

B. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL LAGO DE TOTA Y SUS PRINCIPALES TRIBUTARIOS



Alberto Ramírez
Biólogo Marino. Profesor – Investigador PUJ

Ana María Paeres
Ecóloga PUJ

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. METODOLOGÍA.....	2
2.1 Generalidades.....	2
2.2 Índices e Indicadores.....	7
2.3 Cálculo de Cargas.....	13
2.4 Fitoplancton Superficial.....	13
3. JUSTIFICACIÓN.....	15
4. CARACTERIZACIÓN.....	16
4.1 Sistema léntico.....	16
4.2 Sistema Lótico.....	17
4.3 Fitoplancton.....	21
4.4 Relación con el Uso del Suelo.....	27
5. PROBLEMÁTICA Y POTENCIALIDADES.....	29
5.1 Debilidades.....	29
5.2 Oportunidades.....	30
5.3 Fortalezas.....	30
5.4 Amenazas.....	30
5. SÍNTESIS.....	31
BIBLIOGRAFÍA.....	34
ANEXOS.....	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones de monitoreo en el programa adelantado por CORPOBOYACA. _____	3
Tabla 2. Variables determinadas en el programa de monitoreo de aguas epicontinentales de CORPOBOYACA. _____	4
Tabla 3. Ubicación de las estaciones lénticas evaluadas por la Universidad Javeriana en junio de 2005. _____	6
Tabla 4. Nivel de contaminación acorde a los valores de los índices. _____	7
Tabla 5. Valores de referencia para aguas con <i>E.coli</i> . _____	11
Tabla 6. Concentración de coliformes fecales para contacto primario (De: CEPIS). _____	12
Tabla 7. Valores de referencia para diversidades alfa y beta con base en el índice de Shannon-Wiener (De: Ramírez, 1999a). _____	14
Tabla 8. Valores de referencia para la interpretación del dendrograma (De: Ramírez 2005).__	15
Tabla 9. Número de especies fitoplanctónicas en sistemas lénticos de alta montaña (Con base en Andrade <i>et al.</i> , 1991 en Bermúdez <i>et al.</i> , 2002; Donato-Rondón, 2001). _____	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema metodológico implementado en el análisis de calidad de las aguas epicontinentales. _____	2
Figura 2. Ubicación de las estaciones de monitoreo evaluadas por CORPOBOYACA. _____	4
Figura 3. Ubicación de las estaciones lénticas evaluadas por la Universidad Javeriana en junio de 2005. _____	6
Figura 4. Función del amonio Proyecto MOEBA (de Zwart y Trivedi, 1992, en Fernández y olano, 2005). _____	10
Figura 5. Función del nitrógeno Proyecto MOEBA (de Zwart y Trivedi, 1992, en Fernández y Solano, 2005). _____	10
Figura 6. Función de nitritos y nitratos Proyecto AMOEBA (de Zwart y Trivedi, 1992, en Fernández y Solano, 2005). _____	10
Figura 7. Función del fósforo total Proyecto MOEBA (de Zwart y Trivedi, 1992, en Fernández y Solano, 2005). _____	10
Figura 8. Función de los ortofosfatos Proyecto AMOEBA (de Zwart y Trivedi, 1992, en Fernández y Solano, 2005). _____	10
Figura 9. Relación entre el número de Unidades Formadoras de Colonias de <i>Escherichia coli</i> por 100 ml y el índice de contaminación respectivo. _____	12
Figura 10. Relación entre el número de colonias de coliformes Fecales y el índice de calidad respectivo. _____	12
Figura 11. Cargas mensuales del fósforo total. _____	19
Figura 12. Cargas mensuales del nitrógeno total. _____	19
Figura 13. Cargas mensuales del oxígeno total. _____	20
Figura 14. Cargas mensuales de la DBO ₅ . _____	20
Figura 15. Cargas mensuales de sólidos disueltos. _____	21
Figura 16. Cargas mensuales de sólidos suspendidos. _____	21
Figura 17. Número de géneros fitoplanctónicos encontrados en cada uno de los grupos identificados. _____	22
Figura 18. Contribución porcentual de los grupos fitoplanctónicos en la densidad total. _____	23
Figura 19. Densidad de fitoplancton _____	24
Figura 20. Número de géneros fitoplanctónicos encontrados en cada estación. _____	25
Figura 21. Dendrograma de similitud Bray-Curtis para las estaciones de Fitoplancton. _____	26
Figura 22. Dendrograma de similitud Morisita para las estaciones de Fitoplancton. _____	27
Figura 23. Análisis de regresión entre el primer eje del análisis de componentes principales y la altitud. _____	28
Figura 24. Diagrama sistémico que muestra las principales relaciones de la calidad del agua del Lago con otras actividades productivas de la región. _____	29

1. INTRODUCCIÓN

El agua como otros recursos naturales, se definen como “una forma de energía y/o de materia, que es indispensable para el funcionamiento de los organismos, las poblaciones y los ecosistemas, y que, para el caso humano, corresponde a una forma de energía o de materia indispensable para asegurar las necesidades fisiológicas, socioeconómicas y culturales que aseguren el bienestar individual y colectivo” (Ramade, 1994, en SIAC, 2002).

La importancia del recurso hídrico queda manifiesta en el acuerdo de Río donde se identificó la necesidad de mantener un monitoreo permanente de las fuentes más importantes, el cual involucre tanto su cantidad como su calidad, así como las actividades antrópicas que afectan el recurso.

Para el caso particular de Colombia, el decreto 1600 de 1994, contempla que el IDEAM propondrá al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, protocolos, metodologías, normas y estándares para el acopio de datos, el procesamiento, la transmisión, el análisis y la difusión de la información que sobre el medio ambiente y los recursos naturales realicen los Institutos de Investigación Ambiental, las Corporaciones y demás entidades que hacen parte del Sistema Nacional Ambiental. Los objetivos de estos programas de monitoreo a implementar en cada zona elegida por las Corporaciones, son los siguientes (IDEAM, 2004):

- a. Determinar de manera cuantitativa el estado del recurso hídrico y su dinámica espacio temporal.
- b. Determinar el uso del agua por categoría.
- c. Reconocer mediante indicadores la efectividad en la aplicación de instrumentos económicos para garantizar la descontaminación y renovabilidad del recurso.
- d. Reconocer las limitaciones presentes en el programa de monitoreo.
- e. Reconocer niveles de amenaza o riesgo por inundación y sequía.
- f. Contar con información estandarizada y homologada para usuarios y tomadores de decisiones.
- g. Proponer e implementar estrategias de sostenibilidad.

Además de los indicadores de calidad y cantidad del recurso hídrico, el IDEAM destaca la llamada *Cota Crítica de Afectación por Inundación*, la cual resulta de mucha importancia en el área de estudio puesto que extensiones significativas de cultivo especialmente de cebolla, se pueden ver inundadas ante cambios incluso muy pequeños en el nivel del Lago de Tota, situación que históricamente ha conducido ya a importantes pérdidas económicas para los pobladores.

La Corporación Autónoma Regional de Boyacá –CORPOBOYACA-, viene adelantando un programa de monitoreo físico-químico en el Lago de Tota y sus principales tributarios desde el año 2000 hasta la fecha. El mismo tiene como propósito evaluar la calidad de las aguas de la cuenca, así como reconocer su posible tendencia histórica. El conocimiento de tales condiciones es de gran importancia a diferentes niveles como son:

- Identificar niveles de contaminación
- Identificar los actores causantes de contaminación
- Precisar usos potenciales y conflictos de uso

- Aplicar medidas de prevención, mitigación, corrección y compensación para los impactos negativos identificados por contaminación
- Definir estrategias de gestión para el manejo de la cuenca

2. METODOLOGÍA

2.1 Generalidades

La metodología desarrollada en este capítulo se exhibe en la figura 1.

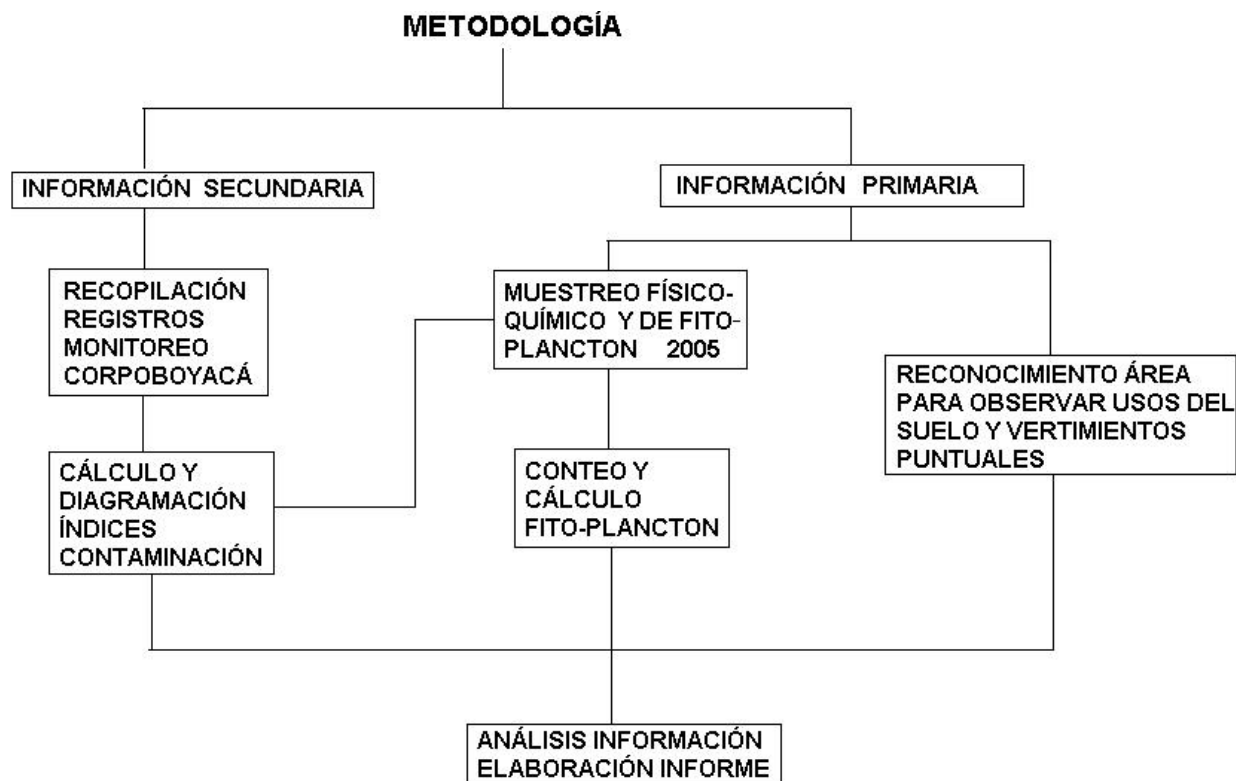


Figura 1. Esquema metodológico implementado en el análisis de calidad de las aguas epicontinentales.

La información secundaria hace referencia a los registros tomados por el programa de monitoreo relativo a la calidad del agua que viene adelantando CORPOBOYACA desde el año 2000 en un total de 22 estaciones cuyos ciclos de estudio han variado con los años así:

- Septiembre – octubre de 2000
- Abril – mayo de 2001
- Junio – julio de 2001
- Agosto – septiembre de 2001
- Diciembre de 2001
- Septiembre de 2004
- Noviembre de 2004
- Marzo de 2005

Las estaciones de muestreo y su ubicación se exponen en la tabla 1, figura 2.

Tabla 1. Estaciones de monitoreo en el programa adelantado por CORPOBOYACA.

Código	Cuerpos lénticos		
	Nombre	Latitud	Longitud
1	Piscícola	N 5°33'56.5"	W 72°53'47.8"
2	Llano Alarcón	N 5°35'23.3"	W 72°55'3.4"
3	Playa Blanca	N 5°30'45.3"	W 72°58'5.7"
4	El túnel	N 5°34'28.5"	W 72°5'41.5"
5	Centro LG		
6	San Pedro	N 5°32'48.9"	W 72°54'30"
13	Custodia	N 5°30'47.8"	W 72°54'51.7"
14	Santa Inés		
Cuerpos lóxicos			
7	Tobal (N)	N 5°9'26.8"	W 72°52'3.8"
8	Tobal (M)		
9	Tobal (D)	N 5°32'27.6"	W 72°53'41.1"
10	Pozos (N)	N 5°33'47"	W 72°51'20.3"
11	Pozos (M)	N 5°33'35.9"	W 72°52'32"
12	Pozos (D)	N 5°33'34.6"	W 72°53'4.1"
15	Hato Laguna (M)		
16	Hato Laguna (D)		
17	Olarte (M)	N 5°35'48"	W 72°53'35.4"
18	Olarte (D)	N 5°35'6.7"	W 72°54'19.8"
19	Aguablanca (M)		
20	Aguablanca (D)	N 5°28'35"	W 72°57'25.6"
21	Mugre (M)	N 5°30'15.6"	W 72°53'47.4"
22	Mugre (D)	N 5°31'5.8"	W 72°54'10.3"

La información primaria se refiere, por un lado, a un muestreo realizado sobre el Lago de Tota en junio de 2005, en el cual se tomaron variables físicas y químicas, y muestras de agua para conteo de fitoplancton, comunidad esta última de gran relevancia en sistemas lénticos en tanto permite inferir condiciones de eutroficación; por el otro, se realizó un recorrido entre mayo y junio de 2005 por toda el área de estudio, observando si existían vertimientos puntuales de las viviendas hacia los cuerpos de agua lóxicos.

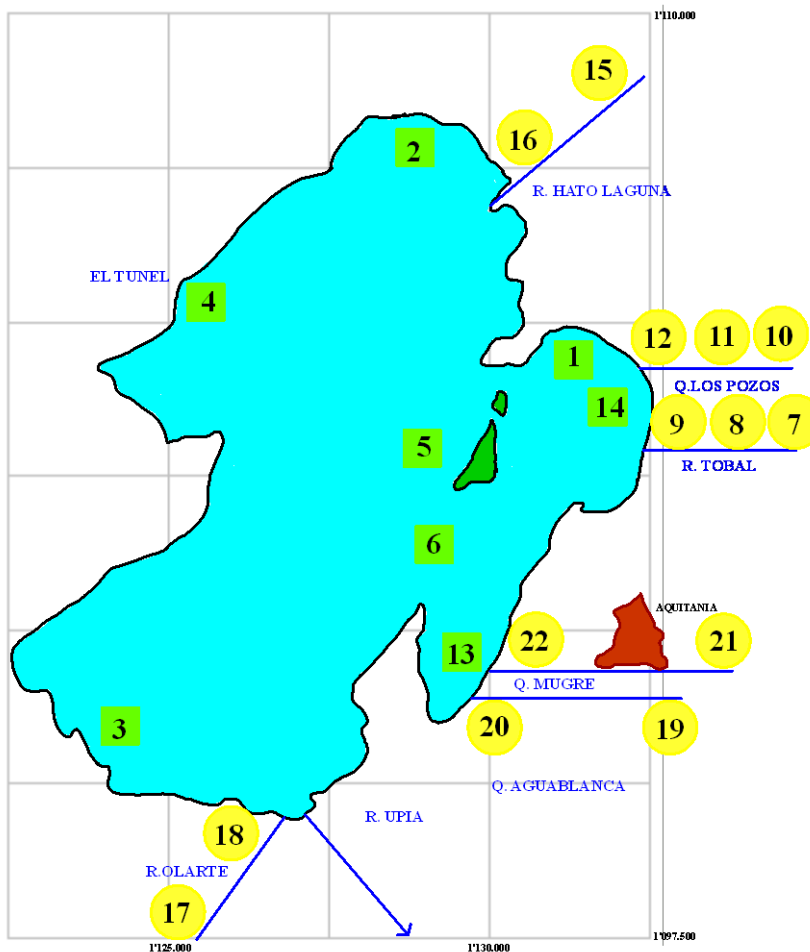


Figura 2. Ubicación de las estaciones de monitoreo evaluadas por CORPOBOYACA.

Las variables y períodos que se han evaluado a lo largo del programa de monitoreo de CORPOBOYACA se presentan en la Tabla 2 (en el anexo se exponen en detalle los valores, índices de contaminación y diagramas respectivos):

Tabla 2. Variables determinadas en el programa de monitoreo de aguas epicontinentales de CORPOBOYACA.

VARIABLE	Fecha (mes-año)							
	09-00	04-01	06-01	08-01	12-01	09-04	11-04	03-05
Acidez (mg/l)						X	X	
Alcalinidad (mg/l)	X	X	X	X		X	X	
Amonio (mg/l)	X	X	X	X				
Cloruros (mg/l)						X	X	X
Col. Fecales (UFC/100 ml)	X	X	X	X				
Col. Totales (UFC/100 ml)	X	X	X	X		X	X	X
Color (Ud. Pt.Co)						X	X	
Conductividad (uS/cm)	X	X	X	X		X	X	X
DBO5 (mg/l)		X		X		X	X	X

VARIABLE	Fecha (mes-año)							
	09-00	04-01	06-01	08-01	12-01	09-04	11-04	03-05
Dureza (mg/l)	X	X						
E. coli (UFC/100 ml)						X	X	X
Fosfatos (mg/l)						X	X	X
Fósforo total (mg/l)	X	X	X	X	X	X	X	X
Nitratos (mg/l)	X	X	X	X	X	X	X	X
Nitritos (mg/l)	X	X	X	X	X	X	X	X
Nitrógeno amoniacal (mg/)		X	X	X	X			
Nitrógeno orgánico (mg/l)		X	X	X	X	X	X	X
Nitrógeno total Kjeldhal (mg/l)		X	X	X	X			
Ortofosfatos (mg/l)	X	X	X	X	X			
Oxígeno disuelto (mg/l)	X	X	X	X				
pH (Ud.)	X	X	X	X		X	X	X
Porcentaje Sat. Oxígeno (%)	X							
Potencial redox. (mv)	X	X	X	X				
Sólidos disueltos (mg/l)	X	X	X	X				
Sólidos suspendidos. (mg/l)	X	X	X	X		X	X	X
Sulfatos (mg/l)						X	X	X
Temperatura (°C)	X	X	X	X	X			
Transparencia (m)	X	X	X	X				
Turbiedad (NTU)		X		X		X	X	

Las variables analizadas durante junio de 2005 por la Universidad Javeriana en desarrollo del presente estudio son las siguientes:

- Temperatura (°C)
- pH (ud.)
- Oxígeno (mg/l) (estos valores fueron llevados a porcentaje de saturación)
- Cloro libre (mg/l)
- Cloro total (mg/l)
- Nitritos + nitratos (mg/l)
- Amonio (mg/l)
- Fosfatos (mg/l)

La ubicación geográfica de las 13 estaciones evaluadas se presenta en la tabla 3, figura 3.

Tabla 3. Ubicación de las estaciones lénticas evaluadas por la Universidad Javeriana en junio de 2005.

Estación	Latitud	Longitud
A	5° 33' 29.8" N	72° 54' 54.9" W
B	5° 34' 20.4" N	72° 54' 36.2" W
C	5° 34' 28.3" N	72° 55' 40.7" W
D	5° 33' 30.9" N	72° 56' 41.1" W
E	5° 32' 31.7" N	72° 54' 18.1" W
F	5° 33' 55.0" N	72° 53' 58.1" W
G	5° 32' 57.8" N	72° 55' 49.6" W
H	5° 32' 77.0" N	72° 57' 35.0" W
I	5° 31' 57.4" N	72° 56' 51.1" W
J	5° 30' 33.1" N	72° 56' 42.2" W
K	5° 31' 44.3 N	72° 55' 13.4" W
L	5° 32' 18.3" N	72° 55' 16.3" W
M	Desembocadura Q. La Mugre	

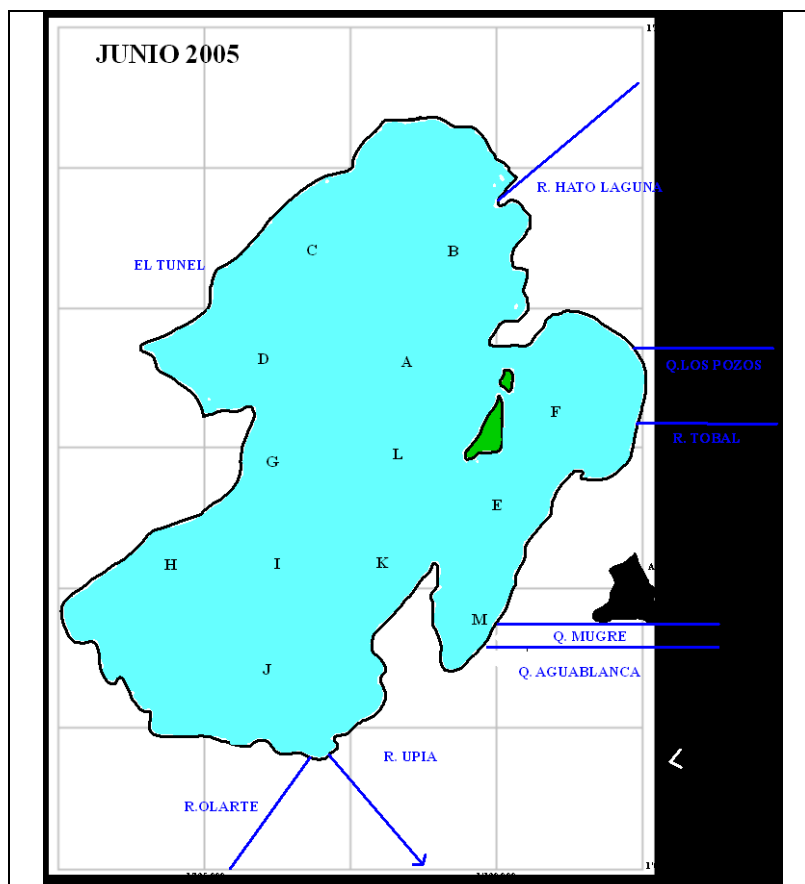


Figura 3. Ubicación de las estaciones lénticas evaluadas por la Universidad Javeriana en junio de 2005.

De manera general, la confiabilidad de la información puede considerarse como alta dado que la toma de muestras y los análisis fisicoquímicos respectivos, ha sido realizada por personal experto en el tema. No obstante, hay que mantener un hilo de incertidumbre relativo a que algún parámetro en alguna estación particular pueda dar resultados erróneos por fallas humanas inherentes a la toma y preservación de las muestras, o a la digitación y cálculos numéricos; a la confiabilidad de los reactivos; y a la calibración de los equipos, situación propia de cualquier investigación de esta naturaleza.

2.2 Índices e Indicadores

Con el propósito de caracterizar la cuenca, se ha trabajado con indicadores de contaminación y calidad de las aguas, todos ellos estandarizados a una escala 0 – 1, los cuales permiten leer de forma simple y rápida, incluso a personal no experto en el tema, la condición de una estación de monitoreo hidrológica bajo diferentes índices. La caracterización a partir de relaciones de calidad y contaminación, no se basan en un único parámetro o estándar de calidad-contaminación, sino que se fundamenta en relaciones continuas en las cuales cualquier condición (cifra) de una variable física o química, puede ser llevada a una condición de calidad-contaminación.

Cabe presentar las definiciones de indicador dadas por el SIAC (2002):

“Los indicadores se entienden como las variables que muestran, resumen o simplifican datos o que hacen visibles o perceptibles fenómenos de interés y, permiten cuantificar, cualificar, medir y comunicar de forma agregada una información relevante. Además, la cualificación y cuantificación que ellos entregan, permite el manejo individual de los indicadores o la utilización conjunta de agregados de indicadores que pueden generar, a su vez, nuevos indicadores y nueva información.”

“Un indicador ambiental es, por lo tanto, una variable que ha sido socialmente dotada de un significado añadido al derivado de su propia configuración científica, con el fin de reflejar de forma sintética una preocupación social con respecto al medio ambiente e insertarla coherentemente en un proceso de toma de decisiones (Ministerio del Medio Ambiente de España, 1996).”

Para evaluar la calidad de las aguas en este estudio, se implementaron los indicadores de contaminación desarrollados por Ramírez *et al.* (1997, 1999) y Ramírez y Viña (1998) que incluyen los índices, variables físicas y químicas, y escala de lectura expuestos en la tabla 4.

Tabla 4. Nivel de contaminación acorde a los valores de los índices.

Valor del Índice de Contaminación - ICO -	Condición de Contaminación
0 – 0.2	Nula
> 0.2 – 0.4	Baja
> 0.4 – 0.6	Media
> 0.6 – 0.8	Alta
> 0.8 - 1	Muy alta

2.2.1 Índice de Contaminación por Mineralización : ICOMI

El ICOMI es el valor promedio de los índices de conductividad, alcalinidad y dureza.

$$ICOMI = \frac{I.Conductividad + I.Alcalinidad + I.Dureza}{3}$$

dado que:

- Índice de Conductividad = $10^{-3,26 + 1,34 \text{ Log. Conductividad } (\mu\text{S/cm})}$
Condición: Conductividades mayores a 270 $\mu\text{S/cm}$, tienen un índice igual a 1.
- Índice de Dureza = $10^{-9,09 + 4,40 \text{ Log. Dureza } (\text{mg/L})}$
Condición: Durezas mayores a 110 mg/L tienen un índice igual a 1.
Durezas menores a 30 mg/L tienen un índice igual a 0.
- Índice de Alcalinidad = $-0,25 + 0,005 \text{ Alcalinidad } (\text{mg/L})$
Condición: Alcalinidades mayores a 250 mg/L tienen un índice igual a 1.
Alcalinidades menores a 50 mg/L tienen un índice igual a 0.

Este índice se promedia con dos de las tres variables si falta una de ellas, o se presenta con una sola variable si faltan dos de ellas.

2.2.2 Índice de Contaminación por Materia Orgánica : ICOMO

El ICOMO es el valor promedio de los índices de demanda bioquímica de oxígeno, coliformes totales y porcentaje de saturación del oxígeno.

$$ICOMO = \frac{I.DBO + I.Coliformes\ totales + I.Porcentaje\ saturación\ oxígeno}{3}$$

dado que:

- Índice de Demanda bioquímica de oxígeno = $-0,05 + 0,70 \text{ Log. DBO } (\text{mg/L})$
Condición: DBO mayores a 30 mg/L tienen un índice igual a 1.
DBO menores a 2 mg/L tienen un índice igual a 0.
- Índice de Coliformes Totales = $-1,44 + 0,56 \text{ Log. Col. totales } (\text{NMP}/100 \text{ ml})$
Condición: Coliformes totales mayores a 20.000 NMP/100 ml tienen un índice igual a 1.
Coliformes totales menores a 500 NMP/100 ml tienen un índice igual a 0.
- Índice de Oxígeno (% de saturación) = $1 - 0,01 \text{ Oxígeno } \% \text{ (sistemas lóticos)}$
Condición: Oxígeno (%) mayores a 100 % tienen un índice igual a 0.

Índice de Oxígeno (% de saturación) = $0,01 \text{ oxígeno } \% - 1$ (para porcentajes mayores a 100 en sistemas lénticos)

Este índice se promedia con dos de las tres variables si falta una de ellas, o se presenta con una sola variable si faltan dos de ellas.

2.2.3 Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos : ICOSUS

- ICOSUS = - 0,02 + 0,003 Sólidos suspendidos (mg/L).
Condición: Sólidos suspendidos mayores a 340 mg/L tienen un índice igual a 1.
Sólidos suspendidos menores a 10 mg/L tienen un índice igual a 0.

2.2.4 Índice de Contaminación por pH: ICOpH

El ICOpH corresponde a un índice de contaminación que evalúa la calidad del agua según el valor del pH.

$$ICOpH = \frac{e^{-31,08+3,45 pH}}{1 + e^{-31,08+3,45 pH}}$$

Condición: para valores de pH menores a 7, hállese $pH' = 14 - Ph$

2.2.5 Eutroficación

La eutroficación se refiere al enriquecimiento de nutrientes, en especial, nitrógeno y fósforo, que ocurre en cuerpos de agua como consecuencia, generalmente, de descargas humanas directas o indirectas. Entre las primeras cabría referir los vertimientos y en las segundas, la escorrentía de áreas rurales o urbanas que muestran en sus suelos altas concentraciones de tales elementos.

Para el presente trabajo se ha acudido a un grupo de indicadores desarrollados para la India a través de un convenio con los países bajos (de Zwart y Trivedi, 1992, en Fernández y Solano, 2005) y fueron calculados mediante el programa ICATEST V.1 (Fernández *et al.*, 2004). Los valores obtenidos fueron posteriormente llevados de calidad a contaminación (Contaminación = 1 – calidad).

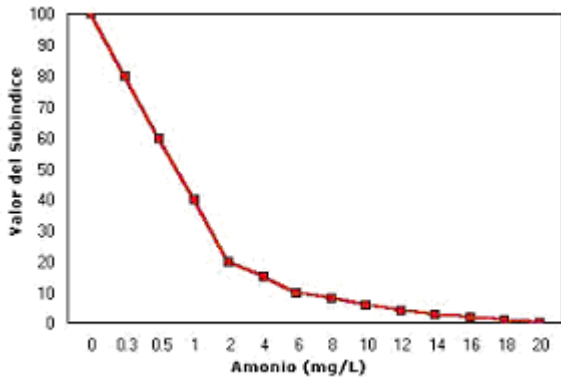
Las figuras 4 a 8 describen cada una de estas funciones de calidad (Fernández y Solano, 2005):

Los índices previos, en su conjunto, son complementarios y miden las características básicas del agua, a la vez que permiten una mirada general de sus condiciones en la cuenca. Además, al no estar conjugados en un único valor, no generan pérdida de información ni distorsión en diferentes características del curso estudiado. Los mismos no incluyen aspectos de contaminación específicos como metales pesados, pesticidas o hidrocarburos, entre otros.

Algunos otros índices tróficos se han propuesto y aplicado en la zona a partir de la profundidad del Disco Secchi (Pineda, 2002), pero los mismos son propios de aguas con baja incidencia de sólidos suspendidos y alta presencia del fitoplancton como productor primario. Dado que en Lago de Tota el problema de eutroficación se proyecta en un alto desarrollo de macrófitas sumergidas y enraizadas, los mismos no resultan adecuados para este Lago.

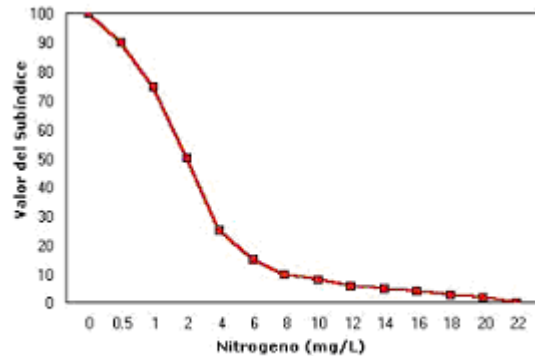
Los indicadores elegidos trabajan sobre la base de la condición de un recurso hídrico no intervenido, es decir, sobre las condiciones naturales del mismo, por lo que su uso se aproxima a los de protección para flora y fauna y consumo pecuario, acorde con el Decreto 1594/84. Por

tanto, no se fundamenta en el uso particular de consumo humano por desinfección o por tratamiento convencional, tal como se presenta en dicho Decreto.



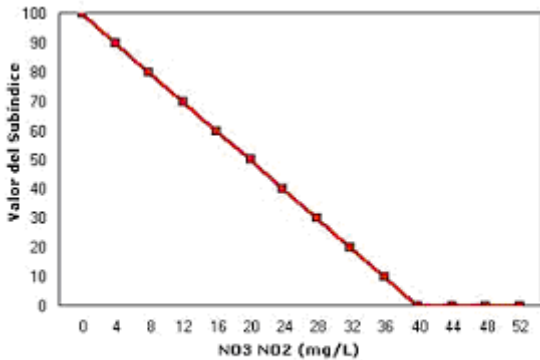
Función de Calidad AMOEBA NPI-Amonio

Figura 4. Función del amonio Proyecto MOEBA (de Zwart y Trivedi, 1992, en Fernández y Solano, 2005).



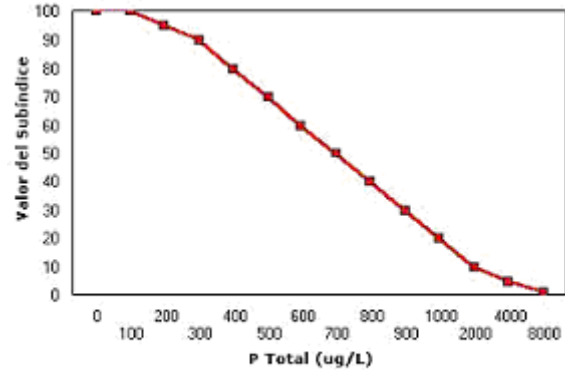
Función de Calidad AMOEBA NPI-Nitrogeno Total Keldahl

Figura 5. Función del nitrógeno Proyecto MOEBA (de Zwart y Trivedi, 1992, en Fernández y Solano, 2005).



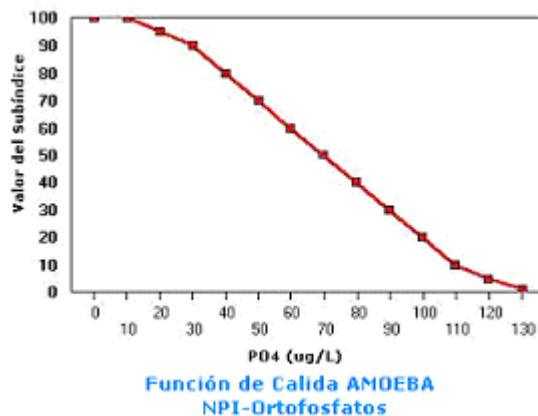
Función de Calidad AMOEBA NPI-Nitritos más Nitratos

Figura 6. Función de nitritos y nitratos Proyecto AMOEBA (de Zwart y Trivedi, 1992, en Fernández y Solano, 2005).



Función de Calidad AMOEBA NPI-Fósforo Total

Figura 7. Función del fósforo total Proyecto MOEBA (de Zwart y Trivedi, 1992, en Fernández y Solano, 2005).



Función de Calidad AMOEBA NPI-Ortofosfatos

Figura 8. Función de los ortofosfatos Proyecto AMOEBA (de Zwart y Trivedi, 1992, en Fernández y Solano, 2005).

2.2.6 Escherichia coli y coliformes fecales

Escherichia coli es un organismo positivo frente a la β -D glucoronidasa que vive en el tracto digestivo de animales de sangre caliente y constituye el principal indicador de contaminación por materia fecal de origen humano o animal.

Los niveles de *E. coli* que son permitidos en las aguas dependen sustancialmente del uso que se desee dar a un cuerpo de agua. Algunos parámetros de referencia que son usados en el análisis de calidad del agua, por la Organización Mundial de la Salud (1989), el Real Decreto de España 140/2003 y el actual borrador de Decreto Real, se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Valores de referencia para aguas con *E. coli*.

Consumo humano	0 UFC/100 ml
Riego de cultivos de alimentos de consumo crudo y riego de frutales por aspersión	< 200 UFC/100 ml
Riego de campos deportivos y parques públicos, sistemas contra incendios. Uso recreativo para el público	< 200 UFC/100 ml
Riego de pasto para animales de producción de leche y carne. Riego de alimentos que no se consumen crudos. Acuicultura vegetal o humana.	<1.000 UFC/100 ml
Riego de cultivos industriales cereales, forrajes, semillas oleaginosas. Refrigeración industrial de productos no alimenticios.	< 10.000 UFC/100 ml
Riego de bosques maderables y zonas no accesibles al público.	Sin límite

Para aguas de recreación, la Comunidad Económica Europea fijó 100 UFC /100 ml y la USEPA (1986) 126 UFC/100 ml. Para su medición se trabaja con un mínimo de 5 muestras tomadas a iguales intervalos durante un mes y promediadas con la media geométrica (Salas, 2000). A su vez, el Proyecto RIP (2002) señala la calidad del agua así (UFC/100 ml):

Excelente	Buena	Aceptable	Pobre
< 126	126 - 576	576 - 850	> 850

Los estándares previos expuestos, han sido acogidos y adaptados en el presente trabajo con base en los usos de consumo, contacto primario, riego para plantas de consumo y uso pecuario. Para ello se desarrolló un *índice de contaminación* a partir de las unidades formadoras de colonia por 100 ml. Este es (Figura9):

$$ICOECOLI = 0,00652 + 0,00181UFC/100ml - 0,000003UFC/100ml + 0,000000002UFC/100ml$$

dado que: Para UFC/100 ml mayores a 1000, el ICOECOLI vale 1.

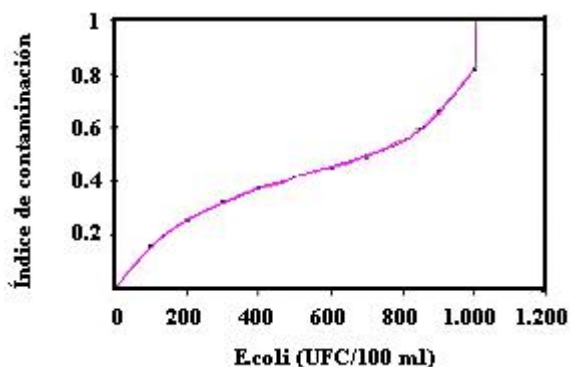


Figura 9. Relación entre el número de Unidades Formadoras de Colonias de *Escherichia coli* por 100 ml y el índice de contaminación respectivo.

Otros valores reportados por la CEPIS para contacto primario y referidos como coliformes fecales se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Concentración de coliformes fecales para contacto primario (De: CEPIS).

Europa	100
California	200
Colombia	200
Francia	< 500
Brasil	1.000

Para el cálculo de un índice de contaminación relativo a los coliformes fecales, se empleó la relación propuesta en el índice de calidad del agua de la NSF (National Sanitation Foundation) a partir de la rutina cuantitativa expuesta en la página de la Universidad de Wilkes: <http://www.water-research.net/watrqualindex/waterqualityindex.htm> (ver Figura10). A partir de dichos índices se calcularon los de contaminación ($ICO = 1 - ICA/100$).

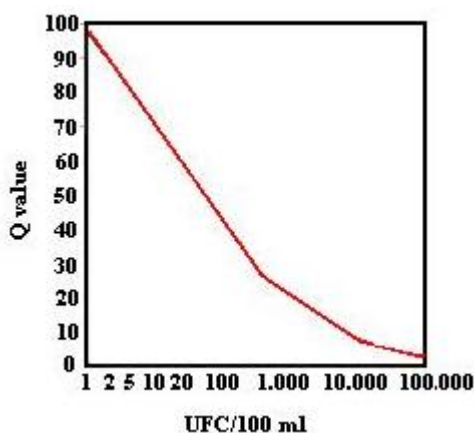


Figura 10. Relación entre el número de colonias de coliformes Fecales y el índice de calidad respectivo.

Los índices previos en su conjunto, son complementarios y miden las características básicas del agua, a la vez que permiten una mirada general de sus condiciones en la cuenca. Además, al no estar conjugados en un único valor, no generan pérdida de información ni distorsión en

diferentes características del curso estudiado. Los mismos no incluyen aspectos de contaminación específicos como metales pesados, pesticidas o hidrocarburos, entre otros.

2.3 Cálculo de Cargas

El cálculo de cargas se refiere a la cantidad de un elemento o ión que es transportado por unidad de tiempo por un curso lótico y se calcula multiplicando la concentración con el caudal. Para este estudio se calcularon las cargas mensuales para los ríos Olarte, Los Pozos y Hato Laguna, ya que se contaba con su información promedio de caudales mensuales. Para ello se multiplicó dicho caudal con el valor promedio de concentración obtenido en el programa de monitoreo fisicoquímico del período respectivo así: caudales bajos de diciembre a abril; en ascenso mayo a junio; altos de julio a agosto; en descenso de septiembre a noviembre.

En el anexo de tablas se consignan tales resultados expresados por toneladas mes. Para ello se eligieron las siguientes variables: fósforo y nitrógeno total (nutrientes), oxígeno y DBO (materia orgánica), sólidos disueltos (mineralización) y sólidos suspendidos (colmatación).

2.4 Fitoplancton Superficial

La comunidad de plancton es aquella que vive suspendida en el cuerpo de agua y se caracteriza por estar compuesta por organismos microscópicos, al igual que por su limitada o inexistente capacidad de locomoción, condición que la incapacita para contrarrestar las corrientes. Dentro de los representantes de este grupo encontramos: bacterias, algas, protozoos, rotíferos, cladóceros, copépodos y larvas (González de Infante, 1988).

El fitoplancton hace referencia a productores primarios, los cuales se encuentran suspendidos en la columna de agua (Roldan, 1992); está dividido en dos grandes grupos: Procariotas y Eucariotas. Entre los primeros se encuentran las Cyanophyceae (Cianobacterias) y en los segundos predominan Chlorophyceae (Algas verdes), Euglenophyceae (Euglenas), Bacillariophyceae (Diatomeas), Crysophyceae (Algas pardo-amarillentas), Cryptophyceae, Xanthophyceae (Algas verde-amarillentas) y Dinophyceae (Dinoflagelados) (Margalef, 1983).

Para la presente caracterización se tomaron 10 muestras de agua superficial (estaciones A, B, C, D, E, F, G, I, J, L, ver Figura3) para identificación y conteo del fitoplancton en el cuerpo de agua del Lago de Tota durante junio de 2005. Las muestras de agua se fijaron con 2 ml de lugol. Para el análisis de las muestras en el laboratorio, se utilizaron cámaras de sedimentación de vidrio con áreas de 452,39 y 1.385,44 mm², las cuales se observaron mediante un microscopio invertido, según la técnica propuesta por la APHA-AWWA-WPCF (1992). Se extrajeron dos volúmenes de las muestras de 6 y 10 ml, los cuales fueron vertidos en las cámaras de sedimentación; se dejaron allí durante un día para garantizar la precipitación de los organismos más pequeños (Duarte, 2001). Los conteos de algas se realizaron por campo de visión, con un aumento de 40x, hasta completar 100 células del grupo más abundante. La densidad del fitoplancton se estimó entonces mediante su cuantificación por unidad de volumen mediante la siguiente fórmula (APHA-AWWA-WPCF, 1992):

$$\text{No. células/ml} = \frac{C * At}{Af * F * V}$$

Donde: C = conteo células; At = área de la cámara (mm²); Af = área del campo óptico (mm²); F = Número de campos contados; V = volumen de la muestra sedimentada (ml)

Para la identificación de las microalgas se utilizaron las claves de Sze (1993), Cox (1996) y Parra *et al.*, (1982, 1983).

A cada estación se le calculó su índice de diversidad de Shannon-Wiener y tales valores se confrontaron frente a los parámetros de referencia dados por Ramírez (1999a) (Tabla 7).

Tabla 7. Valores de referencia para diversidades alfa y beta con base en el índice de Shannon-Wiener (De: Ramírez, 1999a).

Diversidad	Alfa	Beta
Muy baja	≤ 1	≤ 2,1
Baja	>1 – 1,8	> 2,1 – 2,6
Media	> 1,8 – 2,1	> 2,6 – 3
Alta	> 2,1 – 2,3	> 3 – 3,3
Muy alta	> 2,3 -	> 3,3

Adicionalmente, se efectuó un análisis de clasificación normal con base en los índices de Bray-Curtis para las densidades y Morisita para las densidades relativas. Para cada uno de estos dos últimos se efectuó un dendrograma a partir de agrupamientos promedio. Las formulaciones respectivas son las siguientes (De Ramírez 1999b):

Shannon-Wiener:

$$H' = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{n} \ln \frac{n_i}{n}$$

Agrupamiento promedio:

$$A_{(j,k)(h)} = \frac{1}{2} (A_{(j,h)} + A_{(k,h)})$$

- Disimilaridad de Bray-Curtis:

$$D_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^S |X_{ij} - X_{ik}|}{\sum_{i=1}^S (X_{ij} + X_{ik})}$$

- Morisita:

$$A_{jk} = 2 \frac{\sum_{i=1}^S X_{ij} X_{ik}}{\left\{ \frac{\sum_{i=1}^S X_{ij} (X_{ij} - 1)}{N_j (N_j - 1)} + \frac{\sum_{i=1}^S X_{ik} (X_{ik} - 1)}{N_k (N_k - 1)} \right\} N_j N_k}$$

Adicionalmente, para la interpretación del dendrograma se siguieron los lineamientos de Ramírez (2005) (Tabla 8):

Tabla 8. Valores de referencia para la interpretación del dendrograma (De: Ramírez 2005).

Afinidad	Comunidades
0 – 0,5	Diferentes
> 0,5 – 0,65	Similitud dudosa
> 0,65 – 0,8	Semejantes
> 0,8	Iguales

3. JUSTIFICACIÓN

La calidad de las aguas en esencia, es una variable íntimamente ligada a la calidad de vida de los humanos y de miles de especies que en ellas se desarrollan. En general, aunque no siempre, las aguas naturales epicontinentales que no han sido intervenidas por acciones humanas, muestran un nivel de calidad *alta* que se refleja en elevados contenidos de oxígeno, baja mineralización y bajos sólidos suspendidos, condiciones abióticas a las cuales se adaptada una estructura biocenótica particular a nivel de todos los taxa, desde pequeños y primitivos invertebrados hasta mamíferos acuáticos, como también a la vegetación.

En tanto el hombre interviene de forma directa o indirecta los cuerpos de agua lénticos (lagos, lagunas, ciénagas) o lóticos (quebradas, arroyos, ríos), las condiciones fisicoquímicas van cambiando y ganan materia orgánica, sólidos disueltos y turbiedad, por no citar contaminantes específicos como metales pesados, hidrocarburos, pesticidas u otros que incluso tienen naturaleza cancerígena y teratogénica. El incremento de la materia orgánica constituye la causa más importante de deterioro hídrico a nivel mundial y genera la muerte y extinción local de los organismos aeróbicos posibilitando, además, la entrada de centenares de especies muchas de ellas patógenas al hombre y a la fauna superior. De hecho, muchas de estas especies son parásitos que pasan algún ciclo de su vida en el tracto digestivo de animales de sangre caliente, y por ello se incorporan a los animales cuando dichas aguas son utilizadas para consumo o para riego de plantas que no requieren cocción.

La calidad del agua representa entonces, salud y bienestar, menor morbilidad e incluso menor mortalidad para los pobladores de una región, así como para sus mascotas y para la fauna pecuaria que poseen. Ello representa entonces también dinero, tanto proveniente de los particulares como de las ayudas estatales que deben destinarse al sector salud. Una baja calidad del agua significa también mayor infraestructura y mayores tratamientos para hacerla

potable, recursos que podrían ser destinados a otros sectores más necesitados. Por lo anterior, la calidad del agua incide en la calidad de vida de las personas que la consumen.

Para el caso de la cuenca de Tota, adicionalmente, una alta calidad del Lago significa un valor paisajístico, pecuario, recreativo y turístico; significa por tanto, ser el motor de diversas actividades antrópicas que dinamizan la economía regional.

Por último, la alta calidad hídrica significa la permanencia de un tipo particular de fauna y flora acuática propia de ambientes no contaminados, de especies endémicas y de una mayor riqueza de especies, que en conjunto le otorgan un valor ecológico invaluable a un ecosistema o a una región.

4. CARACTERIZACIÓN

Las figuras y tablas anexas ilustran los niveles de contaminación para cada una de las estaciones evaluadas.

4.1 Sistema léntico

Mineralización: exhibe niveles normales durante el período de estudio aunque muestra un incremento desmesurado de la conductividad durante abril del 2005, que lleva a pensar que posiblemente se trata de una descalibración del conductímetro.

Materia Orgánica: de manera general se presentan niveles de contaminación nulos o bajos a todo lo largo del programa de monitoreo.

Sólidos suspendidos: el lago de Tota cuenta con aguas de alta transparencia que revelan niveles nulos de contaminación por sólidos suspendidos.

pH: en general el cuerpo léntico refleja niveles de pH ligeramente básicos de concentraciones normales. No obstante, la basicidad muestra incrementos durante los períodos 2004 y 2005 alcanzando niveles muy elevados en la estación más norte frente a Llano Alarcón.

Amonio: los niveles de amonio para todas las estaciones y épocas (con excepción de un único dato (mayo 2001, E-1), revela niveles de contaminación de medianos a muy altos. Esta variable, no obstante solamente se evaluó en los años 2000 y 2001. En los estudios de la Universidad Javeriana esta variable, sin embargo, aparece con concentraciones menores a los niveles de detección.

Nitritos más Nitratos: durante los años 2000 y 2001 los registros muestran niveles nulos de contaminación; los mismos enseñan niveles bajos para el 2004 y 2005, lo que muestra una tendencia de incremento. En los estudios de la Universidad Javeriana esta variable también figura con concentraciones menores a los niveles de detección.

Nitrógeno total Kjeldhal: se midió durante el año 2001 y muestra niveles de contaminación nulos a bajos.

Fósforo total: manifiesta concentraciones propias de niveles nulos de contaminación durante todo el período de estudio.

Ortofosfatos: con excepción de un registro en la estación 1, todos los valores obtenidos en el 2001 y en junio de 2005, muestran niveles de contaminación muy bajos.

***Escherichia coli* y coliformes fecales:** para los períodos muestreados, se presentan condiciones de contaminación nula en el Lago, y baja en inmediaciones de la desembocadura de la Q. La Mugre.

Tendencias: la mayoría de las variables físicas y químicas no muestra un comportamiento claro máxime porque no se cuenta con un registro continuo de su valoración, sino más bien se reconocen saltos espaciados en el tiempo producto de cambios que han venido haciéndose en dichas variables durante el programa de monitoreo que iniciara en el año 2000. Así mismo, no existe una tendencia única que enmarque a todas y cada una de las estaciones de estudio tal como se ilustra en las figuras anexas.

De manera general, se observa incremento en la mineralización de 2005. La materia orgánica, los sólidos suspendidos y el fósforo exhiben comportamientos estables. El pH muestra tendencia de crecimiento progresivo desde el año 2000 hasta el 2005, e igual ocurre con el nitrógeno (nitritos más nitratos).

4.2 Sistema Lótico

Mineralización: sobre las estaciones del norte ocurren niveles muy altos durante casi todos los períodos de estudio, en particular sobre el R. Tobal. En la zona sur, por su parte, los niveles de contaminación son también muy altos en la Q. Mugre y en la desembocadura de la Q. Aguablanca.

Materia Orgánica: no hay contaminación o resulta baja en las estaciones del norte; contrariamente, se reconocen niveles medios a muy altos sobre la Q. Mugre y en menor importancia en las desembocaduras del R. Olarte y la Q. Aguablanca.

Sólidos suspendidos: para las estaciones del sur los niveles son nulos y ocasionalmente bajos; tal situación resulta semejante para las estaciones del sur, aunque con la salvedad que la Q. Mugre expone niveles muy altos en abril de 2005.

pH: las estaciones del norte, en general, exhiben niveles normales de pH. Concentraciones ácidas con niveles bajos a muy bajos se encuentran, sin embargo, en la parte alta de la Q. Los Pozos (2001 y 2004 E-10), así como niveles de basicidad alta en la desembocadura del R. Tobal (2004, E-9). En la zona sur, por otro lado, todos los cursos muestran valores de pH normales.

Amonio: al igual a lo expuesto en el sistema léntico, los sistemas lóticos tanto del norte como del sur, ostentan niveles de contaminación altos a muy altos.

Nitritos más Nitratos: al igual que en el sistema léntico, durante los años 2000 y 2001 los registros de la zona norte muestran niveles nulos de contaminación; a pesar de ello, los mismos enseñan niveles de bajos a muy altos para los años 2004 y 2005, con las mayores tendencias de incremento sobre la Q. Los Pozos y en la desembocadura del R. Tobal; tendencias de incremento se reconocen, además, en todas las estaciones de esta zona. Sobre la zona sur los resultados ostentan también tendencias de incremento con niveles de contaminación altos a

muy altos para el 2004 y 2005 en las Quebradas Mugre y Aguablanca. Aunque se reconoce también tendencia de aumento en estos iones en el R. Olarte, éstos apenas llegan a bajos.

Nitrógeno total Kjeldhal: muestra un gradiente de acentuación de norte a sur, con la primera zona en niveles medios a altos durante el 2001, y la segunda, altos a muy altos en igual período.

Fósforo total: exhibe concentraciones nulas de contaminación para el sector norte de la cuenca, y alcanza niveles muy altos en la Q. Mugre, en particular en su desembocadura al Lago.

Ortofosfatos: las condiciones resultan muy variables para cada curso hídrico. Es así como el R. Hato Laguna muestra excelentes condiciones respecto a esta variable. Una situación próxima aunque de inferior calidad se reconoce en el R. Tobal, mientras que la Q. Los pozos luce niveles de contaminación desde muy altos a nulos en el período de 2001.

Escherichia coli y coliformes fecales: se presentan condiciones de contaminación muy alta en las Q. La Mugre y Aguablanca, y en el río Tobal; tal situación ocurre con menor frecuencia en la Q. Los Pozos y en los ríos Olarte y Hato Laguna.

Tendencias: *grosso modo*, se observan incrementos en la mineralización y en la materia orgánica en 2005 mas no en los años anteriores; igual ocurre con los sólidos suspendidos en la Q. La Mugre. Para todas las estaciones se reconoce aumento sostenido del nitrógeno (nitritos más nitratos) pero no ocurre igual con el fósforo (ortofosfatos y fósforo total) que permanece relativamente estable u oscilando.

Cargas:

Las figuras 11 a 16 ilustran las variaciones de carga mensual de cada una de las variables evaluadas en los tres cursos hídricos.

Las cargas de fósforo entre los cursos son muy semejantes y los picos mayores se obtienen en los meses de mayores caudales y de escorrentía, es decir con caudales en ascenso y descenso, situación parecida a las otras variables. Las cargas oscilan aproximadamente entre 1 y 4 kilogramos mes.

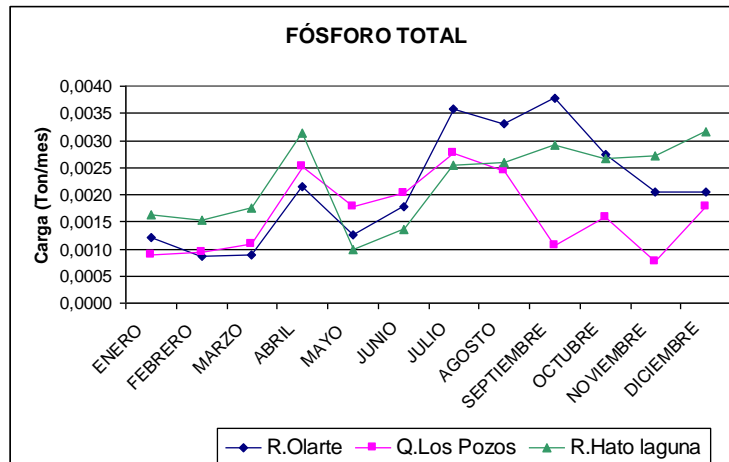


Figura 11. Cargas mensuales del fósforo total.

Por su parte, el nitrógeno muestra un marcado incremento durante los caudales altos y se reconocen valores apreciablemente mayores en el R. Olarte donde alcanza un valor máximo de 700 kilogramos durante el mes de septiembre, mientras que la Q. Los Pozos y el R. Laguna se encuentran casi todo el año por debajo de 100 a 200 Kg.

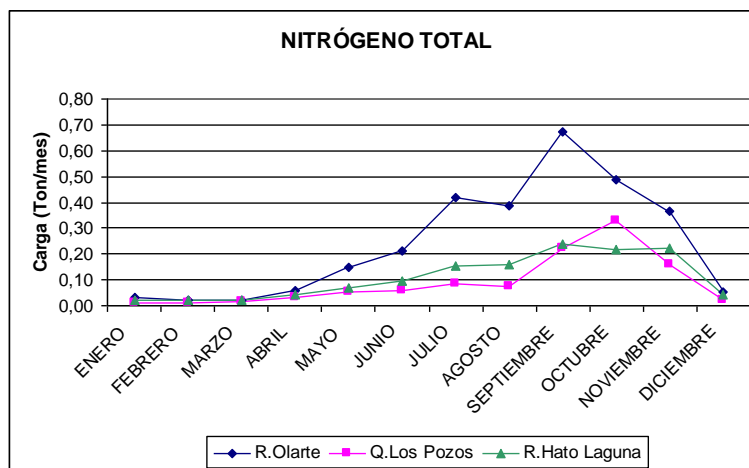


Figura 12. Cargas mensuales del nitrógeno total.

Al enfrentar las cargas del oxígeno con las de la DBO, se aprecia un valor positivo que indica superávit de oxígeno. Mientras la primera variable muestra un espectro alto que se extiende desde junio hasta noviembre, la DBO muestra un pico más reducido entre octubre y noviembre. Los mayores valores del oxígeno son aportados por el R. Olarte, pero este mismo curso muestra también las mayores DBO (máx. 700 y 210 Kg). Por otro lado, el R. Hato Laguna muestra valores próximos de oxígeno pero mayores a la Q. Los Pozos y sus DBO son semejantes.

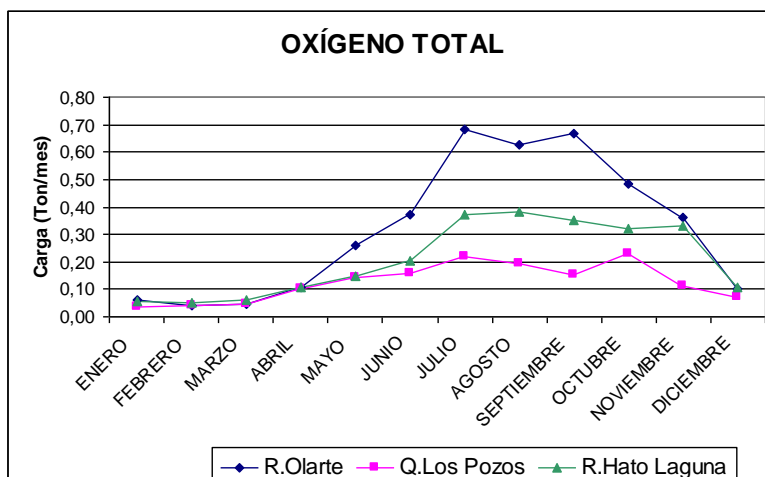


Figura 13. Cargas mensuales del oxígeno total.

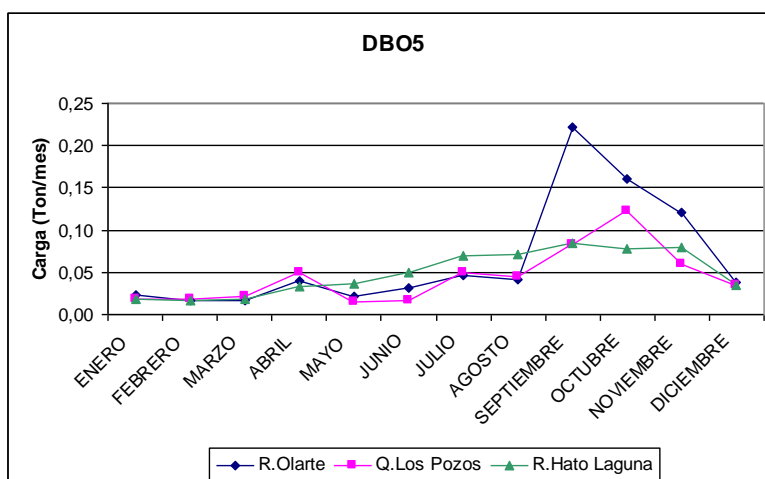


Figura 14. Cargas mensuales de la DBO₅.

Los sólidos disueltos no muestran un comportamiento divergente con las anteriores variables y alcanzan hasta 250 Kg en el R. Olarte mostrando que los ascensos están asociados a las pluviosidades y consecuentes caudales en ascenso. La Q. Los Pozos y el R. Hato Laguna muestran un comportamiento muy semejante con cargas que alcanzan aproximadamente el 50% de las del R. Olarte

Por último, los sólidos suspendidos muestran su incidencia específicamente en caudales altos. Los R. Olarte y Hato Laguna muestran un comportamiento muy semejante que alcanza hasta 3.000 Kg en los meses de julio y agosto.

En suma, los nutrientes entrantes pueden ser capitalizados en biomasa vegetal y animal; el oxígeno le impregna una condición aeróbica o de alta calidad a las aguas; los sólidos disueltos salen en el agua que es bombeada fuera del Lago; mientras que los sólidos suspendidos se van acumulando y van colmatando el Lago por lo que si bien no tienen mucha incidencia en la calidad del agua, a largo plazo sí tendrá efectos en la cantidad de agua que allí se almacena.

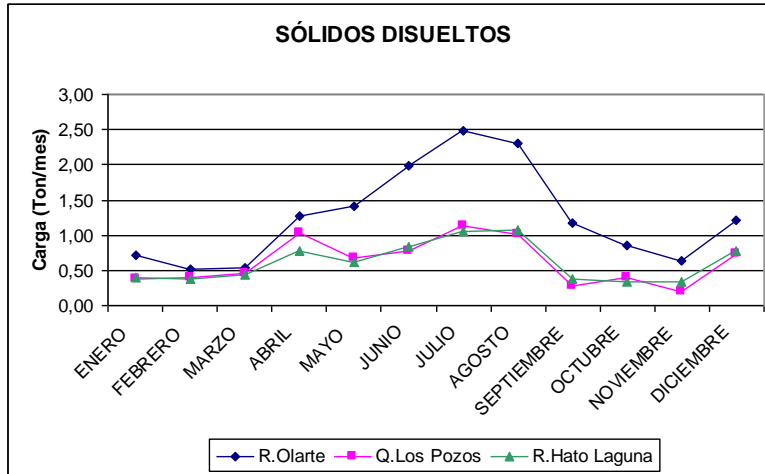


Figura 15. Cargas mensuales de sólidos disueltos.

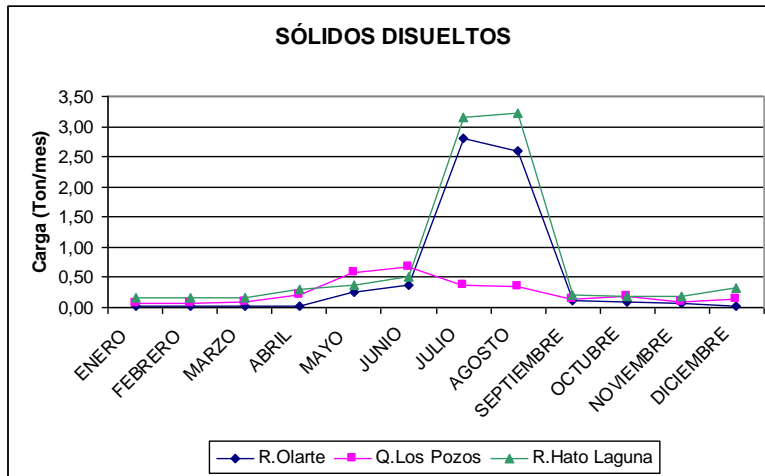


Figura 16. Cargas mensuales de sólidos suspendidos.

4.3 Fitoplancton

Se registraron un total de 45 morfotipos de algas, distribuidas en 32 géneros y nueve grupos pertenecientes a Bacillariophyceae (diatomeas), Chlorophyceae (algas verdes), Cryptophyceae, Crysophyceae (algas doradas), Cyanophyceae (algas verdeazules), Dinophyceae (flagelados), Euglenophyceae (euglenas), Xanthophyceae (algas verde-amarillas) y Zygothryx (desmideas). El grupo que presentó una mayor riqueza en cuanto a géneros fue Bacillariophyceae con un total de nueve, seguido por Chlorophyceae con siete (Figura17). Esta cifra resulta similar a la encontrada por Donato-Rondón en el 2001, con 42 especies.

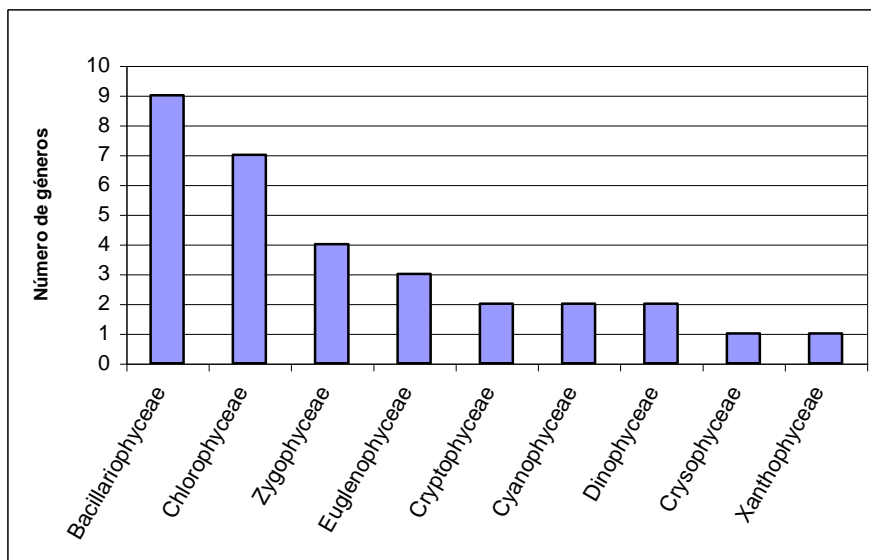


Figura 17. Número de géneros fitoplanctónicos encontrados en cada uno de los grupos identificados.

Tal como se aprecia en la Tabla 9, la riqueza de esta comunidad resulta alta si se compara con la de otros sistemas lénticos de alta montaña en el país.

Tabla 9. Número de especies fitoplanctónicas en sistemas lénticos de alta montaña (Con base en Andrade *et al.*, 1991 en Bermúdez *et al.*, 2002; Donato-Rondón, 2001).

Sistema	No. especies
Laguna Larga	52
Laguna Cajitas	45
Laguna Negra	44
Lago Tota	42
Lago Cumbal	26
Lago Guamez	22
Lago Otún	21
Lago Chingaza	12

En cuanto a la participación relativa del fitoplancton, los grupos que presentaron mayor contribución fueron Chlorophyceae con 72% y Bacillariophyceae con 11% (Figura 18).

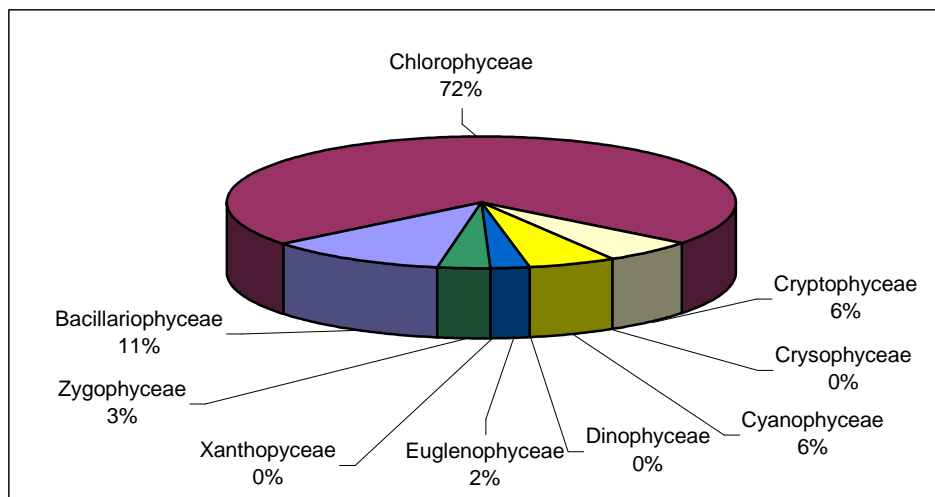


Figura 18. Contribución porcentual de los grupos fitoplanctónicos en la densidad total.

En consecuencia, unos pocos géneros resultaron altamente dominantes en la estructura de la comunidad; es así como *Crucigeniella* (Chlorophyceae) alcanzó el 65% de las densidades, seguida por *Navicula* (Bacillariophyceae) y *Scenedesmus* (Chlorophyceae) con 10% cada uno, por lo que únicamente tres géneros alcanzaron el 85% de la comunidad.

De acuerdo con Bermúdez *et al.* (2001), *Crucigeniella* permanece un mayor intervalo de tiempo en la superficie debido a que presenta unas membranas mucilaginosas e inclusiones citoplasmáticas en sus células, que le permiten aprovechar efectivamente los nutrientes a la vez que incrementan su flotabilidad.

En el anexo se presenta la densidad de cada morfotipo en cada estación y a continuación se ilustra la densidad total (organismos por mililitro), en cada una de ellas (aproximada a enteros):

Estación	A	B	C	D	E	F	G	I	J	L
Densidad (Org./ml)	305	224	297	536	144	1.133	440	614	571	473

Cabe destacar que Margalef (1983) refiere que densidades de 100 a 1.000 organismos por mililitro corresponden a sistemas eutróficos y, en tal sentido, todas las estaciones denotan tal condición, con excepción de la estación F que alcanza niveles hipereutróficos. De manera general, las estaciones del nororiente del Lago “grande” exponen los valores menores (< 350), las del centro y sur valores mayores (440 a 614) y para el Lago “chico” se registran los valores mínimo (estación E) y máximo (estación, F; Figura19).

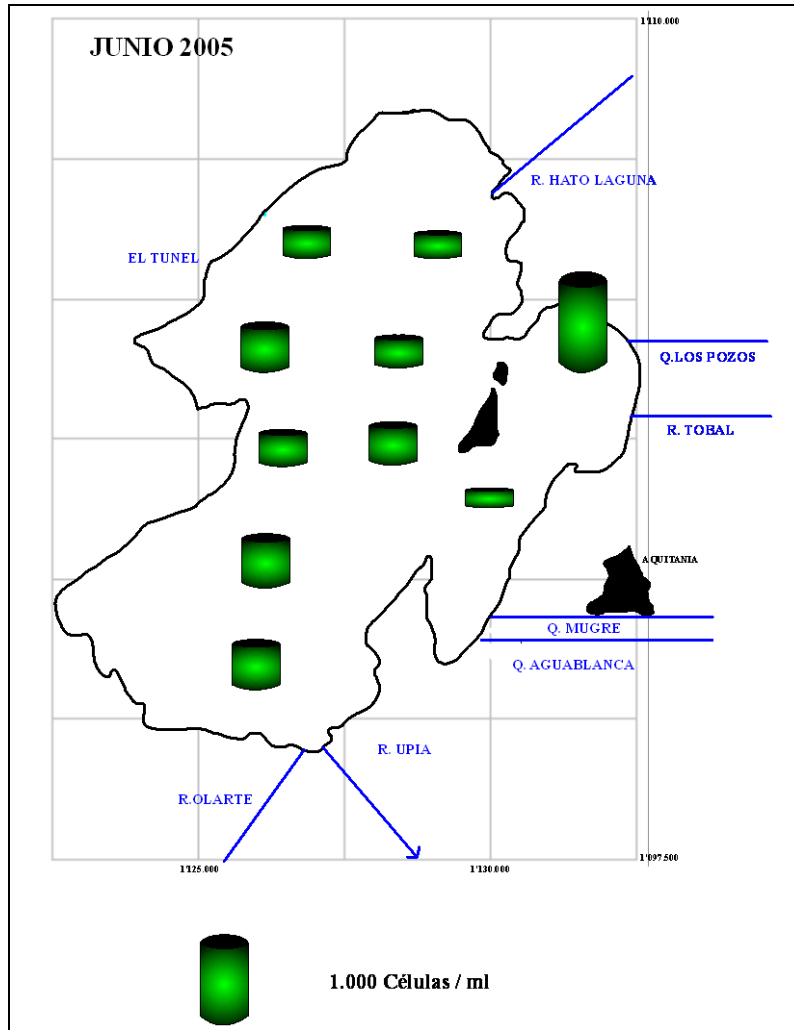


Figura 19. Densidad de fitoplancton

Al analizar el número de géneros por estación, se observa similitud en el conjunto de estaciones (11 a 15) salvo en la estación E que además de sus bajas densidades solamente presentó 3 géneros (Figura 20).

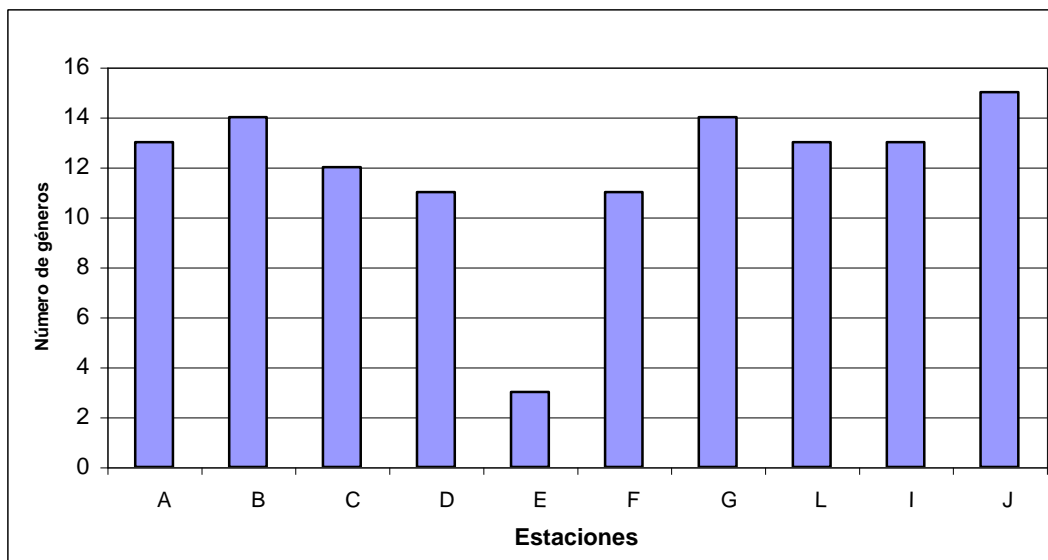


Figura 20. Número de géneros fitoplanctónicos encontrados en cada estación.

En lo referente a la composición de las comunidades fitoplanctónicas, Bermúdez *et al.*, (2001) registraron que los grupos algales más comunes de los lagos de alta montaña tropical son Chlorophyceae, Zygothryxaceae, Cyanophyceae y Bacillariophyceae y, para el caso específico del muestreo realizado en el 2005, predomina Chlorophyceae. Margalef (1983) asevera que la alta representatividad de este grupo radica en que poseen gran diversidad de preferencias ecológicas y requerimientos fisiológicos lo que se traduce en un grupo euritípico. Este hecho denota que las condiciones abióticas experimentan cambios con algún grado de frecuencia, muy posiblemente asociados a la pluviosidad y a la escorrentía de nutrientes.

Por su parte, Bacillariophyceae fue el grupo que presentó el mayor número de géneros fitoplanctónicos en este estudio, pero con densidades bajas salvo la excepción del género *Navícula*. Este comportamiento puede entenderse si se tiene en cuenta que este grupo es propio de ambientes perifíticos (Stevenson *et al.*, 1996) y probablemente, las especies que se registraron hacen parte de las células desprendidas del perifiton y zonas litorales. Lo anterior se fundamenta en el estudio realizado por Martínez & Donato (2003) en el río Tota, quienes encontraron que las Bacillariophyceae hacen parte de las especies invasoras del sistema, al colonizar diferentes sustratos artificiales. Así mismo, Margalef (1983) afirma que las diatomeas no presentan órganos móviles, lo cual dificulta aún más, la presencia de estas algas.

Los resultados relativos a la diversidad alfa (con base en el índice de Shannon) de forma general y no particular a la comunidad o zona de estudio, indican que ésta va de *muy baja a baja* en todas las estaciones estudiadas. Los menores valores se concentran en el Lago chico y en algunas estaciones próximas a éste y la causa se refiere tanto a estaciones con bajo número de especies (Estación E), como alta dominancia (*Crucigeniella* estaciones D, F, G). Por su parte, los mayores registros se alcanzan hacia el sector norte del Lago grande (Estaciones A y B).

De igual modo, la diversidad beta resultó *baja* en esencia por la alta dominancia de *Crucigeniella* sp. que alcanzó, para todo el Lago, el 65% del total de densidades.

Estación	A	B	C	D	E	F	G	I	J	L	Total
Shannon	1,70	1,48	1,17	0,37	0,10	0,58	0,94	1,27	1,30	1,46	1,42

En lo atinente al análisis de clasificación, las figuras 21 y 22 exhiben los dendrogramas para la densidad y la densidad relativa, en su orden. Del primero se aprecia la conformación de los siguientes grupos:

1. Estaciones D, G, I, J, L: se agrupan a nivel de semejantes y todas ellas representan el centro y sur del Lago grande. Predominan las clorofíceas *Crucigeniella* y *Cryptomonas* sp2. con alguna participación de *Navicula* sp2., *Trachelomonas* sp1 y *Cosmarium* sp1.
2. Estaciones A, B, C: se agrupan en el rango dudoso (0,5 a 0,65) y muestran también a *Crucigeniella* como taxa dominante; son importantes, además, *Scenedesmus*, *Merismopedia* sp1. y *Cosmarium* sp1.
3. Estación F: es diferente a las otras estaciones dado que muestra la mayor dominancia de *Crucigeniella* (87%) (en lago chico).
4. Estación E: es diferente a las demás en cuanto expone la menor densidad, riqueza y diversidad. Hay dominancia de la cianofícea *Oscillatoria* sp2. lo que denota una condición de oportunismo quizá generada por variaciones fisicoquímicas (en lago chico).

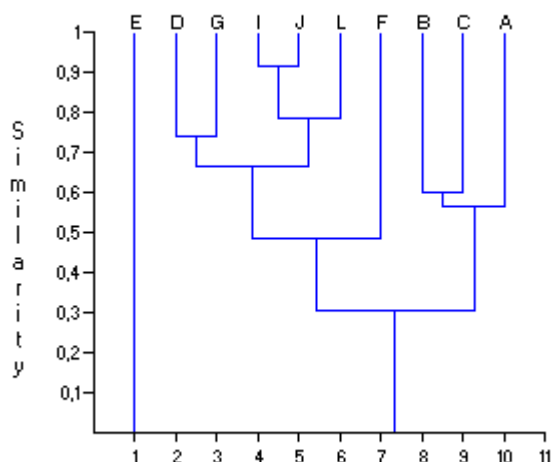


Figura 21. Dendrograma de similitud Bray-Curtis para las estaciones de Fitoplancton.

El dendrograma para densidades relativas cambia sustancialmente frente al anterior, puesto que prácticamente todas las estaciones aparecen unidas en un mismo grupo lo que denota que si bien hay diferencias importantes en la densidad, no ocurre lo mismo en la estructura evaluada bajo la contribución de las especies, resultado que refleja llanamente, la dominancia de *Crucigeniella* en todo el Lago, con excepción de la estación E donde no aparece, y predomina *Oscillatoria* sp2.

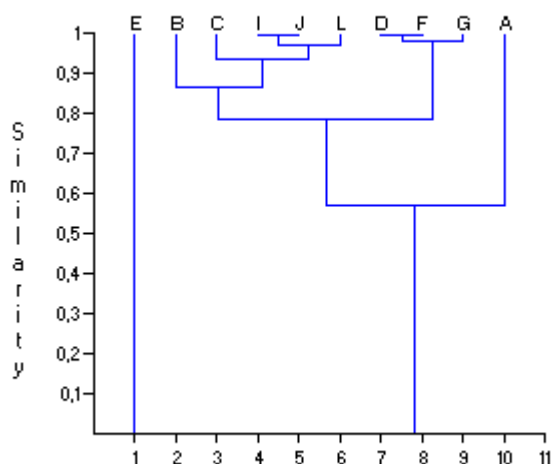


Figura22. Dendrograma de similitud Morisita para las estaciones de Fitoplancton.

En el capítulo anexo se representa espacialmente la configuración derivada de los dendrogramas anteriores.

4.4 Relación con el Uso del Suelo

Con el propósito de hacer más operativo el Plan de Ordenación de la cuenca del Lago de Tota y tal como se refirió en capítulos previos, la zona fue zonificada así:

- Zona A: Q. Los Corrales, Q. Los Pozos, R. Tobal, Cda. Sarna, Q. La Mugre, Q. Intermedia, Q. Aguas Blancas, Cda. Lemus, El Manzano.
- Zona B: Q. Moján, Q. Savia, Islas,
- Zona C: Q. Ajíes, Q. Zapatero, Q. Hatoviejo, Q. San Antonio, R. Olarte
- Zona D: Q. Salitre, Q. Guajira, Túnel, Q. Casasia, Q. Donsiquira, Q. Arrayanes, Q. Guayachal
- Zona E: R. Hatolaguna
- Espejo de agua: Lago

Con base en el Cuadro 2 del capítulo VI relativo a los sistemas de producción agrícola y pecuaria en las diferentes veredas, se realizó un análisis de componentes principales para caracterizar los sistemas productivos (*Software Kyplot*), destacando que un 83,2% de la varianza de la información se explica en el componente principal 1; la figura 23 deja ver que existe una fuerte relación entre el uso del suelo con la altitud, tal como lo demuestra el análisis de regresión que relaciona significativamente las coordenadas del primer componente principal con esta variable (58% del uso del suelo se explica en la altitud).

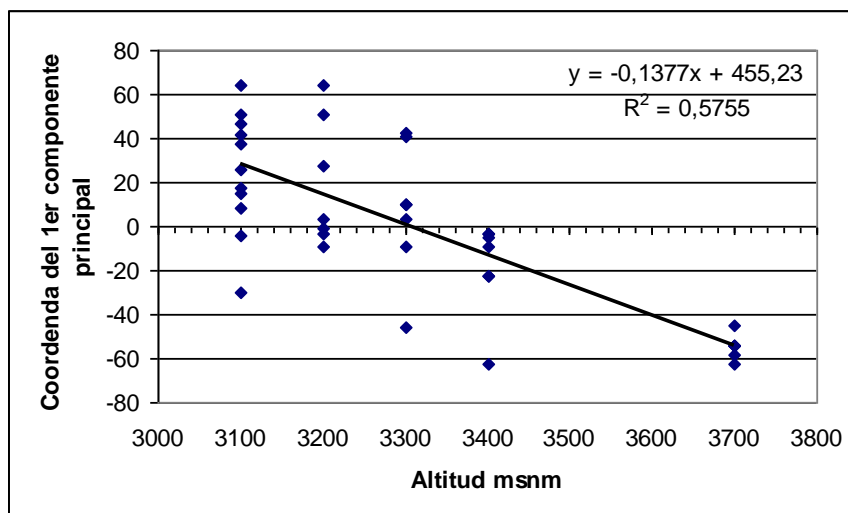


Figura 23. Análisis de regresión entre el primer eje del análisis de componentes principales y la altitud.

Este hecho indica que la problemática referida a la calidad del agua está estrechamente ligada con la altitud, pues la cebolla predomina en el rango 3.100 a 3.400, la papa a 3.300-3.400 y los pastos por encima de 3.500 msnm. Tal como se expresa en el capítulo VI, la cebolla es el cultivo que requiere mayor cantidad de agua a la vez que emplea grandes cantidades de gallinaza fresca y seca como abono; por demás, su representación es mayor en las zonas A y B (Cuadro 2, capítulo VI) que, adicionalmente, concentran la mayor cantidad de población. Adicionalmente, las observaciones de campo indican que la tierra se trabaja todo el año (dos a tres cosechas al año) en tanto exista la cantidad de agua requerida por el cultivo (cada cuatro días durante 3 horas); vale notar que no se observó riego por goteo en ningún cultivo.

Por el contrario, la siembra de papa, haba y arveja está ligada a zonas de ladera con menor disposición de agua; mientras que la producción pecuaria domina en mayores altitudes y tampoco está ligada a mayor requerimiento de este líquido.

Esta situación se corresponde ampliamente con los resultados encontrados en los programas de monitoreo del agua, en donde la menor calidad de este recurso está estrechamente asociada a la zona A.

Tal como se complementa en capítulos previos (sistemas productivos y diagnóstico cuantitativo del recurso hídrico), la zona A, por un lado, tiene alta demanda del recurso hídrico para consumo ($8.017 \text{ m}^3/\text{mes}$) y para uso agropecuario ($946 \text{ m}^3/\text{mes}$) y, por el otro, muestra alta densidad poblacional frente a las otras zonas ($28 \text{ hab}/\text{Km}^2$) junto con los mayores porcentajes de cultivo de cebolla (Tobal, Hato Viejo Aquitania, Los Pozos: 5 a 90% según la altitud).

Cabe referir, adicionalmente, que de acuerdo con los registros colectados en campo, una gran cantidad de fungicidas e insecticidas se vienen empleando en los cultivos: Dithane, Antracol, Fitoraz, Forum, Manzate, Ridomil, Curater, Curacron y Furadan, principalmente, además de fertilizantes como Vicor 2, 15-15-15, 18-18-18, 10-30-10, Produmag, Crecer 500, Desarrollo, Humita, Kadostyn, Aminocat, Wuxal. Se desconoce los efectos de éstos sobre los productos mismos (posible bioacumulación, biomagnificación), y las consecuencias que podrían tener sobre el hombre, o bien durante su aplicación o el consumo permanente de los productos. Este

problema deberá ser abordado a futuro por la Corporación. Por si fuera poco, y tal como se enuncia en el capítulo de sistemas productivos, se observó también sobredosisificación de los anteriores químicos, tanto en las dosis como en la frecuencia de aplicación, sin que exista apoyo agrícola a los cultivadores o control por parte de las autoridades.

La figura 24 resume las relaciones existentes entre la calidad del agua del Lago, y por ende de los sistemas lóticos, con el resto de las actividades productivas.

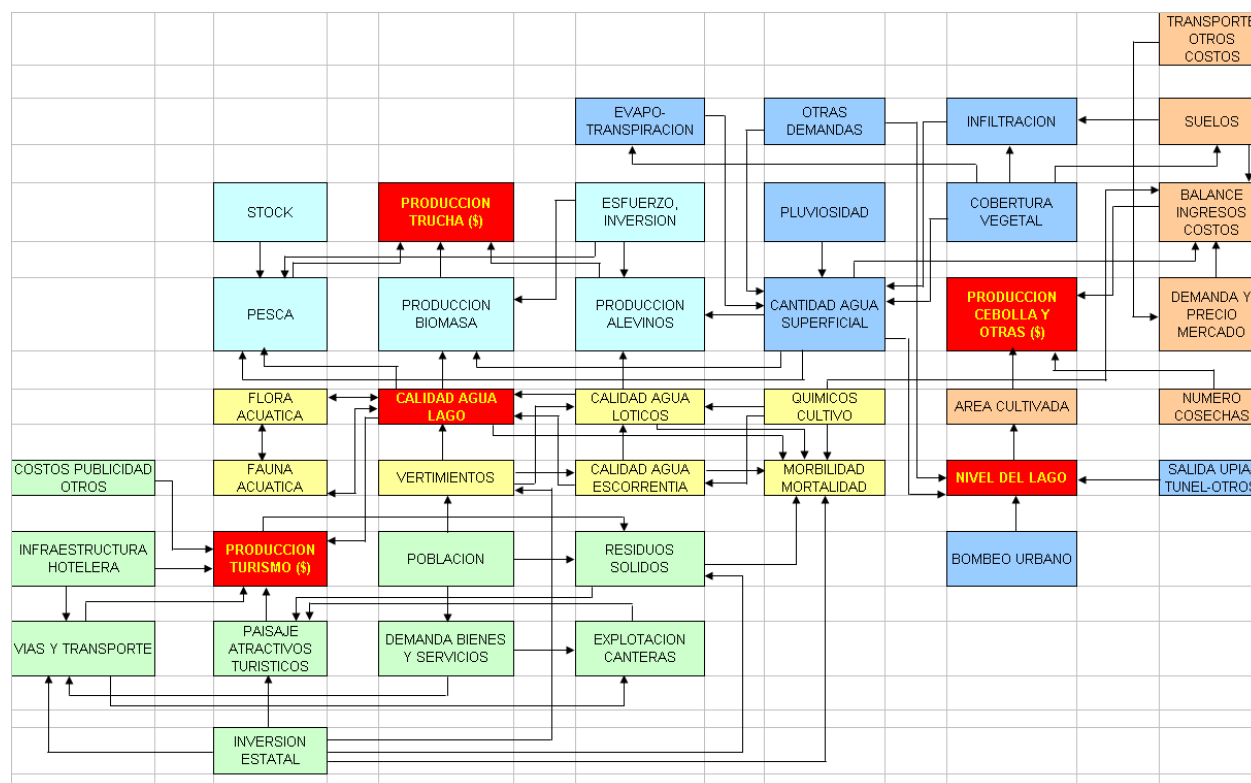


Figura 24. Diagrama sistémico que muestra las principales relaciones de la calidad del agua del Lago con otras actividades productivas de la región.

5. PROBLEMÁTICA Y POTENCIALIDADES

Un análisis DOFA de la situación concerniente con la calidad del agua ilustra lo siguiente:

5.1 Debilidades

- Poco apoyo institucional en el manejo de los sistemas agrícolas
- Falta de conciencia por parte de los pobladores ante la problemática que están generando sobre la calidad del agua regional
- Bajo nivel educativo de los pobladores
- Falta de medidas de control por parte de la autoridad ambiental en relación con el uso de químicos
- No hay tratamiento a las aguas servidas y la planta de Aquitania se encuentra fuera de uso; la misma sin embargo, es sólo para remoción de sólidos suspendidos (información suministrada por el técnico presente en ella)

- Falta de programas de monitoreo en las aguas de consumo rural
- Falta de programas de monitoreo sobre químicos bioacumulables en los productos agrícolas
- La responsabilidad ambiental se percibe como estatal y no como de la comunidad
- Consecuentemente, hay contaminación microbiológica importante especialmente en los cuerpos de agua de la zona A
- Falta de información en zonas profundas del Lago
- Las áreas de cultivo mantienen los suelos casi desnudos y ello acelera los procesos erosivos

5.2 Oportunidades

- El Plan de Ordenación de la Cuenca pone de manifiesto las problemáticas más importantes en la región y podrá generar y priorizar medidas de prevención, mitigación y corrección sobre los principales impactos negativos actuales
- La educación ambiental puede ser usada como herramienta esencial para comprometer a las comunidades en dicho proceso
- El Plan de Ordenación de la cuenca permitirá potenciar investigaciones tendientes a buscar soluciones particulares o a generar conocimientos sobre aquellos temas en que existen vacíos científicos o técnicos

5.3 Fortalezas

- El cambio altitudinal de los cursos hídricos potencia la re-oxigenación de las aguas y reduce los problemas de contaminación orgánica
- Las macrófitas y el fitoplancton están jugando un papel importante en la depuración de nutrientes en el lago
- No hay crecimiento de la población regional (ver capítulo social) y ello evita que se incremente el deterioro por vertimientos domésticos
- El volumen de agua en el Lago genera una alta capacidad de dilución
- La calidad actual de las aguas del Lago todavía permite una amplia variedad de usos en casi toda su extensión
- Se cuenta con un programa de monitoreo de aguas que se ha extendido por cerca de 5 años que permite apreciar con solidez la calidad de agua regional

5.4 Amenazas

- Aunque es de muy largo plazo y no muestra un carácter importante hoy día, la colmatación del Lago por arrastre de sólidos en la escorrentía
- Aumento de sistemas productivos en zonas que actualmente representan reservas naturales
- Incremento en enfermedades gastrointestinales por presencia de coniformes en las aguas de consumo humano
- Posibles efectos de bioacumulación y biomagnificación de pesticidas en la población humana regional
- Carencia de recursos suficientes para saneamiento ambiental
- Deterioro de la calidad del agua del Lago y su efecto sobre la producción de trucha, el turismo y la calidad ambiental regional
- Surgimiento de Políticas contrarias a la sostenibilidad de la región

5. SÍNTESIS

Los costados oriental y sur de la cuenca del Lago de Tota muestran una elevada explotación agrícola, principalmente, de cebolla y en menor cantidad de papa. Así mismo, se observa ganadería vacuna intensiva. Como producto de lo anterior, se observan parcelas con pequeñas casas que en algunos sectores alcanzan densidades elevadas y que reflejan incidencia antrópica, ya no solo agropecuaria sino también de tipo peri-urbana.

Las principales acciones de estos pobladores que pueden afectar la calidad de las aguas, se traducen entonces en el uso de abonos inorgánicos y orgánicos como la gallinaza, así como diversos tipos de plaguicidas en los cultivos; mientras que en las casas ocurren vertimientos domésticos que, las más de las veces se llevan a cabo sobre pozos sépticos (no se observan vertimientos directos sobre las fuentes de agua). El uso del agua es esencial para los sistemas agrícolas, para el consumo humano y pecuario, y demás quehaceres domésticos, por lo que se capta agua mediante mangueras desde las diversas quebradas que alimentan cada microcuenca. La calidad particular con que se capta el agua, depende de los usos del suelo y de la escorrentía que ha habido aguas arriba.

De manera general, la calidad más baja se observa en las quebradas La Mugre y Aguablanca, en el río Tobal y en menor proporción en la Q. Los Pozos y el Río Olarte. En ellas se reconoce incidencia de mineralización o ganancia de iones; contaminación orgánica aunque con altos niveles de oxígeno por la re-oxigenación que exhiben las aguas en su rápido descenso de altitud; turbiedad o ganancia de sólidos suspendidos principalmente en la Q. La Mugre; eutroficación por ganancia de iones de nitrógeno y fósforo aportados en esencia por la escorrentía de los cultivos; y niveles de coliformes totales, fecales y de *Escherichia coli* muy importantes en las Q. La Mugre, Los Pozos y Aguablanca, que reflejan vertimientos domésticos, escorrentía de suelos con gallinaza o materias fecales de mascotas y posiblemente aguas de escorrentía de zonas de ganadería.

Esta última situación refleja problemas y conflictos en el uso del agua, puesto que quienes viven aguas abajo de una fuente particular, deben captar aguas contaminadas, tanto para su consumo, como para el riego de sus cultivos. En uno u otro caso, la presencia y cantidad de *Escherichia coli* en las quebradas La Mugre, Aguablanca y Los pozos, y en el río Tobal, señalan que estas aguas ni son aptas para el consumo directo, ni deben ser utilizadas para el riego de alimentos de consumo crudo como es el caso de la cebolla. Además, son aguas que no deberían tener contacto primario y en las cuales no deben desarrollarse procesos productivos de piscicultura. Cabe notar que hay un vacío de información en torno a los tratamientos que los pobladores realizan sobre el agua que están consumiendo y los problemas de salubridad que ésta podría estar ocasionando.

El cambio que ha tenido lugar en las variables que se han monitoreado en el tiempo, dificulta un análisis de tendencias pues unos y otros índices no se pueden calcular exactamente con las mismas variables físicas y químicas. Aun así, se puede resumir lo siguiente: hay aumento progresivo y sostenido de las concentraciones de nitrógeno en sus formas de nitritos y nitratos; hay aumento de los sólidos suspendidos en la Q. La Mugre durante el 2005, e igual ocurre en todas las estaciones lóxicas en lo atinente a mineralización y materia orgánica para dicho año.

Cabe referir entonces, que las microcuencas de las quebradas La Mugre, Aguablanca, Los Pozos y el río Tobal, principalmente, presentan niveles de contaminación importantes de distinta

índole que varían en el tiempo y que, como afluentes directos del Lago de Tota, trasladan la carga de estos elementos o compuestos a este último.

A pesar de lo previamente referido, el Lago de Tota exhibe muy buenas condiciones físicas y químicas en sus aguas superficiales, tal como lo demuestran los resultados del programa de monitoreo. Ello es válido en lo relativo a mineralización, materia orgánica, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos, nitrógeno en su forma de nitritos y nitratos, fósforo e incluso *Escherichia coli*. El Lago muestra entonces una elevada capacidad ambiental producto del volumen de agua que alberga (6.000 ha de superficie y 60 m de profundidad máxima, que representan cerca de 2 millones de m³), la cual le confiere una capacidad de dilución suficiente para la carga contaminante recibida. Al mismo tiempo, el Lago se beneficia por el viento y el oleaje que se producen en éste, hecho que le confiere alta re-oxigenación superficial (acorde a estándares internacionales y según los niveles actuales de saturación del oxígeno en Tota, corresponde aproximadamente a 1 gramo de oxígeno por metro cuadrado y día, Vaillant, 1973) .

Adicionalmente, el Lago muestra en muchos de sus márgenes un gran desarrollo de franjas de macrófitas que desempeñan un papel biodepurador o de biotratamiento natural sobre las aguas recibidas, y de hecho, las macrófitas son utilizadas en muchos países del mundo en plantas de tratamiento residual para depurar aguas contaminadas. Esta situación es particularmente notable en la zona inmediata a la desembocadura de la Q. La Mugre donde tal franja alcanza cerca de 50 m de ancho, manifiestos en una exuberante comunidad vegetal donde también permanecen centenares de aves. Los registros físicos y químicos tomados frente a la desembocadura de esta Quebrada al inicio del espejo del agua, demuestran una calidad excelente en ella. Al remover el sedimento, sin embargo, se desprenden burbujas y malos olores producto de los gases de metano y ácido sulfhídrico provenientes de la materia orgánica sedimentada y que no encuentra en el bentos, el oxígeno requerido para su descomposición aeróbica. Lo anterior revela un alto desconocimiento de las condiciones fisicoquímicas en la columna del agua y en el fondo del Lago.

En forma complementaria, en algunas bahías principalmente del costado nororiental, se observa gran desarrollo de *Elodea sp.*, la cual ha sido reportada como enraizada hasta en zonas de 20 m de profundidad. Unas y otras plantas actúan entonces tomando el exceso de nutrientes que se vierten al Lago, y los transforman en biomasa vegetal (que soportan una pirámide trófica particular), además, con aportes de oxígeno e incrementos en el pH durante el proceso de fotosíntesis. *Elodea nuttallii* y *E. densa* son ampliamente recomendadas para acuarios puesto que prefieren el nitrógeno en la forma de amonio por lo que detoxifican los excesos de éste (caso similar ocurre con *Lemna minor*, *Ceratophyllum demersum*, *Eichornia crassipes*, *Pistia stratiotes* y *Salvinia molesta*. En: <http://www.bilyap.com.tr/magazin/mag3/concept1S3.php>). Cabe referir que el nitrógeno amoniacal muestra niveles elevados en el Lago por lo que la presencia y desarrollo de *Elodea sp.* favorece el retiro de este ión. Vale notar, sin embargo, que no es contundente el aporte neto de oxígeno que esta vegetación pueda hacer sobre el Lago, pues así como produce oxígeno en el día, lo respira en la noche, situación que podría aclararse con bioensayos y curvas de oxígeno de 24 horas.

Aunque se escucha con frecuencia por parte de los diferentes actores de la localidad que la presencia de estas plantas es perjudicial para el Lago, lo cierto es que constituyen la respuesta de la naturaleza a un proceso de degradación de las aguas por parte del hombre, que, a su vez, mejora las condiciones físicas y químicas de aquél.

Las actuales condiciones del Lago de Tota permiten entonces, múltiples usos sobre sus aguas (con excepción de la zona de desembocadura de la Q. La Mugre), incluidas actividades pesqueras y de acuicultura, como de recreación; unas y otras ofrecen también, un alto potencial turístico para la región. La actual calidad de las aguas posibilita, además, su potencial captación para diferentes usos agropecuarios o domésticos.

Dado que las actividades antrópicas de una región tienden a ir en aumento por el crecimiento histórico de la población humana, no deben tomarse los resultados como un llamado a la anarquía ambiental, pues en medio de los registros lénticos se vislumbran algunas señales de alerta. Así, por ejemplo, se observan en muchas estaciones valores elevados de amonio, y ocasionalmente de pH, este último con tendencia de incremento al igual que los nitritos y los nitratos. Así mismo, la conductividad de 2005 muestra niveles altos para todas las estaciones.

Por lo anterior, urgen medidas tendientes a controlar la calidad del agua en los afluentes del Lago y en particular en aquellos de mayor carga de contaminantes (concentración x caudal). Cabría, en primera medida, arreglar y potenciar (no solo sedimentación) la planta de tratamiento de las aguas residuales de Aquitania sobre la Q. La Mugre, afluente que exhibe los niveles más elevados de contaminación en la región.

En relación con el fitoplancton, cabe señalar que los grupos presentes se semejan a los encontrados en regiones geográficas similares, lo cual se traduce en una alta riqueza pero baja diversidad; lo primero en virtud al número de grupos y lo segundo bajo la mirada de índices de diversidad que tienen en cuenta también, las densidades de cada taxa. Este último se explica en la alta dominancia de las Chlorophyceae que alcanza el 72% de representación de toda la comunidad, grupo que está descrito en la literatura como euritípico o de amplia tolerancia ambiental.

Las densidades encontradas muestran condiciones eutróficas e hipereutróficas, hecho que responde al alto ingreso de nutrientes y que se manifiesta también en las grandes extensiones cubiertas por *Elodea*. La mayor densidad fitoplanctónica ocurre en proximidad de las desembocaduras de la quebrada Los Pozos y el río Tobal.

Grosso modo, la estructura del fitoplancton es muy homogénea a nivel espacial para el período estudiado; cabría sin embargo determinar mediante estudios futuros, si ella se mantiene o cambia sobre el ciclo anual.

BIBLIOGRAFÍA

1. APHA, AWWA, WPCF. 1992. "Métodos Normalizados". Para el análisis de aguas potables y residuales. Ediciones Díaz de Santos, S.A. Madrid, España.
2. BERMÚDEZ, A., MORENO, M., ARANGUEN, N. 2002. Estudio de la comunidad fitoplanctónica en el lago de Tota (Boyacá-Colombia). En: Congreso Mundial de Páramos. Memorias. Tomo I. Mayo. Conservación Internacional. Bogotá.
3. CEPIS. <http://www.cepis.ops-oms.org>.
4. COX, J.E. 1996. Identification of freshwater Diatoms from live material. Editorial Chapman and Hall.
5. DONATO-RONDÓN, J. 2001. Fitoplancton de los lagos andinos del norte de Sudamérica (Colombia). Composición y factores de distribución. Acad. Col. Cie. Exac. Fis. y Nat. Colección Jorge Álvarez Lleras. No. 19. Edición Guadalupe. Bogotá, D.C., Colombia
6. FERNÁNDEZ, N., SOLANO F. 2005. Índices de Calidad y de Contaminación del Agua. Centro de Hidroinformática. Vicerrectoría de Investigaciones Universidad de Pamplona. 146 pp.
7. FERNÁNDEZ, N., SOLANO, F., RAMOS, A. 2004. ICATEST V 1.0 - Una herramienta Informática para el análisis y valoración de la calidad del Agua. *Revista Bistua*. Vol 2. No.2. pp. 88-97.
8. GONZÁLES DE INFANTE, A. 1988. El plancton de las aguas continentales. Secretaría general de la Organización de los Estados Americanos. Washington D.C.
9. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -. 2004. Guía para el Monitoreo y Seguimiento del Agua. Bogotá.
10. MARGALEF, R. 1983. Limnología. Ed. Omega, Barcelona.
11. MARTÍNEZ, LF., DONATO, J. 2003. Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia) *Caldasia* 25(2): 337-354.
12. OMS, Organización Mundial de la Salud. 1989. Directrices Sanitarias sobre el Uso de Aguas Residuales en Agricultura y Acuicultura. Series de Informes Técnicos 778. Ginebra Suiza.
13. PARRA, O., GONZALEZ, M., DELLAROSA, V. 1983. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. Universidad de Concepción. Vol 5 (Chlorophyceae).
14. PARRA, O., GONZALEZ, M., DELLAROSA, V., RIVERA, P., ORELLANA, M. 1982. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. Universidad de Concepción. Vol 1 (Cyanophyceae), Vol 2 (Crysophyceae, Xanthophyceae), Vol 3 (Cryptophyceae, Dinophyceae, Euglenophyceae), Vol 4 (Bacillariophyceae).

15. PINEDA, C.P. 2002. Informe final programa de caracterización del Lago de Tota y sus tributarios 2001. Corporación Autónoma Regional de Boyacá, CORPOBOYACA. Subdirección Gestión Ambiental, Santiago de Tunja.
16. RAMÍREZ, A. 2005. Ecología. Métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades. IDEADE-CEJA, Universidad Javeriana, Bogotá.
17. RAMÍREZ, A. 1999a. Proyecto de acompañamiento técnico a los programas de monitoreo forestal del Pacífico Colombiano. Manual de métodos y procedimientos estadísticos. MMA-CONOF, Bogotá.
18. RAMÍREZ, A. 1999b. Ecología aplicada. Diseño y análisis estadístico. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.
19. RAMÍREZ, A., RESTREPO, R., CARDEÑOSA, M. 1999. Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. Formulaciones. *Ciencia Tecnología y Futuro* 1(5): 89-99.
20. RAMÍREZ, A., RESTREPO, R., VIÑA, G. 1997. Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación. *Ciencia tecnología y futuro* 1(3): 135 - 153.
21. RAMÍREZ, A., VIÑA, G. 1998. Limnología Colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. BP-Exploration, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.
22. River Index Project (RIP). 2002. Miami Valley River Index. <http://www.riverindex.org>.
23. ROLDAN, G. 1992. Fundamentos de limnología tropical. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
24. SALAS, H.J. 2000. Historia y Aplicación de Normas Microbiológicas de Calidad de Agua en el Medio Marino. Hojas de Divulgación Técnica del CEPIS. No. 29, 1985.
25. Sistema de Información Ambiental de Colombia – SIAC -. 2002. Conceptos, Definiciones e Instrumentos de la Información Ambiental de Colombia. Bogotá.
26. STEVENSON, R.J., BOTHWELL, M., LOWE, R. 1996. Algal Ecology. Freshwater bentic ecosystems. Academic Press.
27. SUELTA- PINILLA, E. 2003. Sistema de Indicadores de Gestión Ambiental. Directrices para la Implementación (Preliminar). Corporación Autónoma Regional de Boyacá. CORPOBOYACA, Tunja.
28. SZE, P. 1993. The biology of the algae. Second edition. Wm.C. Brown Publishers.
29. VAILLANT, J.R., 1973. *Protection de la Qualité des Eaux et Maitrise de la Pollution*. Eyrolles, París.

ANEXOS