo y julio con valores comprendidos entre 50,78 y 53,38 mg.l<sup>-1</sup>, el tercer grupo por el período septiembre a diciembre, con concentraciones que oscilaron entre 66,78 y 90,83 mg/l y el mes de enero junto con el período abril a junio con valores entre 108,24 y 144,42 mg/l, encontrándose los más altos niveles durante el mes de mayo ( $237,31 \pm 10,34$  mg/l). Especialmente el mayor contenido de materia en suspensión es localizado en la zona de inicio, cerca de la desembocadura del río Apure, en donde se detectan valores promedios de  $134,13 \pm 6,60$  mg/l, siendo la Est.1, la de mayor concentraciones con promedio para los dos años de 167,23 mg/l, luego las concentraciones disminuyen paulatinamente desde el margen izquierdo ( $92,12 \pm 8,51$  mg/l) hacia el central ( $70,98 \pm 8,51$  mg/l) y derecho ( $54,74 \pm 7,37$  mg/l). Por estaciones los

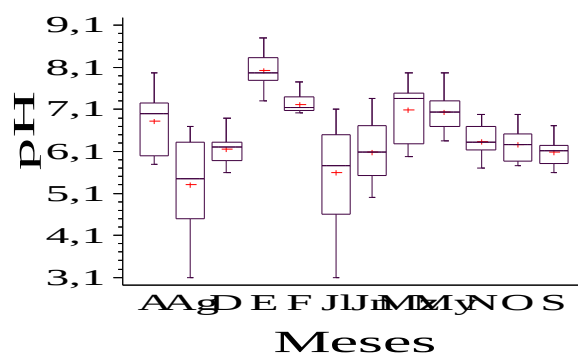
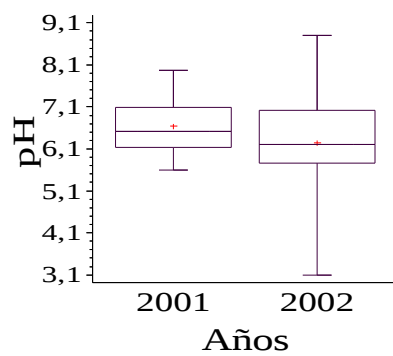
máximos corresponden a las ubicadas en la zona de mezcla del Orinoco con el Apure en donde se alcanzan valores máximos superiores a los 400 mg/l. Esta distribución encontrada en estas zonas es de bastante importancia, la zona de inicio y margen derecho sugieren zonas influenciadas por las descargas del río Apure, ya debido a que este río se encuentra ubicado en el margen izquierdo del río Orinoco. Por otra parte estos resultados están indicando que solo una pequeña cantidad de los sedimentos suspendidos que transporta el Orinoco Medio, entran a algunas lagunas de inundación del río Orinoco, como Castillero, La Teja y la Arenosa (Fig.1) se encuentran en el margen derecho, hecho de bastante importancia, ya que impide la acumulación excesiva de sedimentos en estos ecosistemas, considerados de gran importancia ecológica.

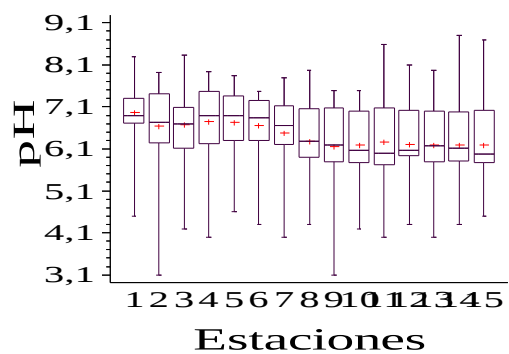
Una característica importante observada en el comportamiento de las concentraciones del material en suspensión del Orinoco es la remoción significativa en el espacio que experimenta este parámetro durante todo el año entre la estación (E2) y la estación (E15) las cuales se encuentran separadas por una distancia de 34,93 Km (Fig. 9, 10 y 11), haciéndose esta más notoria entre los meses de marzo hasta agosto. Las concentraciones disminuyen drásticamente desde 459 mg/l hasta valores cercanos a 200 mg/l como se aprecia en el mes de mayo ( $r = 0,79$ ). Esta observación está sugiriendo que pudieran estar ocurriendo dos procesos: un proceso de sedimentación de las partículas que son arrastradas en suspensión o dilución de las mismas debido al incremento del nivel de las aguas de los ríos Orinoco y Apure; En los meses de aguas altas agosto a octubre las remociones son menores, lo que sugiere un gran mezclado de las aguas (Fig. 9). Ponente (1990) señala que entre Musinacio y Barrancas (zonas del Orinoco), desaparecen aproximadamente cien millones de toneladas anuales de sedimentos suspendidos, sugiriendo la intensificación de los muestreos con el fin de aclarar estos hechos, este fenómeno ocurre igualmente en el Medio Orinoco.

Paolini y Ittekkot (1990) reportaron para el Orinoco, cerca de Ciudad Bolívar, un máximo por debajo de 200 mg/l para el mes de junio y valores menores de 50 mg/l entre los meses de febrero hasta abril. Estos autores señalan que comportamientos similares han sido observados para los ríos Amazonas, Paraná y Mississippi. En el Orinoco los valores máximos encontradas en esta investigación están por debajo de 500 mg/l, siendo inferiores a los

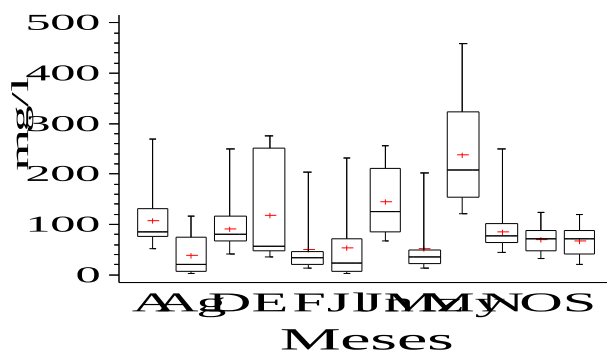
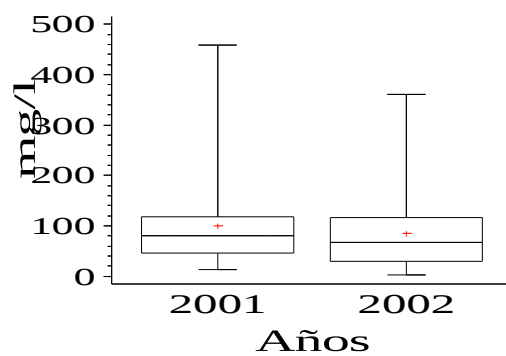
reportados para otros ríos venezolanos como el Manzanares. Márquez, 1997 y Márquez *et al.*, 2000, determinaron concentraciones entre 114 a 880 mg/l en la época de lluvia y de 23,27 - 194 mg/l en el período de sequía para el Manzanares. Martínez *et al.*, 2001 encontró valores de (1075 mg/l) para este mismo río. Las concentraciones mínimas en el Medio Orinoco (19 -35 mg/l) están por debajo de las reportadas por Fanning y Maynard en 1978 para el río Magdalena (200 mg/l), y Zhang (1995) en los grandes estuarios Chinos Jiulongjiang (300 mg/l), pero mayores a las reportadas por Zhang (1995) en el río Minjiang (1000 mg/l en lluvia), Morantes *et al.* (2000) para otros ríos de la región de Guayana como el Cuyuní (5,00 - 44 mg/l), Yuruari (6,44 mg/l). Salazar (1989), 24,4 y 366,5 mg/l para la región estuarina-deltaica del Orinoco durante el año 1998.

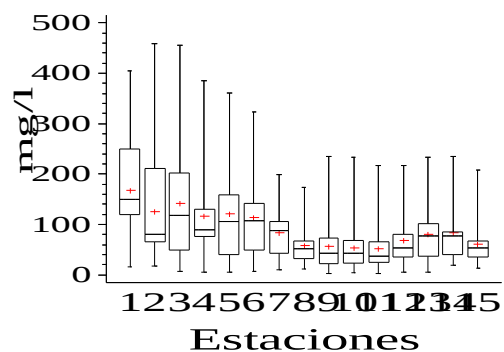
Hamilton y Lewis (1987) reportaron concentraciones < 400 mg/l para el lago Tineo (lago de inundación del Orinoco situado 8 Km. de Ciudad Bolívar, Venezuela). Nagano *et al.* (2003) reportaron concentraciones entre 403 y 1.8 mg/l para el río Kuji Japón, encontrando aumento en las concentraciones como resultado del incremento de la descarga de agua. Sánchez *et al.* (1982) Reportaron en el río Grande (Tributario ubicado Dentro del delta del Orinoco) valores de 96 mg/l. Señalan los autores que las variaciones observadas cerca del delta del Orinoco están vinculadas al vaciado de las zonas de inundación en los tramos finales del curso interior del Orinoco. Sánchez y Vásquez (1986) reportaron valores máximos de 179,10 y mínimos de 2,80 mg/l en el bajo Orinoco. De acuerdo a la información obtenida en esta investigación y a los valores señalados por otros investigadores como van Andel (1967), Sánchez *et al.* (1982), Lewis y Sanders (1984); Paolini *et al.*(1987) y Monente (1990) se sugieren que solo una parte del inmenso volumen de material en suspensión, reportadas aguas arriba, llegan al Delta y al Atlántico, sin embargo cerca de  $300 \times 10^6$  toneladas métricas que llegan al Atlántico provienen de sedimentos del río Amazonas ( Eisma *et al.*, 1978).



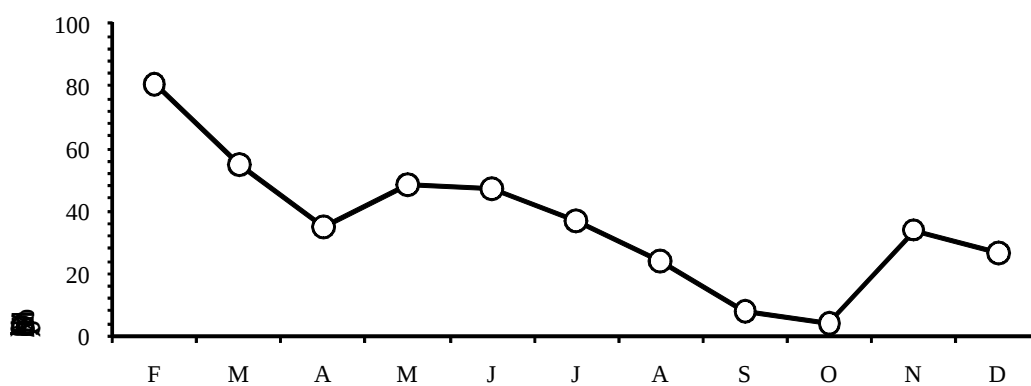


**Fig. 7.** Distribución del pH por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media)

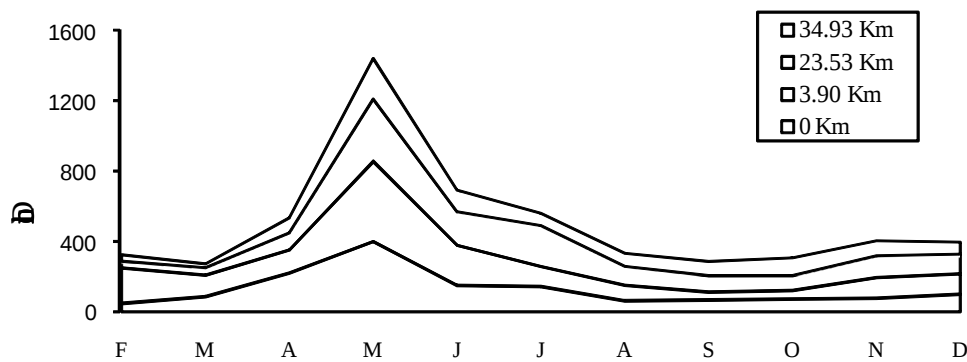




**Fig. 8.** Distribución del MES por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media)

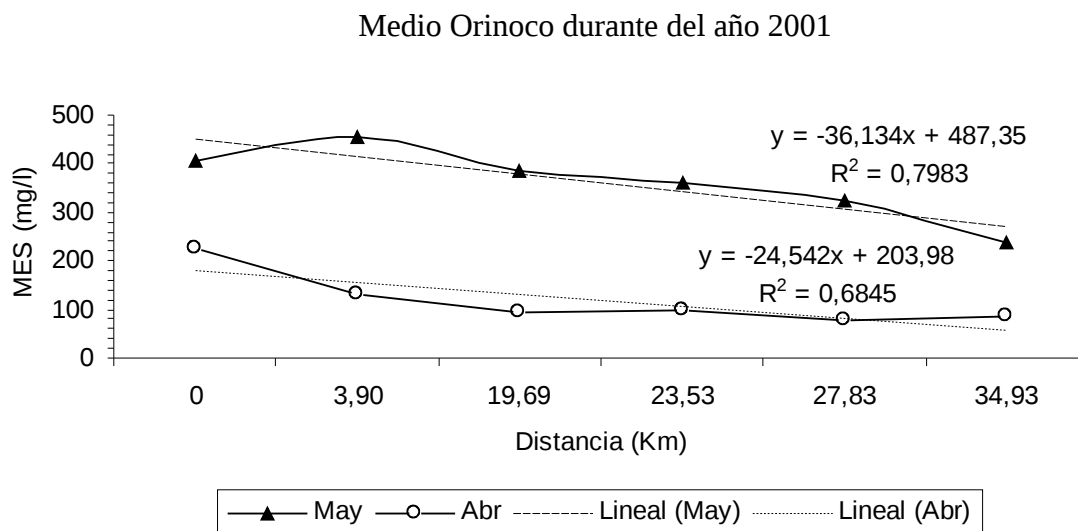


**Fig. 9:** Remociones temporales (%) de las concentraciones de Material en suspensión de el Medio Orinoco durante el año 2001 (0 a 34.93 Km)



**Fig. 10:** Dilución temporal de las concentraciones de Material en suspensión en aguas del





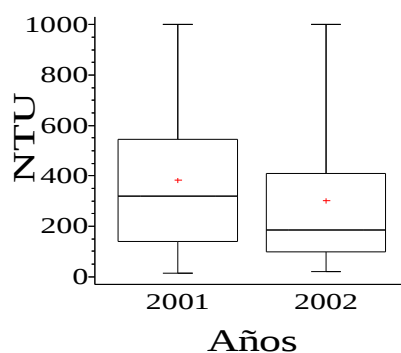
**Fig. 11.** Correlaciones espacio-temporales entre concentraciones de material en suspensión y la distancia en aguas del Medio Orinoco durante los meses mayo y abril del año 2001

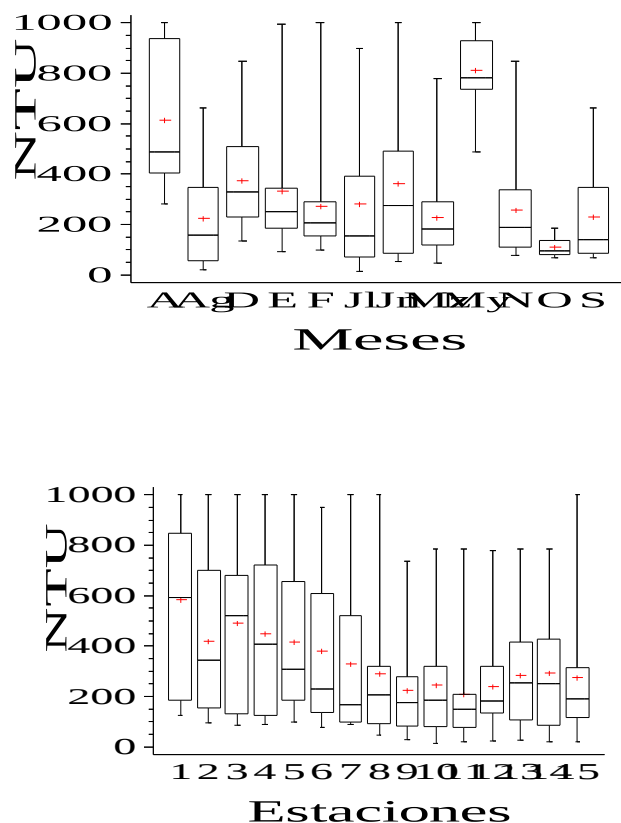
### Turbidez.

La turbidez de la masa de agua (Fig. 12) presentó un comportamiento asociado a las concentraciones de material en suspensión. Las máximas turbidez coinciden con los máximos del material en suspensión, lo cual a su vez a su vez produce una disminución significativa en la transparencia del agua.

Los análisis de varianza mostraron diferencias altamente significativas ( $\alpha=0,01$ ) entre años, meses y zonas (Tabla. 1). La prueba a posteriori reveló que durante el año 2001 la turbidez fue mayor respecto al 2002, siendo los valores promedios para estos años  $383,58 \pm 21,89$  y  $303,18 \pm 20,96$  NTU. Entre los meses del año se distinguieron cuatro grupos: el de turbidez menor (período agosto a octubre y marzo, con valores que oscilaron entre  $108,52 \pm 39,44$  hasta  $230,56 \pm 39,44$  NTU, encontrándose los menores valores en octubre  $108,52 \pm 39,44$  NTU; dos intermedios constituidos por los períodos enero-febrero; junio-julio y noviembre-diciembre el primero, con valores entre  $2,57,85 \pm 39,44$  a  $373,86 \pm 39,44$  NTU y por abril ( $599,85 \pm 39,44$ ) el segundo; finalmente se apreciaron mayores valores en mayo ( $798,05 \pm 39,44$ ).

Espacialmente disminuye la turbidez desde el margen izquierdo ( $318,96 \pm 32,30$  NTU) hacia el derecho ( $241,86 \pm 27,97$  NTU), constituyendo la parte central un promedio de ambos valores ( $281,11 \pm 32,30$ ) tal como ocurre con el material en suspensión. La correlación lineal entre este parámetro y el MES fue de  $r = 0,88$ . Se observó que la zona inicial al igual que ocurrió con las concentraciones de MES, presentó la mayor turbidez alcanzándose valores de  $471,37 \pm 25,02$  NTU. La turbidez mayor correspondieron a las pertenecientes a las estaciones cercanas a la descarga el río Apure donde se alcanzan valores máximos mensuales hasta de 1000 NTU. Sánchez y Vázquez (1986) reportaron valores de turbidez para el río Orinoco que oscilan entre 16,20 y 25,9 NTU. Concentraciones máximas de sólidos suspendidos y turbidez durante el inicio de la crecida del nivel del río Orinoco y mínimos para la época de aguas bajas han sido reportados para por Gessner (1965), Nemeth *et al.*, (1982), Paolini *et al.* (1983), Vázquez y Sánchez (1984; 1986), situación que es similar a la reportada para otro de los grandes ríos de Suramérica como el Amazonas (Smhmidt, 1972). Los resultados encontrados en esta investigación corroboran esas observaciones.





**Fig. 12.** Distribución de la Turbidez (NTU) por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media)

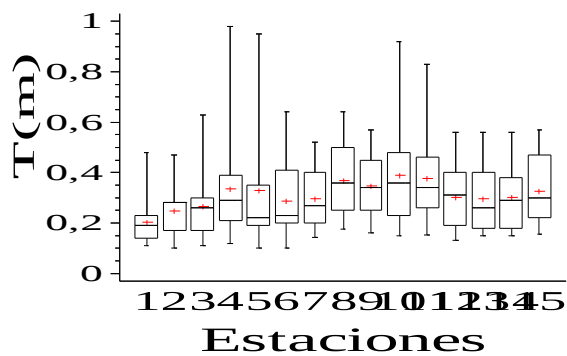
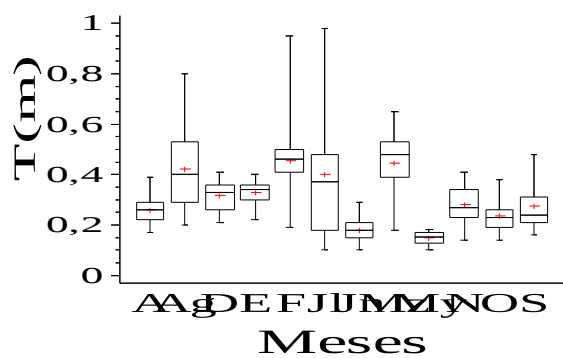
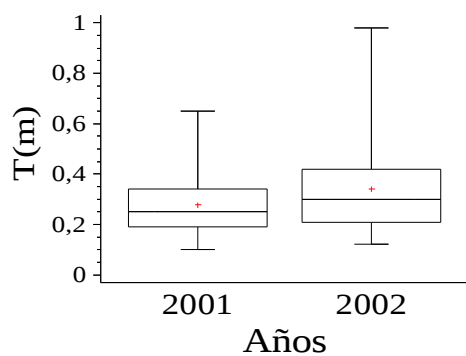
### Transparencia del agua (m)

La transparencia del agua como medida indirecta de la extinción de la luz en su penetración a través de las grandes profundidades en la masa de agua, tiene gran importancia ecológica por su estrecha relación con los procesos de producción fotosintética de organismos autótrofos como el fitoplancton y plantas acuáticas vasculares (Weibezahn, 1985).

La Fig.13, muestra la distribución de la transparencia, la cual se correlacionó inversamente con el material en suspensión y la turbidez: Se notó que las descargas de los ríos Apure y Orinoco controlan la distribución de la penetración de la radiación en el agua. Los análisis de varianza indicaron diferencias altamente significativas ( $\alpha = 0,01$ ) entre años, meses y zonas (Tabla. 1), al igual que lo observado con MES y la turbidez. La prueba a posteriori

reveló que durante el año 2002 la transparencia fue mayor respecto al 2001, siendo los valores promedios para estos años  $0,28 \pm 0,01$  y  $0,34 \pm 0,01$  respectivamente (Fig. 12). Entre los meses del año se distinguieron tres grupos: el de transparencia menor (período mayo-junio) con valores comprendidos entre  $0,14 \pm 0,02$  y  $0,18 \pm 0,02$  m; intermedia (período septiembre-diciembre, enero y abril), con valores entre  $0,23 \pm 0,02$  y  $0,31 \pm 0,02$  y un último grupo con los mayores valores ( $0,40 \pm 0,02$  a  $0,44 \pm 0,02$  m), conformado por los meses, febrero-marzo; julio-agosto).

Espacialmente se puede diferenciar que inversamente a lo observado con el MES y la turbidez, el margen derecho fue el de mayor transparencia en comparación con el resto del ecosistema, siendo sus valores promedios  $0,37 \pm 0,02$  m. Por estaciones, las menores transparencias, fueron observadas en las primeras siete estaciones (Fig. 13), de siendo la estación (E1) la de valores menores ( $0,20 \pm 0,03$ ), lo cual pone de manifiesto una influencia muy marcada de la descarga del río Apure sobre el Orinoco Medio, lo cual es observado a más de 25 Km aguas abajo. Weibezahn (1985) señala que, las bajas transparencias son motivadas por el transporte en suspensión de partículas (arenas muy finas, limos y arcillas) originadas de terrenos que presentan un alto grado de erosión y meteorización como la región de los Llanos, tal es el caso de la zona de tránsito del río Apure. Sánchez y Vázquez (1986) reportaron para otros ecosistemas como el del Bajo Orinoco transparencias bajas (0,13 m) para la época de incremento del nivel del río (Junio) y 0,30 m en época descenso (noviembre). Rodríguez y Betancourt (1999) por su parte han señalado que existen diferencias significativas en la transparencia entre los meses para algunos ecosistemas como la laguna Castillero, laguna del plano inundable del Orinoco, la cual se ubica al margen derecho del Orinoco Medio y que se han determinado valores comprendidos entre 1,43 m y 1,85 m. Por otra parte, señalan valores entre de 0,80 y 2,30 m han sido reportados para el río Atabapo (Venezuela), y entre 0,10 m y 0,55 m para el río Meta (Colombia). Para los ríos provenientes de los Andes Venezolanos como el Ventuari y Súpiro, los valores oscilan alrededor de los 1,10 m (Weibezahn *et al.*, 1990)



**Fig.13.** Distribución de la transparencia por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media)

## Elementos Nutritivos.

### Compuestos de Nitrogeno

#### Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ).

El ión nitrato es la forma oxidada estable del nitrógeno en solución acuosa y teniendo como característica, el no presentar facultades de complejación o adsorción. Entra en el ciclo del nitrógeno como soporte principal del crecimiento del fitoplancton, siendo regenerado posteriormente a partir de sus formas orgánicas, por las bacterias. Cuando la velocidad de regeneración es inferior a la velocidad de utilización, los nitratos se convierten en un factor limitante del crecimiento de las algas, y su concentración es en muchos casos inferior al límite de detección analítico. Una situación tal frecuentemente ocurre en el medio oceánico a nivel de la superficie, o en aguas costeras durante las afloraciones fitoplanctónicas. Al contrario, las aguas oceánicas profundas con abundante cantidad de nitratos, que pueden venir a enriquecer las aguas superficiales en las zonas de surgencia costera. En las aguas costeras las concentraciones de nitrato puede alcanzar los  $10 \mu \text{ mol.l}^{-1}$  cuando la producción primaria es baja y en los estuarios, en lo que la salinidad disminuye, el efecto de los aportes terrestres se hacen importantes y las concentraciones pueden incrementarse alcanzando varias centenas de  $\mu \text{ mol/l}$  (Senior y Castañeda, 2000)

Los resultados obtenidos, se presentan en la Fig.14. Las concentraciones de nitrato en la región bajo estudio son bastantes altas. Los análisis de varianza revelaron diferencias altamente significativas ( $\alpha=0,01$ ) entre años, meses y zonas (Tabla.2), La prueba a posteriori señaló que durante el año 2001 la cantidad de nitratos fue más alta respecto al 2002, siendo las concentraciones promedios para estos dos años  $10,27 \pm 0,33 \mu \text{ mol/l}$  y  $6,50 \pm 0,32 \mu \text{ mol/l}$  respectivamente. Aunque entre los meses no se apreciaron tendencias claras se pueden observar los mínimos en agosto-septiembre con valores entre  $2,66 \pm 0,68$  y  $3,94 \pm 0,68 \mu \text{ mol/l}$  y los máximos en diciembre, enero y febrero con concentraciones que oscilaron entre  $11,22 \pm 0,68 \mu \text{ mol/l}$  y  $12,42 \pm 0,68 \text{ mol/l}$ , siendo el valor máximo para el mes de febrero. Los

demás meses presentaron concentraciones intermedias que alcanzaron niveles desde 6,19 hasta  $10,52 \pm 0,68 \mu \text{ mol/l}$ . Especialmente las estaciones ubicadas en las cercanías de la descarga del río Apure son las de mayor concentración de nitratos en comparación con el resto del ecosistema. El promedio fue de  $10,04 \pm 0,42 \mu \text{ mol/l}$ , siendo E1 y E3 las estaciones de mayores concentraciones  $11,30 \pm 0,94$  y  $10,92 \pm 0,94 \mu \text{ mol.l}^{-1}$ . Las otras estaciones se distribuyeron como un solo grupo homogéneo. Las concentraciones fueron de  $7,62 \pm 0,54 \mu \text{ mol/l}$  para las estaciones el resto de las estaciones ubicadas en el margen izquierdo,  $7,47 \pm 0,54$  para el margen derecho y  $7,21 \pm 0,54 \mu \text{ mol/l}$  para el centro del río. Weibezahn *et al.* 1990) reporta para algunos sectores del Orinoco concentraciones de  $1,06 \mu \text{ mol/l}$  en zonas aledañas al Orinoco como la zona Guachapana,  $0,90 \mu \text{ mol/l}$  para Titi,  $0,89, 5 \mu \text{ mol/l}$  para Munduuapo;  $0,84 \mu \text{ mol/l}$  para Babilla y valores de  $0,03 \mu \text{ mol/l}$  para el río Atabapo;  $0,07 \mu \text{ mol/l}$  para el río Vichada y  $1,80 \mu \text{ mol/l}$  para el río Meta. Estos valores son inferiores a los encontrados en la presente investigación. Senior y Castañeda (2000) por su parte indican variaciones promedios de  $9,31 \pm 0,37 \mu \text{ mol/l}$  para la localidad de Isla iguana;  $7,94 \pm 1,57 \mu \text{ mol/l}$  en Caño Macareo y concentraciones de  $6,92 \pm 3,47 \mu \text{ mol/l}$  para Caño Mariusa, valores que son parecidos a los encontrados en el Orinoco Medio en la presente investigación...

#### Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ).

El ion nitrito es un intermediario muy fugas en el ciclo del nitrógeno en las aguas. Las concentraciones promedios por años, meses, zonas y estaciones, son mostradas en la Fig. 15. No se observaron diferencias significativas entre los años para este parámetro ( $\alpha=0,05$ ), siendo los valores promedios  $0,12 \pm 0,005 \mu \text{ mol/l}$  para los años 2001 y 2002 (Fig.15). Sin embargo, entre meses y estaciones si se apreciaron diferencias ( $\alpha=0,01$ ; Tabla.2). Entre los meses se distinguieron 4 grupos: 1). De menor concentración de nitritos, correspondiente a agosto, con concentraciones de  $0,05 \pm 0,01 \mu \text{ mol/l}$ , 2) el de mayor concentración correspondiente a mayo, con niveles de  $0,17 \pm 0,01 \text{ mol/l}$ , 3) un grupo formado por (febrero-marzo, octubre) con niveles que oscilaron entre  $0,013 \pm 0,01 \mu \text{ mol/l}$  y  $0,14 \pm 0,01 \mu \text{ mol.l}^{-1}$ . Los otros meses del año presentaron un cuarto grupo con valores intermedios y concentraciones de  $0,12 \pm 0,01 \mu \text{ mol/l}$ . Especialmente la zona ubicada en la cercanía de la desembocadura del

río Apure presentó las mayores concentraciones ( $0,13 \pm 0,006 \mu \text{ mol/l}$ ), siendo las estaciones E1 y E4 las de mayores concentraciones  $0,18 \pm 0,01 \mu \text{ mol/l}$  y  $0,16 \pm 0,01 \mu \text{ mol/l}$  respectivamente.

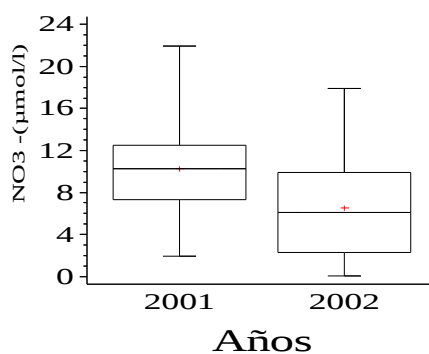
#### Amonio ( $\text{NH}_4^+$ )

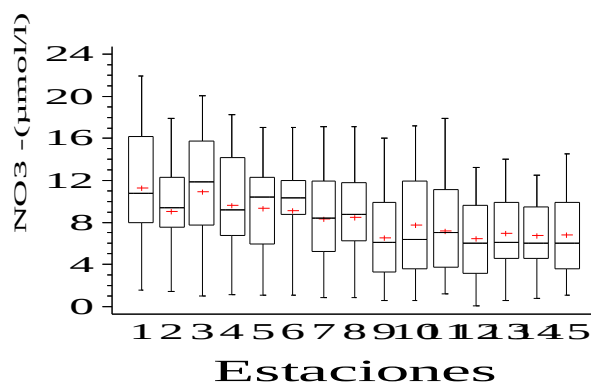
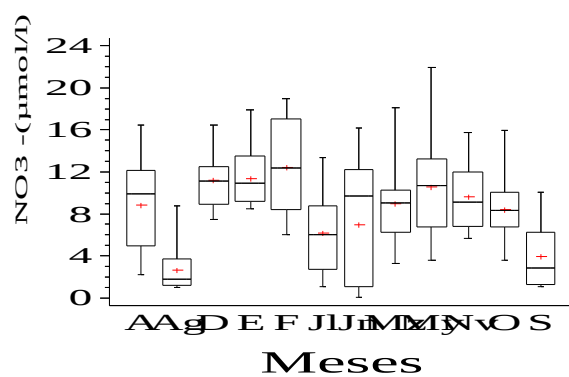
El amonio es la especie más reducida que se encuentra en el ciclo del nitrógeno. Los resultados obtenidos son mostrados en la Fig. 16. Los análisis de varianza revelaron diferencias altamente significativas ( $\alpha=0,01$ ) entre años, meses y estaciones (Tabla.2). La prueba a posteriori mostró que durante el año 2002 la concentración de amonio fue más alta respecto al 2001, siendo los valores promedios para los dos años y ( $2,78$  y  $3,33 \mu \text{ mol/l}$ ) respectivamente. Entre los meses se observan los valores mínimos en enero y agosto ( $1,67 \mu \text{ mol/l}$ ) y el máximo claramente diferenciado en marzo ( $5,56 \mu \text{ mol/l}$ ), en el resto del año se apreciaron, valores intermedios con fluctuaciones pequeñas, oscilando las concentraciones entre  $3,57$  y  $5 \mu \text{ mol/l}$ . Espacialmente las estaciones ubicadas en el margen izquierdo, las cuales tienen una influencia más directa de la descarga del río Apure presentaron valores promedios de  $3,88 \mu \text{ mol/l}$ . Hacia el canal principal del río y las estaciones ubicadas en el margen derecho los valores fueron de  $2,77 \mu \text{ mol/l}$ . El amonio proviene de las excreciones de animales y de la descomposición bacteriana de los compuestos orgánicos nitrogenados, sus concentraciones son variables y dependen del lugar y época del año. En aguas costeras y oceánicas las concentraciones son inferiores a  $1 \mu \text{ mol/l}$ , estando exentas las aguas profundas debido a que ha sido completamente oxidado. Las excepciones ocurren en las zonas anóxicas en donde las concentraciones alcanzan hasta  $100 \mu \text{ mol/l}$  (Senior y Castañeda, 2000). Las concentraciones de amonio encontradas en esta investigación difieren de las que han sido reportadas por Weibezahn (1985) para el Orinoco, quienes reportaron concentraciones que oscilan entre  $1,67 \mu \text{ mol/l}$  y  $47,78 \mu \text{ mol/l}$ . Sin embargo el comportamiento observado en las concentraciones de amonio (correlación negativa con la descarga) es similar a la indicada por este autor. Senior y Castañeda (2000) reportaron concentraciones promedios de amonio en el orden de  $0,80 \pm 0,41$  en el sector Isla Iguana,  $1,39$  en Caño Macareo y  $1,09 \pm 0,54$  en Caño Mariusa.



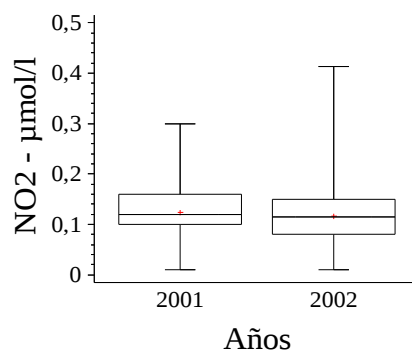
## Nitrógeno total (NT)

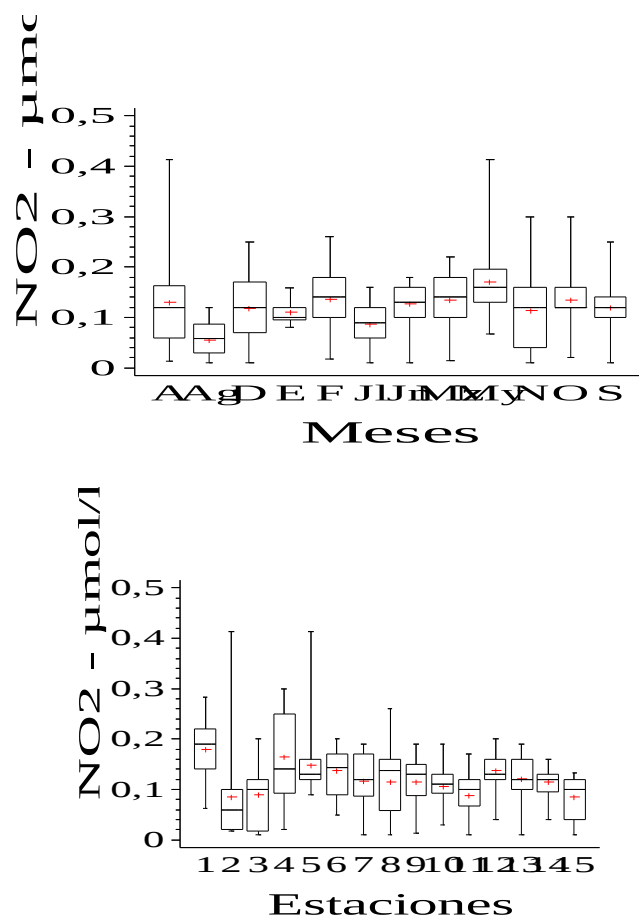
Los análisis de varianza revelaron diferencias altamente significativas ( $\alpha=0,01$ ) entre años, meses y estaciones (Tabla.2). La prueba a posteriori señaló que durante el año 2002 la concentración de NT fue más alta respecto al 2001, siendo el valor para estos años  $26,63 \pm 1,02 \mu \text{ mol/l}$  para el 2001 y  $32,10 \pm 0,98 \mu \text{ mol/l}$  para el 2002. Entre meses se diferenciaron claramente tres grupos: diciembre con los máximos ( $45,93 \pm 2,06 \mu \text{ mol/l}$ ); mayo-junio ( $36,43 \pm 2,06$  a  $37,17 \pm 2,06 \mu \text{ mol/l}$ ) y septiembre con valores intermedios de  $35,10 \pm 2,06 \mu \text{ mol/l}$  y el resto del año con mínimos de NT ( $19,37 \pm 2,06 \mu \text{ mol/l}$  a  $26,95 \pm 2,06 \mu \text{ mol/l}$ ). Al igual que lo que se observó espacialmente para las concentraciones de amonio y nitrato, las aguas del Orinoco Medio aledañas a la desembocadura del río Apure presentan mayor contenido de NT con valores que alcanzan los  $35,48 \pm 1,18 \mu \text{ mol/l}$ ) en comparación con las estaciones ubicadas en el margen derecho del río Orinoco donde los valores alcanzaron los  $25,71 \pm 1,32 \mu \text{ mol/l}$ . En las aguas del cauce central el promedio fue de  $26,72 \pm 1,53 \mu \text{ mol/l}$ .



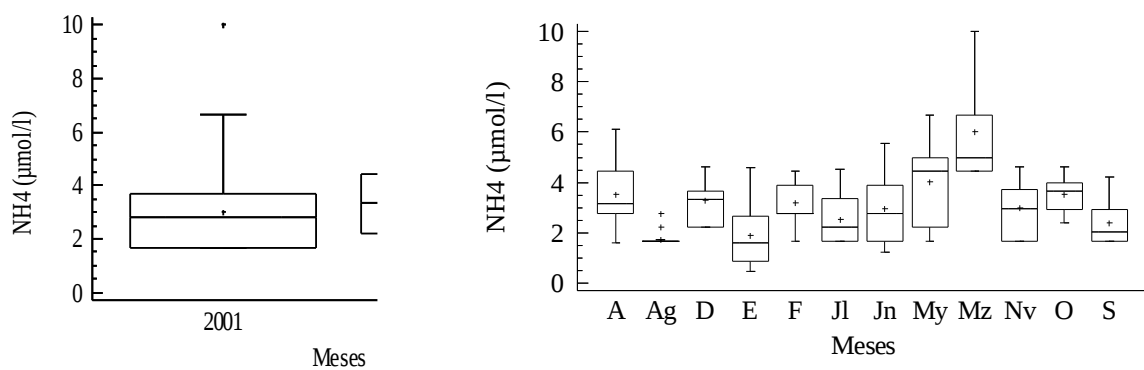


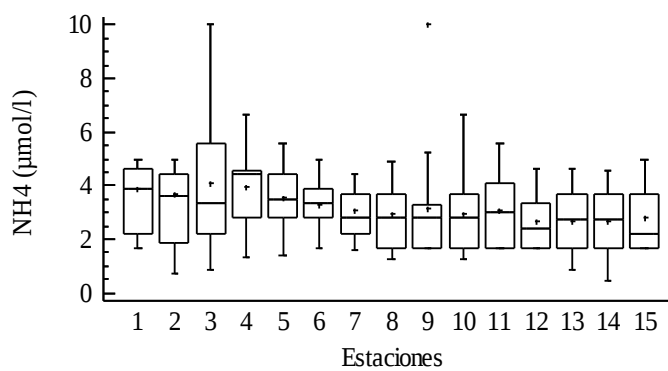
**Fig. 14.** Concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media)



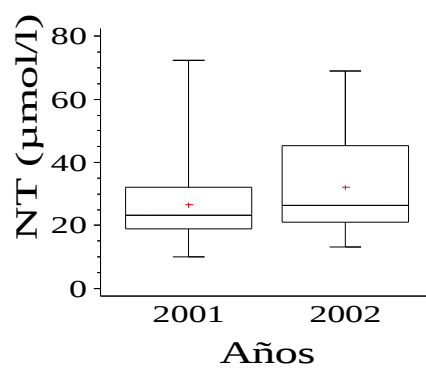


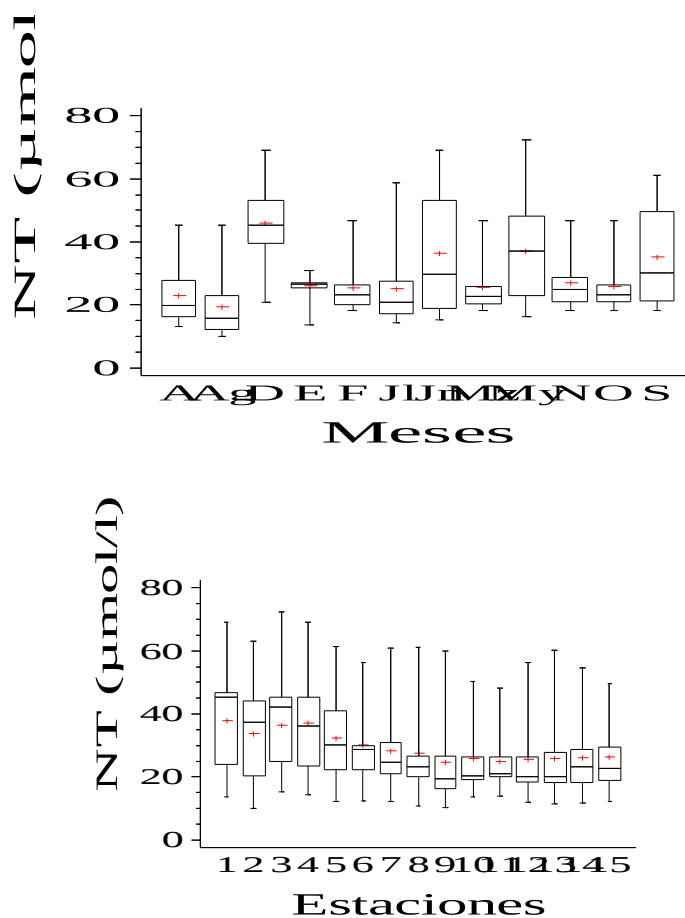
**Fig. 15.** Concentraciones de  $\text{NO}_2^-$  por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media





**Fig.16.** Concentraciones de amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media)





**Fig. 17.** Concentraciones de nitrógeno total por años, meses y estaciones en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela (período 2001, 2002), (+ = media)

### Compuestos Fosforados

#### Fosforo total (PT)

El fósforo al igual que el nitrógeno es un elemento de gran importancia por constituir uno de los principales limitantes de la productividad primaria en ecosistemas acuáticos, de igual manera que el nitrógeno. Su entrada a estos ecosistemas debe ser controlada, ya que en condiciones elevadas, favorece el proceso de eutrofización (Senior y Castañeda, 2002).

Los resultados de la presente investigación son mostrados en la Fig.18. Los análisis de varianza revelaron diferencias altamente significativas ( $\alpha=0,01$ ) entre años, meses y estaciones (Tabla.2). Las concentraciones determinadas para los dos años fueron de  $1,18\pm 0,07$

$\mu$  mol/l para el 2001 y  $1,67 \pm 0,06 \mu$  mol/l para el 2002. La prueba a posteriori mostró al año 2002 como el de mayor concentración. Entre los meses los valores mínimos se detectaron en agosto ( $0,60 \pm 0,13 \mu$  mol/l) y el máximo en marzo ( $2,36 \pm 0,13 \mu$  mol/l) y mayo ( $2,19 \pm 0,13 \mu$  mol/l). Los meses restantes tuvieron valores intermedios y fluctuaciones pequeñas en la dimensión de sus magnitudes, observándose un grupo homogéneo formado por octubre y noviembre  $1,01 \pm 0,13$  y  $1,04 \pm 0,13 \mu$  mol/l respectivamente y otro por enero ( $1,78 \pm 0,13 \mu$  mol/l), febrero ( $1,67 \pm 0,13 \mu$  mol/l), junio ( $1,53 \pm 0,13 \mu$  mol/l) y diciembre ( $1,52 \pm 0,13 \mu$  mol/l).

Espacialmente las estaciones ubicadas en la cercanía de la desembocadura del río Apure, fueron las de mayores concentraciones. Los más altos valores se vieron reflejados para las estaciones, E1 ( $2,51 \pm 0,16 \mu$  mol/l), E2 ( $1,38 \pm 0,16 \mu$  mol/l) y E3 ( $2,03 \pm 0,16 \mu$  mol/l), lo que ratifica la influencia importante de la descarga del río Apure sobre las aguas del Orinoco. Reportes sobre las concentraciones de fósforo total en el río Orinoco son bastante limitados, Weibezah (1985) reportó para el Orinoco, concentraciones de fósforo particulado, que oscilan entre  $0,09$  a  $2,01 \mu$  mol/l. Senior y Castañeda (2000) por su parte señalan concentraciones promedios de fósforo total en el orden de  $1,44 \pm 0,46 \mu$  mol/l para el sector Isla Iguana;  $1,50 \pm 0,43 \mu$  mol/l para Caño Macareo y  $2,43 \pm 0,60 \mu$  mol/l para caño Macareo en las cercanías delta del Orinoco. Los resultados mostrados en esta investigación son consistentes a los reportados por estos autores

#### Fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

Los resultados son mostrados en las Fig.19. Los análisis de varianza revelaron diferencias estadísticas altamente significativas ( $\alpha = 0,01$ ) entre años, meses y estaciones (Tabla.2). La prueba a posteriori mostró al año 2002 como el de mayor concentración ( $0,63 \pm 0,04 \mu$  mol/l) con respecto al 2001 ( $0,50 \pm 0,05 \mu$  mol/l). Por otra parte los meses de agosto ( $0,14 \pm 0,09 \mu$  mol/l) y octubre ( $0,17 \pm 0,09 \mu$  mol/l) fueron los de de mínimos valores y el mes de abril el de mayor ( $1,06 \pm 0,09 \mu$  mol/l). En los demás meses se determinaron valores intermedios mostrando los meses de septiembre y noviembre concentraciones de  $0,24 \pm 0,09 \mu$  mol/l; julio y diciembre ( $0,70 \pm 0,09 \mu$  mol/l) y marzo y febrero ( $0,93 \pm 0,09 \mu$  mol/l) y

0,96±0,09  $\mu$  mol/l respectivamente). Espacialmente Se observó un incremento en las concentraciones sobre las aguas del Orinoco como producto de la descarga del río Apure lo cual está tipificado por mayores concentraciones de fosfato en las estaciones aledañas a la descarga del río Apure. Los fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) es el producto final de la disociación del ácido fosfórico. A valores de pH bajos como los que encontramos en el Orinoco las concentraciones mostraron rangos de valores bajos comparada con los compuestos nitrogenados, confirmando las evidencias señaladas por Weibezahn *et al.* (1990). El autor señala que probablemente la utilización de los fosfatos por la vegetación acuática y posiblemente la adsorción de estos iones a óxidos metálicos disminuye la presencia de fosfatos libres en el agua. Senior y Castañeda (2002) reportaron concentraciones promedios de 0,28±0,49  $\mu$  mol/l de fosfato para algunos sectores pertenecientes al ecosistema del río Orinoco: Caño Mariusa (0,40 ±0,23  $\mu$  mol/l) y de 1,50 ±0,43  $\mu$  mol/l para Caño Macareo en el Delta del Orinoco. Las altas concentraciones de fosfatos encontradas en los ecosistemas fluviales son producto de las descargas de las actividades domésticas y agrícola lo cual produce fenómenos de eutrofización.

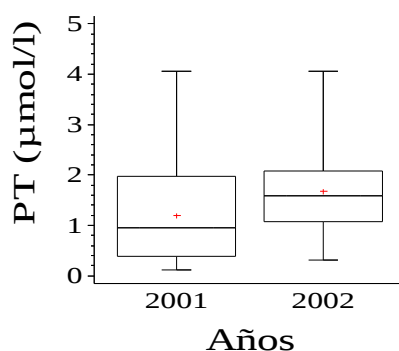
### **Compuestos de silicio.**

#### Silicatos ( $\text{Si}(\text{OH})_4$ )

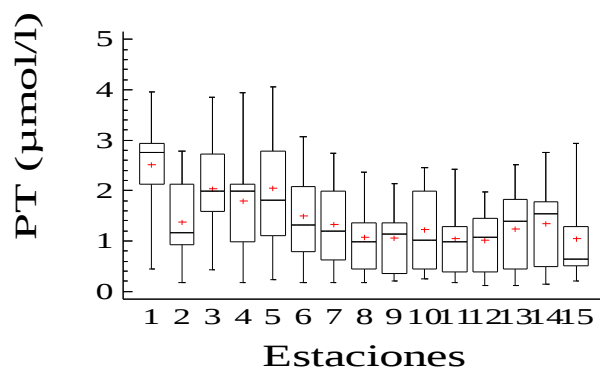
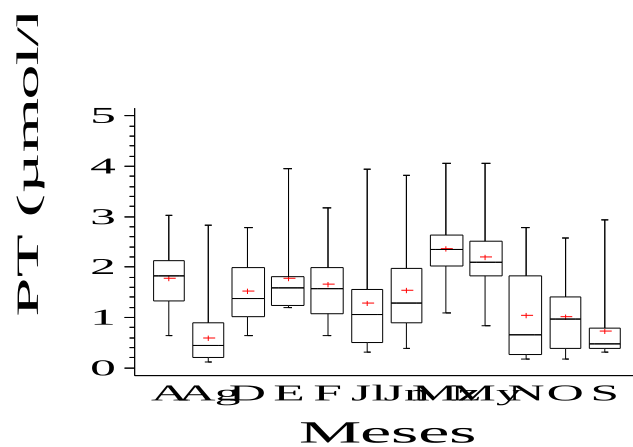
El río Orinoco es la principal fuente de silicatos para el mar Caribe Venezolano, siendo su concentración promedio estimada 70,98  $\mu$  mol/l (Weibezahn, *et al.* 1990). Los silicatos forman parte de los nutrientes bioesenciales, principalmente para aquellos organismos que necesitan metabolizarlos para la formación de sus frústulos, como es el caso de las diatomeas y los silito flagelados. Todo el silicato que llega a los océanos es producto del lavado de los suelos y rocas por los ríos o aguas de esorrentías. Como el depósito final de los minerales son los mares y océanos, de aquí la importancia de la determinación de la concentración de este nutriente en las aguas continentales, ya que da una idea de la disponibilidad de este elemento para los organismos que lo requieran. los resultados encontrados son altos y superiores a los valores promedios estimados para el río Orinoco y se muestran en las Fig. 20.

Los análisis de varianza revelaron diferencias altamente significativas ( $\alpha=0,01$ ) entre

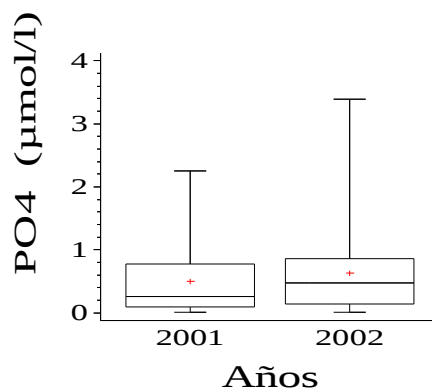
años, meses y zonas (Tabla.2). La prueba a posteriori indicó que durante el año 2001 la cantidad de silicatos fue más alta respecto al 2002, apreciándose concentraciones promedios de  $112,72 \pm 2,21 \mu\text{mol/l}$  y  $109,76 \pm 2,21 \mu\text{mol/l}$  respectivamente para el 2001 y 2002. Entre los meses se presentan los valores mínimos en el período julio a septiembre  $85,04$  a  $89,54 \mu\text{mol/l}$ , encontrándose el valor mínimo en el mes de septiembre,  $85,04 \mu\text{mol/l}$  y el máximo en enero ( $147,68 \mu\text{mol/l}$ ), en el resto del año se registraron valores intermedios, observándose un grupo conformado por el mes de octubre ( $98,01 \pm 3,65 \mu\text{mol/l}$ ), otro formado por junio y noviembre ( $104,41 \pm 3,65 \mu\text{mol/l}$  y  $109,26 \pm 3,65 \mu\text{mol/l}$ ), presentando el resto de los meses del año, concentraciones entre  $120,59 \pm 3,65$  y  $137,88 \pm 3,65 \mu\text{mol/l}$ . Espacialmente las estaciones ubicadas en las adyacencias de las descargas del río Apure (E1, E3, E4 y E5), presentaron mayor contenido de silicatos ( $121,70 \pm 2,44 \mu\text{mol/l}$  en promedio). Se observó un descenso progresivo de las concentraciones desde las estaciones ubicadas en el margen izquierdo ( $106,10 \pm 3,14$ ) hacia el centro ( $106,29 \pm 3,14 \mu\text{mol/l}$ ) y margen derecho ( $105,48 \pm 2,73 \mu\text{mol/l}$ ). Los resultados obtenidos son comparables con los reportados por Senior y Castañeda (2000) quienes señalan concentraciones promedios de silicatos en el orden de  $101,54 \pm 2,31 \mu\text{mol/l}$  para el sector Isla Iguana en el Orinoco; en Caño Macareo ( $100,63 \pm 8,42 \mu\text{mol/l}$ ) en Caño Mariusa ( $112,73 \pm 35,18 \mu\text{mol/l}$ ). Weibezahn *et al.* 1990 señala que, el cuarzo como forma cristalina de  $\text{SiO}_2$  es el mayor constituyente de muchas rocas ígneas y que los granos de la mayoría de muchas areniscas, minerales estos que dominan la petrología del basamento geológico y pedológico del estado Amazonas, parte del territorio venezolano por donde transita el río Orinoco.

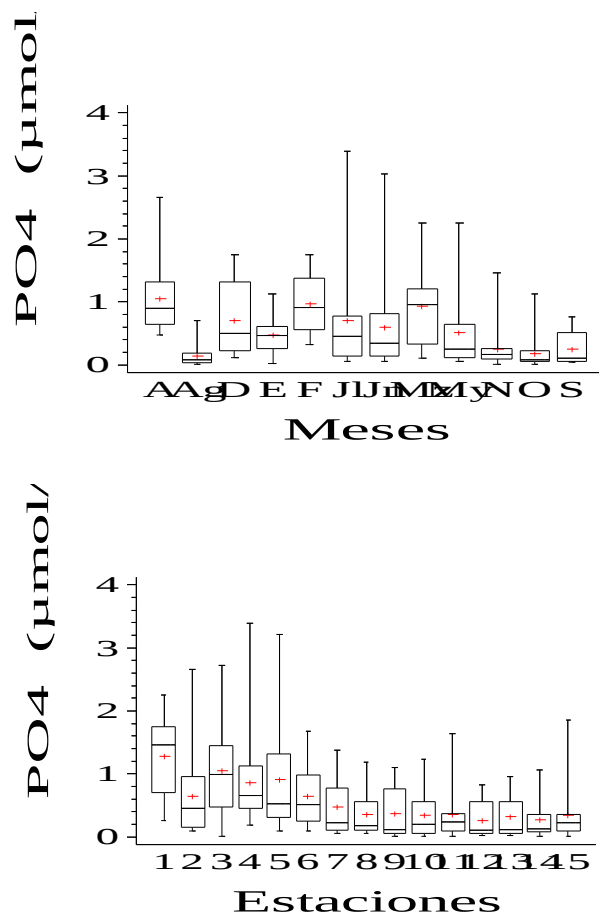




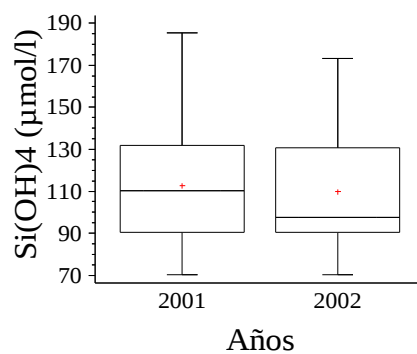


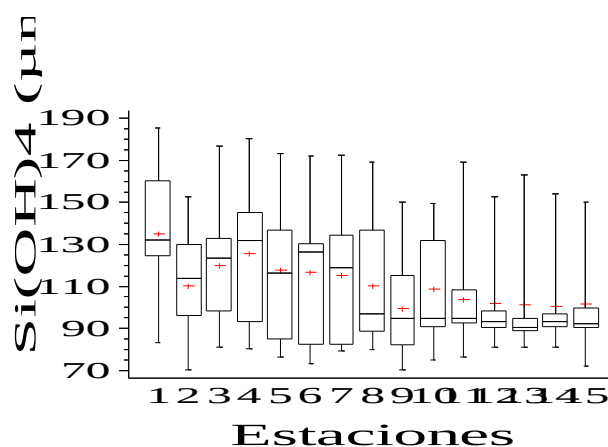
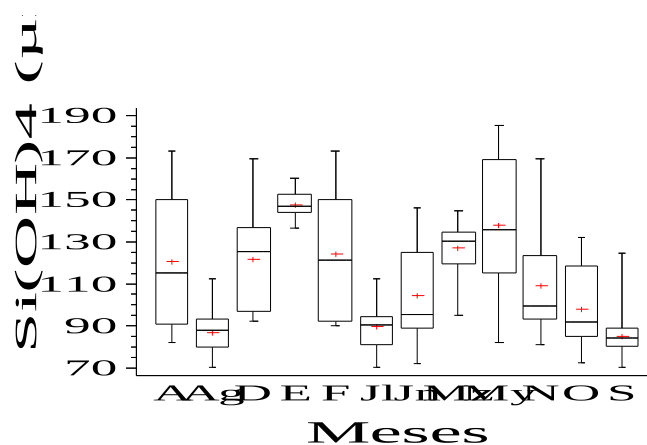
**Fig. 18.** Concentraciones de fosfato total por años, meses y estaciones en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (período 2001, 2002) (+ = media)





**Fig. 19.** Concentraciones de fosfatos (por años, meses y estaciones) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (período 2001, 2002), (+ = media)





**Fig. 20.** Concentraciones de silicatos por años, meses, zonas y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media)

### Metales pesados

Las concentraciones de metales pesados ( $\mu\text{mol/l}$ ) en las aguas del río Orinoco mostraron un gradiente decreciente: Fe (54,99) > Mn (0,76) > Zn (0,26) > Cr (0,08) > Cu (0,04) = Ni > Pb (0,013) > Cd (0,006). Una de las principales características observadas en el estudio realizado, fue que, las concentraciones de la mayoría de los metales pesados, fueron mayores

en el período de menor caudal del río, durante la temporada de aguas altas fue de menor concentración. Una de las principales razones que contribuyen a este comportamiento se debe a un fuerte proceso de dilución que experimentan estas trazas, cuando se incrementa el nivel del río en los meses de mayor caudal. Al mismo tiempo, ocurre una mayor concentración del metal en el agua cuando los niveles del río se hacen menores; esto originado por un mayor tiempo de residencia de las aguas.

De manera similar, se apreció que la distribución espacial de las trazas es desde el margen izquierdo hacia el margen derecho, lo cual sugiere que, un mayor flujo de agua (mayor corriente) transita por este margen, en comparación con el centro y el margen derecho.

### **Hierro (Fe)**

El hierro es un macro elemento de la corteza terrestre. En las aguas marinas las concentraciones de hierro varían entre 0 y 1,07  $\mu$  mol/l y en los ríos las variaciones son más considerables debido a la zona de tránsito de las aguas. La legislación venezolana establece valores límites entre 179 07  $\mu$  mol/l, para las aguas de descargas y 5,36  $\mu$  07  $\mu$  mol/l para las aguas destinadas al consumo humano (Gaceta oficial # 34.829 del 29-1-1992). En las aguas naturales este elemento se encuentra en sus estados  $Fe^{2+}$  y  $Fe^{3+}$ . La oxidación a  $Fe^{3+}$  ocurre por la presencia del oxígeno disuelto y en los ríos no ácidos precipita como hidróxidos (Greenber, 1992, Márquez *et al*, 2000).

Los resultados obtenidos son mostrados en la Fig. 21 (agua). En el agua no se observaron diferencias significativas entre los años para este parámetro ( $\alpha=0,05$ ); (Tabla.3), apreciándose valores promedios mayores para el año 2002 ( $55,96 \pm 2,76 \mu$  mol/l) en comparación con el 2001 ( $53,82 \pm 2,88 \mu$  mol.l<sup>-1</sup>). Sin embargo, entre meses y estaciones ( $\alpha =0,01$ ) se observaron diferencias significativas. Entre los meses se observaron los valores mínimos en diciembre ( $26,50 \pm 5,70$ ) y el máximo en mayo ( $109,09 \pm 5,70$ ), en el resto del año se registraron valores intermedios, apreciándose un grupo integrado por los meses de enero, abril, septiembre y agosto con valores comprendidos entre ( $39,51 \pm 5,70$  y  $41,87 \pm 5,70 \mu$  mol/l), febrero y octubre con valores entre 45,26 y 51,30; junio y julio con concentraciones

entre 58,89 y 60,59±5,70  $\mu$  mol/l), marzo y noviembre 64,87±5,70  $\mu$  mol/l) y 67, 20±5,70  $\mu$  mol/l respectivamente. Espacialmente el promedio para las estaciones del margen derecho fue de 35,83±3,42  $\mu$  mol/l, las del centro 42,60±3,95  $\mu$  mol/l) y las del margen izquierdo, 54,75±3,95  $\mu$  mol/l, reflejando una significativa influencia de las aguas del río Apure.

Las concentraciones de hierro en agua del Medio Orinoco encontradas en esta investigación son superiores a las reportadas por Sánchez (1990) y González *et al.* (2000) en el Orinoco Medio quienes reporta concentraciones en el orden de 3  $\mu$ g/l y 0,78  $\mu$ g/l respectivamente, sin embargo son superiores a los determinados para el Manzanares (Cumaná) 8,82 y 122,67  $\mu$  mol/l entre los meses de febrero a junio y de 75,68 á 405,29  $\mu$  mol/l en el período de lluvia (Márquez, 1997; Márquez *et al.*, 2000). Rodríguez y Betancourt (1999) señalaron niveles entre 0,62 y 13,61  $\mu$ g/l para las aguas de la laguna de Castellero en el Medio Orinoco, entre los meses de julio a noviembre, observando al mismo tiempo que, entre este metal y el manganeso se observa una relación inversa en las concentraciones, como consecuencia del nivel de inundación de la laguna, indicando que, una oxidación del hierro bivalente en trivalente es posible en aguas altas, mientras que en aguas bajas (por condiciones de anóxicas) se produce una acumulación de hierro bivalente que se acumula en forma de  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ .

Senior y Castañeda (2000) reportan para julio del año 1999 concentraciones de hierro en las aguas del sector Isla Iguana en el orden de 3,88  $\mu$  mol/l, en Caño Macareo 12,23  $\mu$  mol/l y en Caño Mariusa 28, 56  $\mu$  mol/l. En estudios realizados en otras parte del mundo, Huang *et al.* (1992) y Zhang (1995) señalaron que los óxidos e hidróxidos de hierro pueden ser retenidos en los sólidos de fondo, pero que otras formas pueden ser removidos desde la fase sólida hacia la solución, de igual manera, señala Zhang, que el hierro se regenera a la columna de agua por diagénesis en el estuario Changjiang, y que 40-60 % de hierro disuelto en la columna de agua son aportados por la desorción desde las partículas en suspensión debido a la alta turbidez; en forma contraria, señala el autor, que las concentraciones de este metal se incrementan por la desorción a baja turbidez en el estuario del río Huanghe. Resultado similar a lo reportado por Zhang (1995) en el estuario Huanghe fue reportado por Elbaz -Poulichet *et al.* (1996) en el río Rhône (Francia).

De igual forma Murray y Gill (1978), Tsunogay y Urtmatsu (1978) y Schneider y Davey (1995) señalaron que los metales acumulados en los sedimentos, incluyendo el hierro, pueden ser retornados a la columna de agua o ser transferido a la biota por procesos físicos, químicos y/o biológicos. Song y Muller (1995) señalaron que la remineralización de la materia orgánica en el río Neckar (Alemania) contribuye a cambios de las concentraciones de muchos elementos, entre ellos el hierro, y que esto contribuye con aportes de metales disueltos hacia las aguas de superficie. Villaescusa-Celalla *et al.* (1997) señaló que 92 % del hierro de los sedimentos de la región fronteriza de Baja California y México y California, se encontró en la fracción residual o litogénica.

El hierro distribuido por todo el mundo siendo el metal más abundante (Gerlach, 1981; Moore y Ramammorthy, 1984). Por encontrarse en grandes proporciones en la corteza terrestre, sus concentraciones suelen incrementarse en periodos de lluvia en los ambientes acuáticos bajo la influencia de los ríos; los cuales constituyen una de las vías de transporte más importante del hierro hacia los ecosistemas estuarinos y marinos, en donde es un micro nutriente esencial y un factor limitante para el crecimiento del fitoplancton (Romankevich, 1984; Viarengo, 1985, Well y Mayer (1991).

### **Manganeso (mn)**

En manganeso es un elemento que se encuentra en muchas rocas y minerales, y en los ríos se han reportados valores de 10,56  $\mu$  mol/l como resultado de la contaminación por desechos de hierro. En ambientes acuáticos es altamente reactivo y presenta una alta capacidad de adsorción en forma de óxidos coloidales, lo cual contribuye en el comportamiento de otros elementos dentro de los estuarios (Duinker y Nolting, 1978; Morris y Bale, 1979). En las aguas destinadas al consumo los niveles permitidos son de 0,91  $\mu$  mol/l.

Los resultados obtenidos son mostrados en las Fig. 22. En las muestras de agua no se observaron diferencias significativas entre los años para este metal ( $\alpha=0,05$ ). Sin embargo, entre meses y estaciones (Tabla.3) se apreciaron diferencias significativas ( $\alpha=0,01$ ). Los

valores promedios para los dos años de investigación fueron  $0,79 \pm 0,04 \mu \text{ mol/l}$  (2001) y  $0,75 \pm 0,04 \mu \text{ mol/l}$  (2001). El análisis de rango múltiple permitió observar heterogeneidad entre los meses, identificándose el agosto como el de mínimo valor ( $0,26 \pm 0,08 \mu \text{ mol/l}$ ) y mayo como el de máximo ( $1,64 \pm 0,08 \mu \text{ mol/l}$ ), en el resto del año se registraron fluctuaciones pero con valores intermedios. Se apreciaron otros grupos homogéneos formado por los meses de febrero y julio ( $0,54 \pm 0,08$  y  $0,56 \pm 0,08 \mu \text{ mol/l}$ ), junio- octubre ( $0,70 \pm 0,08 \mu \text{ mol/l}$ ); abril-diciembre  $0,74 \pm 0,08 \mu \text{ mol/l}$  a  $0,76 \pm 0,08 \mu \text{ mol/l}$ . Noviembre y enero presentaron concentraciones promedios de  $0,94 \pm 0,08 \mu \text{ mol/l}$ . Espacialmente las estaciones ubicadas en el margen izquierdo cercanas a la desembocadura del río Apure fueron las que presentaron mayores valores.

Las concentraciones de manganeso determinadas en esta investigación son inferiores a las reportadas para otros ríos de Venezuela como el Manzanares en donde se reportan concentraciones entre  $0,14$  y  $1,80 \mu \text{ mol/l}$  en la época de sequía y  $1,01$  y  $5,55 \mu \text{ mol/l}$  en época de lluvia (Márquez, 1997; Márquez *et al.*, 2000). Senior y Castañeda (2000) reportan para julio del año 1999 concentraciones de Mn en las aguas del sector Caño Macareo concentraciones de Mn en el orden de  $0,08 \mu \text{ mol/l}$  y  $0,04 \mu \text{ mol/l}$  en el sector Isla Iguana. Rodríguez y Betancourt (1999) reportaron concentraciones entre  $0,62 \mu \text{ mol/l}$  de manganeso en el agua de la laguna de Castillero en el Orinoco Medio, encontrando variaciones significativas entre las concentraciones en los meses de julio- diciembre. Duinker y Nolting, (1978), Morris y Bale (1979), señalan que el manganeso es muy reactivo en los sistemas acuáticos y que aumentos de las cantidades de oxígeno, produce la floculación y precipitación del metal en las zonas estuarinas costeras. Por otra parte Wollast *et al.* (1974), señalaron que el manganeso se encuentra en forma de óxidos, que experimentan reducción cuando disminuyen las concentraciones de oxígeno disuelto y decrece el pH. Igualmente señalan que los máximos de manganeso disuelto encontrados en los ríos Rhine y Scheldt coincidían con los mínimos de pH y oxígeno disuelto, y lo atribuyeron al incremento del desarrollo bacteriano que utilizan el dióxido de manganeso como ultimo aceptor de electrones durante la respiración anaeróbica. Knox *et al.* (1981) encontraron de igual manera que los máximos de manganeso coincidían con los de amonio y lo relaciono a la desorción desde las aguas intersticiales de los

sedimentos.

### **Cobre (Cu)**

El cobre en los sistemas acuáticos puede existir bajo forma coloidal, particulada y disuelta, siendo los ríos su principal medio de transporte (Moore y Ramamorthy, 1984). Las sales de este elemento son utilizadas en sistemas de abastecimiento de aguas para controlar el crecimiento biológico y para catalizar la oxidación del manganeso, y es introducido en cantidades considerables en las aguas por la corrosión de tuberías que lo contienen (Greenber, 1992; Salinas *et al.*, 1995). Su toxicidad es reconocida en los medios acuáticos por ser acumulado desde el agua y los sedimentos (Flemming y Trevols, 1989; Luoma, 1990; David y Phillips, 1995; Rainbow, 1995). En aguas naturales las concentraciones están por debajo de  $0,39 \mu \text{ mol/l}$  y en oceánicas  $2 \times 10^{-3} \mu \text{ mol/l}$  (Landing *et al.*, 1992). La legislación Venezolana establece límites de  $1,6 \times 10^{-3} \mu \text{ mol.l}^{-1}$  para las aguas descargadas al medio marino-costero y valores similares para las aguas de consumo humano (Senior, 1994).

Las concentraciones promedios de cobre, obtenidas en la presente investigación, son mostradas en las Fig. 23. Los análisis de varianza revelaron diferencias significativas entre años ( $\alpha=0,05$ ); (Tabla.3) y altamente significativas ( $\alpha=0,01$ ) entre meses y zonas. La prueba a posteriori mostró que durante el año 2002 la concentración de Cu fue más alta respecto al 2001, siendo los valores para estos dos años  $0,04 \pm 0,002 \mu \text{ mol/l} \pm$  (2001) y  $0,05 \pm 0,002 \mu \text{ mol/l}$  (2002). Entre meses las concentraciones fluctuaron bastante, observándose los mínimos en el período febrero-abril ( $0,02 \pm 0,004 \mu \mu \text{ mol/l}$ ) y los máximos en enero y mayo ( $0,070 \pm 0,004 \mu \text{ mol/l}$ ), durante los demás meses se observaron valores intermedios con fluctuaciones pequeñas. Estadísticamente se apreciaron varios grupos homogéneos formados por los meses junio y noviembre ( $0,03 \pm 0,004$  y  $0,04 \pm 0,004 \mu \text{ mol.l}^{-1}$ ) y marzo- junio ( $0,03 \pm 0,004 \mu \text{ mol.l}^{-1}$ ). Las estaciones que presentaron las máximas concentraciones fueron las ubicadas en el margen izquierdo E1 ( $0,06 \pm 0,005 \mu \text{ mol/l}$ ) y E3 ( $0,07 \pm 0,005 \mu \text{ mol/l}$ ), apreciándose en las demás estaciones concentraciones intermedias que oscilaron entre  $0,03 \pm 0,003 \mu \text{ mol/l}$  y  $0,05 \pm 0,003 \mu \text{ mol/l}$ . Las concentraciones de Cu en agua del Medio Orinoco encontradas en esta investigación son inferiores a las reportadas por Sánchez (1990) y González *et al.* (2000) en el



Orinoco Medio quienes reporta concentraciones en el orden de  $0,15 \mu \text{ mol/l}$  y  $0,02 \mu \text{ mol/l}$  respectivamente. Sin embargo comparables a las reportadas por Márquez (1997) para el río Manzanares en el período de aguas bajas ( $0,02$  y  $0,09 \mu \text{ mol/l}$ ) y en aguas altas ( $0,08$  a  $0,708 \mu \text{ mol/l}$ ).

Landing *et al.* (1992) y Schneider y Davey (1995) señalan que el cobre puede encontrarse en los sistemas acuáticos en forma de arseniatos, sulfuros, cloruros y carbonatos, óxidos de hierro y complejos húmicos, y que por influencia del pH, este elemento puede ser removido desde el material particulado. Song y Müller (1995) reportaron en los estuarios del Reino Unido y en el río Neckar (Alemania), que el cobre disuelto fue absorbido por los óxidos floculados de hierro y sustancias húmicas y señalaron que las especies iónicas libres son muy sensitivas a la complejación y las proporciones tienden a reducirse por ausencia de quelatos orgánicos y a ser aumentadas por la liberación desde los sulfuros metálicos, de igual forma Calmano *et al.* (1992) indicó, que la liberación del cobre desde los sedimentos es posible si el pH es menor de 4,5.

### **Zinc (ZN)**

El Zinc posee una amplia aplicación en la industria química y metalúrgica. En los océanos las concentraciones son menores a  $1,53 \times 10^{-3} \mu \text{ mol/l}$ , pero en áreas costeras, delfarinas y estuarinas siempre son más altas debido a los aportes de las aguas industriales y urbanas (Landing *et al.*, 1992). La forma más abundante de Zn disuelto es la especie  $\text{Zn}^{2+}$  (O'Brien *et al.*, 1990). En la naturaleza se encuentra en forma de sulfuros, carbonatos, silicatos, óxidos y en los sistemas acuáticos se encuentra formando halogenuros e hidróxidos según las condiciones redox del medio (Moore y Ramammorthy, 1984). En las aguas de consumo humano son permitidas concentraciones  $3,06 \times 10^{-3} \mu \text{ mol/l}$  (Greenber, 1992; Márquez, 1997; 2000).

Las concentraciones promedios de zinc encontradas en la investigación durante los dos años, son mostradas en las Fig. 24. No se observaron diferencias significativas en los valores entre los años para este metal ( $\alpha=0,05$ ); (Tabla.3), siendo las concentraciones para los dos

años  $0,25 \pm 0,02 \mu \text{ mol/l}$  y  $0,26 \mu \text{ mol/l}$  respectivamente, sin embargo, entre meses y estaciones si se apreciaron diferencias ( $\alpha=0,01$ ). Entre los meses se presentan los valores mínimos en el período julio-agosto ( $0,09 \pm 0,03 \mu \text{ mol/l}$ ) y el máximo en enero ( $0,56 \pm 0,04 \mu \text{ mol.l}^{-1}$ ) y mayo ( $0,59 \pm 0,03 \mu \text{ mol/l}$ ), en el resto del año se registraron fluctuaciones pero con valores intermedios, en donde los meses de junio y febrero presentaron valores de  $0,11 \pm 0,03 \mu \text{ mol/l}$  y  $0,12 \pm 0,03 \mu \text{ mol/l}$ ; registrándose concentraciones entre  $0,20 \pm 0,03 \mu \text{ mol/l}$  y  $0,54 \mu \text{ mol/l}$  en los demás meses. Espacialmente se determinó que las estaciones que se encuentran en el margen izquierdo tuvieron valores promedios en Zn de  $0,39 \pm 0,03 \mu \text{ mol/l}$ , siendo la estación E1 la de mayor ( $0,52 \pm 0,05 \mu \mu \text{ mol/l}$ ). Para las estaciones ubicadas en el margen derecho y central los promedios fueron de  $0,20 \pm 0,03 \mu \text{ mol/l}$  y  $0,17 \pm 0,03 \mu \text{ mol/l}$  respectivamente.

Senior y Castañeda (2000) reportan concentraciones de  $1,33 \mu \text{ mol/l}$  para el sector Caño Macareo y de  $1 \mu \text{ mol/l}$  en el sector Caño Mariusa resultados que son mayores a los encontrados para el Orinoco Medio. Los valores en las concentraciones de Cu obtenidos en este estudio son por igual inferiores a los reportados para el Manzanares por Márquez, 1997 y Márquez *et al.*, (2000) quienes reportan para la época de aguas bajas valores entre  $0,43$  y  $0,56 \mu \text{ mol/l}$  y concentraciones entre  $0,56$  a  $2,14 \mu \text{ mol/l}$  en los meses de mayor caudal. Incrementos en los niveles de Zn particulado han sido reportado por Morse *et al.*, (1993) indicando gran asociación con los finos granos del material transportado por el río. Landing *et al.* (1995) señala que el Zn es adsorbido en los óxidos de hierro y manganeso y Song y Müller (1995) indican que cantidades considerables de Zn son aportados a la columna de agua en el río Neckar (Alemania) por la descomposición de la biomasa la del fitoplancton y desde los sulfuros metálicos en el sedimento. Salinas *et al.* (1995) en el estuario de Bidasoa reportó elevadas concentraciones debido a la corrosión de las tuberías de las fuentes de agua.

El Zinc vertido al medio ambiente por las fuentes antropogénicas supera al Zinc vertido por las fuentes naturales (USPHS, 1997, Stephenson *et al.*, 1998), siendo las aguas servidas una fuente importante de metales pesados, donde el Zinc es el metal pesado más abundante, estando presente en concentraciones superiores a  $250000 \mu \text{ mol/l}$  (Stephenson *et*

al., 1998). Algunas evidencias sobre la biodisponibilidad del Zinc en sedimentos proviene de las investigaciones en plantas e invertebrados que se alimentan del material en suspensión de las aguas y los sedimentos, tal es el caso de los moluscos y algas recogidos en el río Ebro (Schuhmacher, 1995).

## Níquel (Ni)

El níquel es un elemento que puede estar presente en muchos minerales, óxidos, carbonatos y silicatos de hierro y manganeso (Moore y Ramammorthy, 1984), encontrándose sus sales en aguas naturales. Los valores normales en agua de mar son de  $1,70 \times 10^{-3}$  a  $4,43 \times 10^{-2} \mu \text{ mol/l}$ . Este metal se cree no tóxico para los humanos, pero sus sales pueden ser dañinas para cierto tipo de plantas (Greenber, 1992, Senior, 1994). La legislación Venezolana establece límites de  $3,41 \times 10^{-2} \mu \text{ mol/l}$ , para aguas a ser descargadas a los medios marinos-costeros, mientras que, no existen límites establecidos para las aguas destinadas al consumo humano.

Los resultados obtenidos en el Orinoco Medio, son mostrados en las Fig.25. En el agua se aprecia gran homogeneidad en el promedio de los dos años, no apreciándose, diferencias significativas en las concentraciones ( $\alpha=0,05$ ), sin embargo, para los meses y estaciones ( $\alpha=0,01$ ), si se apreciaron diferencias (Tabla.3). Las concentraciones promedios para los dos años fueron de  $0,04 \pm 0,004 \mu \text{ mol/l}$ . Entre los meses varios grupos homogéneos fueron observados, en donde los valores mínimos ( $0,01 \pm 0,005 \mu \text{ mol/l}$ ), se presentan en el mes de agosto y el máximo en mayo ( $0,11 \pm 0,005 \mu \text{ mol/l}$ ), en el resto del año se registraron fluctuaciones con valores intermedios en donde marzo-julio-octubre y diciembre, registran niveles entre  $0,02 \pm 0,005 \mu \text{ mol/l}$ , y  $0,04 \pm 0,005 \mu \text{ mol/l}$ ). Especialmente las estaciones del margen izquierdo, las cuales tienen la influencia directa de la descarga del río Apure, presentan los mayores promedios ( $0,06 \pm 0,003 \mu \text{ mol/l}$ ), siendo las estaciones E1 y E3 la de mayor contenido de níquel ( $0,07 \pm 0,005 \mu \text{ mol/l}$ ).

Las concentraciones de Ni reportadas en este estudio en el Medio Orinoco, son

menores a los reportados para el Manzanares por Márquez, 1997 y Márquez *et al.*, (2000) quienes señalaron valores por debajo de  $0,20 \mu \text{ mol/l}$ . Zhang (1995) señala que el níquel manifiesta remoción desde el particulado desorción desde la fase sólida suspendida y desde los sedimentos de fondo, debido a los procesos inorgánicos. Windom *et al.* (1991) señalaron que los máximos de níquel en los estuarios Medway y Maeklong durante el período de menor gasto del río ocurrieron por la liberación del metal desde la materia orgánica descompuesta. Morse *et al.* (1993) por otra parte, reportó buena correlación del níquel particulado con los óxidos de hierro y la fracción fina de los granos suspendidos en la bahía de Galveston. Otros estudios señalan que el níquel puede ser liberado desde los sedimentos a la columna de agua teniendo, asociaciones y perfiles similares con los nutrientes especialmente fosfato y silicatos (Yeats *et al.*, 1995).

### **Cromo (Cr)**

El cromo se encuentra en aguas naturales en pequeñas trazas a menos que estas estén contaminadas por residuos de fuentes ácidas o industriales. En agua de mar se han reportado concentraciones entre un rango de  $0,001-0,005 \mu \text{ mol/l}$ . La forma estable y más tóxica del Cr es el hexavalente, pero proporciones significantes de Cr (III) está presente enlazado con algunos componentes orgánicos (Nakayama *et al.*, 1981; Landing *et al.*, 1992; Pettine *et al.*, 1994). La forma más tóxica del cromo es el hexavalente por lo que las aguas destinadas a consumo humano está en el orden de  $0,058-0,077 \mu \text{ mol/l}$  de Cr (VI). Las sales de cromo son usadas extensivamente en procesos industriales y pueden entrar a las aguas por descargas de desechos (Greenber, 1992), sin embargo Moore y Ramammorthy (1984), señalaron que el Cr es introducido a los medios estuarinos y costeros en forma sólida.

Los resultados obtenidos en la investigación son mostrados en las Fig.26. Las pruebas estadísticas de ANOVA (Tabla.3) no reflejaron diferencias significativas entre los años para este metal ( $\alpha=0,05$ ), observándose concentraciones promedios  $0,08\pm 0,006 \mu \text{ mol/l}$  para el año 2001 y  $0,09\pm 0,006 \mu \text{ mol/l}$  respectivamente, sin embargo, entre meses y estaciones ( $\alpha=0,01$ ), se apreciaron diferencias. Entre los meses se presentan los valores mínimos en julio ( $0,09\pm 0,01 \mu \text{ mol/l}$ ) y marzo ( $0,03\pm 0,01 \mu \text{ mol/l}$ ) y el máximo en el período octubre a

diciembre ( $0,13\pm 0,01 \mu \text{ mol/l}$  a  $0,16\pm 0,01 \mu \text{ mol/l}$ ). En el resto del año se registraron fluctuaciones pero con valores intermedios alrededor de  $0,11\pm 0,01 \mu \text{ mol/l}$ . Especialmente las estaciones ubicadas en el margen derecho presentaron menor contenido de Cr ( $0,05\pm 0,008 \mu \text{ mol/l}$ ). Las estaciones del cauce central y el margen izquierdo presentaron valores similares ( $0,70\pm 0,009 \mu \text{ mol/l}$ ), siendo la estación (E1) y (E3) las de mayores concentraciones  $0,18\pm 0,02 \mu \text{ mol/l}$  y  $0,13\pm 0,02 \mu \text{ mol/l}$  respectivamente.

Los valores en las concentraciones de Cr reportadas en este estudio del Orinoco Medio, son comparables a los reportados para el Manzanares por Márquez, 1997 y Márquez *et al.*, (2000) quienes reportan valores de  $0,05-0,19 \mu \text{ mol/l}$  en meses de sequía y  $0,04 - 0,09 \mu \text{ mol/l}$  en meses de aguas altas. Morse *et al.* (1993) señalaron que el Cr exhibe una muy buena correlación con la fracción fina y que la desorción ocurre por adsorción y desegregación de coloides. La asociación a partículas reseñadas por estos autores y por otros como Gibbs (1977) en el río Amazonas, parecen confirmarse en este estudio puesto que, este metal presentó muy buena correlación con el material en suspensión (Tabla.1). Elbaz-Poulichet *et al.* (1996) encontró que las concentraciones de algunos metales como, Cr, Ni y Pb tienden a estar inversamente relacionada con la descarga del río Rhône (Francia), y lo atribuyó a los mecanismos de dilución y a los impactos antropogénicos, este comportamiento fue observado en las aguas del Orinoco Medio en la presente investigación. Otros estudio confirman que el Cr está asociado al carbono orgánico y a los óxidos de hierro y que es liberado debido a las condiciones de óxido-reducción (Landing *et al.*, 1995, Schneider y Davey, 1995).

La información acerca de los efectos de los niveles sobre la flora y fauna acuática, los peces y las aves zancudas y detritófagas es limitada. No se sabe con certeza cómo hace el Cr ligado a los sedimentos para alcanzar los tejidos de animales y plantas, pese a que se reconoce que la especiación del Cr determina su biodisponibilidad (Stephenson, 1998). El Cr (VI) se acumula con menor dificultad que el Cr (III), ya que se ha demostrado que atraviesa las membranas biológicas con más facilidad (Bryan y Langston, 1992). Se ha demostrado que ocurre acumulación de Cr en conchas coquinas, poliquetos y caracoles del lodo después de la exposición a sedimentos contaminados con Cr.

## Plomo (Pb)

El plomo en el medio ambiente se encuentra bajo diversas formas, pero la mayor parte se encuentra en forma inorgánica (Sadid, 1992), la cual es muy contaminante y tóxica. Este elemento no desempeña ninguna función biológica y por lo tanto puede alterar el metabolismo de los organismos vivos (Rainbow, 1993; Song y Müller, 1995). Las principales formas disueltas se encuentran a través del  $\text{PbCO}_3$  y  $\text{PbOH}^+$ , sin embargo la especie más biodisponible es el  $\text{Pb}^{2+}$  (Landing *et al.*, 1992). La legislación Venezolana establece valores límites de plomo de  $2,42 \mu\text{ mol/l}$  para las aguas de descargas a los medios marino-costero; y cantidades de  $0,25 \mu\text{ mol/l}$  para las aguas destinadas al consumo humano (Senior, 1994). González y Ramírez (1995) señalaron que el plomo junto con el cobre y el cinc son buenos indicadores de contaminación generada por el hombre, debido a que, sus concentraciones en el medio ambiente son reflejo de las actividades humanas y fuentes industriales.

Los resultados obtenidos en esta investigación son mostrados en las Fig.27. Se detectaron diferencias significativas en la distribución de Pb ( $\alpha=0,05$ ) entre años y estaciones, y altamente significativas ( $\alpha=0,01$ ) entre meses (Tabla.3). La prueba a posteriori señaló que durante el año 2002 ( $0,014 \pm 0,001 \mu\text{ mol/l}$ ) la concentración de Pb fue más alta respecto al 2001 ( $0,014 \pm 0,001 \mu\text{ mol/l}$ ). El período estacional de menor concentración de Pb estuvo constituido por agosto-octubre y diciembre) con valores que oscilaron entre  $18,07 \pm 17,53 \times 10^{-4} \mu\text{ mol/l}$  y  $51,44 \times 10^{-4} \pm 17,53 \times 10^{-4} \mu\text{ mol/l}$ , detectándose el máximo el mes de noviembre ( $79,17 \pm 17,53 \times 10^{-4} \mu\text{ mol/l}$ ) Espacialmente las estaciones ubicadas en el margen izquierdo presentaron los mayores valores en promedio ( $15,17 \pm 13,98 \times 10^{-4} \mu\text{ mol/l}$ ), siendo las estaciones E1 y E3 las de mayores valores ( $18,66 \pm 31,37 \times 10^{-4} \mu\text{ mol/l}$  y  $18,53 \pm 31,37 \times 10^{-4} \mu\text{ mol/l}$  respectivamente. Las estaciones ubicadas en el margen derecho fueron las de menores concentraciones ( $34 \pm 18,05 \times 10^{-4} \mu\text{ mol/l}$  a  $11,81 \pm 15,63 \times 10^{-4} \mu\text{ mol/l}$ ).

Las concentraciones de Pb reportadas por este estudio en el Medio Orinoco, son inferiores a los reportados por Rodríguez y Betancourt (1999) en el agua de la laguna de Castillero en el Orinoco Medio, quienes señalaron concentraciones de plomo entre  $0,016$  y  $0,027, \mu\text{ mol/l}$ , encontrándose el nivel máximo durante los meses de octubre a diciembre.

También son inferiores a los valores reportados ( $0,02 - 0,1 \mu \text{ mol/l}$ ) para el río Manzanares por Márquez (1997) y Márquez *et al.*, (2000). Hart y Davis (1981) señalaron que, en el estuario del río Yarrah (Australia) una parte del 45 % del plomo total es transportado en forma de particulada. Las actividades antropogénicas, tales como, la combustión de la gasolina que genera especies como di, tri, y tetra alquil y tetra metil de plomo fueron responsables de muchas de las emisiones al medio ambiente (Landing *et al.*, 1992, Sadid, 1992), lo que condicionó mecanismos para que el plomo se asociara en adsorción con los óxidos de hierro, carbonatos y la fracción fina del material particulado (Singer, 1973; Morse *et al.*, 1993). Sadid (1992) señaló que, el plomo puede ser adsorbido en la superficie de las partículas sólidas de los óxidos de hierro y manganeso y que en la superficie agua de río-mar, tiende a precipitar debido a los cambios de pH y la fuerza iónica. Song y Müller (1995) indicaron que gran cantidad del plomo encontrado en el río Neckar (Alemania), se debió a la descomposición de la biomasa y por la resuspensión de los sedimentos contaminados debido a los bajos valores de pH. Las concentraciones de plomo encontradas en este estudio tanto en el agua deben tenerse en consideración, puesto que, este metal no cumple ninguna función biológica, y puede en muy pequeñas concentraciones causar problemas adversos a la biota acuática (Song y Müller, 1995).

### **Cadmio (Cd)**

El Cd es un elemento altamente tóxico especialmente en su forma  $\text{Cd}^{+2}$ , que puede entrar a las aguas fluviales como resultado de las descargas industriales o deterioro de tubos plásticos y galvanizados, así mismo, puede ser adsorbidos por las partículas en suspensión y por los sedimentos de fondo (Greenber, 1992; Sadid, 1992; David y Phillips, 1995), presentando gran afinidad con los halógenos y fosfatos y formando complejos con el cloruro e iones inorgánicos (Sadig, 1992; Yeats *et al.*, 1995). Sin embargo son consideradas las actividades antropogénicas como la principal fuente de ingreso a los sistemas acuáticos (Moore y Ramammorthy, 1984, Landing *et al.* 1992). En las aguas naturales como en las de consumo humano las concentraciones varían por debajo de  $8,74 \times 10^{-4} \mu \text{ mol/l}$ . La legislación Venezolana establece valores límites de cadmio de  $1,75 \mu \text{ mol/l}$  para las aguas de descargas al medio marino-costero y valores de  $0,044 \mu \text{ mol/l}$  para las aguas destinadas al consumo

humano.

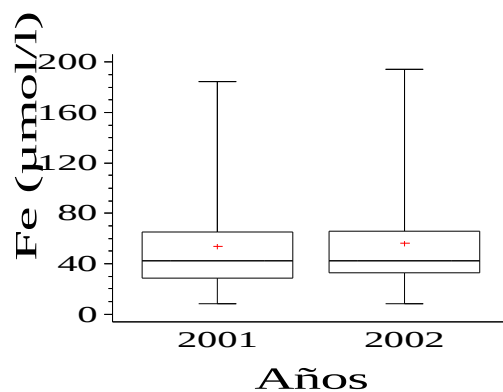
Las concentraciones de cadmio son mostradas en las Fig. 28. No se observaron diferencias significativas entre los años para este parámetro ( $\alpha=0,05$ ). Los valores de las concentraciones promedios para los dos años fueron de  $(64,44 \times 10^{-4} \pm 34,54 \times 10^{-5} \mu \text{ mol/l})$  para el 2001 y  $62,44 \times 10^{-4} \pm 33,07 \times 10^{-5} \mu \text{ mol/l}$  para el 2002. Entre los diferentes meses y las diferentes estaciones por el contrario, se apreciaron diferencias a los niveles  $\alpha=0,01$  y  $\alpha=0,05$  respectivamente (Tabla.3). Entre meses se diferenciaron tres grupos homogéneos claramente definidos: el período julio-agosto y enero con las concentraciones mínimas que oscilaron entre  $42,74 \times 10^{-4} \pm 78,58 \times 10^{-5} \mu \text{ mol/l}$  a  $45,63 \times 10^{-4} \pm 78,58 \times 10^{-5} \mu \text{ mol/l}$  ; noviembre y septiembre con valores máximos  $(82,50 \times 10^{-4} \pm 78,58 \times 10^{-5} \text{ y } 82,67 \times 10^{-4} \pm 78,58 \times 10^{-5} \mu \text{ mol/l})$  y el resto del año constituyendo un grupo intermedio en donde los niveles son intermedios con valores que alcanzaron los  $57,20 \times 10^{-4} \pm 78,58 \times 10^{-5} \mu \text{ mol.l}^{-1}$  hasta  $74,41 \times 10^{-4} \pm 78,58 \times 10^{-5} \mu \text{ mol.l}^{-1}$ . Espacialmente las estaciones ubicadas en el cauce principal tuvieron los menores contenidos en promedio de Cd  $(54,73 \times 10^{-4} \pm 52,76 \times 10^{-5} \mu \text{ mol/l})$ . Las ubicadas en el margen derecho tuvieron valores de  $59,17 \times 10^{-4} \pm 45,69 \times 10^{-5} \mu \text{ mol.l}^{-1}$ , apreciándose las mayores concentraciones hacia la zona inicial de la descarga del río Apure, con valores de  $73,91 \pm 40,86 \times 10^{-5} \mu \text{ mol/l}$ . Las estaciones con mayores concentraciones de Cd fueron: E2  $(12,26 \times 10^{-3} \pm 86,76 \times 10^{-5} \mu \text{ mol/l})$ , E5 y E6  $(61,56 \times 10^{-4} \pm 86,76 \times 10^{-5} \mu \text{ mol/l}$  y  $71,90 \times 10^{-4} \pm 86,76 \times 10^{-5} \mu \text{ mol/l})$  y E10  $(67,14 \times 10^{-4} \pm 86,76 \times 10^{-5} \mu \text{ mol/l})$ . Estas tres estaciones correspondieran a los puertos de embarcación de Cabruta en el estado Guaricho y Puerto de Caicara del Orinoco;

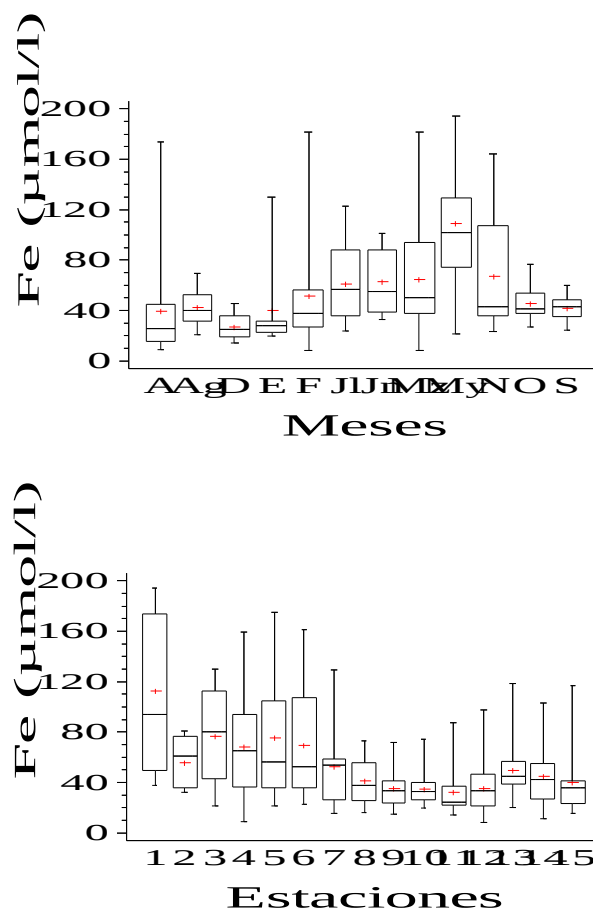
Las concentraciones de Cd obtenidas por este estudio en el Medio Orinoco, son inferiores a los reportados para el río Manzanares por Márquez (1997) y Márquez *et al.*, (2000) quienes reportan valores máximos de  $0,018 \mu \text{ mol/l}$  de Cd. Por igual son inferiores a las reportadas por Márquez *et al.*, 2010 en el río apure quienes indicaron valores de  $0,0065 \mu \text{ mol/l}$ . En algunas investigaciones se ha indicado que el Cd elemento está asociado a la fracción fina del material en suspensión, a los compuestos de hierro, manganeso (Sadid, 1992; Morse *et al.*, 1993; Zhang, 1995), aunque también se ha observado asociado con los compuestos de zinc (Sadid, 1992). Song y Müller (1995) indican que una gran cantidad de cadmio se encuentra adherida a



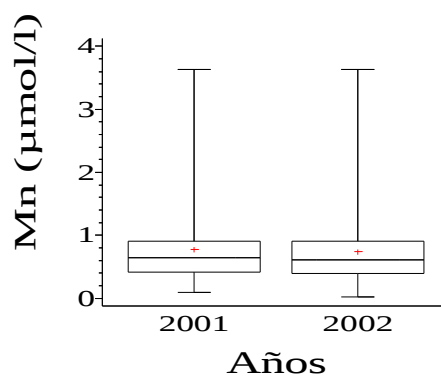
los óxidos de Fe y Mn en el río Neckar. Elbaz-Poulichet *et al.* (1996) señalan que el Cd es fijado en el material en suspensión por los incrementos de la materia orgánica particulada, de igual forma, Comans y Vandijk (1988) reseñaron que la desorción de este metal se debería esperar debido a la complejación con los sulfatos y cloruros y efectos de la fuerza iónica. En este estudio solo una pequeña correlación negativa es apreciada entre este metal y el plomo ( $r = -0,50$ ; Tabla. 1), lo que podría estar sugiriendo entrada desde fuentes de origen antropogénicas.

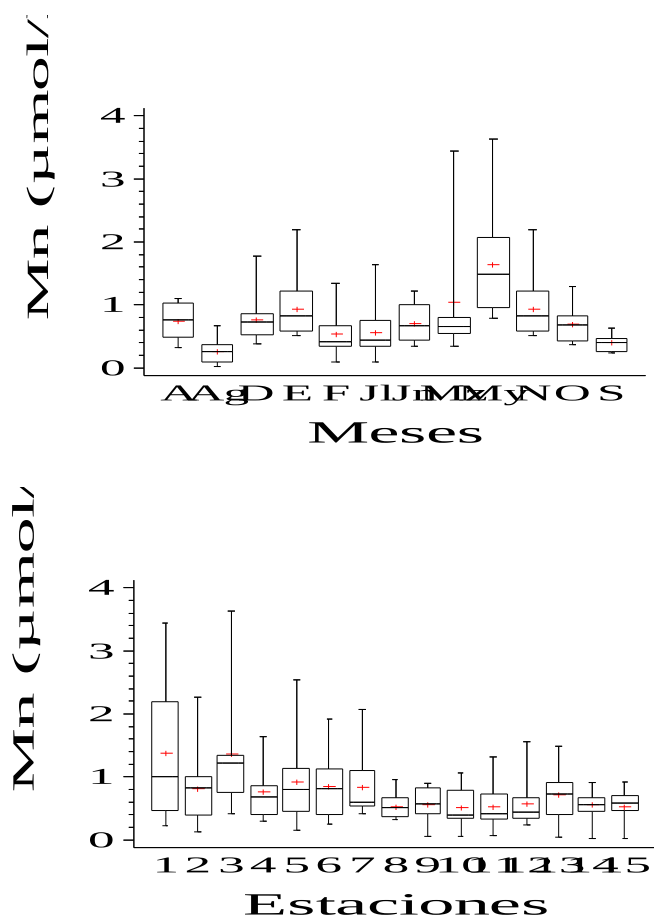
La presencia de metales pesados el río Orinoco es compleja debido a la geología de su cuenca. Sus aguas reciben aporte del drenaje de las cuatro provincias que se encuentran sobre el escudo Guayanés (Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima), así como de Los Andes, la Cordillera de la Costa y la región de Los Llanos (Vásquez y Wilbert, 1992). Las tres primeras provincias que tienen influencia más directa sobre el área estudiada en esta investigación, están compuesta por rocas de origen sedimentario con grado de metamorfismo correspondiente a facies de granulita y anfibolita para primera; rocas volcánicas metamórfisadas con grado de anfibolitas y esquistos verdes para la segunda y rocas plutónicas y volcánicas del Proterozoico (González de Juana *et al.*, 1980, Gibbs y Barron, 1983, Yanes y Ramírez, 1988). La región de los Andes y los llanos por su parte están compuestos por esquistos, gneises y granitos instructivos recubiertos de areniscas, lútitas, pizarras y calizas (Gonzales de Juana *et al.*, 1980). Las descargas antropogénicas son otras fuentes a considerar.



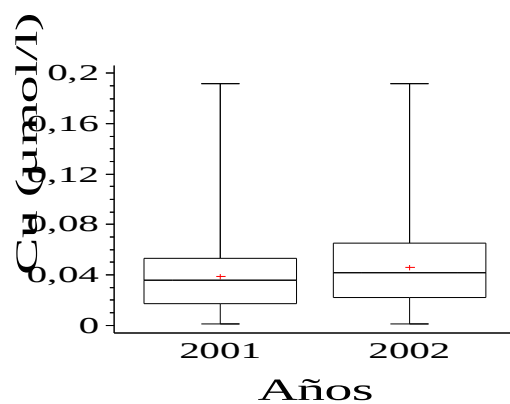


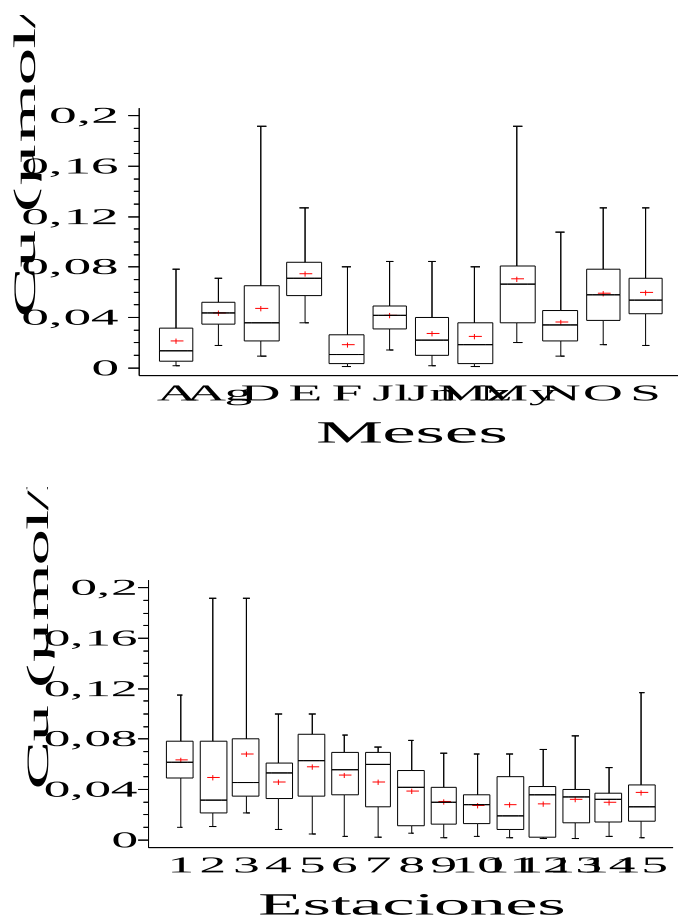
**Fig. 21.** Concentraciones de Hierro (Fe) por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media)



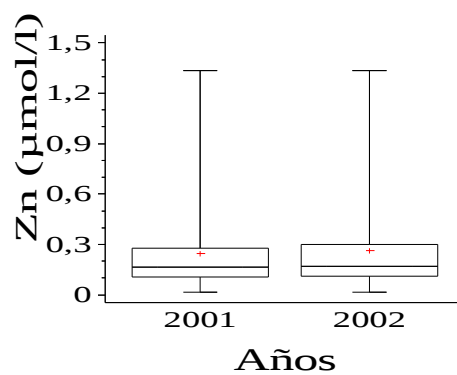


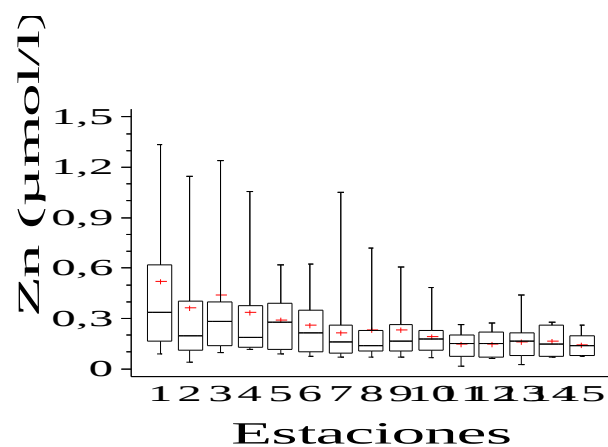
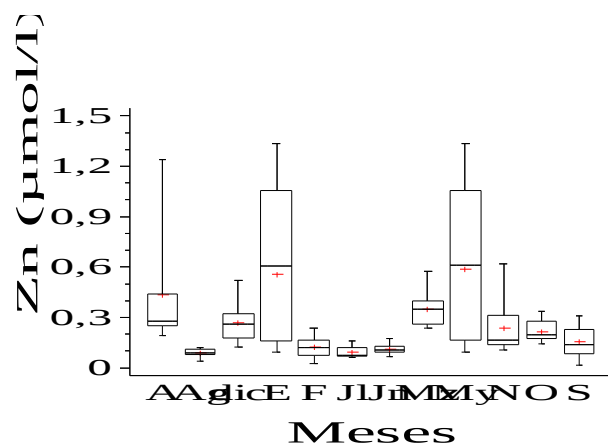
**Fig. 22.** Concentraciones de Manganeso (Mn) por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media)



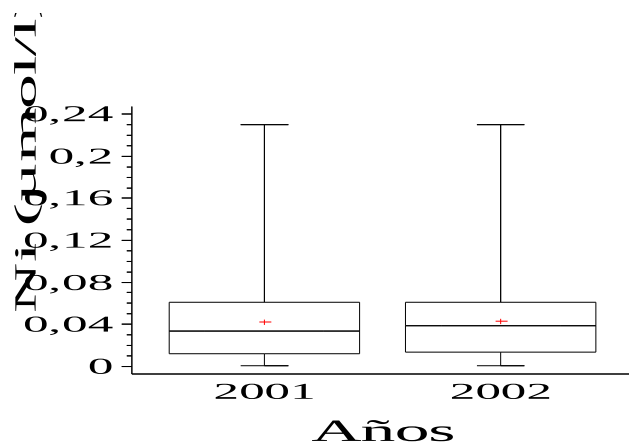


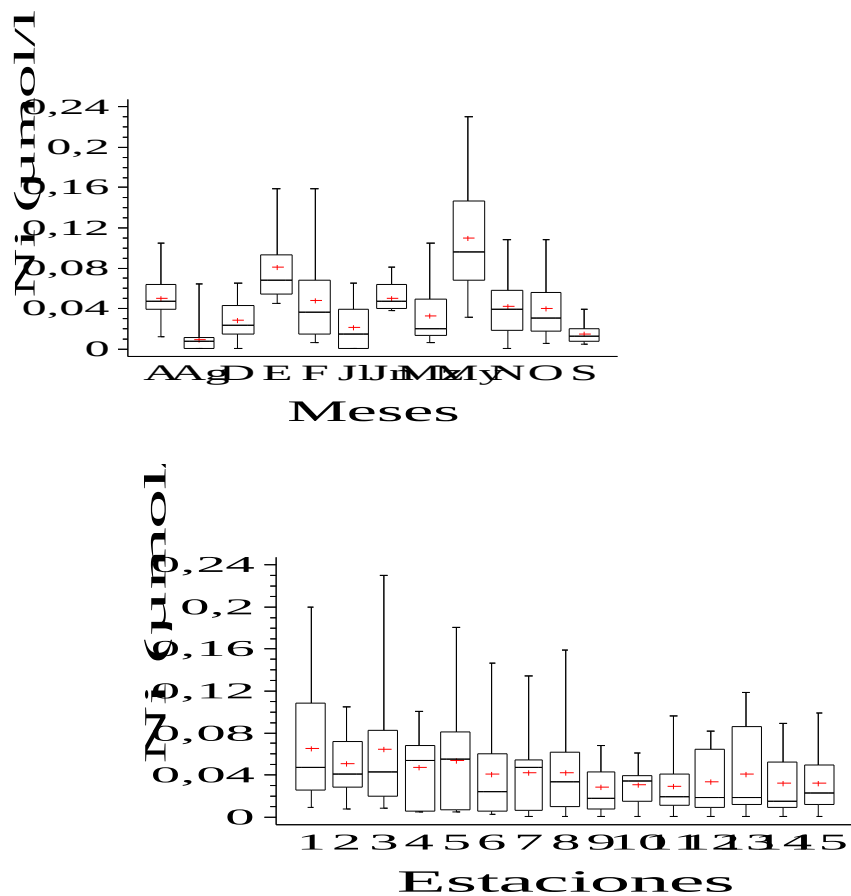
**Fig. 23.** Concentraciones de Cobre (Cu) por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media)



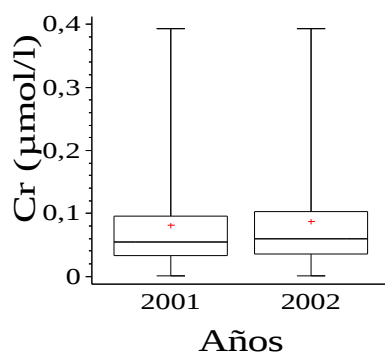


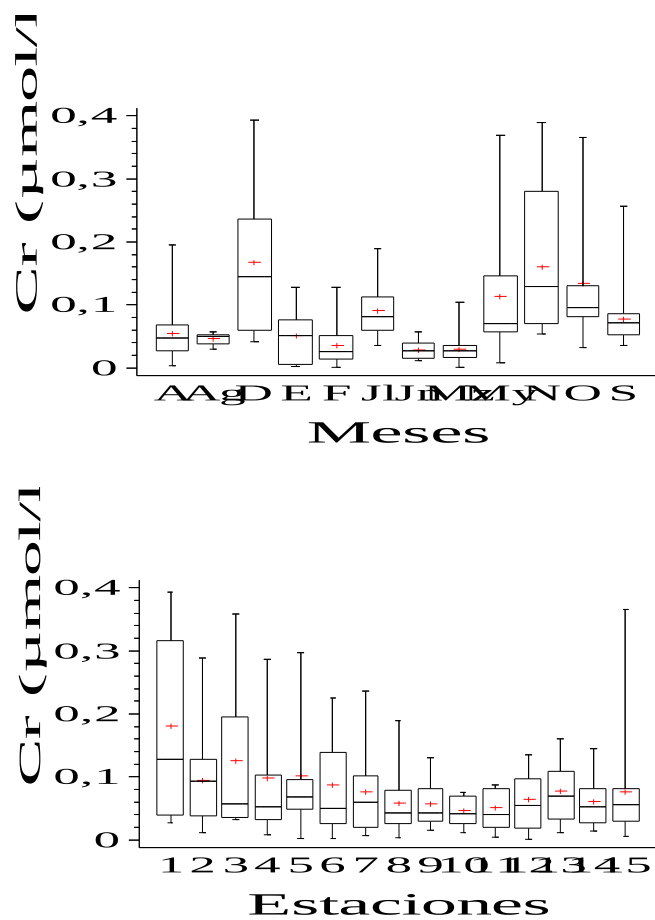
**Fig. 24.** Concentraciones de Zinc (Zn) por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media)



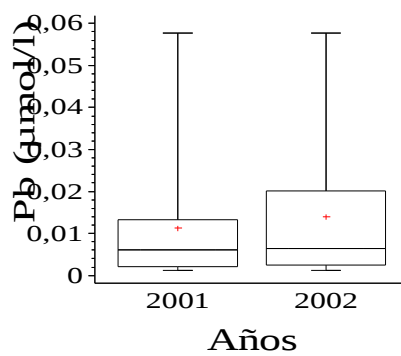


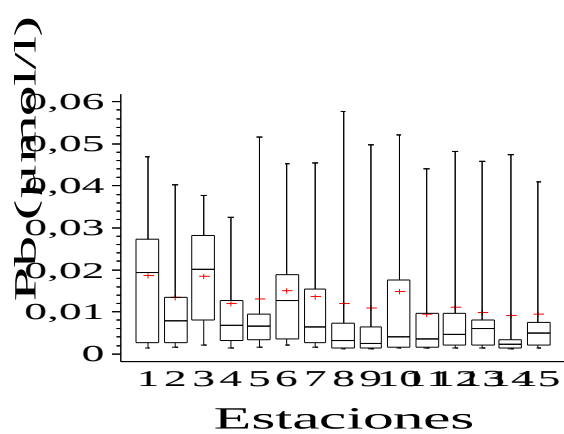
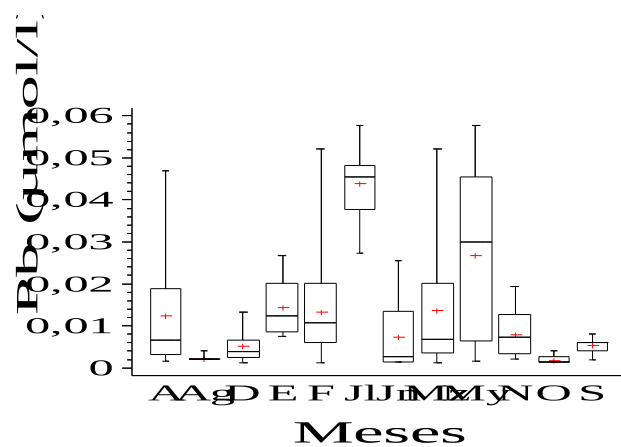
**Fig. 25.** Concentraciones de Níquel (Ni) por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela, (+ = media)



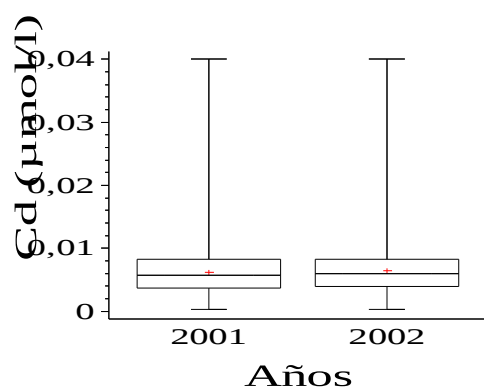


**Fig. 26.** Concentraciones de cromo (Cr) por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela (+ = media)

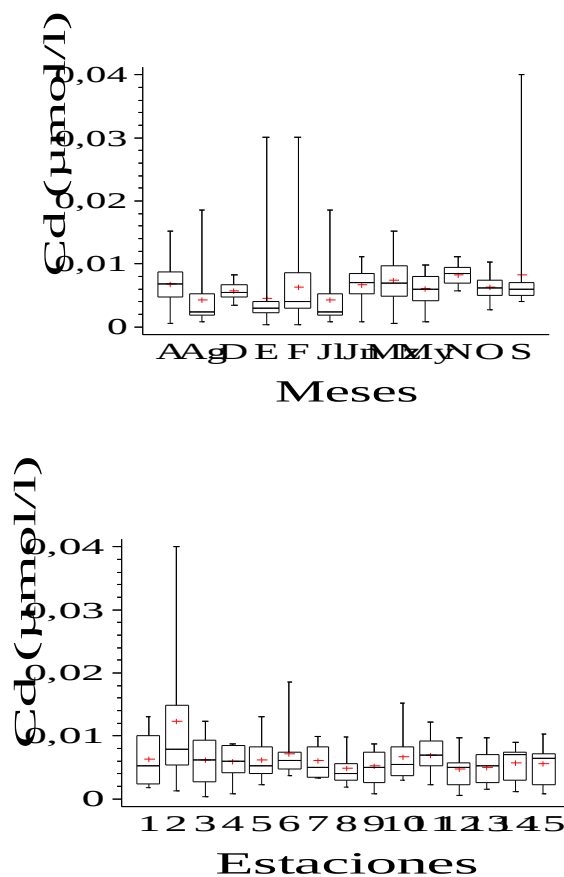




**Fig. 27.** Concentraciones de plomo (Pb) por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela (+ = media)







**Fig. 28.** Concentraciones de cadmio (Cd) por años, meses y estaciones (período 2001, 2002) en las aguas del Orinoco Medio, Venezuela (+ = media)

### **CORRELACIONES ENTRE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE LAS AGUAS DEL ORINOCO MEDIO.**

En la Tabla. 4 (anexo), se presentan las relaciones existentes entre los parámetros físicoquímicos de las aguas del Medio Orinoco

Entre los parámetros hidrográficos se observó una correlación positiva entre el material en suspensión y la turbidez de las aguas, siendo los valores del factor de correlación bastante significativo ( $r = 0,88$ ). Esta relación influye también en la transparencia del agua, lo cual sugiere que el transporte de partículas en las aguas superficiales provoca una disminución en la transparencia del agua haciendo que se establezca una relación negativa significativa entre este

ultimo parámetro y el material en suspensión ( $r = -0,66$ ), así como con la turbidez ( $r = -0,56$ ). Por otra parte el pH presenta una correlación lineal bastante importante desde el punto de vista estadístico con la conductividad ( $r = 0,90$ ), lo cual sugiere que el pH está relacionado con las concentraciones de electrolitos transportados por las aguas del Orinoco Medio, es decir, a mayor cantidad de iones presentes en la solución, mayor conductividad y por ende se incrementa el pH.

Por otra parte, se observó que las concentraciones de oxígeno disuelto experimentan una relación negativa significativa con el MES y la NTU ( $r = -0,50$  y  $r = -0,57$ ) y positiva con la transparencia, lo cual sugiere que las mayores concentraciones de MES provocan una menor aireación de la masa de agua y una menor penetración de concentración de oxígeno hacia el agua. Igualmente se sugiere que al disminuir las concentraciones de MES, las aguas se hacen más claras y se establece una relación positiva entre la transparencia del agua y las concentraciones de oxígeno disuelto ( $r = 0,64$ ), es decir a aguas más transparentes, menor contenido de partículas en suspensión y por ende menor materia orgánica para descomponer considerando que las bacterias utilizan el oxígeno disuelto para degradar el material orgánico.

Una observación importante es la correlación positiva significativa y altamente significativa  $r > 0,50$  experimentada entre todos los compuestos nitrogenados y fosfatados con el pH, reflejando en cierta medida la influencia de estos compuestos sobre las características ácido-base observadas en las aguas del Medio Orinoco, especialmente porque los productos fosforados y nitrogenados pueden ser regenerados cuando la materia orgánica es descompuesta, lo cual puede alterar el pH del agua. Los compuestos oxidados de nitrógeno presentan una correlación lineal superior a  $r=0,60$  lo cual es reflejo de la contribución de estos compuestos al nitrógeno total presente en las aguas del Orinoco. El amonio por otra parte mostró una correlación lineal importante con el pH lo cual sugiere que la descomposición de materia orgánica en las aguas del Orinoco es importante., ya que el amonio es uno de los principales producto de la descomposición de estos compuestos. Al descomponerse la materia orgánica en los cuerpos de agua, se libera amonio y decrecen los valores de pH.

Entre las trazas metálicas se presentan correlaciones muy variadas entre la

concentración de cada metal y el material en suspensión. El material en suspensión presentó correlaciones lineales significativas con el cobre ( $r = 0,61$ ), sin embargo, la significancia se hace más alta para el resto de los metales,  $r = 0,74$  con Ni;  $r = 0,77$  con Mn; Fe ( $r = 0,80$ ) y Zn ( $r = 0,64$ ), lo cual sugiere que estos metales están adsorbidos a la superficie de las partículas del material en suspensión. El níquel a su vez, también podría estar asociado a la superficie de óxidos de manganeso ya que experimenta una buena correlación positiva altamente significativa ( $r = 0,65$ ). La relación existente entre el Pb ( $r = 0,70$ ) y Zn ( $r = 0,70$ ) con el hierro indica que probablemente estos metales se encuentran adsorbidos a la superficie de los óxidos de hierro transportado por las aguas. Una característica importante observada es que cromo y cadmio no presentan correlación alguna con ninguno de los parámetros fisicoquímicos de las aguas del Orinoco, solo una pequeña relación negativa es experimentada entre el Cd y el Pb ( $r = -0,57$ ), lo cual sugiere una fuente de origen diferente para estos dos metales, ya que el comportamiento experimentado por ellos es diferente al que naturalmente experimentan las otras trazas estudiadas. El origen antropogénico podría ser el responsable, sin embargo no se realizaron estudios de especiación que pudieran confirmarlo. Rubio *et al.* (1995) y Rubio *et al.* (2000) afirman que, la correlación de los metales pesados con las partículas que contienen el Fe debe ser el comportamiento esperado en condiciones naturales, ya que el hierro es un elemento definitorio de las características de los sedimentos, razón por la cual la relación del hierro con cualquier otro metal tiende a formar una tendencia lineal, lo contrario podría ser significativo de una contaminación de tipo antrópico. En este estudio Cd y Zn no presentaron correlación con el Fe, lo cual podría estar indicando la entrada de estos metales al ecosistema desde una fuente antropogénica.

## CONCLUSIONES

1. El ciclo hidrológico del río Orinoco tiene un rol importante en la distribución de las características físicoquímicas que presentan sus aguas, ya que los niveles del caudal producen 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.
2. Las aguas del Orinoco Medio no presentaron variaciones estadísticas significativas considerando la escala temporal anual, sin embargo, a nivel mensual las variaciones son significativamente importantes.
3. Se observó un aumento de la conductividad con los bajos niveles del río la cual sugiere una concentración de la carga iónica del río por el aumento de la evaporación durante los meses de sequía, por el contrario los descensos observados en aguas altas sugiere que los procesos de dilución debido al aumento de la masa de agua influye sobre la disminución de las sales y sólidos que son arrastrados por el río.
4. La tendencia observada en la distribución del pH fue una disminución con el nivel del río. El descenso del pH en aguas altas observados en el Orinoco, sugiere una influencia de transporte de compuestos orgánicos (ácidos húmicos y fúlvicos) originados por arrastre del material detrítico y al lavado de zonas que poseen suelos ácidos, debido al incremento de las lluvias en la parte alta de la cuenca.
5. Las Concentraciones y distribución del material en suspensión en el Orinoco Medio guardaron una relación inversa con la descarga del Orinoco siendo mayores en los períodos de aguas bajas sugiriendo un fuerte proceso de dilución debido al aumento de los caudales Orinoco y Apure. El incremento de los caudales condiciona un incremento

en la transparencia del agua.

6. En el caso de los elementos nutritivos nitrogenados y fosforados son bajas y la de silicatos son altas debido a que el sílice es el mayor constituyente de muchas rocas ígneas y que los granos de la mayoría de muchas areniscas, minerales estos que dominan la petrología del basamento geológico por donde transita el río Orinoco.
7. Las de metales pesados en agua en el período de estudio son bastante bajas encontrándose los mayores niveles en el período de menor gasto del río, notándose que la distribución espacial observada en las concentraciones de los metales con excepción de cadmio, fue similar a la apreciada para el material en suspensión. Los valores variaron en orden de decreciente de acuerdo a la relación: Fe (54,99) > Mn (0,76) > Zn (0,26) > Cr (0,08) > Cu (0,04) = Ni > Pb (0,013) > Cd (0,006)  $\mu$  mol/l. La presencia de trazas metálicas como plomo, cadmio y cromo en las aguas, así como incrementos en algunos lugares del lecho del río aportes podría incrementarse en los próximos años pudiendo causar un daño al ecosistema.
8. En conclusión no se evidencia por los momentos impacto ambiental en la zona de estudio que pudieran considerarse como importantes, lo que sugiere que las concentraciones de la mayoría de los parámetros evaluados parecieran naturales estando regidos el régimen hidrológico del Orinoco.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aminot A. y Chaussepied M. 1983. Dosage del' Oxygénédisous. Aminot, A., Chaussepied, M. (Eds), *Manuel des Analyses Chimiques en milieu Marin* Centre National Pour L'Exploitation des Oceans, France. CNEXO. 125 pp.

Aprile F. M y Bouvy M. 2008. Distribution and enrichment of heavy metals in sediments at the Tapacurá river basin, northeastern brazil. *Braz. Journal of Aquatic Science Technology* 12(1):1-8.

Aprile F.M, Siqueira G.W y Parente A.H. 2005. Occurrence and potentially toxic of heavy metals in aquatic ecosystems and their effects on organisms health. *Química Tecnológica*. 1/2:40-47.

Baalsrud K. 1967. Influence of nutrient concentrations on primary production. *Poll. Mar. Ecology*. Interscience Publ., New York: 159-169 pp.

Bendschneider K y Robinson R. 1952. A new spectrophometric determination of nitrite in sea water. *J. Mar. Res.* 11:87-96.

Brian W y Langston J. 1992. Bioavility, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom estuaries: A review. *Envir. Pollu.*, 76: 89-131

Capuzzo M. 1981. Prediction Pollution Effects in the Marine Environment. *Oceanus*, 24 (1): 25-33

Clement A. 1993. Componentes disueltos por la acuicultura marina en Chile. Relación con el fitoplancton. Seminario Internacional Acuicultura y medio Ambiente. Santiago, 2 y 3 de Septiembre. Fundación Chile. 183 pp.

Colonnello G. 1990. Elementos fisiográficos y ecológicos de la cuenca del río Orinoco y sus rebalses. *Interciencia*.15:6: 476-485.

Comans R y Vandijk C. 1988. Role of complexation processes in Cd mobilization during estuarine mixing. *Nature*. 3 (36): 151-154.

Concalves E, Boaventura R y Mouvet C. 1990. Sediments and aquatic mosses as pollution indicators for heavy metals in the Ave river basin, Portugal. *The Science of the Total Envir*.114: 7-24

Cressa C, Vásquez E, Zopp E, Rincón J y López, C. 1993. Aspectos generales de la limnología en Venezuela. *Interciencia*. 18(5): 237-248.

CVG-GOSH. 1997. Informe sobre las descargas cloacales de la población de Caicara del Orinoco durante el periodo 1988-1996. Corporación Venezolana de Guayana-Gerencia de Obras sanitarias e Hidráulicas, Caicara del Orinoco. 22 pp.

David J y Phillips H. 1995. The chemistries and environmental ftes of trace metals and organochlorines in aquatic ecosystems. *Mar Poll*. 31 (12): 4-12

Duinker S y Nolting R. 1978. Mixing, removal and mobilization of trace metals in the Rhine estuary. *Neth. J. of Sea Res.*, 12: 205-223.

EDELCA. 1984. Caracterización de la Cuenca Carona - Paragua. C.V.G. Electrificación del Caroní, Informe interno. Versión Preliminar.205 pp.

Eisma D, Van Der Gaast J, Martin, J y Tomas, A. 1978. Suspended matter and bottom sediments and bottom deposits of Orinoco Delta: Turbidity, mineralogy and elementary composition. *Neth. J. Sea Res*. 12:224-251.

Elbaz-Poulichet F, Garnier J, Guan M, Martin J y Thomas A. 1996. The conservative behavior of trace metals (Cd, Cu, Ni and Pb) and as in the surface plume of stratified estuaries:

Example of the Rhône River (France). *Estuar. Coast. and Shelf. Sci.*, 42: 280-310.

Emoyan O, Ogban F y Akarah E. 2006. Evaluation of heavy metals loading of River Ijana in Ekpan – Warri, Nigeria. *J. Appl. Sci. Environ. Mgt.* 10 (2): 121 – 127.

Fanning K y Maynard S. 1978. Dissolved boron and nutrients in the mixing plumes of mayor tropical rivers. *Neth. J.of Sea. Res.*, 12 (3-4): 345-354.

Feria J, Marrugo J.L y González. 2010. Heavy metals in Sinú river, department of Córdoba, Colombia, South America. *Revista Facultad de Ingenieria, Universidad Antioquia.* 55. 35-44.

Flemming G y Trevors J. 1989. Copper toxicity and chemistry in the environment: A review. *Water. Air. Soil. Poll.* 143-158.

ForstherV y Wittmann G. 1981. Metal Pollution in the Aquatic Environment. McGraw-Hill, New York. 473pp.

Fuentes, M. 1998. Condiciones geoquímicas de los sedimentos superficiales de la Laguna de Chacopata, Edo. Sucre, Venezuela. Tesis de Post-Grado. Universidad de Oriente, Venezuela, 113 pp.

Furhan I, Nadeem R, Muhammad A y Muhammad A.2006. Contamination of Kallar Kahar Lake by inorganic elements and heavy metals and their temporal variations. *J. Appl. Sci. Environ. Mgt.* 10(2): 95 – 98.

Gerlac S 1981. Marine Pollution. Diagnosis and Therapy. Springer-Verlang. Berlín, 218 p.

GESAMP. 2001 Protecting the oceans from land-based activities. Land-based sources and activities affecting the quality and uses of the marine, coastal and associated freshwater environment. United Nations Environment Program, Nairobi 50pp

Gessner F.1965. Zur limnologie des unteren Orinoco. *Int. Rev. Ges. Hidrobiol.* 50:3.305-333



Gibbs, A. & C. Barron. 1983. The Guiana Shield reviewed. *Episodes*. 21:2. 7-14

Gibbs R. 1977. Transport phases of transition metals in the Amazon and Yukon Rivers. *Geol. Soc. of Amer. Bull.*, 88 (5- 8): 829- 843.

González A, Márquez A y Chung K. 2000. Hierro y cobre en *Plagioscion squamosissimus* (Pises: Sciaenidae) del río Orinoco, Venezuela. *Rev. Biol.. Trop.* 48 (1): 207-213.

González de Juana C, Irrutalde J y Picard X. 1980. Geología de Venezuela y sus campos petrolíferos. FONINVES (Eds). Caracas, Venezuela. 105p.

González, H y Ramírez, M. 1995. The effect of níkel mining and metallurgical activities on the distribution of heavy metals in Levisa Bay, Cuba. *Joul. Geochem. Exption.*, 52: 183-192

Greenber, A, Clescer L y Eaton A. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater,. 18 Edition. APHA-AHWA. USA. 3060 pp.

Hamilton S.K y Lewis W.M. 1990. Basin morphology in relation to chemical and ecological characteristics of lakes on the Orinoco River floodplain, Venezuela. *Archly fur Hydrobiologie* 119: 393-425.

Harding L, Meeson B y Fisher T. 1986. Phytoplankton production in two east coast estuaries: Photosynthesis-light functions and patterns of carbon assimilation in Chesapeake and Delaware Bays. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.*, 23: 773 -806.

Hart B. y Davis S. 1981. Trace metals speciation in the freshwater and estuarine regions of Yarrah River (Victoria). *Estuar Coast Shelf Sci.* 12 (4). 353-374

Horman P. 1990. The amount of garbage pollution from merchant shish. *Mar. Poll. Bull.* 13 (5): 167-169.

Ibragimow A y Głosińska G. 2010. Heavy metals in fluvial sediments of the Odra river flood

plains – introductory research. *Quaestiones Geographicae*. 29 (1):3747

Jain C, Singhal D.C y Sharma M. K. 2005. Metal pollution assessment of sediment and water in the river Hindon, India. *Environmental Monitoring and Assessment*. 105: 193-207.

Knox S, Turner D, Dickso A, Liddicoat M Whitfield M y Butler E. 1981. Statical analysis of estuarine profiles. Application to manganese and ammonium in the Tamar estuary. *Estuar. Coast. Mar, Sci.*, 13: 357-371.

Koroleff F. 1969. Direct determination of ammonia in natural water as indophenols blue. *Int. Count. Explor. Sea*. C.M. 1969/C. 9: 19-22.

Landing W, Cutter G, Dalzier J, Flegal A, Powell R, Schidt D, Shiller A, Westerlund S y Resing J. 1995. Analytical intercomparison results from the 1990`` Intergovernmental Oceanographic Commission`` open- ocean baseline survey for trace metals: Atlantic Ocean. *Mar.Chem.*, 49: 253-265.

Landing, W, Lyons W y Orem W. 1992. Nutrient cycling and the biochemistry of Mn, Fe, and Zn in jelly fish lake, Palao. *Limnol. Oceanograf.*, 36: 515-525.

Lewis W y Weibezahn F.1981. The chemistry and phytoplankton of the Orinoco and Caroni rivers, Venezuela. *Arch. Hydrobiology*.91(4).521-528

Lewis B y Landig W. 1992. The investigation of dissolved and suspended particulate trace metals fractionation in the Black Sea. *Mar. Chem.*, 40: 105-141.

Lewis W y Sanders J.1984. Cross-Sectional variation in the chemistry and suspended sediment load of the Orinoco River at Ciudad Bolivar, *Acta. Cient.Ven*.25: 382-385

Libes SM. 1992. *An introduction to Marine Biogeochemistry*. John Wiley & Sons, New York. 734 pp.

Luoma S Dagovitz R y Axtmann E. 1990. Temporally intensive study of trace metals in

sediments and bivalves from a large river-estuarine system: Suisun Bay / Delta in San Francisco Bay. *The Science of the Total Environment*. 112pp.

Manahan, S. 1982. *Environmental Chemistry*. Fourth Edition. Willard Grant Press Publishers. Boston. USA. 612pp.

Márquez, A. 1997. *Comportamiento y Distribución de Algunos Metales Pesados en Fracciones Disueltas y Particuladas en aguas Superficiales del Río Manzanares, Estado Sucre, Venezuela*. Tesis de Pregrado. Universidad de Oriente. Venezuela. 141pp.

Márquez, A Señor, W y Martínez G. 2000. Concentración y comportamiento de metales pesados en una zona estuarina de Venezuela. *Interciencia*. 25: 284 -291.

Márquez A, Martínez G, Senior W y González A. 2010. Metales pesados en las aguas superficiales y sedimentos del río Apure en su confluencia con el río Orinoco, Venezuela. *Bole Instit Oceanográf de Venezuela*. 49 (1): 3-16

Meade R, Weibezahn Lewis W y Pérez-Hernández D. 1990. Suspended-sediment budget for the Orinoco River. En: *El río Orinoco como ecosistema*. Weibezahn, F; Álvarez, H & Lewis (Eds). Editorial Galac, S.A. Caracas. 55-79 pp.

Millikan, J y Meade, H. 1983. World-wide delivery of river sediment to the oceans. *Jour.Geol.* :91 (1): 1-21

Monente, o I. 1990. Material en suspensión transportado por el río Orinoco. *Mem. Fund de Cien nat. La Salle*. Venezuela. Tomo L. N° 1333-134: 5-13.

Moore J y Ramammorthy S. 1984. *Heavy Metal in Natural Waters*. Pergamon Press. Gran Bretaña. 268 pp.

Mora Polanco A, L Sánchez, Calderón C, Lasso Alcalá C y Romero C.M. 2007. Parámetros fisicoquímicos de algunos cuerpos de agua adyacentes a la confluencia de los ríos Orinoco y

Ventuari, estado Amazonas, Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones. Biológicas, Universidad del Zulia*. 41: (1). 44–59 pp

Morantes J, Yáñez C; Tosiani T; Ramírez A y Marrero S. 2000. Valores de línea base de algunos elementos mayoritarios y trazas en las aguas del río Cuyuní, Estado Bolívar, Venezuela. Informe de Proyecto (03-303742/96). Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (C:D:C:H). 4pp.

Morris A y Bale A. 1979. Effect of rapid precipitation of dissolved Mn in river waters on estuarine Mn distributions. *Nature.*, 229: 303-327.

Morse J, Presle B, Taylor R, Benoit G y Santschi P. 1993. Trace metal chemistry of Galveston Bay: water, sediments and biota. *Mar. Envir. Res.*, 36: 1-37.

Muller-Karger F y Valera R. 1990. Influjo del Orinoco en el Mar Caribe: Observaciones con el CZCS desde el espacio. *Memoria. Soc. Venezolana Cien. Naturales. La Salle*. Tomo L.361-390.

Muncy R; Atchison G, Burkley R Menzel B, Perry L y Summerfelt R. 1979. Effects of suspended solids and sediments on the reproduction and Early life of freshwater fishes: a review. US Environmental Protection Agency, Corvallis, Oregon (3.1).20 pp

Murphy J y Riley J. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta*. 12:162-170.

Murray J y Gill G. 1978. The geochemistry of iron in Puget Sound. *Geochim. Cosmochim. Acta.*,42: 9-20.

Nagano T, Yanase N, Tsuduki K y Nagao S. 2003. Particulate and dissolved elemental loads in the Kuji River related to discharge rate. *Envir. Intern.* 28: 649-658.

Nakayama E, Tokoro H, Kuwamoto T y Fujinaga T. 1981. Dissolved Chromium in sea water.

*Nature*. 290: 768-770.

Nelson C y Lamothe P. 1993. Heavy metals anomalies in the Tinto and Odiel river and estuary system, Spain. *Estuar. Res. Foundation*.16 (3A): 496-511

Nemeth A, Paolini J y Herrera R. 1982. Carbon transport in the Orinoco River: Preliminary Results. *Mitt. Geol. Palont.Inst. Universitat Hamburg*. SCOPE/UNEP Sonderband 52:357-364.

O' Brien P, Rainbow P y Nugegoda D. 1990. The effect of the chelating agent EDTA on the rate of uptake of zinc by *Palaemon elegans* (Crustacea: Decapoda). *Mar. Envir. Res.*, 30: 155-159.

Paolini, J y Ittekkot, V. 1990. Particulate organic matter in the Orinoco River. *Nature Wissenchaften* .77: 80-81.

Paolini J, Herrera R y Nemeth A. 1983. Hydrochemistry of the Orinoco and Caroni Rivers. *Mitt. Geol. Palaeont.Inst. Univ.Hamburg*, Heft (SCOPE/UNEP Sonderband):223-236

Pettine M, Millero, F y Passino R.1994. Reduction of chromium (VI) with hydrogen sulfide in NaCl media. *Mar. Chem.*, 46: 335-344p.

Priju C y Narayana A. 2007. Heavy and Trace Metals in Vembanad Lake Sediments. *Int. J. Environ. Res.*1 (4): 280-289.

Rainbow P. 1993. The Significance of Trace Metal Concentration in Marine Invertebrates. In *Ecoxitology of Metals in Invertebrates*. Lewis Publisher. Boca Ratón. F.L. 3 -23pp.

Rainbow P. 1995. Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. *Mar. Pull. Bull.*, 31 (4-12): 183-192.

Rodríguez J, Betancourt J. 1999. Caracterización físico-química de una laguna de inundación del tramo Orinoco Medio y su relación con la biomasa de la cobertura de bora (*Eichhornia crassipes*). *Interciencia*, 24: 243-250.

Romankevich E 1984. Geochemistry of organic matter in the ocean. Springer-Verlag. Berlin. 329 pp.

Rubio B, Nombela M y Vilas F. 2000. Geochemistry of majors and trace elements in sediment of the Ria de Vigo (NW Spain): an assessment of metal pollution. *Mar. Poll. Bull.* 40 (11): 968-980.

Rubio B, Nombela M, Vilas F, Alejo I, García-Gil S, García-Gil E. y Pazos O. 1995. Distribución y enriquecimiento de metales pesados en sedimentos actuales de la parte interna de la Ría de Pontevedra. *Thalassas*, 11: 35-45.

Sadid M. 1992. Toxic Metal Chemistry in Marine Environments. Pergamon Press. Gran Bretaña. 389pp.

Salazar J. 1989. Condiciones Hidrogeoquímicas de la Región Estuarina-Deltáica del Orinoco Durante el Mes de Noviembre de 1985. Tesis de Postgrado Universidad de Oriente, Venezuela.128pp.

Salinas J, Ruiz J y Frances G. 1996. Heavy metal levels in intertidal sediments and biota from the Bidasoa estuary. *Mar Pull.*, 32: 1 69-71.

Sánchez J, Peña R y Núñez I. 1985. Estudio de línea base del río Orinoco. Inf. Tecn. INTEVEP. NI.INT-01446,85.INTEVEP, S.A., Los Teques, 432pp.

Sánchez L, Vásquez E. 1986. Notas sobre las macrofitas acuáticas en la sección baja del río Orinoco. *Mem. Soc. Cien. Nat. La Salle*.46 (125-26):107-125

Sánchez L, Vásquez E y Blanco L.1982. Datos fisicoquímicos del agua en sectores del río Orinoco y lagunas adyacentes. 1978-1982. Informe. Fund. La Salle, ciudad Guayana, 97pp.

Sánchez M. 1990. La calidad de las aguas del río Orinoco. En el río Orinoco como Ecosistema. Edelca. *Acta Cient. Venezolana*. CCAVN. Universidad Simón Bolívar. 430 pp.

Sanchez-Suarez I y Troncone-Osorio F. 1995. The Gulf of Paria (Venezuela): Effect of Orinoco river discharge on water transparency and chlorophyll a distribution. *Bol Inst Oceanograf. Venezuela*. Universidad de Oriente. 34 (1 & 2): 77-85.

Scherer U, S. Sagemann y Stephan F. 2011. Emission via erosion and retention of heavy metals in river basins of Germany. *Geoph. Res. Abstracts*. 13: 4769

Schmidt G.W 1972. Amounts of suspended solids and dissolved substances in the middle reaches of the Amazon in the course of one year (August 1969–July 1970). *Amazoniana*, 3:208–23

Schneider P y Davey S. 1995. Sediment contaminants of the coast of Sydney, Australia: A model for their distribution. *Mar. Poll. Bull.*, 31 (4-12): 262-272.

Scott M y Neumann R. 1999. Seasonal variations in concentrations of mercury in axial muscle tissues of largemouth bass. *Norhj.Amer jour. Fish. Mamag*, 19: 89-96.

Selvaraj K, Gopa P, Chen-Tung A y Jiann-Yuh L. 2010. Anthropogenic effects on sediment quality offshore southwestern Taiwan: Assessing the sediment core geochemical record. *Continental Shelf Research*. 30. 1200-1210

Senior W y Castañeda J. 2000. Evaluación de la calidad de las aguas en el ecosistema Delta del Orinoco. Informe técnico final. PDVSA/UDO. 163pp.

Senior, W y Godoy. G. 1991. Estudio fisicoquímico del río Manzanares, (Cumaná-Venezuela). *Bol. Inst. Oceanográf.de Venezuela.*, 29 (1-2): 160- 172.

Senior W. 1987. Manual de Métodos de Análisis de Agua de Mar. Instit.Oceanograf.de

Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela 119pp.

Shcumatcher M, Domingo J, Llobet J y Corbella J. 1995. Variations of heavy metals in water, sediments and biota from the Delta of the Ebro River, Spain. *Jour. Envir. Science and Health*. 30(6):1361-1372

Shumilin E, Anikev V, Goryachev N, Kassa A y Fazlullin S. 1993. Estimation of the role of biochemical barriers in trace metal migration in river sea system. *Mar. Chem.*, 43: 217- 224.

Singer P. 1973. Trace Metals and Metal Organic Interaction in Natural Waters. Ann Arbor Science Publishers. INC., USA.379pp.

Song Y y Müller G. 1995. Biogeochemical cycling of nutrients and trace metals in anoxic freshwater sediments of the Neckar River. Germany. *Mar. Freshwater. Res.*, 46: 237-43.

Stephenson A, Labunska I, Stringer R y Santillo D. 1998. Identificación y trascendencia ambiental de los contaminantes orgánicos y de los metales pesados hallados en las muestras de agua y sedimentos tomadas en la Cuenca Matanzas-Riachuelo, Argentina. Lab. Invest. De Greenpeace, Univ, Exeter, Reino Unido. 47 pp.

Strickland J y Pearson T. 1972. A practical Handbook of Seawaters Analysis, 2<sup>nd</sup> ed. *Bull. Fish .Res. Board*. Canada. 167 pp.

Szefer P. 2002. *Metals, Metalloids and Radionuclides in the Baltic Sea Ecosystem*. Elsevier Science. B.V (Eds), Amsterdam, Holland. 764p.

Treguer P y Le Corre P. 1975. Manual d'analyses des sels nutritifs dans l'eau de mer. Utilization de l' Auto-Analyzer II. Techicon. LOC-UBO.2<sup>ed</sup>. 110 pp.

Tsunogay S y Uematsu M. 1978. Observations on geochemistry of soluble and particulate



copper, iron, nickel, manganese and zinc in some estuaries. *Geol. Jour.*, 12: 39. 25-32

USPHS 1997. Toxicological profile for Zinc. Agency for toxic substances and disease Registry, US. Public Health Service.

Valderrama J. 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and phosphorus in nature water. *Mar. Chem.*, 10:109-122.

Vásquez E y Wilbert W. 1992. The Orinoco: Physical, Biological and Cultural Diversity of Major Tropical Alluvial River. The Rivers Hand book. Vol. Blackwell Scientific Publications. Oxford. 1992. 510 pp.

Vásquez E y Sánchez L. 1984: Variación estacional del plancton en dos sectores del Río Orinoco y una laguna de inundación adyacente. *Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle*, 44: 11-31.

Viarengo, A. 1985. Biochemical effects of trace metals. *Mar Pollu. Bull.* 16 (4): 153-158.

Vila P. 1960. Geografía de Venezuela. I. El territorio nacional y su ambiente físico. Ministerio de Educación, Dirección. Cultura & Bellas Artes, Dpto. Pub. 454 pp.

Villaescusa-Celaya J, Gutiérrez E y Flores, G. 1997. Metales pesados en fracciones geoquímicas de sedimentos de la región fronteriza de Baja California, México, y California, EUA. *Ciencias Marinas*. 23(1): 43-70.

Weibezahn F, Álvarez H y Lewis W. 1990. El río Orinoco como ecosistema. Edelca. USB. CAVN. F.E.A.C.V.430p.

Wells M y Mayer L. 1991. Variations in the chemical lability of iron in estuarine coastal and shelf waters and its implication for phytoplankton. *Mar. Chem.*32: 195-210.

Windom H, Byrd R, Smith R, Hungspreugs M, Dharmvanij S, Thumtrakd W y Yeats P. 1991. Trace metals -nutrient relationship in estuaries. *Mar. Chem.*, 32 (2-4): 177-194.

Wollast R, Billen G y Duinker J. 1974. Behavior of manganese in the Rhine and Scheldt estuaries. Physics and chemical behavior. *Estuar. Coast. Mar. Sci.*, 8: 161-169.

Wood E, Armstrong F y Richards R. 1967. Determination of nitrate in sea water by cadmium and copper reduction nitrite. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 47: 23-31.

Yáñez C y Ramírez 1988. A. Estudio geoquímico de grandes ríos venezolanos. *Mem. Cien. Nat. La Salle*. Tomo XLVIII, N°. 130: 41-59

Yeats P, Westerlund S y Flegal A. 1995. Cadmium, copper and nickel distributions at four stations in the eastern central and south Atlantic. *Mar. Chem.*, 42: 283-293.

Zhang J. 1995. Geochemistry of trace metals from Chinese rivers/ estuary systems. *Estuar. Coast. and Sci*, 41: 631-658.

Zinck A. 1977. Ríos de Venezuela. Lagoven (Petróleos de Venezuela, S.A.) Dpto. Rel. Publ. *Serie Cuadernos Lagoven*, Caracas, 63 pp.

## ANEXOS

**Tabla 1.** Valores estadísticos del factor *F* obtenido de los análisis de ANOVA en los parámetros T (° C); MsC, O<sub>2</sub>, pH, MES, NTU y T (m) en las aguas del Orinoco Medio, período 2001-2002.

Variable	Factor	<i>F</i>	Nivel de Significancia
Temperatura (°C)	Año	10,06	* *
	Mes	10,05	* *
	Zona	0,78	NS

Conductividad (MsC)	Año	1,69	NS
	Mes	6,85	**
	Zona	112,02	**
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	Año	0,06	NS
	Mes	4,46	**
	Zona	0,17	NS
pH	Año	94,05	**
	Mes	58,25	**
	Zona	22,75	**
MES (mg/l)	Año	12,11	**
	Mes	44,14	**
	Zona	58,25	**
Turbidez (NTU)	Año	15,85	**
	Mes	30,72	**
	Zona	29,09	**
T (m)	Año	29,30	**
	Mes	28,10	**
	Zona	14,42	**

NS = No Significativo

\* = Significativo (P>95 %)

\*\* = Muy significativo (P>99 %)

**Tabla 2.** Valores estadísticos del factor *F* obtenido de los análisis de ANOVA en los parámetros nutritivos NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>-</sup>, NT, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> y Silicatos en las aguas del Orinoco Medio, período 2001-2002.

Variable	Factor	<i>F</i>	Nivel de significancia
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Año	172,61	**
	Mes	33,15	**
	Zona	20,73	**
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Año	1,66	NS
	Mes	7,13	**
	Zona	4,54	**
	Año	17,43	**

NH <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Mes	31,88	**
	Zona	19,36	**
NT	Año	29,35	**
	Mes	17,26	**
	Zona	20,67	**
PT	Año	58,45	**
	Mes	26,58	**
	Zona	49,27	**
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	Año	9,04	**
	Mes	17,30	**
	Zona	47,52	**
Silicatos	Año	10,08	**
	Mes	32,85	**
	Zona	18,99	**

---

NS = No Significativo

\* = Significativo (P>95 %)

\*\* = Muy significativo (P>99 %)

---

**Tabla 3.** Valores estadísticos del factor *F* obtenido de los análisis de ANOVA de los metales pesados las aguas del Orinoco Medio, período 2001-2002.

Variable	Factor	<i>F</i>	Nivel de significancia
Fe	Año	1,59	NS
	Mes	20,02	**
	Zona	51,91	**
Mn	Año	1,49	NS
	Mes	23,14	**
	Zona	31,82	**
Cu	Año	2,95	*
	Mes	16,88	**
	Zona	23,95	**

Zn	Año	0,10	NS
	Mes	29,20	* *
	Zona	37,37	* *
Ni	Año	0,87	NS
	Mes	29,85	* *
	Zona	15,89	* *
Cr	Año	2,03	NS
	Mes	20,68	* *
	Zona	23,12	* *
Pb	Año	6,73	*
	Mes	48,22	* *
	Zona	3,83	*
Cd	Año	0,51	NS
	Mes	2,98	* *
	Zona	3,77	*

NS = No Significativo

\* = Significativo ( $P > 95\%$ )

\* \* = Muy significativo ( $P > 99\%$ )

**Tabla 4.** Matriz de correlación de Pearson ( $P < 0,05$ ) entre los parámetros fisicoquímicos de las aguas del Orinoco Medio, Venezuela.

	MES	T (m)	NTU	C(mSc)	T (°C)	O <sub>2</sub>	PH	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NT	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	PT	Si(OH) <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cu	Ni	Cd
MES	1,00																
T(m)	-0,66	1,00															
NTU	0,88	-0,56	1,00														
C(mSc)	0,07	0,52	0,09	1,00													
T(°C)	0,36	-0,37	0,13	-0,06	1,00												
O <sub>2</sub>	-0,50	0,64	-0,57	0,15	0,04	1,00											
pH	0,02	0,52	0,17	0,90	-0,22	0,03	1,00										
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,49	-0,18	0,21	0,50	0,38	0,10	0,21	1,00									
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,41	0,19	0,46	0,77	-0,01	0,11	0,71	0,61	1,00								
NT	0,61	-0,05	0,43	0,54	0,46	0,15	0,27	0,81	0,65	1,00							
PO <sub>4</sub>	-0,05	0,53	0,0	0,96	-0,22	0,14	0,92	0,44	0,71	0,40	1,00						
PT	0,51	0,066	0,45	0,85	0,13	-0,11	0,70	0,75	0,76	0,79	0,80	1,00					
Si(OH) <sub>4</sub>	0,58	0,09	0,42	0,65	0,27	0,10	0,40	0,78	0,77	0,94	0,51	0,81	1,00				
NH <sub>4</sub>	-0,24	0,45	-0,37	0,74	0,14	0,12	0,60	0,36	0,25	0,26	0,74	0,54	0,29	1,00			
Cu	0,61	-0,51	0,08	-0,38	0,54	-0,34	-0,49	0,24	-0,40	0,16	-0,46	-0,07	0,11	-0,11	1,00		
Ni	0,74	-0,16	0,69	0,39	0,114	-0,12	0,39	0,53	0,81	0,60	0,30	0,57	0,72	-0,15	0,10	1,00	
Cd	0,01	0,19	-0,21	0,18	0,563	0,28	0,16	0,05	-0,05	0,22	0,11	0,10	0,12	0,49	0,19	-0,07	1,00

Cr	-0,02	-0,11	-0,18	-0,42	0,614	0,35	-0,63	0,10	-0,23	0,22	-0,56	-0,35	0,12	-0,31	0,43	-0,07	0,09
Pb	0,02	-0,09	0,19	0,13	-0,106	-0,12	0,22	0,11	0,18	-0,14	0,15	0,13	-0,11	-0,16	-0,14	0,14	-0,57
Mn	0,77	-0,25	0,65	0,49	0,560	-0,29	0,35	0,60	0,55	0,77	0,30	0,73	0,76	0,23	0,34	0,65	0,25
Fe	0,80	-0,38	0,68	0,23	0,324	-0,47	0,23	0,30	0,36	0,39	0,07	0,44	0,44	-0,01	0,37	0,64	0,18
Zn	0,64	-0,17	0,50	0,52	0,569	-0,21	0,43	0,59	0,47	0,78	0,43	0,79	0,71	0,42	0,34	0,51	0,46

> 0,50 = Significativo; r > 0,50 = Altamente significativo

## HOJA DE METADATOS

### Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

<b>Título</b>	Descripción De Las Características Físicoquímica Y Concentración De Metales Pesados En De Las Aguas Del Orinoco Medio, Estado Bolívar, Venezuela
---------------	--

#### Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Marquez, Aristide	CVLAC	8.641.927
	e-mail	<a href="mailto:aristd@gmail.com">aristd@gmail.com</a>
	e-mail	

#### Palabras o frases claves:

Río Orinoco, variaciones, aguas superficiales, parámetros físicoquímicos, Metales

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

### Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Ciencias	Química
	Oceanografía Química

### Resumen (abstract):

En Venezuela los estudios limnológicos en los grandes ríos como el Orinoco, 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). También se investigaron los metales Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Cr, Cd y Pb durante dos años de estudio (2001-2002), en las aguas de un transepto del Orinoco medio. Se determinó que el incremento en los niveles del caudal del río, 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. Estadísticamente los Análisis de Varianza reflejan diferencias significativas entre años para la temperatura, pH, material en suspensión, turbidez, transparencia, nitrato, amonio, nitrógeno total, fosfato, fosforo total y silicatos, así como los metales, Cu, Pb. Entre meses y estaciones se detectaron diferencias para todas las variables estudiadas, observándose al mismo tiempo una fuerte influencia de la descarga del río Apure sobre las aguas del Orinoco Medio y que todas las variables tienen un gradiente decreciente en sus valores desde el margen izquierdo del río hacia el derecho. Se evidencian procesos erosivos y/o meteorización en la cuenca alta y media del río Orinoco 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 valores importantes de nitrógeno y fósforo total. Las concentraciones promedios ( $\mu\text{mol.l}^{-1}$ ) de metales pesados en agua en el período de estudio son bastante bajas encontrándose los mayores niveles en el período de menor gasto del río y no apreciándose la presencia de mercurio. La distribución espacial observada en las concentraciones de los metales con excepción de cadmio, fue similar a la apreciada para el material en suspensión. Los valores en  $\mu\text{mol/l}$  variaron en orden de decreciente de acuerdo a la relación: Fe (54,99) > Mn (0,76) > Zn (0,26) > Cr (0,08) > Cu (0,04) = Ni > Pb (0,013) > Cd (0,006) sugiriéndose entradas de Cd y Pb de origen antropogénico. En conclusión a diferencia de lo que ocurre al material en suspensión, nitrógeno y fosforo total no se evidencian alteraciones debido a metales en el ecosistema que pudiera considerarse como importantes. De acuerdo a estas últimas observaciones se concluye que durante los años 2001 y 2002, los valores y concentraciones de la mayoría de los parámetros evaluados podrían considerarse como naturales estando regidos el régimen

hidrológico del Orinoco.



## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

### Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

### Fecha de discusión y aprobación:

**Año    Mes    Día**

2011	10	27
------	----	----

Lenguaje: **SPA**

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

**Archivo(s):**

Nombre de archivo	Tipo MIME
T.A-MarquezAristide.doc	Aplication/Word

**Alcance:**

Espacial :      Nacional                      (Opcional)

Temporal:      Intemporal                      (Opcional)

**Título o Grado asociado con el trabajo:**

Para Optar a la Categoría Profesor Agregado

**Nivel Asociado con el Trabajo:**

Profesor Agregado

**Área de Estudio:**

Oceanografía Química

**Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:**

Universidad de Oriente

# Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CU N° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano  
**Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ**  
Vicerrector Académico  
Universidad de Oriente  
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
SISTEMA DE BIBLIOTECA

RECIBIDO POR *[Firma]*

FECHA 5/8/09 HORA 5:30

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

**JUAN A. BOLANOS CUNVELO**  
Secretario

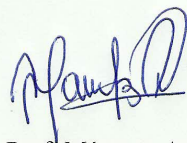


C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/manuja

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

**Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009):** “Los trabajos de grados son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y solo podrá ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Concejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Concejo Universitario, para su autorización”.



Prof. Márquez Aristide