

**VALIDACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DE LOS ÍNDICES DE
CONTAMINACIÓN FRENTE A LA DISPERSIÓN DE LAS COMUNIDADES
BIÓTICAS EN HUMEDALES DEL MAGDALENA MEDIO**

RICARDO RESTREPO MANRIQUE
Biólogo

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD ESCUELA DE QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2.004**

**VALIDACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DE LOS ÍNDICES DE
CONTAMINACIÓN FRENTE A LA DISPERSIÓN DE LAS COMUNIDADES
BIÓTICAS EN HUMEDALES DEL MAGDALENA MEDIO**

RICARDO RESTREPO MANRIQUE
Biólogo

**Monografía para optar por el título de:
Especialista en Química Ambiental**

Director:
Ing. JAIRO PUENTES BRUGES

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD ESCUELA DE QUIMICA
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2.004**

*A mi madre por engendrarme,
a Adriana por su amor y paciencia,
a Natalia y Lorena por su tiempo y
al Universo por mi existencia.*

Ricardo

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	4
OBJETIVO GENERAL	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
1.1 CIÉNAGAS: VISIÓN ECOLÓGICA GENERAL	8
2. METODOLOGÍA DE MUESTREO	27
2.1 ÉPOCAS DE MUESTREO	27
2.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE AGUAS	31
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
3.1 PRIMER MUESTREO – ÉPOCA DE AGUAS ALTAS JUNIO 2001	36
3.2 FAUNA ASOCIADA A LAS RAÍCES DE <i>EICHHORNIA CRASSIPES</i>	48
4. CONCLUSIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	63
ANEXOS	66

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Características Limnológicas del Complejo de Ciénagas de Chucurí, Magdalena Medio (García, inédito)	10
Tabla 2. Cuerpos de agua muestreados en ambas épocas climáticas definidas	29
Tabla 3. Calificación de los índices de Contaminación	34
Tabla 4. Categorías para Evaluar el Nivel Tráfico	35
Tabla 5. Resumen de los Promedios y Rangos de Variación a Nivel Superficial de los Parámetros Físicoquímicos en los Ecosistemas Acuáticos. Época de Aguas Altas (Junio 2001) Cicuco - Bolívar	37
Tabla 6. Índices de Contaminación a Nivel Superficial. Época de Aguas Altas (Junio 2001) Cicuco – Bolívar	39
Tabla 7. Índices de Contaminación a Nivel Fondo. Época de Aguas Altas (Junio 2001) Cicuco – Bolívar	40
Tabla 8. Índices a Nivel Superficial y Fondo. Época de Aguas Altas (Junio 2001) Cicuco – Bolívar	41
Tabla 9. Resumen de los Promedios y Rangos de Variación de los Parámetros Físicoquímicos en los Ecosistemas Acuáticos Muestreados en la Época de Aguas Bajas (Agosto 2001) Cicuco – Bolívar	43
Tabla 10. Índices de Contaminación a Nivel Superficial. Época de Aguas Bajas (Agosto 2001) Cicuco – Bolívar	45
Tabla 11. Índices de Contaminación a Nivel Fondo. Época de Aguas Bajas (Agosto 2001) Cicuco – Bolívar	46
Tabla 12. Icotro a Nivel Superficial y Fondo. Época de Aguas Bajas (Agosto 2001) Cicuco – Bolívar	47

Tabla 13. Composición Taxonómica de los Macroinvertebrados Acuáticos Asociados a las Raíces de <i>Eichhornia crassipes</i> . Épocas de Aguas Altas (Junio) y Bajas (Agosto 2001) Cicuco-Bolívar	51
Tabla 14. Abundancia Total (Org/0.5 m ² de los Ordenes y Descripción Numérica de las Familias y Géneros. Época de Aguas Altas (Junio 2001) Cicuco – Bolívar	52
Tabla 15. Abundancia Total (Org/0.5 m ² de los Ordenes y Descripción Numérica de las Familias y Géneros. Época de Aguas Bajas (Agosto 2001) Cicuco – Bolívar	54
Tabla 16. Valoración del Índice bmwp según Familias Reportadas	57
Tabla 17. Valoración de la Calidad de las Aguas según el BMWP/col	57
Tabla 18. Cálculo del Índice BMWP/col para Ecosistemas Lénticos del Área de Influencia del Campo Cicuco-Boquete	58
Tabla 19. Cálculo del Índice BMWP/col para Ecosistemas Lóticos del Área de Influencia del Campo Cicuco-Boquete	60

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esquema de Ubicación de la Depresión Momposina (ICP, 2001e)	8
Figura 2. Tipos de Ciénagas en el Río Magdalena (Arias, 1985)	11
Figura 3. Limnigrama del Nivel Medio Mensual Multianual (1974-1990) De la Estación Guaymaral, Río Chicagua y Ubicación de los meses de muestreo (Tomado de: Geocing, 2000)	27

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo	67
Anexo B. Tablas de Resultados Físico químicos	68

RESUMEN

TITULO

VALIDACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN FRENTE A LA DISPERSIÓN DE LAS COMUNIDADES BIÓTICAS EN HUMEDALES DEL MAGDALENA MEDIO*

AUTOR

RICARDO RESTREPO MANRIQUE**

PALABRAS CLAVES

Monitoreo de aguas, Indices de calificación, BMWP, ICO, Calidad de Aguas, Depresión Momposina, Campo Cicuco-Boquete, Campos Petroleros

DESCRIPCION O CONTENIDO

El trabajo monográfico presente se basa en la información obtenida del "Estudio de la Dinámica Hídrica y Monitoreo de Sedimentos de los Humedales del Area de Influencia del Campo Cicuco - Boquete, Caracterización Ambiental", realizado en el área de la depresión momposina, con el fin de cumplir con el Auto 056 de febrero de 2000 del entonces MMA.

Para el cumplimiento de esta exigencia del Ministerio se realizaron dos muestreos, en sistemas cenagosos y sistemas lóticos del área de influencia del Campo Cicuco-Boquete. Se realizaron análisis físicoquímicos y biológicos y de esta información compilada, se calcularon los Indices de Contaminación (ICO), de materia orgánica (ICOMO), de mineralización (ICOMI), de sólidos suspendidos (ICOSUS), trófico (ICOTRO) y del pH (ICOPH). Para el diagnóstico biológico, se calculó el índice BMWP para Colombia y se compararon estos resultados.

En términos generales, los ICOs oscilan entre valores de Baja y Media contaminación y el BMWP califica las aguas como Clase III – Dudosa, equivalente a valores de aguas moderadamente contaminadas, lo cual es una condición considerada normal teniendo en cuenta que la región corresponde a la porción de una cuenca media baja.

Estos resultados muestran que ambos índices (ICOs – BMWP) realizan un diagnóstico complementario, permitiendo un análisis más certero y, por consiguiente, facilitan la definición de acciones de manejo a corto, mediano y largo plazo.

Adicionalmente, el análisis de las características ecológicas de la zona de estudio, muestra que las comunidades bióticas se comportan de manera similar con respecto a sistemas acuáticos equivalentes de control, localizados fuera del área de influencia petrolera.

* Monografía

** Facultad Escuela de Química. Especialización Química Ambiental. Director: Ingeniero Jairo Puentes Bruges.

SUMMARY

TITTLE

VALIDATION OF THE FUNCTIONALITY OF THE INDEXES OF CONTAMINATION IN FRONT OF THE DISPERSIÓN OF THE COMMUNITIES BIOTICAS IN MAGDALENA MEDIO'S HUMEDALES.*

AUTHOR

RICARDO RESTREPO MANRIQUE**

KEY WORDS

Waters monitoring, Quality index, BMWP, ICO, Depression Momposina, Quality Waters, Campo Cicuco-Boquete – Cicuco, Boquete Oli Field, Petroleum Production Oil Field

DESCRIPTION OR CONTENT

The present work is based on the information obtained from the "Study of the Hydrological Dynamics and Sediment Monitoring of Wetlands of the Area of Influence of the Cicuco – Boquete Oil Field - Environmental Characterization", carried out in the area of Depresión Momposina – Magdalena River, with the purpose of fulfilling the Resolution 056 of February 2000, issued by the Ministry of the Environment (MMA).

In compliance of MMA's demands, two sampling surveys that included physicochemical and biological analysis were carried out, both for wetland systems and rivers of the area of influence of the Cicuco-Boquete Oil Field. From the compiled information, Contamination Indexes (ICOs) were calculated, for organic matter (ICOMO), mineralization (ICOMI), suspended solids (ICOSUS), trophic transformation (ICOTRO) and pH (ICOPH). For the biological diagnosis, the index BMWP (Colombian revision) was calculated, and finally all the results were compared.

In general terms, the ICOs oscillates between values of Low and Half Contamination and the BMWP qualifies the waters as Class III - Doubtful, equivalent to values of waters moderately polluted, which is a normal condition keeping in mind that the region corresponds to the portion of a low-half basin.

These results show that both indexes (ICOs - BMWP) are useful in performing a complementary diagnosis, allowing a better analysis and, consequently, they facilitate the definition of handling actions for the short, medium and long term.

Additionally, the analysis of the ecological characteristics of the study area, shows that the biological communities behave in a similar way with regard to equivalent aquatic systems of control, located outside the area of influence of oil activities.

* Monograph

** School of Chemistry. Specialization in Environmental Chemistry. Director, Ingeniero Jairo Puentes Bruges

INTRODUCCIÓN

Los organismos que habitan los ríos presentan diferentes adaptaciones morfo - fisiológicas que les permiten vivir en el ecosistema, como por ejemplo: extremidades robustas, cepillos cefálicos-orales, ventosas o discos de adhesión, construcción de habitáculos adheridos a las rocas, movilidad ágil, vascularización superficial y presencia de pigmentos respiratorios, comportamiento alimentario (Filtradores, Raspadores, Detritívoros, Depredadores, Omnívoros) y la sensibilidad a las alteraciones de las condiciones ambientales, es decir pueden presentar tolerancia o no a las perturbaciones que suceden en fuentes de agua. El conocimiento de la composición y estructura de las comunidades de organismos existentes en los ríos permite detectar algún tipo de contaminación cuando se presenten variaciones, por leves que sean, en dicha comunidad.

La utilización de Macroinvertebrados Acuáticos en la vigilancia y control de la contaminación es una de las metodologías de amplia preferencia en la gestión de la calidad del agua. Las razones de su utilización son las siguientes:

- Tamaño de los Organismos
- Facilidad de Muestreo
- Equipo de Bajo Costo
- Ciclos de desarrollo prolongados lo cual les permite permanecer el tiempo suficiente en el agua para detectar cualquier alteración. Luego de una perturbación los organismos necesitan de un tiempo de recolonización que usualmente es de aproximadamente un mes o más. Por lo tanto los efectos

de la alteración pueden ser detectados varias semanas e incluso meses después de producido.

- Bajos costos de implementación. Esta metodología es sencilla, de rápida utilización, fácil entrenamiento, fiabilidad en los resultados para la vigilancia rutinaria de las cuencas. Con ella se pueden evaluar muchas estaciones de muestreo en un solo día y con los datos obtenidos, elaborar un cartografiado que permite determinar los puntos de conflicto. Es ahí donde el gestor o la autoridad ambiental debe aprovechar los recursos humanos, económicos y técnicos para realizar los análisis fisicoquímicos que les permitan establecer en realidad quién contamina y cuales son los productos contaminantes.

Según Alba Tercedor (1996), en el estudio de los ecosistemas acuáticos los aspectos biológicos en la actualidad son de gran importancia y han ido aumentando el interés en su conocimiento. Las características de las comunidades biológicas acuáticas registran el grado de deterioro ambiental de las corrientes superficiales, mientras que las variables fisicoquímicas dan una idea puntual sobre la calidad del agua pero no sobre las variaciones en el tiempo. Lo anterior permite inferir que existe desventaja de los análisis fisicoquímicos con respecto a los análisis biológicos utilizando Macroinvertebrados como bioindicadores.

El registro de los factores abióticos y bióticos de la cuenca permite interpretar la estructura y función del ecosistema que es de trascendencia para la calidad de vida de los asentamientos humanos.

Prat *et al.* en 1986 concluyeron que de la comparación entre los índices bióticos y fisicoquímicos, son bióticos los más adecuados para evaluar las características ambientales en las aguas.

Se considera que un organismo es un indicador de calidad de agua cuando se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y cuando su población es porcentualmente superior o ligeramente similar al resto de los organismos con que comparte el mismo hábitat (Roldan, 1992).

En Estados Unidos y en Europa se dispone de claves hasta el nivel de especie para prácticamente toda la fauna existente en estos países. Con un estado así del conocimiento, se puede trabajar con índices bióticos y de diversidad, que permiten ver con mayor claridad y detalle la estructura de la comunidad, sus microhábitats y sus nichos ecológicos.

En Colombia al igual que en otros países neotropicales, aún queda mucho por hacer para llegar a un verdadero conocimiento de la Flora y Fauna acuática,. Para ello es necesario formar personal calificado para divulgar el conocimiento, formular y ejecutar proyectos temáticos, manejo de equipos, labores de recolección del material, entre otros.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Validar la funcionalidad y aplicabilidad de los índices de contaminación como instrumento de evaluación de impacto ambiental frente a la dispersión de las comunidades bióticas en Humedales de la Depresión Momposina (Magdalena Medio).

Para dar cumplimiento a este objetivo, nos trazamos los siguientes:

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Comparar y aplicar los índices e Contaminación con el índice biótico (BMWP¹) a partir de la comunidad de macroinvertebrados en dos ciénagas de la Depresión Momposina.

Establecer la funcionalidad de aplicar índices fisicoquímicos y bióticos en aguas como instrumento para la evaluación impactos ambientales.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El concepto de bioindicador y su uso para evaluar la calidad de las aguas es ya un clásico en Ecología. Según Prat et al. (1996), la primera pregunta que se debe responder es ¿cuál es el objetivo del uso de bioindicadores para evaluar la calidad de las aguas?. Sin fijar el objetivo, poco puede hacerse en las fases sucesivas de diseño de metodologías de muestreo o elección del indicador de más interés. El primer problema que se plantea es fijar de forma clara cuál es el objetivo de calidad, ya que según el objetivo de calidad tendremos o no necesidad de establecer un evaluador de la calidad biológica del agua.

Para diagnosticar el verdadero estado de un ecosistema, un ecólogo acuático o limnólogo debe conocer detalladamente los métodos y equipos que le permitan hacer una evaluación más certera del ecosistema. En este sentido se precisa de un conocimiento muy detallado de los organismos a nivel de género y especie, si se quiere que el diagnóstico sea lo más exacto posible. Igualmente son imprescindibles los análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

La bioindicación es un método importante para evaluar la calidad del agua. La presencia de una comunidad en un cuerpo de agua determinado, es un índice inequívoco de las condiciones que allí están prevaleciendo y que las fluctuaciones de contaminación que puedan presentarse, no son lo suficientemente fuertes como para provocar un cambio significativo en la calidad del agua.

ÁREA DE ESTUDIO

El campo petrolero Cicuco – Boquete se encuentra ubicado al sur del departamento de Bolívar, en los Municipios de Cicuco, Talaigua Nuevo y Mompós, en la Isla Margarita, la cual está delimitada por los brazos del río Magdalena Chicagua, Loba y Mompós.

En el área de influencia directa de los campos Cicuco y Boquete se encuentra ubicado el complejo cenagoso dominado hidráulicamente por el caño Violo, formado por una derivación (Caño Los Monos) del río Magdalena (Brazo Quitasol) a la altura de la Victoria y una derivación del caño Chicagua aguas arriba del corregimiento de Las Boquillas.

Durante la época de sequía, el complejo de ciénagas es un sistema bastante ordenado de entradas (alimentación) del caño a las ciénagas y de salidas (retornos) de las ciénagas al caño principal, cuyas direcciones de flujo son bastante previsibles. Durante la época de lluvias, el área comprendida entre La Lobata y el municipio de Cicuco se inunda totalmente, formando una extensa ciénaga en la cual son apenas visibles de manera parcial e interrumpida, los albardones o zonas altas que conforman los bordes de ciénagas y caños.

El área involucra específicamente las zonas de ciénagas que acompañan la región y la red fluvial generada por el río Magdalena y los principales afluentes (ríos San Jorge y Cauca), área correspondiente a la denominada Depresión Momposina (Depresión Inundable del Magdalena). Dicha área presenta una mayor uniformidad espacial aunque globalmente se encuentra un mayor número de hábitats acuáticos, semiacuáticos y terrestres, mediados por la mayor dinámica fluvial y por la mayor impredecibilidad del

comportamiento hidrológico particularmente de los niveles (García & Dister, 1990).

Con el fin de facilitar el entendimiento geomorfológico y de la dinámica fluvial de la región donde se encuentran los humedales o ciénagas, en el sector conocido como la Depresión Momposina, se estableció una división de las zonas inundables, en lo que se denominó como “Sistemas Cenagosos”, para el área fisiográfica entre el Banco-Pinillos-Magangue-Pinto, área de importancia por la morfodinámica hídrica histórica y reciente, asociada con la dinámica fluvial avulsiva del río Magdalena y sus principales afluentes, que confluyen en dicha área para formar lo que ha sido denominado como el gran “delta continental” de los río Magdalena-Cauca-San Jorge (ICP, 2001b).

De acuerdo a lo anterior la Figura 1 representa esquemáticamente los 7 sistemas cenagosos que se denominaron de noroeste a sureste, en la depresión Momposina, los cuales tienen características morfodinámicas propias:

Sistema cenagoso de Pajara (A)

Sistema cenagoso de Cicuco-Boquete-Ancón (B)

Sistema Cenagoso de Loba (C)

Sistema Cenagoso Uvero (D)

Sistema Cenagoso Providencia (E)

Sistema Cenagoso Guamalito (F)

Sistema Cenagoso Palmar (G)

ocurre con frecuencia con alto dinamismo, situación que produce el enturbiamiento de las aguas en las ciénagas, la desaparición o atenuación de los gradientes espaciales, la dilución de los sólidos disueltos y un menor desarrollo fitoplanctónico.

Las altas concentraciones de sólidos suspendidos que arrastran algunos ríos, producen una rápida pérdida de profundidad en las ciénagas . También durante la época de inundación se incrementa la concentración de oxígeno debido a la turbulencia de las aguas lóxicas afluentes (Ducharme, 1975).

Una vez estabilizada la entrada de agua, los sólidos inician su sedimentación paulatina, lo cual induce al desarrollo explosivo del fitoplancton, en virtud de la mayor cantidad de luz presente y el enriquecimiento con material orgánico ocurrido durante la inundación. La distribución vertical y horizontal de las algas se amplía y los procesos de eutroficación dan lugar a la sobresaturación de oxígeno durante el día, lo que produce su desplazamiento hacia la atmósfera. Los mayores valores se observan en la tarde y los menores en la noche y la madrugada.

Al desaparecer la incidencia del río principal, se expresan múltiples condiciones locales a causa de los tributarios de menor caudal (caños, quebradas), cuyas características están ampliamente afectadas por los tipos de actividad antrópica sobre la cuenca.

Entrada la temporada de sequía, el proceso de inundación se invierte, produciendo la salida de agua de la ciénaga al río (Estiaje). Este fenómeno ocurre rápidamente en solo un par de semanas y nuevamente se presenta el desvanecimiento de los gradientes espaciales.

Durante la época de aguas bajas las concentraciones de iones se incrementan. Esto significa mayores concentraciones de nutrientes y variaciones más drásticas del oxígeno acorde no solo con los ciclos diarios, sino con los procesos de eutroficación y descomposición de macrófitos. Ducharme en 1975 reportó disminución en la concentración de oxígeno, a causa del incremento de la temperatura y las mayores tasas de descomposición microbiana (aumento de la DBO₅). Sin embargo, esto puede ser contrario ya que en este período pueden ocurrir importantes procesos eutróficos. Durante el período de aguas bajas se presenta importante mortandad de las macrófitas, dando lugar a la producción de gas sulfhídrico y metano.

Como un ejemplo del comportamiento estacional presentamos en la **Tabla 1**, las características del complejo de ciénagas de Chucurí, Magdalena Medio.

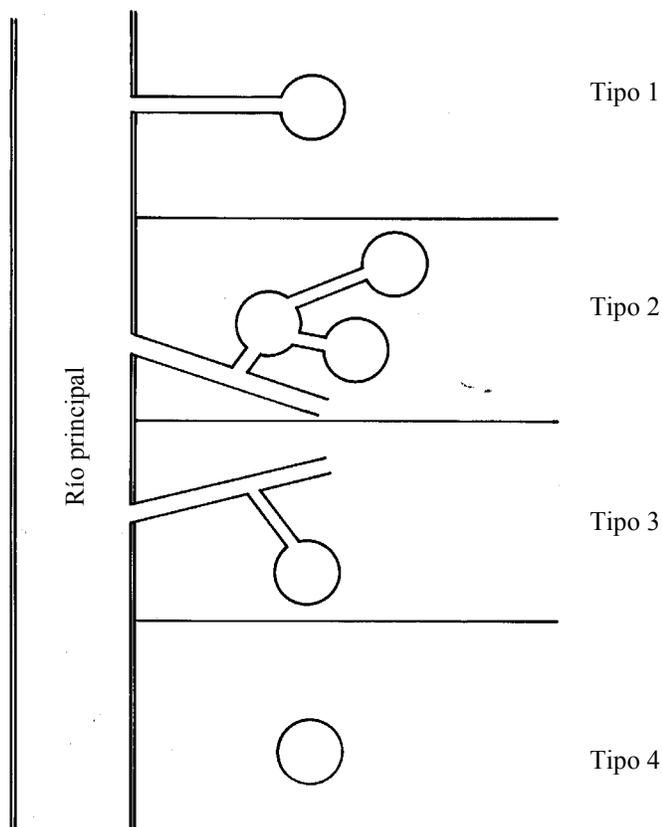
Tabla 1. Características Limnológicas del Complejo de Ciénagas de Chucurí, Magdalena Medio (García, inédito)

VARIABLE ANALIZADA	ESTADIO I	ESTADIO II	ESTADIO III
Nivel del agua	Bajo	Alto	Medio
Dirección de Flujo	Al río	Al río	A la ciénaga
Oxígeno Disuelto	Medio	Bajo	Alto
Conductividad	Media	Alta	Alta
pH	Neutro	Ácido	Neutro - alcalino
Temperatura superficial	Media	Baja	Alta
Estratificación vertical	Suave	Media	Media - alta
Transparencia	Baja	Alta	Media - alta
Productividad primaria	Media	Baja	Alta
Producción ecosist./respira.	Alta	Baja	Media - baja
Demanda Bioquímica O ₂	Alta	Media	Media
Condición trófica	Mesotrofia	Oligotrofia	Eutrofia

Las ciénagas son el elemento constituyente básico del plano inundable, por tal razón sus formas y tamaños, considerados en un año hidrológico, son función del nivel de las aguas en el sistema. Específicamente, ciénagas del tipo 1, 3 y 4, alcanzan su máximo tamaño en el sistema durante el período de aguas altas y su mínimo durante los períodos de mínimos niveles.

Las ciénagas del tipo 2, en los períodos de altos niveles de agua, pueden ser expandidas hasta conformar un solo cuerpo de agua, denominado célula hidrológica (Bazigos, et al. , 1975 en Arias, 1985).

Figura 2. Tipos de Ciénagas en el Río Magdalena (Arias, 1985).



En la **Figura 2** se muestra la estructura orgánica de las ciénagas, permitiendo agruparlas en 4 tipos:

Ciénaga tipo 1: Una ciénaga simple y primaria, conectada directamente con el río.

Ciénaga tipo 2: Conjunto o racimo de ciénagas, consistente en una ciénaga primaria (conectada directamente con el río) y una o más ciénagas secundarias conectadas directa o indirectamente con la ciénaga primaria.

Ciénaga tipo 3: Una ciénaga primaria conectada indirectamente con el río.

Ciénaga tipo 4: Ciénaga aislada sin conexión con el río.

Estratificación Ecológica de las Ciénagas según Arias, 1985

Las ciénagas muestran tres zonas ecológicas bien identificadas, en las cuales se han encontrado diferencias cualitativas y cuantitativas de las poblaciones de peces relacionadas con el potencial pesquero.

Zona ecológica 1: Aguas Abiertas: Es el área mayor de la ciénaga, de profundidad variable, puede contener vegetación sumergida o flotante en sitios aislados.

Zona ecológica 2: Bahías: Formada por la irregularidad topográfica del fondo de las ciénagas, es una zona usualmente menos profunda que la zona de aguas abiertas. Empíricamente se han considerado con un área máxima de 25 Ha., más de la cual debe considerarse como aguas abiertas.

Zona ecológica 3: Zona Marginal de Vegetación: Es la banda emergente de vegetación de las riberas de la ciénaga, ocupada generalmente por la "taruya" (*Eichhornia sp.*). Esta zona varía entre 1 y 6 metros de ancho.

Las dos primeras zonas son similares entre sí física, química y biológicamente, en comparación con la tercera zona, la cual es un nicho ecológico muy específico para el ciclo biológico larval de muchas especies de peces.

Limnología de las Ciénagas

Las ciénagas poseen temperaturas que varían entre los 24 y 32 °C y según la clasificación térmica de los lagos, se clasifican como “lagos polimícticos calientes”. Su poca profundidad no permite una estratificación térmica estable (Roldán, 1992), aunque son comunes de encontrar, en épocas de gran insolación, procesos de estratificación diaria en gran parte por la anomalía de la densidad a altas temperaturas (Payne, 1986). Las aguas se calientan durante el día, pero la débil estratificación formada se rompe durante la noche por la acción de los vientos, corrientes de convección o por las lluvias (Ducharme, 1975 en Roldán, 1992).

La penetración lumínica depende de varios factores:

- la acción inundante del río, el cual introduce sedimentos a las ciénagas
- la turbidez provocada por la acción de los vientos
- el color de las aguas por la presencia de *Eichhornia sp.* que clarifica las aguas, disminuye la turbidez y ejerce un factor inhibitorio en la oxigenación de las aguas al impedir la penetración lumínica y reducir la fotosíntesis fitoplanctónica.

La conductividad específica (μScm^{-1}) detectada en las ciénagas del Bajo Magdalena presenta un rango de variación de 82-280 y un pH promedio de 7.4 con tendencia alcalina y una aceptable capacidad amortiguadora a las variaciones estacionales. Esto de todos modos clasifica a estos lagos como sistemas pobres en mineralización, al comparar con ambientes lénticos de

otros continentes. Desde este punto de vista en África, Melack & Melack (en Payne, 1986) definieron 3 categorías de lagos:

Categoría I: tienen hasta $600 \mu\text{Scm}^{-1}$.

Categoría II: tienen desde 600 a 6000

Categoría III: valores mayores a 6000.

La concentración del oxígeno disuelto en las ciénagas depende del grado de intercambio con la atmósfera, durante los movimientos del agua provocados por el viento y de la producción fotosintética del fitoplancton. Además la acción inundante – descendente del nivel del agua, crea una dinámica en las ciénagas, similar a un pulmón de reoxigenación con las aguas del sistema. La concentración de oxígeno disuelto presenta un rango de variación de 0.3 – 10.6 mg/L.

Los nitratos, fosfatos, sulfatos y silicatos dependen directamente de los desplazamientos masivos del agua, de los arrastres en áreas aledañas de aguas lluvias y de desechos orgánicos e industriales a lo largo del río, además del aporte proveniente de la misma estructura geológica en la cuenca y zonas inundadas.

La alcalinidad y dureza total, varían en forma proporcional entre sí y dependiendo de los niveles de agua.

Macroinvertebrados

Los cuerpos de agua de poca corriente o aguas estancadas, generan espacios para la colonización de plantas acuáticas flotantes como el buchón o taruya (*Eichhornia crassipes*). Las raíces de buchón son un

microecosistema con todos sus componentes, con entradas y salidas de energía, dentro del cual están involucrados invertebrados, peces, aves etc.

Como consecuencia del déficit de oxígeno en los sedimentos de los ecosistemas lénticos, la fauna bentónica migra a la superficie de fijación ofrecida por las plantas acuáticas que posee un substrato con una altísima diversidad de organismos asociados, especialmente invertebrados. Por tal razón, las plantas acuáticas se pueden considerar como un hábitat apropiado para el establecimiento de la fauna de macroinvertebrados (Viña et al. 1991).

Al hábitat generado por las raíces de buchón se asocian una gran cantidad de organismos, especialmente insectos, que cumplen todo o una parte de su ciclo de vida en el agua. Entre ellos es posible encontrar una gran variedad de efemerópteros, tricópteros, coleópteros, oligoquetos, hirudineos, planarias, entre otros (Roldán, 1992). La mayor parte de éstos organismos son de un tamaño mayor a 0.5 mm y se les ha denominado macroinvertebrados.

Los organismos asociados a los macrófitos, presentan características que les permiten adaptarse a un determinado conjunto de condiciones ambientales, dentro de un segmento particular del hábitat acuático (microhábitat). En general, los organismos que habitan en las raíces de buchón presentan adaptaciones estructurales como uñas, ventosas y apéndices especializados para nadar que les permiten adherirse al substrato (Merrit & Cummins, 1996).

Los macroinvertebrados han sido mayoritariamente empleados en programas de evaluación y monitoreo de la calidad de los ecosistemas acuáticos por contener las características de bioindicador ideal (Johnson, Wiederholm & Rosenberg, 1993):

Relativamente fácil determinación a nivel de familia y en algunos casos a género, para la cual no es necesario contar con especialistas para la identificación.

- Distribución cosmopolita que permite realizar comparaciones a escala regional, nacional o internacional.
- Una gran abundancia numérica que facilita el muestreo y llegar a conclusiones cuantitativas.
- Tamaños corporales relativamente grandes, los cuales hacen más simple el muestreo y la selección.
- Movilidad limitada y ciclo de vida relativamente largo, que permiten una fácil interpretación a escala temporal y espacial.
- Parámetros fisicoquímicos

pH

La medida del pH es una de las pruebas más importante y frecuente utilizada en el análisis químico del agua. La concentración de los iones hidrógeno se expresa por el logaritmo del inverso de la concentración.

El agua pura está ligeramente disociada en iones (H⁺) y (OH⁻), el producto de las concentraciones iónicas varía según la temperatura y es de 10⁻¹⁴ a 24 oC. El logaritmo de su inverso es 14 que representa la suma de pH más pOH y ambas concentraciones son iguales en la neutralidad, de modo que en condiciones de neutralidad, el pH es de 7.00 a 24 oC, 7.47 a 0 °C, 7.03 a 20 °C y 6,92 a 30 °C.

El pH es la resultante y expresión de fenómenos diversos, en las aguas dulces oscila generalmente entre 6,5 y 8,7. Se encuentran valores muy bajos, cercanos a 3, cuando hay ácidos presentes (sulfúrico, húmicos,

aminoácidos). Si suelos y fangos ricos en sulfuros se inundan con agua rica en oxígeno y pobre en cationes puede aparecer un exceso de ión sulfato en solución.

Conductividad

La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones, de su concentración total, de su movilidad y concentraciones relativas, así como de la temperatura de la medición.

Temperatura

El calor y la temperatura son formas de energía que presentan dos aspectos: intensidad o temperatura medida ordinariamente en grados Celsius (°C) y cantidad o calor, apreciada en calorías.

La temperatura está determinada por la cantidad de energía calórica (ondas del infrarrojo) que sea absorbida por un cuerpo de agua y juega un papel fundamental en todos los procesos biológicos.

Oxígeno Disuelto

Todo organismo vivo necesita del oxígeno en una u otra forma, para mantener sus procesos metabólicos, de los cuales obtiene la energía necesaria para su crecimiento y reproducción.

Tanto el oxígeno como el nitrógeno están clasificados como gases poco solubles que no reaccionan químicamente con el agua y cuya solubilidad depende de sus presiones parciales de vapor saturado y de la temperatura del agua. Tres factores afectan la concentración de oxígeno disuelto en un

cuerpo de agua natural: presión atmosférica, temperatura y salinidad ó contenido de sólidos disueltos.

La solubilidad del Oxígeno en agua dulce varía directamente con la presión atmosférica a una temperatura dada y sigue el comportamiento de los gases ideales, pudiéndose calcular por medio de la Ley de Henry. Además varía inversamente con la temperatura a una presión dada. Esto es muy importante pues la actividad biológica y por consiguiente la demanda de Oxígeno varían directamente con la temperatura. (Sierra, 1985).

DBO₅

La determinación de la DBO₅ es una prueba empírica en la que se utilizan procedimientos estandarizados de laboratorio para determinar los requerimientos relativos de oxígeno de las aguas superficiales, residuales o contaminadas. Este ensayo permite determinar el oxígeno utilizado durante un período de incubación especificado para la degradación bioquímica de la materia orgánica (requerimiento de carbono), y para la oxidación de la materia inorgánica, como sulfuros y el ión ferroso.

El significado ambiental de la DBO₅ radica en que este análisis es una medida del oxígeno requerido para la estabilización química y biológica de la materia orgánica en un intervalo de tiempo específico. A mayor cantidad de materia orgánica contenida en un cuerpo de agua, mayor será la necesidad de oxígeno para su descomposición. Por lo tanto a altas concentraciones de materia orgánica disminuirá el oxígeno disuelto, creando condiciones que van en detrimento de la vida acuática y otros usos benéficos. (Sierra, 1985).

DQO

La DQO es la medida del oxígeno equivalente al contenido de materia orgánica de una muestra que es susceptible a la oxidación por un oxidante químico fuerte. La oxidación, bajo ciertas condiciones de acidez, temperatura y tiempo, transforma la materia orgánica en dióxido de carbono y agua.

En las aguas naturales la DBO_5 disminuye más rápido que la DQO, lo que significa que en la naturaleza la oxidación enzimática destruye rápidamente los compuestos biológicos existentes. Una vez muertos los microorganismos, su masa celular o detritus tiene una DBO baja, pues está formada por compuestos en una etapa avanzada de estabilización, pero el valor de su DQO es alto, ya que los compuestos no son biológicamente oxidados.

Las lecturas de DQO son mayores a la DBO_5 debido a la acción de las sustancias altamente oxidantes utilizadas en la prueba. De esta manera reaccionan algunos compuestos que no son normalmente oxidados en el proceso biológico.

Alcalinidad

Es la capacidad del agua para neutralizar ácidos, la cual le confiere propiedades buffer, es decir dificulta sus cambios en el pH. Depende esencialmente de las concentraciones de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos.

Dureza Total

La dureza es una propiedad del agua, fruto de la presencia de cationes metálicos polivalentes;. Se manifiesta por su reacción con el jabón para formar precipitados, al igual que con ciertos aniones para formar incrustaciones. En aguas naturales, la dureza es causada principalmente por iones de calcio y magnesio.

Sólidos Suspendidos

Sólidos son los materiales suspendidos o disueltos en aguas limpias y aguas residuales. Los sólidos pueden afectar negativamente la calidad del agua o su suministro. Las aguas con abundantes sólidos disueltos suelen ser de inferior palatabilidad y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor ocasional. Por estas razones para las aguas potables es deseable un límite superior de 500 mg/l de sólidos disueltos.

Fósforo Total

El fósforo es un elemento escaso y no es muy soluble en agua, excepto en condiciones ácidas (Salazar 1996 en Viña & Ramírez, 1998). Es tomado por las plantas en la forma de ortofosfato ionizado PO_4 , HPO_4 , H_2PO_4 , H_3PO_4 y su solubilidad depende de los compuestos de calcio y hierro. El fósforo que entra a los sistemas lénticos se deposita en los sedimentos y algunas fracciones retornan cuando el agua en contacto con los sedimentos es reductora (poco oxígeno y alto CO_2)

Coliformes Totales y Fecales

El grupo coliforme está formado por todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gramnegativas no formadoras de esporas y con forma de bastón, que fermentan la lactosa produciendo gas y ácido en 48 horas a 35 °C.

Fenoles

El término "Fenoles" incluye una mezcla de derivados del fenol, como fenoles, orto, meta y para sustituidos por halógenos o por un grupo alquílico, aldehído, arílico, nitro, fenilo, nitroso y del ácido sulfónico. Estos compuestos pueden estar presentes en aguas naturales, suministros de agua potable y aguas residuales domésticas e industriales.

El control de la cantidad de fenoles en los cuerpos de agua es de suma importancia, por su acción tóxica sobre los peces y otros organismos acuáticos y por el sabor desagradable que imparten a la carne de pescado. Las concentraciones letales para los peces varían en relación con las especies, el tiempo de contacto, la temperatura y otras condiciones particulares.

Hidrocarburos Totales

Son esencialmente compuestos que contienen carbono e hidrógeno. Se clasifican de manera general en Alifáticos y Aromáticos y existen en cualquier tipo de petróleo elementos de los dos grupos incluyendo otros como oxígeno, azufre, nitrógeno, níquel y vanadio.

Los hidrocarburos en el medio natural tienen varios orígenes: puede ser geoquímico o de los procesos metabólicos de los organismos vivos

existentes (biogénicos) que producen este tipo de compuestos en concentraciones importantes (Ramírez & Viña, 1998).

Metales

Bario. Es un metal alcalino-terreo que naturalmente puede encontrarse combinado con otros elementos en suelos, rocas y minerales. Los dos compuestos que prevalecen son el sulfato y carbonato de bario. Puede también estar presente en las rocas ígneas, en los feldespatos y las micas. El bario aparece en el carbón en concentraciones de más de 3000 mgKg^{-1} . Está presente en los combustibles derivados del petróleo donde los contenidos varían de acuerdo a la fuente de petróleo.

En el agua son solubles ciertos compuestos de bario como acetatos y nitratos mientras que carbonato, oxalato, cromato, fosfato y sales sulfatadas tienen muy baja solubilidad. Con excepción del sulfato de Bario, la solubilidad de las sales de bario se incrementan cuando decrece el pH.

Fuentes. El mineral de barita es un material crudo a partir del cual todos los compuestos de bario son derivados.

Las fuentes antrópicas de bario son principalmente de tipo industrial. Las emisiones pueden resultar de la minería, refinado o del procesamiento y manufactura de los minerales de bario. Puede ser descargado en las aguas de producción a partir de procesos metalúrgicos e industriales y depositarse en los sedimentos. A partir de las actividades del hombre, el transporte de Bario incluye la dispersión por aire, agua y suelo.

En el agua, el transporte está sujeto a las interacciones con otros iones incluyendo sulfato, el cual regula y limita la concentración de bario. Bajo

condiciones ácidas muchos de los compuestos de bario son insolubles en agua. Las concentraciones de bario en aguas son variables y depende de factores como la geología que afecta los acuíferos y de los procesos de tratamiento a que hayan sido sometidas. Las concentraciones promedio en agua dulce son de 0.05 mg/L (Schroeder, 1970 en WHO, 1990d).

En los suelos este metal está presente a través de procesos naturales de formación de suelos, lo cual incluye el rompimiento de rocas parentales por procesos erosivos. Está considerado en el rango de 100 a 3000 mgKg⁻¹, la concentración promedio más abundante es de 500 mgKg⁻¹ (Brooks, 1978 en *Environmental Health Criteria EHC*, 1990). El contenido de Bario en los sedimentos del río Iowa son de 450 a 3000 mgKg⁻¹ peso húmedo (Tsai *et al.*, 1978 en WHO, 1990d).

Cromo. Metal polivalente que se presenta más frecuentemente como Cr⁺³ y Cr⁺⁶. Está distribuido en aire, agua y suelo y en la corteza terrestre. La forma trivalente y sus sales son usualmente las más estables y las más reactivas biológicamente. Son insolubles en agua con un pH en el rango de 4 – 11.

Las sales de cromo hexavalente son menos estables, un poco solubles en agua y más biológicamente reactivas. La tendencia a ser reducido el estado trivalente se incrementa con el descenso del pH.

El cromo en aguas no contaminadas y no tratadas para consumo humano es primariamente trivalente. Puede existir cromo hexavalente en el agua para consumo como resultado de la producción, uso, disposición y transporte de cromo hexavalente. WHO (1988a) indica que el aporte de cromo proveniente de agua potable para el organismo humano, es considerado insignificante en comparación con el cromo total proveniente de la dieta. La máxima concentración segura y adecuada en la dieta de cromo trivalente para niños

entre los 7 y 11 años de edad y adultos está entre 50-200 $\mu\text{g}\text{día}^{-1}$. (FDA, 1993)

Níquel. Metal cuya forma iónica prevalente es níquel II. En los sistemas biológicos, el níquel disuelto puede formar compuestos complejos con varios ligandos y unirse a materiales orgánicos. El transporte, distribución y transformación ambiental de este metal cuando es aportado tanto de forma natural como por fuentes antrópicas, circula por todos los compartimentos ambientales por medio de procesos químicos y físicos siendo movilizado por los organismos vivos.

El níquel es ubicuo en el medio ambiente, se encuentra en el agua, aire, suelo, plantas y animales. Sin embargo las concentraciones promedio en estos medios no contribuyen significativamente a la exposición, exceptuando a los individuos que residen en inmediaciones de fábricas que utilizan este metal dentro de su proceso productivo y áreas industrializadas en general.

En los ríos y lagos el níquel es principalmente transportado en asociación con la materia orgánica y sobre las partículas de arcilla. Es por esto que en estos ambientes acuáticos el níquel ocurre como sales solubles, sólidos suspendidos y complejos orgánicos. Los niveles en aguas superficiales están en el rango de menos de 0.002 a 0.01 mgL^{-1} . En los sedimentos de regiones no contaminadas los contenidos en peso húmedo fluctúan entre 0-20 mgKg^{-1} y más de 105 mgKg^{-1} en ríos y lagos contaminados (*National Research Council Canada*, 1981).

La exposición al níquel en humanos, exceptuando los aportes por comida de mar, incluye al agua la utilizada tanto como bebida como la usada en la preparación de alimentos. Los alimentos son la principal fuente de níquel para los humanos, en segundo lugar está el humo del cigarrillo. Información

de la FDA (1996), sugieren que la cantidad de níquel ingerido por los humanos en su alimentación, incluyendo mariscos, asciende a $120 \mu\text{gdía}^{-1}$ (promedio entre hombres y mujeres). El níquel se encuentra prácticamente en toda todo tipo de alimentos con gran contribución de los cereales, nueces y chocolate.

Vanadio. Este metal traza es actualmente uno de los más prevaecientes, pudiéndose encontrar naturalmente en 50 formas de minerales y en asociación con combustibles fósiles. Está presente en la corteza terrestre como una sal relativamente insoluble y en los sedimentos como oxovanadio (IV), anión unido a los quelatos orgánicos.

En aguas naturales existe como ión vanadil ($+4$) en condiciones reducidas y vanadato ($+5$) bajo condiciones de oxidación. El vanadio está presente en todos los aceites combustibles. En el agua dulce las concentraciones pueden variar desde no detectable a 0.220 mgL^{-1} . En los suelos se registran valores entre $3 - 310 \text{ mgKg}^{-1}$ (WHO, 1988).

Mercurio. Es un metal líquido a temperaturas y presiones normales. Forma sales en dos estados iónicos mercurio (I) y mercurio (II). Estas últimas son mucho más comunes que las sales de mercurio I. También forma compuestos organometálicos, algunos de los cuales tienen uso industrial y en la agricultura.

Los compuestos organometálicos son estables, aunque algunos son fácilmente rotos por los organismos, mientras que otros no son rápidamente biodegradados. El mercurio natural proviene de la emisión de gases de la corteza terrestre a través de los gases volcánicos y probablemente de la evaporación de los océanos. Algunos compuestos del mercurio han sido usados en la agricultura, principalmente como funguicidas. Las

concentraciones ambientales del mercurio según Environmental Health Criteria (WHO), 1989 son:

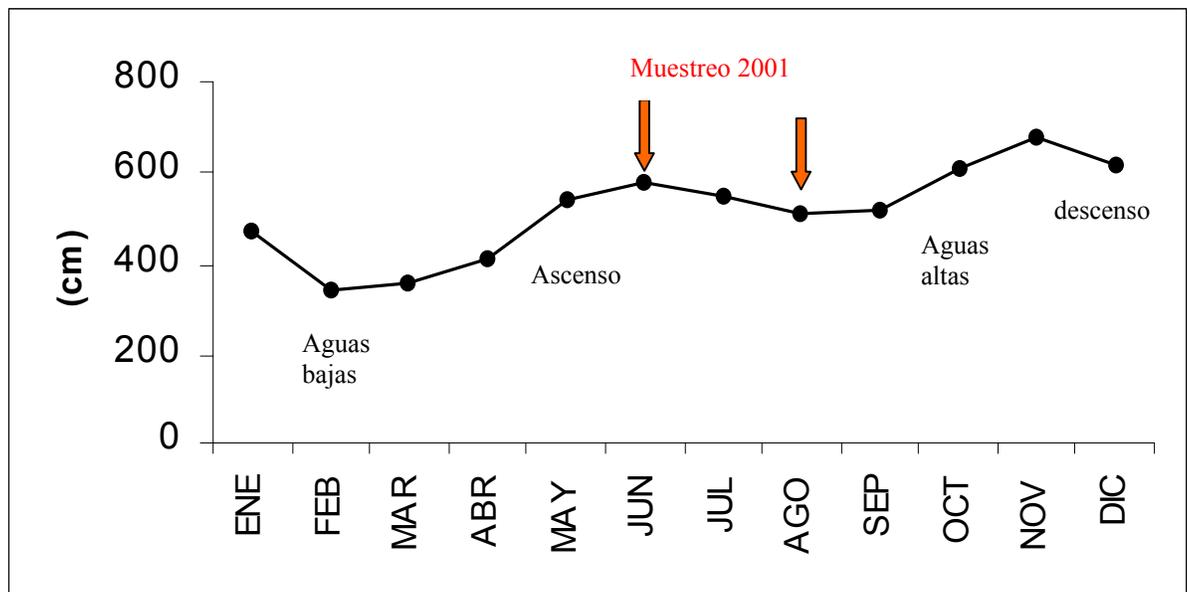
Aire	1 – 4 mgm^{-3}
Agua	0.5 – 15 mgL^{-1}
Sedimentos	0.02 – 0.1 mgkg^{-1}

2. METODOLOGÍA DE MUESTREO

2.1 ÉPOCAS DE MUESTREO

Los muestreos considerados para el presente trabajo, incluyen dos momentos temporales del año, junio y agosto del 2001. El primero corresponde al inicio del incremento de los niveles del río Magdalena y de sus tributarios principales, Cauca y San Jorge, además del aumento del espejo de las ciénagas, debido a la aparición del primer período de lluvias del norte de Colombia (después de abril). El segundo momento de muestreo coincide con la época conocida como el "veranillo de San Juan", donde existe una disminución de las lluvias y se genera un retroceso en el proceso de incremento de los niveles del río Magdalena. En este orden de ideas, el primer muestreo corresponde a la época de aguas altas y el segundo a la época de aguas bajas. La ubicación de los muestreos del presente trabajo se observan en la Figura 3

Figura 3. Limnograma del Nivel Medio Mensual Multianual (1974-1990) de la Estación Guaymaral, Río Chicagua y Ubicación de los meses de muestreo (Tomado de: Geocing, 2000).



Estaciones de muestreo.

Durante el primer muestreo correspondiente al período de aguas altas, comprendido entre el 31 de mayo y el 12 de junio de 2001, se muestrearon 14 Ciénagas, 4 Caños y un río, cuerpos de agua que dependen directamente de los niveles del río Magdalena y se localizan en el Área de influencia de los Campos Cicuco y Boquete (**Tabla 2 y Anexo A**).

La segunda salida se efectuó del 31 de julio al 18 de agosto del 2001, en el período de aguas bajas. Se analizaron los mismos cuerpos de agua del muestreo anterior y se adicionaron las siguientes ciénagas:

- Sangre Afuera, Pajalal y Gato: Ubicadas al noroeste del área de influencia directa del campo Cicuco-Boquete donde pueden llegar por transporte los eventuales productos contaminantes.

- Batatal: Ubicada al noreste del área de influencia directa, con aportes de aguas provenientes del brazo de Mompós del Río Magdalena, en el sector del municipio de Santa Ana, fuera del área de influencia del campo Cicuco-Boquete, como ciénaga de referencia.

Tabla 2. Cuerpos de agua muestreados en ambas épocas climáticas definidas.

CODIGO	ESTACIONES	EPOCA CLIMATICA	
		JUNIO/01	AGOSTO/01
E 1	Cga. Mechón Sur	X	X
E 2	Cga. Mechón Centro	X	X
E 3	Cga. Mechón Norte	X	X
E 4	Cga. La Borda Sur	X	X
E 5	Cga. La Borda Norte	X	X
E 6	Cga. La Borda Centro	X	X
E 7	Río Chicagua agua arriba del vertimiento	X	X
E 8	Río Chicagua aguas abajo del vertimiento	X	X
E 9	Cga. Corralito	X	X
E 10	Cga. Guacamayas Sur	X	X
E 11	Cga. Guacamayas Norte	X	X
E 12	Cga Tortuga	X	X
E 13	Caño Violo Sur	X	X
E 14	Caño Violo Norte	X	X
E 15	Caño Negritos frente al Mechón Centro	X	X
E 16	Caño Las Piñas frente a la Borda Centro	X	X
E 17	Cga. Boquete	X	X
E 18	Cga. Cerrito Viejo	X	X
E 19	Cga. Cerrito Sur	X	X
E 20	Cga. Cerrito Norte	X	X
E 21	Cga. Mojarras	X	X
E 22	Cga. Cerrito B4	X	X
E 23	Cga. Patos	X	X
E 24	Cga. Mimbres	X	X
E 25	Cga. Pavas Sur	X	X
E 26	Cga. Pavas Norte	X	X
E 27	Caño El Berranco	X	X
E 28	Cga. Guayacanes	X	X
E 29	Cga. Macho Solo	X	X
E 30	Cga. Sangre Afuera	-	X
E 31	Cga. Batatal	-	X
E 32	Cga. Pajal	-	X
E 33	Cga. Gato	-	X

Parámetros analizados

Los parámetros que se analizaron en cada uno de los dos períodos estudiados fueron: Oxígeno Disuelto, pH, Conductividad, Dureza Total, Alcalinidad, Sólidos Suspendidos, Fósforo Total, DBO5, DQO, Hidrocarburos Alifáticos y Aromáticos (solo en la época de Aguas Bajas – Agosto), Bario, Cromo, Níquel Vanadio y Mercurio (valorado en la época de aguas Bajas), Fenoles, Coliformes Totales y Fecales.

Descripción General Cuerpos de Agua Muestreados

En términos generales los cuerpos de agua muestreados se ubican en la zona inundable de la depresión Momposina, cuyo comportamiento está regido por las épocas de lluvia y de sequía. La profundidad de los cuerpos de agua, varía según la topografía de cada uno y la época de muestreo.

En el período de muestreo de Aguas Altas, los cuerpos de agua del sector Cicuco – Boquete están comunicados entre sí, por lo cual se puede acceder a ellos vía acuática desde El Puerto sobre el caño Violo hasta la Batería Boquete. En Aguas Bajas son más evidentes los terraplenes construidos para llegar a los pozos de los dos sectores, los cuales garantizan el intercambio hídrico y los procesos de mezcla al interior de los ecosistemas lénticos. Los sistemas lénticos muestreados en los dos períodos fueron ciénagas permanentes, cuyas formas y tamaños están determinados por las dos épocas hidro-ecológicas anuales más contrastantes: Aguas Altas y Bajas. Además los cuerpos de agua distribuidos en los campos Cicuco y Boquete se caracterizaron por presentar pozos petroleros en sus inmediaciones.

2.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE AGUAS

Para la caracterización ambiental de los cuerpos de agua del campo petrolero Cicuco-Boquete, el estudio y el análisis del componente abiótico se constituye en una herramienta que permite entender los procesos ecológicos que se ocurren en dos períodos consecutivos de nivel de aguas (Altas y Bajas), regidos principalmente por el ciclo de inundación con intrusión fluvial a través de los caños que los irrigan.

En esta sección se describe el comportamiento de las variables físicoquímicas descritas anteriormente.

Para precisar los posibles problemas ambientales y complementar las valoraciones físicoquímicas en cada uno de los cuerpos de agua, se calcularon y analizaron 4 índices de contaminación: ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOTRO (Ramírez et al. , 1998).

Metodología de Campo

Las determinaciones realizadas “in situ” y en laboratorio se efectuaron siguiendo las metodologías y técnicas aprobadas y estandarizadas por el “Standard Methods For The Examination Of Water and Wastewater de la APHA-AWWA-WPCF” ed. 19. Los parámetros determinados fueron: pH, conductividad, temperatura ambiente, temperatura muestra y oxígeno disuelto.

Índices de Contaminación

Los índices de contaminación (Ramírez & Viña, 1998) aplicados fueron los siguientes: ***ICOMI: Índice de contaminación por mineralización***

El ICOMI es el valor promedio de los índices de cada una de las variables elegidas ($I_{\text{conductividad}}$, como reflejo de los sólidos disueltos; I_{dureza} , que agrupa los cationes calcio y magnesio; e $I_{\text{alcalinidad}}$, que agrupa los aniones carbonatos y bicarbonatos), las cuales se definen en un rango de 0-1. Índices próximos a cero (0) reflejan muy baja contaminación por mineralización, e índices cercanos a uno (1), lo contrario.

Se define de la siguiente manera:

$$\text{ICOMI: } 1/3 (I_{\text{Conductividad}} + I_{\text{Dureza}} + I_{\text{Alcalinidad}})$$

$I_{\text{conductividad}}$: se calcula a partir de la siguiente igualdad:

$$\text{Log}_{10} \cdot I_{\text{conductividad}} = -3,26 + 1,34 \text{ Log}_{10} \cdot \text{Conductividad } (\mu\text{Scm}^{-1})$$

$$I_{\text{conductividad}} = 10^{\text{Log } I_{\text{Conductividad}}}$$

Conductividades mayores a $270 \mu\text{Scm}^{-1}$, tienen un índice de conductividad = 1

I_{Dureza} : Se calcula a partir de la siguiente igualdad:

$$\text{Log}_{10} \cdot I_{\text{Dureza}} = -9,09 + 4,40 \text{ Log}_{10} \cdot \text{Dureza } (\text{mgL}^{-1})$$

$$I_{\text{Dureza}} = 10^{\text{Log } I_{\text{Dureza}}}$$

Durezas mayores a 110mgL^{-1} tienen un $I_{\text{Dureza}} = 1$

Durezas menores a 30mgL^{-1} tienen un $I_{\text{Dureza}} = 0$

$I_{\text{Alcalinidad}}$: Se calcula a partir de la siguiente igualdad:

$$I_{\text{Alcalinidad}} = -0,25 + 0,005 \text{ Alcalinidad (mgL}^{-1}\text{)}$$

Alcalinidades mayores a 250 (mgL⁻¹), tienen un $I_{\text{Alcalinidad}} = 1$

Alcalinidades menores a 50 (mgL⁻¹), tienen un $I_{\text{Alcalinidad}} = 0$

ICOMO: Índice de contaminación por materia orgánica

Se expresa en diferentes variables que incluyen: nitrógeno amoniacal, nitritos, fósforo, oxígeno, demanda de oxígeno (DBO₅ – DQO) y coliformes fecales y totales principalmente.

Se seleccionaron demanda bioquímica de oxígeno y coliformes totales, ya que ellas reflejan fuentes diferentes de contaminación orgánica, así como el porcentaje de saturación del oxígeno que indica la respuesta o capacidad ambiental del ecosistema ante este tipo de polución.

$$\text{ICOMO} = 1/3 (I_{\text{DBO}} + I_{\text{Coliformes Totales}} + I_{\text{Oxígeno \%}})$$

$$I_{\text{DBO}} = -0,05 + 0,70 \text{ Log}_{10} \cdot \text{DBO (mgL}^{-1}\text{)}$$

DBO mayores a 30 mgL⁻¹ tienen un $I_{\text{DBO}} = 1$

DBO menores a 2 mgL⁻¹ tienen un $I_{\text{DBO}} = 0$

$I_{\text{Col. Tot}}$: se calcula a partir de la siguiente igualdad

$$I_{\text{Col. Tot}} = -1,44 + 0,56 \text{ Log}_{10} \cdot \text{Col. Tot. (NMP100 mL}^{-1}\text{)}$$

Coliformes totales mayores a 20.000 NMP100 mL⁻¹ , tienen un $I_{\text{Col. Tot.}} = 1$

Coliformes totales menores a 500 NMP100 mL⁻¹ , tienen un $I_{\text{Col. Tot.}} = 0$

$I_{\text{OXIGENO \%}}$: Se calcula a partir de la siguiente igualdad:

$$I_{\text{OXIGENO \%}} = 1 - 0,01 \text{ oxígeno \%}$$

Oxígenos (%) mayores a 100%, tienen un $I_{\text{OXIGENO \%}} = 0$

Los porcentajes de saturación mayores a 100 son ventajosos o indicativos de una muy buena capacidad de reoxigenación en sistemas lóticos, independientemente de la contaminación orgánica existente, mientras que en sistemas lénticos pueden reflejar graves problemas de eutroficación, por lo que en estos últimos se emplea la expresión:

$$I_{\text{OXIGENO \%}} = 0,01 \text{ oxígeno \%} - 1$$

ICOSUS: Índice de contaminación por sólidos suspendidos

Se determina mediante la concentración de sólidos suspendidos.

$$\text{ICOSUS} = - 0,02 + 0,003 \text{ sólidos suspendidos (mgL}^{-1}\text{)}$$

Sólidos suspendidos mayores a 340 mgL⁻¹ tienen ICOSUS = 1

Sólidos suspendidos menores a 10 mgL⁻¹ tienen ICOSUS = 0

En general los índices arriba mencionados, presentan rangos de cero (0) a uno (1), los cuales indican la siguiente condición ambiental. (**Tabla 3**)

Tabla 3. Calificación de los Índices de Contaminación

ICO	CONTAMINACIÓN
0 – 0,2	Ninguna
> 0,2 – 0,4	Baja
> 0,4 – 0,6	Media
> 0,6 – 0,8	Alta
> 0,8 - 1	Muy Alta

Tomado de: Ramírez y Viña, 1998.

ICOTRO: Índice de contaminación trófico

El ICOTRO se fundamenta en la concentración de fósforo total. Las categorías para este índice son (Tabla 4):

Tabla 4. Categorías para Evaluar el Nivel Trófico

TROFIA	FOSFORO TOTAL mg/L USEPA (1974)	FOSFORO TOTAL mg/L Toledo et al. (en Viña & Ramírez, 1998)
Oligotrofia	< 0.01	< 0.027
Mesotrofia	0.01 – 0.02	0.028 – 0.051
Eutrofia	0.02 – 1.00	>0.052
Hipereutrofia	>1.00	

Tomado de: Ramírez & Viña, 1998.

Las categorías tróficas propuestas por Toledo et al. . (en Ramírez & Viña, 1998) son para zonas tropicales y las de USEPA (1974) para zonas templadas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 PRIMER MUESTREO - EPOCA DE AGUAS ALTAS. JUNIO 2001

En el Anexo B se presentan las tablas de resultados de los análisis fisicoquímicos de las aguas para cada una de las estaciones muestreadas, así como los valores promedio, máximos y mínimos de cada una de las variables analizadas en superficie y fondo.

Para establecer las diferencias de las variables analizadas entre superficie y fondo, se realizaron pruebas de comparación por medio de la prueba paramétrica t-student, obteniendo un $p= 0.76$, que evidenció que no existen diferencias estadísticamente significativas entre un nivel y otro, con un nivel de confianza del 95%. La poca profundidad de estos sistemas lénticos (profundidad promedio 1.32m) hizo que las variaciones fisicoquímicas en superficie y fondo no fueran tan marcadas.

La temperatura superficial en las ciénagas osciló entre 28.4 °C (E-4 Borda Sur) y 37.4°C (E-26 Pavas Norte). De acuerdo con Arias (1985) este rango de variación es típico de los sistemas de inundación del bajo Magdalena.

Aunque en los cuerpos de agua estudiados en esta época aguas altas no se apreciaron diferencias estadísticamente significativas entre la temperatura de superficie y la de fondo, es de destacar la máxima variación reportada en la estación E-26 (diferencia de 5.7°C entre superficie y fondo) que pudo estar influenciada por factores como la mayor profundidad en esta ciénaga y la menor acción de vientos locales, que determinan una mayor estratificación térmica.

Tabla 5. Resumen de los Promedios y Rangos de Variación a Nivel Superficial de los Parámetros Físicoquímicos en los Ecosistemas Acuáticos. Época de Aguas Altas (Junio 2001) Cicuco – Bolívar

PARAMETRO	CIENAGAS			R. Chicagua- Caño Violo			Caños: Negritos, Piñas y Barranco		
	Media	Mínimos	Máximos	Media	Mínimos	Máximos	Media	Mínimos	Máximos
Conductividad μScm^{-1}	381.9	159.7	3780	172.8	159.7	185.7	662.7	179.2	1125.0
Dureza total mg $\text{CaCO}_3\text{L}^{-1}$	123.12	71.91	770.66	78.6	76.83	79.39	273.8	80.99	469.81
Alcalinidad mg $\text{CaCO}_3\text{L}^{-1}$	54.25	33.57	62.6	59.6	58.03	61.55	54.25	11.95	68.10
%SatO ₂	82.83	40.7	165.9	72.1	68.5	76.1	51.2	2.7	106.3
DBO5 mgO ₂ L ⁻¹	2.68	0.5	7	1.3	0.5	2	9.7	3	22
DQO mgO ₂ L ⁻¹	27.05	11	68	53.0	48	60	39.3	20	63
Fósforo Total mgPL ⁻¹	0.07	0.006	0.18	0.049	0.037	0.059	0.1	0.039	0.129
Sólidos Suspendidos mgL ⁻¹	43.3	9	109	480.3	68	907	63.0	33	67
Ph	7.06	6.73	8.01	7.2	7.08	7.37	6.6	6.42	6.76
Temperatura °C	31.15	28.7	37.4	29.7	29	30.5	30.3	29.9	30.5
Transparencia cm	26.64	13	44				23.6	15	40
Profundidad m	1.32	0.75	1.85				2.21	0.83	3.85

Indices de Contaminación - Primer Muestreo Época de Aguas Altas, Junio 2001.

En las **Tablas 6 y 7** se presentan los resultados de la aplicación de los índices de contaminación para los resultados físicoquímicos de aguas de superficie y fondo. Para la época de aguas altas cada uno de los índices calculados a estos dos niveles expresan el mismo grado de contaminación.

ICOMI

La tendencia general del índice ICOMI fue presentar niveles bajos de carga iónica a excepción de las estaciones Mechón Sur (E-1), Mechón Centro (E-2), Caño Las Piñas (E-16), Boquete (E-17) Mojarras (E-21) y Mimbres (E-24) donde el índice calculado reflejó un nivel alto.

Esta condición está relacionada con factores locales y coincide con la cercanía a las baterías de acopio petrolero en los sectores Cicuco (ciénagas Mechón Sur y Centro) y Boquete (ciénagas Mojarras, Boquete y Mimbres). En el caño Las Piñas factores como la pérdida de la condición reofílica ocasionó una alta concentración iónica, lo cual se refleja con un valor de 1.52 (Muy Alta Contaminación).

ICOMO

En las ciénagas la tendencia general observada fue entre ninguna y baja contaminación. Las mayores concentraciones de materia orgánica en el caño Las Piñas (E-16) y ciénaga Boquete (E-17) están dadas por los aportes de las macrófitas acuáticas flotantes (*Eichhornia crassipes*) en el caño y las sumergidas (*Najas arguta*) en la ciénaga.

ICOSUS

Los valores de este índice para los sistemas lénticos fueron muy bajos. En los puntos de muestreo ubicados sobre el río Chicagua se presentaron niveles muy altos, debido a la alta carga de material de arrastre que se presenta en el tramo final de la cuenca del río Magdalena.

ICOTRO

De manera general se observaron condiciones eutróficas en los cuerpos de agua analizados. Se destacan con un nivel Mesotrófico las ciénagas Corralito (E-9), Cerrito Norte (E-20), Cerrito B4 (E-229 y Pavas Sur (E-25) (**Tabla 8**).

Al utilizar la clasificación para zonas tropicales propuesta por Toledo et al. (en Ramírez & Viña, 1998), las categorías tróficas presentaron un rango desde la oligotrofia hasta la eutrofia y mostraron un comportamiento espacial definido determinado por las actividades antrópicas (industriales, agropecuarias) que se realizan en la proximidad de las estaciones muestreadas (**Tabla 8**).

Tabla 6. Índices de Contaminación a Nivel Superficial. Epoca de Aguas Altas (Junio 2001) Cicuco - Bolivar.

ESTACION	ICOMI	CALIFICACION	ICOMO	CALIFICACION	ICOSUS	CALIFICACION
E-1	0.67	Alta	0.52	Media	0.06	Ninguna
E-2	0.67	Alta	0.58	Media	0.21	Baja
E-3	0.25	Baja	0.07	Ninguna	0.24	Baja
E-4	0.50	Media	0.19	Ninguna	0.06	Ninguna
E-5	0.53	Media	0.13	Ninguna	0.05	Ninguna
E-6	0.48	Media	0.10	Ninguna	0.05	Ninguna
E-7	0.23	Baja	0.18	Ninguna	1.00	Muy Alta
E-8	0.25	Baja	0.09	Ninguna	1.00	Muy Alta
E-9	0.26	Baja	0.40	Baja	0.15	Ninguna
E-10	0.28	Baja	0.24	Baja	0.08	Ninguna
E-11	0.23	Baja	0.18	Ninguna	0.28	Baja
E-12	0.28	Baja	0.23	Baja	0.16	Ninguna
E-13	0.28	Baja	0.15	Ninguna	0.20	Ninguna
E-14	0.28	Baja	0.11	Ninguna	0.18	Ninguna
E-15	0.67	Alta	0.47	Media	0.08	Ninguna
E-16	1.52	Muy Alta	0.64	Alta	0.25	Baja
E-17	0.67	Alta	0.60	Alta	0.01	Ninguna
E-18	0.30	Baja	0.21	Baja	0.17	Ninguna
E-19	0.26	Baja	0.43	Media	0.08	Ninguna
E-20	0.28	Baja	0.50	Media	0.03	Ninguna
E-21	0.48	Media	0.12	Ninguna	0.05	Ninguna
E-22	0.30	Baja	0.16	Ninguna	0.10	Ninguna
E-23	0.27	Baja	0.22	Baja	0.31	Baja
E-24	0.65	Alta	0.54	Media	0.02	Ninguna
E-25	0.32	Baja	0.26	Baja	0.11	Ninguna
E-26	0.31	Baja	0.45	Media	0.08	Ninguna
E-27	0.28	Baja	0.30	Baja	0.18	Ninguna
E-28	0.30	Baja	0.21	Baja	0.08	Ninguna
E-29	0.29	Baja	0.29	Baja	0.05	Ninguna

**Tabla 7. Índices de Contaminación a Nivel Fondo. Epoca de Aguas Altas
(Junio 2001) Cicuco - Bolivar.**

ESTACION	ICOMI	CALIFICACION	ICOMO	CALIFICACION	ICOSUS	CALIFICACION
E-1	0.67	Alta	0.56	Media	0.06	Ninguna
E-2	0.67	Alta	0.13	Media	0.21	Baja
E-3	0.26	Baja	0.14	Ninguna	0.24	Baja
E-4	0.50	MEDIA	0.20	Ninguna	0.06	Ninguna
E-5	0.53	MEDIA	0.17	Ninguna	0.05	Ninguna
E-6	0.50	MEDIA	0.19	Ninguna	0.05	Ninguna
E-7	0.24	Baja	0.27	Ninguna	1.00	Muy Alta
E-8	0.24	Baja	0.09	Ninguna	1.00	Muy Alta
E-9	0.26	Baja	0.08	Baja	0.15	Ninguna
E-10	0.28	Baja	0.23	Baja	0.08	Ninguna
E-11	0.23	Baja	0.19	Ninguna	0.28	Baja
E-12	0.28	Baja	0.24	Baja	0.16	Ninguna
E-13	0.28	Baja	0.10	Ninguna	0.20	Ninguna
E-14	0.27	Baja	0.15	Ninguna	0.18	Ninguna
E-15	0.67	Alta	0.36	Media	0.08	Ninguna
E-16	1.51	Muy Alta	0.63	ALTA	0.25	Baja
E-17	0.67	Alta	0.61	ALTA	0.01	Ninguna
E-18	0.30	Baja	0.19	Baja	0.17	Ninguna
E-19	0.27	Baja	0.11	Media	0.08	Ninguna
E-20	0.25	Baja	0.08	Media	0.03	Ninguna
E-21	0.45	Media	0.09	Ninguna	0.05	Ninguna
E-22	0.31	Baja	0.24	Ninguna	0.10	Ninguna
E-23	0.26	Baja	0.29	Baja	0.31	Baja
E-24	0.65	Alta	0.55	Media	0.02	Ninguna
E-25	0.29	Baja	0.23	Baja	0.11	Ninguna
E-26	0.31	Baja	0.26	Media	0.08	Ninguna
E-27	0.27	Baja	0.32	Baja	0.18	Ninguna
E-28	0.29	Baja	0.27	Baja	0.08	Ninguna
E-29	0.28	Baja	0.30	Baja	0.05	Ninguna

Tabla 8. Icotro a Nivel Superficial y Fondo. Epoca de Aguas Altas (Junio 2001) Cicuco - Bolivar.

ESTACION	SUP. PT mg P/L	ICOTRO	FONDO PT mg P/L	ICOTRO
E-1	0.17	EUTROFICO	0.08	EUTROFICO
E-2	0.10	EUTROFICO	0.20	EUTROFICO
E-3	0.09	EUTROFICO	0.06	EUTROFICO
E-4	0.07	EUTROFICO	0.09	EUTROFICO
E-5	0.04	EUTROFICO	0.04	EUTROFICO
E-6	0.04	EUTROFICO	0.06	EUTROFICO
E-7	0.05	EUTROFICO	0.03	EUTROFICO
E-8	0.04	EUTROFICO	0.07	EUTROFICO
E-9	0.01	MESOTROFICO	0.04	EUTROFICO
E-10	0.06	EUTROFICO	0.06	EUTROFICO
E-11	0.17	EUTROFICO	0.27	EUTROFICO
E-12	0.05	EUTROFICO	0.08	EUTROFICO
E-13	0.05	EUTROFICO	0.06	EUTROFICO
E-14	0.06	EUTROFICO	0.08	EUTROFICO
E-15	0.04	EUTROFICO	0.09	EUTROFICO
E-16	0.13	EUTROFICO	0.07	EUTROFICO
E-17	0.09	EUTROFICO	0.04	EUTROFICO
E-18	0.18	EUTROFICO	0.04	EUTROFICO
E-19	0.04	EUTROFICO	0.03	EUTROFICO
E-20	0.01	MESOTROFICO	0.01	MESOTROFICO
E-21	0.06	EUTROFICO	0.07	EUTROFICO
E-22	0.01	MESOTROFICO	0.05	EUTROFICO
E-23	0.11	EUTROFICO	0.04	EUTROFICO
E-24	0.05	EUTROFICO	0.06	EUTROFICO
E-25	0.02	MESOTROFICO	0.05	EUTROFICO
E-26	0.06	EUTROFICO	0.07	EUTROFICO
E-27	0.11	EUTROFICO	0.04	EUTROFICO
E-28	0.05	EUTROFICO	0.08	EUTROFICO
E-29	0.05	EUTROFICO	0.06	EUTROFICO

Oligotrófico: < 0.01
 Mesotrófico: 0.01 - 0.02
 Eutrófico: 0.02 - 1
 Hipertrófico: > 1

Segundo Muestreo - Época de Aguas Bajas. Agosto 2001.

El **Anexo B** muestran los resultados fisicoquímicos en aguas superficiales y de fondo del segundo muestreo. En agosto de 2001 se determinaron 23 variables en 33 estaciones. En esta época de bajos niveles se adicionaron 4 estaciones en sistemas lénticos: Ciénaga Sangre Afuera (E-30), Ciénaga Batatal (E-31), Ciénaga Pajaral (E-32) y Ciénaga Gato (E-33).

Las estaciones (E-30), (E-32) y (E-33) están ubicadas en la parte noroeste (N-W) del área de influencia del campo Cicuco-Boquete y se anexaron por ser las receptoras de masas de agua que han recorrido la zona de estudio en dirección Sur-Norte. Ello permitió realizar un balance de la capacidad ambiental de este complejo de ciénagas.

La ciénaga Batatal pertenece al complejo de ciénagas de Jaraba, está alimentada por un caño derivado del Brazo de Mompós. La selección de este cuerpo como ciénaga testigo se basó principalmente en que su dinámica hídrica es independiente del resto de los sistemas cenagosos estudiados y está relacionada con el Brazo de Mompós del río Magdalena. De tal manera sus materiales alóctonos no se derivan de las actividades propias del campo petrolero Cicuco – Boquete si no que son otros factores ambientales los que moldean la estructura y dinámica de sus cadenas tróficas.

Las variables fisicoquímicas de superficie y fondo se sometieron a las pruebas estadísticas no paramétricas U de Mann-Whitney para comparar promedios y establecer si existían diferencias significativas entre ellas. En Todos los casos $p > 0.05$ permitió concluir que no había diferencias entre los 2 niveles muestreados para cada una de las estaciones trabajadas. Nuevamente la poca profundidad (profundidad promedio 0.96 m) de las ciénagas influyó en que las características fisicoquímicas fueran homogéneas a lo largo de la columna de agua.

Tabla 9. Resumen de los Promedios y Rangos de Variación de los Parámetros Físicoquímicos en los Ecosistemas Acuáticos Muestreados en la Época de Aguas Bajas (Agosto 2001) Cicuco- Bolivar

PARAMETRO	CIENAGAS			R. Chicagua- Caño Violo			Caños: Negritos, Piñas y Barranco		
	Media	Mínimos	Máximos	Media	Mínimos	Máximos	Media	Mínimos	Máximos
Conductividad μScm^{-1}	200.45	127	5350	131.25	127	134	449.6	142	608
Dureza total mg $\text{CaCO}_3\text{L}^{-1}$	82.67	56	1106	60.98	57.36	65.27	163.69	71.21	225.03
Alcalinidad mg $\text{CaCO}_3\text{L}^{-1}$	56.35	41.03	84.33	51.63	50.17	54.07	119.3	56.07	230.35
%SatO ₂	62.98	3.1	203	71.8	60.7	87.3	74.66	58.1	98.1
DBO5 mgO ₂ L ⁻¹	5.52	2	12	4.5	3	5	5.33	5	6
DQO mgO ₂ L ⁻¹	16.54	8	106	28	17	39	29	8	56
Fósforo Total mgPL ⁻¹	0.075	0.025	0.127	0.214	0.056	0.298		0.061	0.189
Sólidos Suspendidos mgL ⁻¹	55.24	5	193	184	74	324	63.66	71.21	225.03
pH	7.35	6.51	9.28	7.03	6.82	7.19	7.55	7.04	8.37
Temperatura °C	31.18	28.3	34.3	30.5	30.4	30.5	32.06	31.3	32.7
Transparencia cm	25.31	5	75						
Profundidad m	1.32	0.5	2.48	12.07	4	15	2.21	0.83	3.85

Indices de Contaminación - Segundo Muestreo época de Aguas Bajas. Agosto 2001

Para cada una de las estaciones se calcularon los índices de contaminación en superficie y fondo. Los resultados aparecen en las **Tablas 10 y 11**. En este período de muestreo, de menor nivel de las aguas, se observaron variaciones en los dos niveles referidos, con una tendencia general a aumentar los índices ICO con la profundidad.

La dinámica de retorno de los compuestos orgánicos e inorgánicos a partir de los sedimentos hacia la columna de agua, es la causa del incremento en los registros que definen estos índices de contaminación.

ICOMI

El índice de contaminación por mineralización para los sistemas acuáticos del estudio presentó un rango de variación amplio entre ninguna y una muy alta contaminación. Igualmente estaciones próximas a las actividades petroleras de la zona industrial Cicuco (Ciénaga La Borda y los caños Piñas y Negritos) y Boquete (Ciénaga Boquete y Mimbres) reflejaron las mayores cargas iónicas. Las estaciones restantes arrojaron entre ninguna y media contaminación.

ICOMO

Las ciénagas Boquete (ICOMO superficial 0.87) y Machosolo (ICOMO fondo 0.61) exhibieron los niveles más altos de contaminación por materia orgánica del área de estudio. Los niveles registrados en estas ciénagas en la época de menor nivel, obedecen en primer lugar a la sobresaturación de oxígeno (203%) y en segundo a los altos niveles de coliformes ($1600 \text{ NMP}100\text{mL}^{-1}$). El origen de esta condición es el uso de la zona para ganadería. Las demás estaciones registraron en promedio niveles de polución orgánica bajos.

ICOSUS

Para la época en cuestión (Agosto 2001), en el río Chicagua hubo alta concentración de sólidos suspendidos (ICOSUS de 0.74 y 0.95 para los sectores aguas arriba y aguas abajo del Vertimiento). Las restantes estaciones tuvieron un ICOSUS entre baja y ninguna contaminación.

ICOTRO

Con base en este índice, la trofia de los sistemas acuáticos lénticos y lóticos estudiados fue alta (**Tabla 12**). Al utilizar la clasificación de Toledo et al. (en Ramírez & Viña,1998) propuesta para la zona tropical, los niveles tróficos estuvieron en su gran mayoría entre mesoeutróficos y eutróficos.

Tabla 10. Índices de Contaminación a Nivel Superficial. Epoca de Aguas Bajas (Agosto 2001) Cicuco - Bolivar.

ESTACION	ICOMI	CALIFICACION	ICOMO	CALIFICACION	ICOSUS	CALIFICACION
E-1	0.68	Alta	0.31	Baja	0.04	Ninguna
E-2	0.41	Media	0.21	Baja	0.56	Media
E-3	0.16	Baja	0.28	Baja	0.22	Baja
E-4	0.67	Alta	0.29	Baja	0.07	Ninguna
E-5	0.67	Alta	0.48	Media	0.03	Ninguna
E-6	0.67	Alta	0.27	Baja	0.03	Ninguna
E-7	0.14	Ninguna	0.22	Baja	0.74	Alta
E-8	0.14	Ninguna	0.14	Ninguna	0.95	Muy Alta
E-9	0.22	Baja	0.25	Baja	0.12	Ninguna
E-10	0.16	Ninguna	0.26	Baja	0.09	Ninguna
E-11	0.14	Ninguna	0.19	Ninguna	0.26	Baja
E-12	0.15	Ninguna	0.36	Baja	0.16	Ninguna
E-13	0.16	Ninguna	0.30	Baja	0.24	Baja
E-14	0.16	Ninguna	0.27	Baja	0.20	Ninguna
E-15	0.70	Alta	0.17	Ninguna	0.11	Ninguna
E-16	0.97	Muy Alta	0.25	Baja	0.08	Ninguna
E-17	0.68	Alta	0.87	Muy Alta	0.02	Ninguna
E-18	0.21	Baja	0.50	Media	0.12	Ninguna
E-19	0.19	Baja	0.37	Baja	0.10	Ninguna
E-20	0.18	Baja	0.26	Baja	0.07	Ninguna
E-21	0.32	Baja	0.30	Baja	0.06	Ninguna
E-22	0.17	Ninguna	0.40	Baja	0.16	Ninguna
E-23	0.19	Ninguna	0.38	Baja	0.27	Baja
E-24	0.69	Alta	0.34	Baja	0.03	Ninguna
E-25	0.26	Baja	0.49	Media	0.01	Ninguna
E-26	0.16	Ninguna	0.28	Baja	0.20	Ninguna
E-27	0.19	Ninguna	0.29	Baja	0.32	Baja
E-28	0.19	Ninguna	0.24	Baja	0.11	Ninguna
E-29	0.20	Ninguna	0.58	Media	0.00	Ninguna
E-30	0.15	Ninguna	0.26	Baja	0.20	Ninguna
E-31	0.51	Media	0.18	Ninguna	0.04	Ninguna
E-32	0.22	Baja	0.35	Baja	0.53	Media
E-33	0.67	Alta	0.30	Baja	0.21	Baja

Tabla 11. Índices de Contaminación a Nivel Fondo. Epoca de Aguas Bajas (Agosto 2001) Cicuco - Bolivar.

ESTACION	ICOMI	CALIFICACION	ICOMO	CALIFICACION	ICOSUS	CALIFICACION
E-1	0.68	Alta	0.32	Baja	0.06	Ninguna
E-2	0.44	Media	0.27	Baja	0.54	Media
E-3	0.15	Baja	0.27	Baja	0.22	Baja
E-4	0.67	Alta	0.29	Baja	0.11	Ninguna
E-5	0.67	Alta	0.45	Media	0.03	Ninguna
E-6	0.67	Alta	0.39	Baja	0.03	Ninguna
E-7	0.16	Ninguna	0.23	Baja	0.83	Muy Alta
E-8	0.14	Ninguna	0.46	Media	1.00	Muy Alta
E-9	0.23	Baja	0.26	Baja	0.16	Ninguna
E-10	0.17	Ninguna	0.27	Baja	0.10	Ninguna
E-11	0.15	Ninguna	0.14	Ninguna	0.18	Ninguna
E-12	0.15	Ninguna	0.40	Baja	0.20	Ninguna
E-13	0.15	Ninguna	0.30	Baja	0.25	Baja
E-14	0.14	Ninguna	0.30	Baja	0.28	Baja
E-15	0.69	Alta	0.41	Media	0.19	Ninguna
E-17	0.68	Alta	0.53	Media	0.01	Ninguna
E-18	0.23	Baja	0.46	Media	0.13	Ninguna
E-19	0.19	Ninguna	0.35	Baja	0.14	Ninguna
E-20	0.18	Ninguna	0.31	Baja	0.10	Ninguna
E-21	0.31	Baja	0.37	Baja	0.06	Ninguna
E-22	0.17	Ninguna	0.37	Baja	0.18	Ninguna
E-23	0.20	Ninguna	0.38	Baja	0.22	Baja
E-24	0.64	Alta	0.33	Baja	0.12	Ninguna
E-25	0.27	Baja	0.49	Media	0.03	Ninguna
E-26	0.16	Ninguna	0.32	Baja	0.19	Ninguna
E-27	0.17	Ninguna	0.32	Baja	0.30	Baja
E-28	0.18	Ninguna	0.25	Baja	0.21	Baja
E-29	0.20	Ninguna	0.61	Alta	0.02	Ninguna
E-30	0.15	Ninguna	0.29	Baja	0.21	Baja
E-31	0.47	Media	0.53	Media	0.07	Ninguna
E-32	0.21	Baja	0.36	Baja	0.50	Media
E-33	0.67	Alta	0.28	Baja	0.31	Baja

Tabla 12. Icotro a Nivel Superficial y Fondo. Época de Aguas Bajas (Agosto 2001) Cicuco - Bolivar.

ESTACION	SUP. PT mgP/L	ICOTRO	FONDO mgP/L	ICOTRO
E-1	0.06	EUTROFICO	0.03	EUTROFICO
E-2	0.16	EUTROFICO	0.58	EUTROFICO
E-3	0.07	EUTROFICO	0.07	EUTROFICO
E-4	0.03	EUTROFICO	0.08	EUTROFICO
E-5	0.03	EUTROFICO	0.03	EUTROFICO
E-6	0.15	EUTROFICO	0.07	EUTROFICO
E-7	0.22	EUTROFICO	0.03	EUTROFICO
E-8	0.30	EUTROFICO	0.26	EUTROFICO
E-9	0.09	EUTROFICO	0.08	EUTROFICO
E-10	0.03	EUTROFICO	0.03	EUTROFICO
E-11	0.07	EUTROFICO	0.07	EUTROFICO
E-12	0.05	EUTROFICO	0.05	EUTROFICO
E-13	0.06	EUTROFICO	0.12	EUTROFICO
E-14	0.29	EUTROFICO	0.28	EUTROFICO
E-15	0.19	EUTROFICO	0.14	EUTROFICO
E-16	0.06	EUTROFICO		
E-17	0.09	EUTROFICO	0.12	EUTROFICO
E-18	0.07	EUTROFICO	0.08	EUTROFICO
E-19	0.08	EUTROFICO	0.08	EUTROFICO
E-20	0.04	EUTROFICO	0.06	EUTROFICO
E-21	0.04	EUTROFICO	0.06	EUTROFICO
E-22	0.07	EUTROFICO	0.05	EUTROFICO
E-23	0.10	EUTROFICO	0.13	EUTROFICO
E-24	0.03	EUTROFICO	0.06	EUTROFICO
E-25	0.11	EUTROFICO	0.02	EUTROFICO
E-26	0.11	EUTROFICO	0.16	EUTROFICO
E-27	0.10	EUTROFICO	0.10	EUTROFICO
E-28	0.07	EUTROFICO	0.09	EUTROFICO
E-29	0.03	EUTROFICO	0.01	MESOTROFICO
E-30	0.10	EUTROFICO	0.12	EUTROFICO
E-31	0.05	EUTROFICO	0.02	MESOTROFICO
E-32	0.14	EUTROFICO	0.11	EUTROFICO
E-33	0.08	EUTROFICO	0.11	EUTROFICO

Oligotrófico: < 0.01
 Mesotrófico: 0.01 - 0.02
 Eutrófico: 0.02 - 1
 Hipertrofico: > 1

3.2 FAUNA ASOCIADA A LAS RAICES DE EICHHORNIA CRASSIPES.

La fauna asociada a las raíces de buchón (*Eichhornia crassipes*), es una comunidad compuesta principalmente por macroinvertebrados acuáticos. Son organismos con tamaños corporales mayores a 0.5mm que han logrado colonizar con gran éxito los ambientes acuáticos y alcanzan gran abundancia y diversidad en la zona litoral ocupada típicamente por macrófitos. En éste hábitat se encuentra una gran cantidad de especies con diferentes hábitos como patinadores sobre la película superficial, trepadores en el substrato, cavadores dentro de los tejidos vegetales y buceadores en la columna de agua, además diferentes formas de alimentación como raspadores de algas, trozadores de tejidos vegetales, predadores y filtradores. Esta comunidad es importante en el flujo de la energía en los ecosistemas, como consumidores secundarios y como presa de otros macroinvertebrados, peces y aves (Margalef, 1983; Roldán, 1992; Merrit & Cummins, 1996).

Los macroinvertebrados acuáticos por su tamaño relativamente grande, fácil colecta, ciclos de vida comparativamente largos y alta diversidad de especies, aunado al hecho que presentan respuestas diferenciales a variados tipos y niveles de contaminación, se constituyen en organismos de gran utilidad en estudios ambientales. Además, tras una perturbación necesitan un tiempo relativamente largo para recolonizar determinado hábitat, lo cual puede reflejar impactos ocurridos tiempo atrás a diferencia del carácter puntual de los análisis de las condiciones fisicoquímicas del agua. En éste tipo de estudios se hace necesario combinar la información fisicoquímica y biológica del agua en el momento de analizar un ecosistema acuático dado (Alba-Tercedor, 1996).

El buchón (*Eichhornia crassipes*) habita principalmente en cuerpos de agua tranquilos donde generalmente forma grandes parches. Las raíces sumergidas ofrecen hábitat para una gran cantidad de macroinvertebrados acuáticos, ya que los protege frente a eventuales predadores y genera alimento mediante el aporte de materia orgánica en descomposición, que favorece la vía detrítica en el flujo energético del ecosistema. Al parecer ésta vía es muy importante para el sostenimiento de las comunidades acuáticas de las ciénagas, especialmente en los peces (Viña, *et al.* . 1991). Además, funciona como sustrato para el establecimiento de comunidades del perifiton las cuales son una entrada alterna de energía para el ecosistema y como elementos productores de oxígeno. Estudios han demostrado que en las raíces de buchón se pueden duplicar las concentraciones de oxígeno respecto a las aguas libres (Reddy *et al.*, 1989). La presencia de oxígeno disuelto en el agua, sustrato y alimento favorece el establecimiento de comunidades de macroinvertebrados asociados a las raíces.

Para realizar el diagnóstico complementario con el fisicoquímico se determinó la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos asociados a las raíces de *E. crassipes*, encontrada en los sistemas lénticos y lóticos, ubicados en el área de influencia del campo Cicuco – Boquete, durante las mismas dos épocas climáticas de muestreo, aguas altas (junio) y aguas bajas (agosto) en las que se realizaron los muestreos fisicoquímicos, para relacionar su presencia con las condiciones fisicoquímicas del agua y aplicando el índice biótico BMWP

Además se comparó, para la época de aguas bajas (agosto), la comunidad del sector Cicuco – Boquete con la presente en una ciénaga testigo, localizada fuera del área de estudio, cuya dinámica hídrica depende del brazo Mompós del río Magdalena.

Metodología de Campo

Se colectaron las raíces contenidas en 2 cuadrantes de 50x50cm hasta completar 0.5 metros cuadrados. Las raíces fueron extraídas del agua rápidamente para evitar el escape de los macroinvertebrados.

Las muestras tomadas se lavaron con abundante agua usando una malla de 100 μ de diámetro del ojo y luego fueron almacenadas en frascos colectores de 500 mL y preservadas en alcohol al 90%.

Metodología de Laboratorio

El material contenido en las muestras, fue seleccionado usando un tamiz de 500 μ . La parte retenida fue vertida en bandejas de fondo blanco, para facilitar su visualización. Con ayuda de lupas y pinzas entomológicas se procedió a separar la totalidad de los macroinvertebrados presentes en cada muestra.

Los organismos separados fueron determinados hasta el nivel taxonómico de género, en lo posible usando las claves taxonómicas de Merrit & Cummins 1996, McAfferty 1981, Thorp y Covich 1991, Pennak 1978 y Roldán 1988.

Posteriormente se contó el total de individuos para cada taxón determinado, expresando los resultados como organismos por 0.5 m².

Los macroinvertebrados acuáticos se preservaron en etanol (70%) y se almacenaron en viales de vidrio debidamente etiquetados con la información taxonómica correspondiente, conformando una colección de referencia.

Composición Taxonómica

La comunidad de macroinvertebrados acuáticos asociados a las raíces de *Eichhornia crassipes* esta constituida por 44 géneros pertenecientes a 32 familias, 10 órdenes, 4 clases y 3 Phyla, de los cuales el *Phylum Arthropoda*

es el más rico en número clases, órdenes y familias especialmente, la clase Insecta por presentar el 83.3% de los géneros determinados (Tabla 13).

Tabla 13. Composición Taxonómica de los Macroinvertebrados Acuáticos Asociados a las Raíces de *Eichhornia crassipes*. Epocas de Aguas Altas (Junio) y Bajas (Agosto 2001) Cicuco-Bolívar

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	
ARTHROPODA	INSECTA	ODONATA	COENAGRONIDAE	<i>Acanthagrion</i>	
			AESHNIDAE	<i>Anax</i>	
			LIBELLULIDAE	<i>Dythemis</i>	
				<i>Erythrodiplax</i>	
				<i>Tramea</i>	
			EPHEMEROPTERA	BAETIDAE	<i>Baetis</i>
				LEPTOHYPHIDAE	<i>Haplohyphes</i>
				LEPTOPHLEBIIDAE	<i>Thraulodes</i>
					<i>Terpides</i>
					<i>Caenis</i>
		HEMIPTERA	CAENIDAE	<i>Caenis</i>	
			NAUCORIDAE	<i>Heleocoris</i>	
			BELOSTOMATIDAE	<i>Belostoma</i>	
			PLEIDAE	<i>Paraplea</i>	
			MESOVELIIDAE	<i>Mesovelia</i>	
		TRICHOPTERA	POLYCENTROPODIDAE	<i>Cyrnellus</i>	
			HYDROPSYCHIDAE	<i>Leptonema</i>	
		COLEOPTERA	HYDROPHILIDAE	<i>Berosus</i>	
				<i>Helobata</i>	
				<i>Derallus</i>	
				<i>Tropisternus</i>	
				<i>Donacia</i>	
				<i>Hydrocanthus</i>	
<i>Suphisellus</i>					
<i>Lampyridae</i>					
<i>Dytiscidae</i>					
<i>Cybister</i>					
<i>Laccobius</i>					
<i>Elodes</i>					
<i>Phanocerus</i>					
DIPTERA	CHIRONOMIDAE	Indeterminado			
	CERATOPOGONIDAE	<i>Alluaudomyia</i>			
	TABANIDAE	<i>Tabanus</i>			
		<i>Chrysops</i>			
	CULICIDAE	<i>Mansonia</i>			
		<i>Culex</i>			
		<i>Haemagogus</i>			
		<i>Psorophora</i>			
		<i>Anopheles</i>			
		<i>Odontomyia</i>			
MOLLUSCA	CRUSTACEA	CONCHOSTRACA	STRATYIOMIDAE	<i>Cyclestheria</i>	
	GASTROPODA	BASOMMATOPHORA	CYCLESTHERIIDAE	<i>Cyclestheria</i>	
			PLANORBIDAE	<i>Gyraulus</i>	
			PHYSIDAE	<i>Physa</i>	
			LYMNAEIDAE	<i>Fossaria</i>	
			ANCYLIDAE	<i>Ferrisia</i>	
			MESOGASTROPODA	AMPULLARIIDAE	<i>Pomacea</i>
					<i>Marisa</i>
ANNELIDA	OLIGOCHAETA	HAPLOTAXIDA	TUBIFICIDAE	Indeterminado	

Epoca de Aguas Altas (Junio 2001)

Se analizaron 29 estaciones, donde se determinaron y contaron 6856 macroinvertebrados en un área de 0.5 metros cuadrados, pertenecientes a 2 Phylum, 3 Clases, 9 órdenes, 28 familias y 42 géneros a excepción de los taxa *Lampyridae* y *Chironomidae* los cuales se determinaron a nivel de familia (**Tabla 14**). La clase Insecta fue la más abundante, seguida por las clases *Crustacea* y *Gastropoda*. Los insectos representaron la mayoría de familias y géneros mientras que de *Crustacea* solamente se encontró 1 taxón (género *Cyclestheria*), *Gastropoda* presentó 6 géneros y 5 familias (**Tabla 14**).

El género más predominante fue *Cyclestheria* (*Cyclestheridae*: *Conchostracoda*), el cual habita en la mayoría de los cuerpos de agua estudiados. No se presentó en la ciénaga El Mechón Sur (E-1), los caños Las Piñas y Negritos (E-15 y E-16) y el Río Chicagua, aguas arriba y aguas abajo (E-7 y E-8). La Ciénaga Mechón Sur (E-1) y el caño Los Negritos (E-15), se caracterizaron por registrar la conductividad más alta, $3780 \mu\text{Scm}^{-1}$ y $1083 \mu\text{Scm}^{-1}$, respectivamente. Esta variable pudo haber influido en la no existencia de éste crustáceo.

Tabla 14. Abundancia Total (Org/0.5 m²) de los Ordenes y Descripción Numérica de las Familias y Géneros. Epoca de Aguas Altas (Junio 2001) Cicuco-Bolívar

ORDEN	Total ind.	No. Familias	No. Géneros
ODONATA	381	3	5
EPHEMEROPTERA	36	4	5
HEMIPTERA	163	4	4
TRICHOPTERA	7	1	1
COLEOPTERA	842	5	10
DIPTERA	1819	5	9
CONCHOSTRACA	2813	1	1
BASOMMATOPHORA	607	4	4
MESOGASTROPODA	188	1	2
TOTAL	6856	28	41
TOTAL INSECTA	3248	22	34
TOTAL CRUSTACEA	2813	1	1
TOTAL GASTROPODA	795	5	6

En el Río Chicagua aguas arriba E-7 y aguas abajo E-8, la fuerza de la corriente impide la colonización de los *Cyclotheria*. Estos organismos, según Pennak (1978), se caracterizan por ser nadadores débiles que necesitan aguas tranquilas para su desarrollo, con conductividad menor a $500 \mu\text{Scm}^{-1}$ y buena disponibilidad de oxígeno.

El segundo taxón en cuanto a la frecuencia, fue la familia *Chironomidae*, que se presentó en todas las estaciones de muestreo. Esta familia tiene una gran plasticidad ecológica, que le permite vivir prácticamente en cualquier cuerpo de agua dulce (Roldán, 1988; Ospina, 1997). La mayor abundancia se reportó en la Ciénaga El Mechón Sur (E-1) donde existe la mas alta conductividad de todos los cuerpos de agua en estudio. La menor densidad estuvo en el Río Chicagua aguas arriba E-7 y aguas abajo E-8, determinada por el alto caudal que impide el establecimiento de los parches de buchón, con una fauna asociada estable

Época de Aguas Bajas (Agosto 2001)

Para la época de aguas bajas, se analizaron 33 estaciones, 4 más que en la época de aguas altas. Se contaron y determinaron 8080 individuos por 0.5 metros cuadrados, pertenecientes a 37 taxones de los cuales 2 se determinaron al nivel de familia y los restantes a género. Los organismos se agruparon en 28 familias, 10 órdenes, 4 clases y 3 Phylum (**Tabla 15**).

La clase más diversa fue *Insecta* por presentar el mayor número de familias (21) y géneros (28), luego *Gastrópoda*, con 5 familias y 6 géneros, mientras que *Crustacea* y *Oligochaeta* fueron las menos diversas con 1 familia y un género cada una (**Tabla 15**).

En orden de abundancia continuó la familia Chironomidae con el 16.44%. Este grupo por ser tolerante a grandes variaciones en la calidad del agua donde habita, se encontró en todos los cuerpos de agua en estudio. Su mayor abundancia se reportó para la Ciénaga Mechón Sur y la menor cantidad de individuos en el río Chicagua aguas arriba y aguas abajo (E-7 y E-8).

Tabla 15. Abundancia Total (Org/0.5 m²) de los Ordenes y Descripción Numérica de las Familias y Géneros. Epoca de Aguas Bajas (Agosto 2001) Cicuco-Bolívar

ORDEN	Total ind.	No. Familias	No. Géneros
ODONATA	538	3	4
EPHEMEROPTERA	43	3	3
HEMIPTERA	275	3	3
TRICHOPTERA	58	2	2
COLEOPTERA	1189	5	9
DIPTERA	1691	5	7
CONCHOSTRACA	1931	1	1
BASOMMATOPHORA	1416	4	4
MESOGASTROPODA	894	1	2
HAPLOTAXIDA	45	1	1
TOTAL	8080	28	36
TOTAL INSECTA	3794	21	28
TOTAL CRUSTACEA	2813	1	1
TOTAL GASTROPODA	795	5	6
TOTAL OLIGOCHAETA	45	1	1

El gastrópodo *Fossaria representó* el 15.6% de la abundancia total, de la cual la mayoría se concentró en la Ciénaga El Mechón Sur (E-1). Dicho género se favorece con los altos contenidos de iones y dureza que caracterizan ésta ciénaga, confirmando lo reportado por Roldán (1988), quien afirmó que los gastrópodos viven por lo general en ambientes con muchas sales, especialmente de carbonato de calcio elemento esencial para la construcción de la concha.

El gastrópodo *Marisa* representó el 10.63% de la abundancia total: Es un taxón de alta frecuencia que se encontró en la mayoría de los puntos de muestreo (27 de las 33 estaciones), excepto en las ciénagas El Mechón Centro E-2, La Borda Centro E-6 y Sangre Afuera E-30, los caños Negritos E-15 y Barranco E-27 y el río Chicagua abajo E-8. En su mayoría, eran individuos en estado inmaduro de desarrollo.

El Odonato *Dythemis*, también tuvo una alta frecuencia de aparición en los diferentes puntos de muestreo (presente en 24 de 33 estaciones). Según Merrit & Cummins (1996) estos organismos tienen gran movilidad y son predadores voraces que se esconden en los macrófitos.

Entre los géneros de baja abundancia se destacó el *Haplohyphes*, el cual solamente se encontró en el Río Chicagua aguas arriba y aguas abajo (E-7 y E-8). Según Edmunds y Waltz (1996), es común en los ecosistemas lóticos.

Cálculo del Índice BMWP/Col. de los sistemas lénticos

La evaluación de la calidad del agua se ha realizado tradicionalmente con base en los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos. Sin embargo en los últimos años muchos países han aceptado la inclusión de las comunidades acuáticas como un hecho fundamental para evaluar la calidad de los ecosistemas acuáticos. Para el ecólogo un ecosistema acuático es un sistema funcional en el cual hay un intercambio cíclico de materia y energía entre los organismos vivos y el ambiente abiótico.

En los últimos años el concepto de calidad de las aguas ha ido cambiando rápidamente de un enfoque puramente fisicoquímico a otro que integre todos

los componentes del ecosistema. Es así como un organismo puede ser considerado como un buen indicador de la calidad del agua, cuando se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y cuando su población es porcentualmente superior o ligeramente similar al resto de los organismos con los que comparte el mismo hábitat.

De esta manera, en ríos de montañas de aguas frías y oligotróficas se espera encontrar poblaciones dominantes de Efemerópteros, Tricópteros y Plecópteros pero también se pueden encontrar en bajas proporciones Odonatos, Hemípteros, Dípteros, Neurópteros, Ácaros y Crustáceos. Por el contrario, en ríos y quebradas que están siendo contaminadas con materia orgánica, de aguas turbias, con poco oxígeno y eutrofizadas, se pueden encontrar poblaciones dominantes de Oligoquetos, Quironómidos y ciertos moluscos. Ocasionalmente aparecen algunos individuos que se consideran indicadores de aguas limpias (Alba-Tercedor, 1996).

Teniendo en cuenta que el índice BMWP (Biological Monitoring Work Party) ha sido calculado en varios de los ecosistemas nacionales por autores tales como Roldán y Zúñiga de Cardozo, a continuación se presenta una valoración aproximada de la calidad de los ecosistemas lénticos del área de influencia del campo Cicuco – Boquete basado en el documento denominado “Los macroinvertebrados acuáticos y su uso como bioindicadores de la calidad del agua” Roldan (2001) el cual establece unos puntajes para las diferentes familias de organismos acuáticos. (**Tabla 16**)

El cálculo se hizo en base a la puntuación para las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col (Roldán) (**Tabla 17**)

Tabla 16. Valoración del Índice bmwp según Familias Reportadas

FAMILIAS	PUNTAJES
Perlidae, Oligoneuridae, Helicopsychidae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Lampiridae, Odontoceridae, Blepharoceridae, Psephenidae, Hidridae, Chordodidae, Lymnessiidae "hidracáridos".	10
Leptophlebiidae, Euthyplociidae, Leptoceridae, Xiphocentronidae, Dytiscidae, Polycentropodidae, Hydrobiosidae, Gyrinidae.	9
Veliidae, Gerridae, Philopotamidae, Simuliidae, Pleidae, Trichodactylidae, Saldidae, Lestidae, Pseudothelphusidae, Hebridae, Hydrobiidae.	8
Baetidae, Calopterygidae, Glossossomatidae, Corixidae, Notonectidae, Leptohiphidae, Dixidae, Hyalellidae, Naucoridae, Scirtidae, Dryopidae, Psychodidae, Coenagrionidae, Planariidae, Hydroptilidae, Caenidae.	7
Aneylidae, Lutrochidae, Aeshnidae, Libellulidae, Elmidae, Staphylinidae, Lymnychidae, Neritidae, Piliidae, Megapodagrionidae, Corydalidae.	6
Hydropsychidae, Gelastocoridae, Belostomatidae, Nepidae, Pleuroceridae, Tabanidae, Thiaridae, Pyralidae, Planorbidae.	5
Chrysomelidae, Mesovelidae, Stratiomidae, Empididae, Dolycopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae.	4
Hirudinea (Glossiphoniidae, Cyclobdellidae), Physidae, Hydrometridae, Hydrophilidae, Tipulidae, Ceratopogonidae.	3
Chironomidae, Culicidae, Muscidae.	2
Oligochaeta (Tubificidae).	1

Tomado de: Roldan, 2001

Tabla 17. Valoración de la Calidad de las Aguas según el BMWP/col

CLASE	CALIDAD	bmwp/col	SIGNIFICADO
I	Buena	> 150	Aguas muy limpias, no contaminadas
		101 - 120	o poco alteradas
II	Aceptable	61 - 100	Aguas ligeramente contaminadas
III	Dudosa	36 - 60	Aguas moderadamente contaminadas
IV	Crítica	16 - 35	Aguas muy contaminadas
V	Muy Crítica	< 15	Aguas fuertemente contaminadas

Tomado de: Roldan, 2001

De esta forma, se compararon los individuos obtenidos en el monitoreo de los ecosistemas lénticos y se realizó la valoración para las dos épocas climáticas. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 18. Cálculo del Índice BMWP/col para Ecosistemas Lénticos del Área de Influencia del Campo Cicuco-Boquete

CIENAGAS	EPOCA AGUAS ALTAS	EPOCA AGUAS BAJAS
	Bmwp/Calidad	Bmwp/Calidad
Mechón	51	42
Mechón (Ponches)	69	66
La Borda	79	65
Corralito	62	58
Guacamayas	59	72
Tortuga	48	37
Boquete	45	52
Cerrito Viejo	55	54
Cerrito	71	76
Mojarras	37	53
Los Patos	56	69
Mimbres	24	66
Las Pavas	63	90
Guayacanes	53	56
Macho Solo	60	64
Sangre Afuera	*	47
Pajaral	*	77
Gato	*	73
Batatal (Testigo)	*	56

* No fue realizado el muestreo

La tendencia general de los cuerpos de agua lénticos observada a través del índice BMWP/col para la época de aguas altas, permitió establecer una calidad aceptable para el 33% de las ciénagas y dudosa para el 60% de las estaciones. Solamente un ecosistema fue considerado de calidad crítica (Ciénaga Los Mimbres) porque en los monitoreos microbiológicos presentó un alto nivel de Coliformes Totales y Fecales producidos posiblemente por actividades pecuarias, ya que esta zona es utilizada como pastoreo de ganado bovino. Esta situación fue también confirmativa con los resultados reportados en los índices de contaminación durante esta misma época de muestreo, específicamente ICOMO. En general la tendencia de los ecosistemas lénticos durante esta época climática está también determinada tanto por el intercambio hídrico como por actividades antrópicas.

Por otra parte, durante la época de aguas bajas en las ciénagas del área de influencia del campo Cicuco – Boquete, se observó un aumento en el valor de clasificación de la calidad de las aguas, pues del 33% de calidad aceptable pasó a un 53% de la totalidad de las ciénagas. En cuanto a la condición de aguas dudosas o moderadamente contaminadas éstas descendieron en número pasando del 60% al 47%, desapareciendo incluso la condición crítica de la ciénaga Los Mimbres. Sin embargo, al comparar los resultados con los ICO's, se observó que las condiciones empeoraron lo cual demuestra que las condiciones fisicoquímicas son una situación puntual y momentánea, mientras que las comunidades registran cambios de mas permanencia en el tiempo.

Con respecto a la ciénaga Batatal, tomada como ciénaga testigo y localizada fuera del área de influencia del campo petrolero, es importante destacar su condición de calidad de agua dudosa o moderadamente contaminada respondiendo a las condiciones generales de gran cantidad de cuerpos de agua del Valle Medio y Bajo de la cuenca del Magdalena. Esta condición

también fue registrada por los cálculos de los Índices de Contaminación., y era de esperarse, ya que las cuencas medias a medias-bajas tienen calidades de cuencas características de su condición geográfica. No se puede esperar encontrar cuencas medias con calidades de aguas de cuencas altas a altas-medias.

Es importante destacar lo propuesto por Ramírez y Viña (1998) quienes plantearon que la capacidad homeostática es intrínseca a cada ecosistema, varía sobre los gradientes espaciales y temporales, y ésta cambia según se trate de épocas de inundación, estiaje o estabilidad en el nivel de las aguas.

Cálculo del Índice BMWP/col. de los sistemas lóticos

Teniendo como referencia la información planteada en la valoración de los impactos sobre los sistemas lóticos, a continuación se realizó la evaluación de calidad de los cuerpos de agua lóticos basados en la presencia de organismos indicadores según Roldan (2001).

En la **Tabla 19**, se presentan los resultados para el índice BMWP/col en los ríos y caños del área de influencia del Campo Cicuco – Boquete.

Tabla 19. Cálculo del Índice BMWP/col para Ecosistemas Lóticos del Área de Influencia del Campo Cicuco-Boquete

RIOS – CAÑOS	EPOCA AGUAS ALTAS	EPOCA AGUAS BAJAS
	BMWP/Calidad	BMWP/Calidad
Chicagua Aguas Arriba	67	32
Chicagua Aguas Abajo	70	34
Violo Aguas Arriba	86	62
Violo Aguas Abajo	49	47
Caño Negritos	50	54
Caño Las Piñas	53	47
Caño Barranco	70	41

Con respecto a la clasificación de la calidad de las aguas según el índice BMWP/col se observó la influencia marcada del régimen de lluvias sobre la calidad de las aguas, superior al posible efecto generado por el vertimiento del campo petrolero. Es así como el análisis del Caño Chicagua realizado aguas arriba y aguas abajo del vertimiento permitió observar la baja incidencia del vertimiento sobre el cuerpo lótico pues la calidad del agua se mantuvo como aceptable para la época de aguas altas. Mientras que en la época de aguas bajas, el vertimiento le imprime al ecosistema del Chicagua tanto aguas arriba como abajo una calidad crítica, evidenciando la incidencia directa del efluente sobre el ecosistema y la mayor capacidad de asimilación del Chicagua en la época de aguas altas.

Por otra parte, el Caño Violo directamente afectado por la población del municipio de Cicuco al ser el cuerpo receptor de las aguas residuales domésticas de la población de El Limón y Punta Cartagena, presentó una tendencia a disminuir la calidad del ecosistema aguas abajo de la población y mantuvo esta condición en ambas temporadas climáticas.

En relación con el caño Negritos, el cual comunica la ciénaga El Mechón Sur con el sector de los Ponches y el Caño Las Piñas, presentó una condición aceptable de calidad determinada posiblemente por la dinámica natural del ecosistema que garantiza un intercambio de nutrientes marcada incluso para las dos épocas climáticas e influenciada por los aportes naturales del ecosistema. Los resultados registrados a partir del comportamiento de las comunidades en los sistemas lóticos también fueron confirmados en gran medida por los valores encontrados en los índices de contaminación evaluados sobre estos mismos puntos de muestreo. Esto reafirma una vez más la necesidad de la aplicación de índices complementarios bióticos y fisicoquímicos en las evaluaciones ambientales que integren la respuesta de más de un parámetro o comunidad involucrada.

4. CONCLUSIONES

El muestreo de las condiciones fisicoquímicas de un recurso (agua, aire o suelo), debe considerarse un valor puntual y momentáneo de evaluación, ya que las condiciones ambientales cambian en cada instante. Por esta razón es necesario realizar además una evaluación de las comunidades presentes en el medio (cuando se presenten) que permita complementar la interpretación y realizar diagnóstico más ecosistémico.

Los índices ICO's y el BMWP calificaron el sistema cenagoso de la Depresión Momposina como de cuenca *media a media-baja*, demostrando la integralidad de su aplicación, a pesar de que los factores de evaluación son totalmente diferentes.

El muestreo fisicoquímico de aguas superficiales y aguas profundas no es significativo en sistemas cenagosos, en los que las profundidades oscilan entre 1.5 a 2.5 metros, generando si gastos innecesarios de tiempo y dinero.

Existe una gran semejanza, especialmente en la época de aguas bajas, entre los taxa que componen la comunidad asociada a las raíces de *E. crassipes* de los diferentes cuerpos de agua, dada la homogeneidad del sustrato ofrecido por los macrófitos y la baja variación de la condiciones fisicoquímicas en la zona de estudio.

La ciénaga testigo, Batatal, se asemeja a la mayoría de las ciénagas del complejo, diferenciándose solamente de la ciénaga Mechón Sur, debido a sus condiciones *sui generis* por su histórico como reservorio de residuos industriales.

BIBLIOGRAFÍA

Alba-Tercedor, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad del agua de los ríos. IV Simposio de Agua en Andalucía (SIAGA), Almería, Vol. II: 203-213.

Arias, P. 1985. Las ciénagas de Colombia. Divulgación Pesquera – INDERENA 22(3-5):38-70.

Ducharme, A. 1975. Informe Técnico de la biología pesquera (Limnología). Pul.Proy.Desarr. Pesca Cont. INDERENA –FAO, Colombia 4:1-42.

FDA, 1993. Guidance document for Chromium in sellfish. Washington, D.C. USA.

Fernández, A. 1968. Contribución al conocimiento de la familia Doradidae en Venezuela. Bol. Inst. Oceanog. Univ. Oriente. Vol 7, No.1: 7-73.

García, L.C. 1987. The role of allochthonous materials on the limnological function and ecology of alluvial plain lakes in northern Colombia. Inedito.

García-Lozano, L. C. & E. Dister. 1990. La planicie de inundación del medio-bajo Magdalena: Restauración y conservación de hábitats. Interciencia Nov-Dic 15 (6): 396-410.

Geocing, Ltda. 2000. Diagnóstico ambiental del área de influencia de los campos Cicuco-Boquete (Fase I del plan de manejo ambiental) Informe final. Bogotá.

ICP, 2001b. Informe de Elementos Probatorios en Cumplimiento del Auto 666/2000 del Ministerio del Medio Ambiente. Capítulo Cinco: Análisis Geomorfodinámico.

ICP, 2001e. Informe de Elementos Probatorios en Cumplimiento del Auto 666/2000 del Ministerio del Medio Ambiente. Capítulo cuatro: Levantamiento de información Secundaria Relación de la dinámica Hídrica en la Zona de Influencia.

Johnson, Wiederholm & Rosemberg, D.M. 1993. En: Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. Chapman & Hall, New York.
Margalef, R. 1983. Limnología. Omega, Barcelona.

Merrit, W. & K. W. Cummins. 1996. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. 3ª edición. Kendall-Hunt Pub. Iowa.

National Research Council Canada. 1981. Effects of nickel in the Canadian environment. IP:VI NRCC Report N° 18568.

Ospina, R. 1997. CHIRONOMIDAE. Seminario Invertebrados Acuáticos y su Utilización en Estudios Ambientales. Socolen-Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

Payne, I. 1986. The Ecology of tropical lakes and rivers. John Wiley & Sons. 301 p.

Pennak, R. 1978. Fresh Water Invertebrates of the United States. 2ª ed. Awiley-Interscience Publication. New York.

Prat, N. & Gonzalez, M. 1986. Comparación crítica de dos índices de calidad del agua: ISQA y Bill. En: Seminario Internacional Macroinvertebrados Acuáticos. Cali, Colombia. 1997.

Prat, N. & Rieradevall, M.. 1997. Criterios de evaluación del agua en lagos y embalses basados en los Macroinvertebrados bentónicos 1996. En: Seminario Internacional Macroinvertebrados Acuáticos. Cali, Colombia.

Ramirez, A. & G. Viña. 1998. Limnología Colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. BP Exploration Company (Colombia) LTD. Por la Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Reddy, E. M., D'Angelo, E.M., DeBusk, T.A. 1989. Oxygen transport through aquatic macrophytes: the role in wastewater treatment. J. Environ. Qual. 19: 1019-1024.

Roldán, G. 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Fondo FEN-Colombia, Colciencias, Universidad de Antioquia. Ed. Presencia Bogotá.

Roldán, G. 1992. Fundamentos de Limnología Neotropical. Ed. Universidad de Antioquia. Medellín.

Roldan, G. 2001. Los macroinvertebrados acuáticos y su uso como bioindicadores de la calidad del agua. Taller: MEDIDAS DE LA BIODIVERSIDAD EN BIOLOGIA Y PALEOBIOLOGIA. Universidad EAFIT - Sociedad Colombiana de Paleontología. Medellín.

Thorp, J. & Covich, A. 1991. Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates. Academic Press, Inc. San Diego, California.

U.S.. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY EPA. 1986. Methods for Chemical Analisis of Water and Wastes.

Viña, G., R. Restrepo & J. I. Mojica. 1994. El bentos y los organismos asociados a macrófitas en ecosistemas de planos de inundación. Memorias segundo seminario nacional de limnología. Medellín.

Viña, G., Ramírez, A., Lamprea, L., Garzon, B., Schmidt-mumm, U., Rondon, E. & Florez, C. 1991. Ecología de la Ciénaga de la Zapatosa y su relación con un derrame de petróleo. ECOPETROL-DCC,Cúcuta. 114 p.

Viña, G., Restrepo, R., Mojica, J.I., Pabón, M., Contreras, M., Santos, S. 1991. Estudio ecológico de las zonas afectadas por derrames de petróleo durante 1988 en el área de influencia del oleoducto Caño Limón-Coveñas. ECOPETROL-DCC-ICP, Cúcuta.

World Health Organization, 1988a. Environmental Health Criteria IP: VI:61. 197 pg. Cromo.

World Health Organization, 1988b. Environmental Health Criteria IP: VI:81. 170 pg. Vanadio.

World Health Organization, 1989. Environmental Health Criteria IP: VI:86 115 pg. Mercurio.

World Health Organization, 1990. Environmental Health Criteria IP: VI:107 148 pg. Bario.

World Health Organization, 1991. Environmental Health Criteria. International Health Criteria 108 VI. 356 pg. Níquel.

ANEXOS

Anexo B. Tablas de Resultados Físico químicos

TABLA 5a Resultados Análisis Físicoquímico de las Aguas a Nivel Superficial. Epoca de Aguas Altas (Junio 2001) Cicuco - Bolivar.

PARAMETRO	UNIDADES	ESTACIONES DE MUESTREO														
		E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12	E-13	E-14	E-15
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	3780	383	175.6	302	313	304	159.7	160.2	172.8	188.1	164.5	188.4	185.6	185.7	1125
PH	Unidades	7.84	8.01	7.27	6.87	6.97	7.21	7.32	7.37	7.21	6.96	7.1	6.88	7.15	7.08	6.42
O.D.	mg/L	7.56	9.85	5.81	4.7	5.98	6.58	5.8	5.53	7.71	4.1	4.89	6.52	5.29	5.24	8.06
SATURACION O2	%	102	124.3	78.4	59.9	77.2	86.2	76.1	73.5	103.9	57.2	61.1	73.8	57.2	68.5	106.3
TEMP. MUESTRA	oC	29.7	30.5	28.8	28.7	29.4	30	29	29.2	30.7	30.9	32.2	30	29.9	30.5	30.4
TRANSPARENCIA D.S	cm	20	25	18	38	44	30			20	30	16	19	15	18	40
ALCALINIDAD	mg CaCO3/L	37.86	48.85	58.32	33.57	33.79	34.22	60.04	61.55	61.76	55.28	59.71	58.24	58.03	58.66	11.95
DBO5	mg O2/L	7	6	1	2	2	2	1	0.5	2	3	2	2	2	1	4
DQO	mg O2/L	34	12	5	8	18	17	48	53	19	11	61	18	51	60	36
DUREZA TOTAL	mg CaCO3/L	770.66	144.2	76.24	99.88	103.82	96.92	76.83	79.39	78.3	79.39	71.91	80.18	79.19	78.8	469.81
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	27	78	85	26	23	24	873	907	58	32	100	61	73	68	33
FOSFORO TOTAL	mg P /L	0.172	0.099	0.085	0.066	0.041	0.042	0.05	0.037	0.009	0.056	0.168	0.048	0.048	0.059	0.039
FENOLES	mg/L	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
COLIF. FECALES	NMP/100 mL	2	17	23	1.5	1.5	1.5	1300	170	30	130	130	230	80	40	2
COLIF. TOTALES	NMP/100 mL	30	30	170	13	80	23	1300	170	80	110	230	1100	300	220	90

PARAMETRO	UNIDADES	ESTACIONES DE MUESTREO													
		E-16	E-17	E-18	E-19	E-20	E-21	E-22	E-23	E-24	E-25	E-26	E-27	E-28	E-29
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	684	304	180.6	173.4	180.2	242	194.7	172.2	252	180.2	182.2	179.2	184.2	184.9
PH	Unidades	6.52	7.02	6.73	7.03	6.98	6.76	7.07	6.85	6.79	6.96	7.19	6.76	6.89	6.8
O.D.	mg/L	0.285	12.62	4.1	7.18	8.61	6.26	5.37	5.57	4.37	4.15	7.05	3.34	4.8	3.09
SATURACION O2	%	2.7	165.9	54.3	100.5	123.8	80.2	68.7	75.8	59.2	57.4	107.2	44.7	64.6	40.7
TEMP. MUESTRA	oC	29.9	32.9	30.2	33.3	34.5	30.8	29.6	31.5	31.2	32.2	37.4	30.5	30.6	30.2
TRANSPARENCIA D.S	cm	15	30	20	25	33	34	22	13	40	20	22	16	24	25
ALCALINIDAD	mg CaCO3/L	68.1	47.38	60.91	61.76	61.97	53.09	57.18	61.97	59.64	61.76	62.18	61.97	61.55	62.6
DBO5	mg O2/L	22	2	2	3	3	2	2	1	3	3	3	3	3	3
DQO	mg O2/L	63	68	63	43	35	32	13	31	34	25	11	20	22	15
DUREZA TOTAL	mg CaCO3/L	270.65	138.42	86.36	79.33	79.75	101.85	81.76	81.4	116.11	89.04	87.6	80.99	84.29	81.19
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	89	9	62	34	16	22	39	109	14	44	34	67	34	22
FOSFORO TOTAL	mg P /L	0.129	0.086	0.178	0.041	0.006	0.056	0.009	0.112	0.047	0.022	0.055	0.108	0.053	0.047
FENOLES	mg/L	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
COLIF. FECALES	NMP/100 mL	170	< 2	70	30	11	2	20	2200	16000	40	4	300	30	30
COLIF. TOTALES	NMP/100 mL	500	13	300	170	90	30	80	2200	16000	500	30	500	30	240

TABLA 5b Resultados Análisis Físicoquímico de las Aguas a Nivel Fondo. Época de Aguas Altas (Junio 2001) Cicuco - Bolivar.

PARAMETRO	UNIDADES	ESTACIONES DE MUESTREO														
		E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12	E-13	E-14	E-15
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	3740	393	178.5	312	309	306	159.8	161.2	173	188.1	163.5	188.8	185.9	186.6	1083
PH	Unidades	8.72	7.33	7.37	6.76	6.97	7.29	7.76	7.45	6.96	7.01	7.31	7.1	7.21	7.14	6.31
O.D.	mg/L	8.24	6.97	5.77	4.4	5.1	5.41	5.29	5.65	6.8	3.46	4.36	5.36	5.22	5.5	1.55
SATURACION O2	%	114.3	88.3	75.3	54.8	65.9	69.9	66.7	73.1	91.9	46.4	60.2	69.5	69.3	71.4	20.3
TEMP. MUESTRA	oC	29.6	27.6	29.1	28.8	29.4	30	29.2	29.5	30.6	30.8	31.3	29.5	29.2	30.9	29.3
PROFUNDIDAD	metros	0.5	0.75	2.48	1.2	1.12	1.47	15 * 15 *		1.4	1.07	1.3	1.96	14.3	4	3.85
ALCALINIDAD	mg CaCO3/L	38.74	49.28	58.96	34	34	34	61.33	60.69	62.6	55.49	59.92	57.81	58.66	58.45	13.96
DBO5	mg O2/L	7	3	2	2	2	3	2	1	2	2	2	2	1	2	3
DQO	mg O2/L	50	23	8	2	14	47	51	23	20	27	23	26	48	71	51
DUREZA TOTAL	mg CaCO3/L	753.72	142.23	76.63	99.29	103.23	98.89	77.62	78.6	79.13	79.59	72.5	80.38	79.59	78.41	442.95
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	581	252	154	34	26	29	887	697	62	34	215	66	82	79	33
FOSFORO TOTAL	mg P /L	0.078	0.197	0.063	0.085	0.042	0.061	0.033	0.066	0.041	0.056	0.273	0.078	0.056	0.077	0.093
FENOLES	mg/L	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
BARIO	mg/L	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
CROMO	mg/L	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02
NIQUEL	mg/L	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
VANADIO	mg/L	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5

* Profundidad medición oxígeno disuelto.

PARAMETRO	UNIDADES	ESTACIONES DE MUESTREO														
		E-16	E-17	E-18	E-19	E-20	E-21	E-22	E-23	E-24	E-25	E-26	E-27	E-28	E-29	
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	680	317	187.7	174	174.7	242	198.1	173.1	252	181.2	189.5	179.6	185.3	184.8	
PH	Unidades	6.53	7.21	7.04	6.96	7.2	6.89	7.08	6.95	6.81	7.05	6.85	6.78	7.1	6.83	
O.D.	mg/L	0.42	9.15	4.4	6.1	6.62	6.94	3.34	5.35	4	4.04	4.49	3.11	4.31	2.97	
SATURACION O2	%	4.9	139.5	57.8	82.3	91.7	90.2	43.5	72.1	54.7	53.3	59	40.4	57.2	39.4	
TEMP. MUESTRA	oC	29.4	31.9	30.6	31.8	33.5	30.2	29.2	31.4	31.1	32	31.7	30.4	30.2	30.3	
PROFUNDIDAD	metros	0.83	1.45	1.17	1.3	1.18	0.8	1.72	1	1.47	0.98	1.85	1.95	1.7	1.14	
ALCALINIDAD	mg CaCO3/L	70.85	46.53	62.18	62.39	60.91	53.51	58.03	62.6	60.28	62.82	60.49	62.18	61.76	62.82	
DBO5	mg O2/L	20	5	2	2	2	2	2	2	3	2	4	3	4	3	
DQO	mg O2/L	90	57	39	50	35	37	19	29	33	15	13	12	18	14	
DUREZA TOTAL	mg CaCO3/L	249.99	130.98	82.85	78.92	75.82	98.75	82.54	78.51	112.8	82.23	85.12	77.06	80.78	79.75	
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	234	16	62	46	44	22	71	160	17	66	44	63	52	21	
FOSFORO TOTAL	mg P /L	0.066	0.041	0.042	0.034	0.005	0.067	0.048	0.037	0.055	0.052	0.072	0.039	0.075	0.063	
FENOLES	mg/L	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	
BARIO	mg/L	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	
CROMO	mg/L	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	
NIQUEL	mg/L	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	
VANADIO	mg/L	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	

TABLA 6b Resultados Análisis Físicoquímico de las Aguas a Nivel Fondo. Época de Aguas Bajas (Agosto 200) Cicuco - Bolivar.

PARAMETRO	UNIDADES	ESTACIONES DE MUESTREO															
		E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12	E-13	E-14	E-15	E-17
PROFUNDIDAD	metros	0.6	0.6	2	0.75	0.95	1.85	3.5	5.7	0.95	1.4	0.6	1.28	3.75	8.5	3.65	0.75
CONDUCTIVDAD	µS/cm	5350	248	135	375	377	378	127	128	160	141	132	131	130	129	591	302
PH	Unidades	7.96	6.99	6.76	7.07	6.81	7.3	7.15	7.29	7.23	6.63	6.89	7.12	7.07	7.02	7.47	8.27
O.D.	mg / L	5.05	4.78	5.48	5.4	3.85	5.47	5.88	5.9	5.22	3.58	5.69	4.74	4.73	4.81	1.87	7.16
SATURACION O2	%	67.6	64.2	72.3	72.3	52.2	74.5	68.7	127.6	59.8	47.3	75	58.5	62.2	54.3	25.1	74.2
TEMP. MUESTRA	oC	30.5	30.2	30.1	30.9	31.3	31.4	29.9	30.2	28.4	30	30.4	29.8	31	30.6	30.3	31.3
ALCALINIDAD T.	mg CaCO3/L	59.34	64.66	53.25	41.58	41.03	42.13	50.17	49.62	64.03	59.2	52.44	52.95	55.63	52.51	63.82	60.74
DBO5	mg O2/L	10	5	3	4	4	5	4	4	4	3	2	5	5	5	6	8
DQO	mg O2/L	106	20	18	14	12	10	39	43	58	19	25	20	22	15	54	29
DUREZA TOTAL	mg CaCO3/L	1079.33	92.43	58.74	126.39	133.52	134.31	69.82	58.75	73.78	60.11	56.39	57.36	59.94	58.55	211.97	130.15
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	28	185	81	44	18	17	284	420	61	41	65	74	90	101	70	10
FOSFORO TOTAL	mg P /L	0.028	0.446	0.044	0.075	0.026	0.069	0.127	0.260	0.080	0.028	0.069	0.048	0.118	0.276	0.138	0.124
FENOLES	mg/L	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
BARIO	mg/L	0.65	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
CROMO TOTAL	mg/L	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02
NIQUEL	mg/L	0.09	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
MERCURIO	µg/L	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6
VANADIO	mg/L	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
HAP's	mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
HPT	mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

PARAMETRO	UNIDADE	ESTACIONES DE MUESTREO															
		E-18	E-19	E-20	E-21	E-22	E-23	E-24	E-25	E-26	E-27	E-28	E-29	E-30	E-31	E-32	E-33
PROFUNDIDAD	metros	0.93	0.95	0.75	0.73	1.08	0.9	0.91	0.4	1.62	1.55	1.0	0.6	1.13	1.3	0.5	0.52
CONDUCTIVDAD	µS/cm	150	144	142	179	141	144	241	171	136	140	143	150	132	237	158	381
PH	Unidades	6.78	7.03	7.13	6.98	6.98	7.14	7.31	6.67	6.93	7.06	7.19	6.67	6.91	8.62	7.25	6.75
O.D.	mg / L	2.98	3.63	5.53	4.83	4.46	4.76	4.17	0.2	5.1	4.5	5.98	0.61	5.13	7.55	4.93	4.43
SATURACION O2	%	37.1	45.5	69.4	56.4	60.2	59.2	51.4	2.7	58.8	54.3	81.8	7.04	63.7	102.8	59.8	52.9
TEMP. MUESTRA	oC	29.8	31.4	30.7	3.8	31.2	31	30.8	32.2	30.2	31.6	32.1	29.7	30.2	32.2	31.9	31.2
ALCALINIDAD T.	mg CaCO3/L	67.42	61.86	60.08	84.11	56.52	58.3	85.22	78.77	54.74	56.52	56.74	62.08	52.29	105.91	60.94	19.51
DBO5	mg O2/L	5	6	9	7	6	5	6	5	7	6	6	7	6	8	11	4
DQO	mg O2/L	18	19	11	17	22	15	28	19	15	23	11	24	35	36	19	13
DUREZA TOTAL	mg CaCO3/L	75.36	63.1	65.67	80.7	59.34	73.19	113.54	72.59	61.32	63.3	63.69	64.48	57.36	87.23	69.63	166.55
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	51	54	40	27	65	81	48	17	71	108	78	12	76	31	173	109
FOSFORO TOTAL	mg P /L	0.077	0.078	0.063	0.055	0.053	0.130	0.056	0.121	0.159	0.099	0.085	0.026	0.123	0.022	0.105	0.112
FENOLES	mg/L	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
BARIO	mg/L	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
CROMO TOTAL	mg/L	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02
NIQUEL	mg/L	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
MERCURIO	µg/L	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6
VANADIO	mg/L	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
HAP's	mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
HPT	mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.