

**ESTUDIO HIDROBIOLÓGICO DE LAS COMUNIDADES ACUATICAS COMO  
BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DE UN SISTEMA LENTICO Y  
LOTICO EN EL MUNICIPIO DE LA VEGA, CUNDINAMARCA.**

**GUSTAVO ADOLFO VILLARRAGA ARAGÓN  
JAVIER ARMANDO TELLEZ MOLINA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA**

**2013**

**ESTUDIO HIDROBIOLÓGICO DE LAS COMUNIDADES ACUATICAS COMO  
BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DE UN SISTEMA LENTICO Y  
LOTICO EN EL MUNICIPIO DE LA VEGA, CUNDINAMARCA.**

**GUSTAVO ADOLFO VILLARRAGA ARAGÓN  
JAVIER ARMANDO TELLEZ MOLINA**

Monografía para optar el título de  
Especialista en Ingeniería Ambiental

**DIRECTOR:  
ESP. RICHARD DIAZ GUERRERO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIA FISICOQUIMICA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA**

**2013**

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION.....	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.1. OBJETIVOS .....	15
1.1.1. Objetivo General .....	15
1.1.2. Objetivo Específicos .....	15
2. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. BIOINDICACIÓN .....	17
2.2. PLANCTON .....	18
2.3. Fitoplancton .....	18
2.3.1. Zooplancton .....	18
2.4. MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS (BENTOS).....	19
2.5. PERIFITON.....	19
3. ALCANCES.....	21
4. LIMITACIONES .....	22
5. AREA DE ESTUDIO.....	23
5.1. RÍO TABACAL .....	23
5.2. LAGUNA TABACAL.....	24
6. METODOLOGIA .....	25
6.1. FASE DE MUESTREO .....	25
6.1.1. Plancton (Fitoplancton y Zooplancton).....	26
6.1.2. Macroinvertebrados Bentónicos (Bentos) .....	27
6.1.3. Perifiton.....	27
6.2. FASE DE LABORATORIO.....	28
6.2.1. Fitoplancton .....	28
6.2.2. Zooplancton .....	29
6.2.3. Macroinvertebrados bentónicos (Bentos).....	30
6.2.4. Perifiton.....	31

6.3. FASE DE CÁLCULOS .....	32
6.3.1. El índice de Shannon-Weiner .....	33
6.3.2. El índice de Equidad o Uniformidad de Pielou .....	33
6.3.3. El índice de Dominancia de Simpson .....	34
6.3.4. El índice de biodiversidad de Margalef .....	34
6.3.5. Serie de números de Hill.....	35
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	36
7.1. Río Tabacal .....	36
7.1.1. Fitoplancton .....	36
7.1.2. Zooplancton .....	39
7.1.3. Macroinvertebrados Bentónicos (Bentos) .....	42
7.1.4. Perifiton.....	44
7.2. Laguna Tabacal.....	48
7.2.1. Fitoplancton .....	48
7.2.2. Zooplancton .....	50
7.2.3. Macroinvertebrados Bentónicos (Bentos) .....	51
7.2.4. Perifiton.....	54
7.2.5. Índices Ecológicos .....	57
8. CONCLUSIONES.....	59
9. RECOMENDACIÓN .....	61
BIBLIOGRAFIA.....	62
ANEXOS.....	66

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Sistema Lótico Río Tabacal. ....	23
<b>Figura 2.</b> Sistema Léptico Laguna El Tabacal.....	24
<b>Figura 3.</b> Muestreo de la comunidad Planctónica (Fitoplancton – Zooplancton)...	26
<b>Figura 4.</b> Muestreo de la comunidad de los Macroinvertebrados bentónicos (Bentos). ....	27
<b>Figura 5.</b> Muestreo de la comunidad del Perifiton. ....	28
<b>Figura 6.</b> Procedimiento de análisis de las muestras de Fitoplancton.....	29
<b>Figura 7.</b> Procedimiento de análisis de las muestras de Zooplancton .....	30
<b>Figura 8.</b> Procedimiento de análisis de las muestras de Macroinvertebrados Bentónicos (Bentos).....	31
<b>Figura 9.</b> Procedimiento de análisis de las muestras del Perifiton .....	32
<b>Figura 10.</b> Abundancia y riqueza de la comunidad Fitoplanctónica en el Río Tabacal. ....	39
<b>Figura 11.</b> Abundancia y riqueza de la comunidad Zooplanctónica en el Río Tabacal .....	41
<b>Figura 12.</b> Abundancia y riqueza de los Macroinvertebrados bentónicos presentes en el Río Tabacal.....	44
<b>Figura 13.</b> Fotografía de <i>Nitzschia</i> sp. y <i>Gyrosigma</i> sp., encontradas en el Río Tabacal. ....	46
<b>Figura 14.</b> Abundancia y riqueza de la comunidad Fitoplanctónica en la Laguna El Tabacal. ....	50
<b>Figura 15.</b> Fotografía de <i>Ascomorpha ovalis</i> encontrada en Laguna El Tabacal. .	51
<b>Figura 16.</b> Abundancia y riqueza de los Macroinvertebrados bentónicos en la Laguna El Tabacal. ....	54
<b>Figura 17.</b> Abundancia y riqueza de las microalgas del Perifiton en la Laguna El Tabacal. ....	57

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Metodologías utilizadas para la colecta, preservación y procesamiento de las muestras. ....	25
<b>Tabla 2.</b> Clasificación taxonómica de las microalgas Fitoplanctónicas en el Río Tabacal.....	37
<b>Tabla 3.</b> Clasificación taxonómica del zooplancton en el Río Tabacal.....	40
<b>Tabla 4.</b> Clasificación taxonómica de los Macroinvertebrados bentónicos presentes en el Río Tabacal.....	43
<b>Tabla 5.</b> Clasificación taxonómica de las microalgas del Perifiton en el Río Tabacal.....	45
<b>Tabla 6.</b> Índices de diversidad para comunidades presentes en el Río Tabacal...	47
<b>Tabla 7.</b> Clasificación taxonómica de las microalgas Fitoplanctónicas en la Laguna El Tabacal. ....	48
<b>Tabla 8.</b> Clasificación taxonómica del Zooplancton en la Laguna El Tabacal.....	50
<b>Tabla 9.</b> Clasificación taxonómica de los Macroinvertebrados bentónicos en la Laguna El Tabacal.....	52
<b>Tabla 10.</b> Clasificación taxonómica de las microalgas del Perifiton en la Laguna El Tabacal.....	55
<b>Tabla 11.</b> Índices de diversidad para las comunidades presentes en la Laguna El Tabacal. ....	58

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A Registro Fotográfico - Microalgas Fitoplanctónica y Perifíticas .....	66
Anexo B Registro Fotografico – <i>Zooplanton</i> .....	67
Anexo C <i>Macroinvertebrados Bentónicos</i> .....	68

**TÍTULO:** ESTUDIO HIDROBIOLÓGICO DE LAS COMUNIDADES ACUATICAS COMO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DE UN SISTEMA LENTICO Y LOTICO EN EL MUNICIPIO DE LA VEGA CUNDINAMARCA.

**AUTORES:** GUSTAVO ADOLFO VILLARRAGA ARAGÓN  
JAVIER ARMANDO TELLEZ MOLINA

**PALABRAS CLAVES:** Estudio Hidrobiológico - Abiótico - Bioindicadores – Comunidad Biótica – Diversidad – Léntico – Lótico.

**CONTENIDO:**

La realización de un estudio hidrobiológico con validez suficiente en sus criterios técnicos, constituye un referente importante para determinar la calidad de un cuerpo de agua; lo anterior se fundamenta en el hecho de que todo organismo vivo tiene unas preferencias o exigencias con respecto a los diferentes factores tanto bióticos como abióticos del ecosistema en el que habita.

Cada hábitat es colonizado por poblaciones animales y vegetales cuya estructura y dominancia responde a un equilibrio del medio, pero cuando sucede una alteración en este medio, ya sea por factores naturales o antrópicos, tiene lugar una alteración en la estructura de las comunidades acuáticas, lo cual se manifiesta en un cambio de la dominancia relativa de las diferentes especies, acompañado por sustituciones en la fauna y flora y por una disminución en la población, pudiendo incluso llegar a su desaparición completa cuando la perturbación es demasiado drástica.

El estudio hidrobiológico, realizado en un sistema léntico y lótico en el municipio de la Vega Cundinamarca, y cuyo desarrollo se encuentra plasmado en el presente documento, proporciona información valiosa sobre el estado actual de estos cuerpos de agua, y permite, a quien desee consultarlo, trazar una hoja de ruta frente a la estimación de la calidad antibiótica de los sistemas y por lo tanto, aporta una evaluación válida de su toxicidad. En síntesis se considera que la caracterización de una comunidad biótica en un hábitat determinado favorece la evaluación de las condiciones de calidad del medio, y en consecuencia se constituye en un bioindicador eficaz de la calidad.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingeniería Físicoquímica. Escuela de Ingeniería Química. Especialización en Ingeniería Ambiental. Director: Richard Díaz Guerrero

**TITLE:** HYDROBIOLOGICAL STUDY OF AQUATIC COMMUNITIES AS BIOINDICATORS OF WATER QUALITY IN LOTIC AND LENTIC SYSTEM IN LA VEGA CUNDINAMARCA.

**AUTHORS:** GUSTAVO ADOLFO VILLARRAGA ARAGON  
JAVIER ARMANDO TELLEZ MOLINA

**KEYWORDS:** Hydrobiological study – Abiotic - Bioindicators - Biotic community – Diversity – Lentic – Lotic.

**CONTENT:**

The hydrobiological study with sufficient validity in their technical criteria, is an important reference for determining the quality of a water body, this is based on the fact that every living organism has preferences or requirements with respect to different both biotic and abiotic factors of the ecosystem in which it lives.

Each habitat is colonized by plant and animal populations and dominance whose structure reflects a balance between, but when it happens a change in this environment, whether natural or human factors, a change occurs in the structure of aquatic communities, it which is manifested in a change in the relative dominance of different species, accompanied by substitutions in wildlife and a decrease in the population, and may even complete disappearance when the disturbance is too drastic.

The hydrobiological study conducted in lentic and lotic system in La Vega Cundinamarca, whose development is embodied herein, provides valuable information on the current status of these water bodies, and allows those who wish to consult, draw a roadmap against antibiotic quality estimation systems and therefore provides a valid evaluation of its toxicity. In summary it is considered that the characterization of a biotic community in a given habitat assessment promotes environmental quality conditions, and therefore constitutes an effective quality bioindicator.

---

\*\*\* Work Degree

\*\* Faculty of the Physico-Chemical Engineering. School of Chemical Engineering. Specialization in Environmental Engineering. Director: Richard Diaz Guerrero

## INTRODUCCION

Las propiedades biológicas y químicas de los ecosistemas acuáticos pueden variar a través del tiempo de manera natural, bien sea por la evolución biocinética o mediante procesos originados por la acumulación de material de origen orgánico o inorgánico, eutrofización, acidificación y la invasión de especies que atraviesan barreras biogeográficas de manera accidental o introducidas por el hombre (Margalef, 1983). En este orden de ideas los ecosistemas acuáticos son el resultado de las interacciones entre los organismos y las condiciones fisicoquímicas del ambiente, de ahí que los individuos acuáticos están directamente afectados por cualquier alteración que el hombre realice sobre las aguas (Roldan y Ramírez, 2008). Los ambientes acuáticos son muy variados y a cada uno de ellos le corresponde una comunidad diferente; por esto, cuando se realiza un análisis de la calidad del agua se deben considerar todos los hábitats presentes en el lugar de muestreo, además del tipo de sustrato que constituye el lecho del cuerpo de agua, ya que eso permite que distintas formas animales se depositen en los micro hábitats. La composición, estructura y dinámica de las comunidades hidrobiológicas, se ven inmediatamente influenciadas por cambios en las condiciones naturales del medio en que viven, razón por la cual, su estado de conservación es el mejor indicador de las condiciones en las que se encuentra cualquier cuerpo de agua lótico y/o léntico (Roldán y Ramírez, 2008).

En este orden de ideas es importante para este tipo de estudios reconocer el papel que juega cada una de las especies en la dinámica de los ecosistemas acuáticos ya que cada uno de ellos suele ser un bioindicador de una condición ambiental específica, en este sentido cada organismos es indicador de las condiciones del medio en que se desarrolla, ya que de cualquier forma su existencia en un espacio y momento determinados responde a su capacidad de adaptarse a los distintos factores ambientales. Sin embargo en términos más

estrictos, un indicador biológico acuático se ha considerado como aquel cuya presencia y abundancia señalan algún proceso o estado del sistema en el cual habita, en especial si tales fenómenos constituyen un problema de manejo del recurso hídrico (Pinilla, 2000). Los indicadores biológicos se han asociado directamente con la calidad del agua (Mason, 1984 **En:** Pinilla, 2000) más que con procesos ecológicos o con su distribución geográfica, sin que ellos impida utilizarlos en tales circunstancias. El principal pale que se le ha dado a los indicadores biológicos ha sido la detección de sustancias contaminantes, ya sean estos metales pesados, materia orgánica, nutrientes (eutrofización) o elementos tóxicos como hidrocarburos, pesticidas, ácidos, bases y gases, con miras a establecer la calidad del agua (Pinilla, 2000), de ahí la importancia del uso de organismos acuáticos en los diferentes estudios ambientales.

El presente estudio se caracterizó por la toma de muestras y análisis de las comunidades hidrobiológicas del Plancton, Macroinvertebrados bentónicos (Bentos) y perifiton presentes en dos sistemas acuáticos uno Léntico y otro Lótico, los cuales se encontraron ubicados en el municipio de la Vega departamento de Cundinamarca, el cual se llevó a cabo el 16 de Diciembre de 2012, con el cual se pretende determinar el estado actual de las comunidades biológicas y los potenciales impactos que puedan recaer sobre éstas. Para ello se realizó la toma directa de muestras de forma puntual, las cuales posteriormente fueron llevadas al laboratorio para su respectivo análisis cuantitativo y cualitativo, para finalmente determinar el estado de calidad ambiental del sistema.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

¿Cuál es la importancia de estudiar las comunidades del Plancton, Bentos y Perifiton como herramienta de bioindicación para establecer el estado de un sistema acuático?

### **1.1. OBJETIVOS**

#### **1.1.1. Objetivo General**

Estudiar hidrobiológicamente las comunidades acuáticas como bioindicadores de la calidad del agua de un sistema lentic y lotico en el municipio de la vega, Cundinamarca.

#### **1.1.2. Objetivo Específicos**

- Determinar la composición y abundancia de las comunidades acuáticas de Plancton (Fitoplancton y Zooplancton), Bentos y Perifiton, presentes en cada uno de los cuerpos de agua estudiados.
- Estimar la diversidad de los componentes acuáticos establecidos con el fin de determinar los posibles impactos que puedan recaer sobre ésta, y de esta forma lograr determinar y formular las medidas preventivas.

## 2. MARCO TEÓRICO

Los ecosistemas se definen como una unidad ecológica de carácter convencional, en el cual un grupo de organismos interactúan entre si y estos a su vez con el ambiente (Roldan y Ramírez, 2008). En un cuerpo de agua pueden existir un número variado de hábitats a los cuales viven asociados los distintos grupos de organismos, que en últimas forman parte de las cadenas y tramas tróficas cuyas abundancias y complejidades están determinadas por el estado trófico del sistema. (Roldan y Ramírez, 2008).

Al hacer referencia a los sistemas acuáticos se debe diferenciar entre los sistemas lóticos y lénticos, los primeros cuentan con una corriente unidireccional, con una alta dinámica del sistemas debido a las condiciones ambientales y poca interacción interrelación entre las especies que lo habitan, y el segundo se caracteriza por no poseer una corriente evidente, demuestran una entrada directa de luz, además de acumular una gran cantidad de nutrientes (Ramírez y Viña, 1998). Las características especiales de cada uno de estos sistemas pueden admitir el desarrollo de algunas comunidades biológicas comprendidos entre fitoplancton, zooplancton, perifiton, macroinvertebrados bentónicos, macrófitas y peces, cada uno de ellos dependiendo y proliferando con mayor éxito según el ecosistema donde se desenvuelvan. En este orden de ideas este tipo de organismos además de cumplir una función ecológica dentro de los sistemas, han sido utilizados como bioindicadores en estudios de impacto ambiental pues funcionan como determinantes de la calidad del agua debido a su alta sensibilidad a los cambios en las condiciones naturales de sus hábitats (Roldán y Ramírez, 2008).

## **2.1. BIOINDICACIÓN**

La bioindicación se basa en el hecho que todo organismo es guía de las condiciones del medio en el que se encuentra, ya que su presencia indica que las adaptaciones del animal son acordes con el sistema. Sin embargo la bioindicación utiliza la presencia y la abundancia de dicho individuo para señalar algún proceso físico o químico que se da en el ecosistema. Vale la pena rescatar que aunque se hable de individuo indicador, realmente se refiere a la población de dicho individuo (Roldán, 2003). Tal y como lo explica Pinilla (2000), cualquier evento ocurrido al interior de un sistema, provocará un cambio en sus características originales, estos cambios pueden ser evidenciados inmediatamente o incluso años después de ocurrida la perturbación. Cualquier organismo que habita un medio, puede ser interpretado como indicador biológico, sin embargo en un nivel más estricto, se toman como bioindicadores especies que señalen los procesos o estado del ecosistema. Los organismos bioindicadores tienen la facultad de demostrar procesos de acumulación que los parámetros físico-químicos no expresan (Pinilla, 2000).

Cuando las especies habitan un medio determinado, se encuentran adaptadas a las condiciones propias de ese lugar, cuando se alteran estas características o existe una fuente de contaminación, puede ocurrir la desaparición de uno o varios Taxones. Lo anterior provoca la pérdida de etapas de la cadena alimenticia, y la sobrevivencia de otros que generalmente aumentan su abundancia. La modificación de la estructura de la comunidad no indica necesariamente una variación en el ecosistema, también se deben tener en cuenta el tipo de organismos encontrados y la proporción en la que se encuentran en la muestra (Roldán y Ramírez, 2008).

## **2.2. PLANCTON**

El plancton es una de las comunidades que hace parte del ambiente pelágico, esta comunidad hace referencia a todas las formas animales y vegetales que viven suspendidos en el agua a merced de las corrientes (Roldán y Ramírez, 2008). Las comunidades planctónicas de las aguas lénticas y continentales y de las zonas marinas son más representativas en términos de riqueza y de abundancia con relación los sistemas lóticos, debido a que en estos últimos la intervención de las turbulencias y las velocidades de las corrientes limitan su proliferación y su establecimiento (Ramírez y Viña, 1998). El plancton presenta organismos tanto con características vegetales como con características animales, conocidos como Fitoplancton y Zooplancton respectivamente.

## **2.3. Fitoplancton**

Esta comunidad comprende los organismos vegetales y bacterias que son capaces de realizar fotosíntesis como procesos principal para su desarrollo vital (Ramírez, 2000), gracias a esta característica como sucede en los ecosistemas terrestres con los demás organismos vegetales, el fitoplancton genera grandes aportes a la producción primaria de los ecosistemas acuáticos, brindando grandes cantidades de energía necesaria para que lleven a cabo todos los procesos relacionados con la cadena trófica (Ramírez y Viña, 1998).

### **2.3.1. Zooplancton**

Esta comunidad se encuentra representada por los organismos animales del plancton, los cuales se caracterizan por ser heterótrofos (obtienen su alimento a partir del fitoplancton) y ser aquellos que se encuentran en el escalafón inmediatamente siguiente al fitoplancton en la cadena trófica de los ecosistemas acuáticos (Roldán y Ramírez, 2008). El plancton animal se constituye de un

número variado de organismos, entre los cuales se pueden encontrar desde amebas, rotíferos y artrópodos, entre otros. La mayoría de estos organismos son de vida libre y se encuentran asociados a materiales suspendidos para conformar estructuras de protección. (Streble y Krauter, 1987).

#### **2.4. MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS (BENTOS)**

Los macroinvertebrados que habitan en los ecosistemas fluviales están ampliamente representados por diferentes grupos desde coleópteros, efemerópteros, dípteros, tricópteros, arácnidos, crustáceos, gusanos y estadios larvales (Pinilla, 2000), los que dependiendo del tipo de sistema en que se encuentren pueden ser más comunes unos que otros (Pardo et al, 2010), logrando habitar bien sea adheridos a las rocas, al material vegetal disponible ó enterrados en los sedimentos ende son los evaluadores por excelencia de la calidad de los cuerpos de agua (Roldan, 2003).

Estos organismos habitan en los fondos de los sistemas hídricos, lo que permite diferenciar unos de otros (Roldan y Ramírez, 2008). Los invertebrados que ocupan un hábitat determinado poseen unas características morfológicas, comportamentales y fisiológicas que les permiten adaptarse al mismo. Por lo tanto, muchos invertebrados que habitan en los ecosistemas fluviales son muy exigentes con su hábitat, lo que les hace especialmente sensibles a la degradación ambiental siendo este factor determinante a la hora de realizar estudio de composición y abundancia de la comunidad (Pardo *et al*, 2010).

#### **2.5. PERIFITON**

El termino hace referencia a microalgas que se encuentran asociadas a sustratos duros, las cuales pueden ser tenidas en cuenta como indicadores ecológicos por su sensibilidad a los cambios físico-químicos del agua, abundancia en la mayoría

de los ecosistemas acuáticos, tasas de renovación muy elevada (a diferencia de las macrófitas) y facilidad de colecta y análisis (Pardo *et al*, 2010). Del mismo modo se les consideran de gran importancia, pues son capaces de producir metabolitos para el inicio de la cadena alimenticia, ofrecer una alta tasa de reciclaje de nutrientes y pueden indicar acerca de la calidad del agua (Roldan y Ramírez, 2008). Las comunidades de microalgas perifíticas responden al aumento de nutrientes, sobre todo nitrógeno y fósforo en el agua mediante cambios en la composición de la comunidad. Por este motivo la importancia en el uso de las microalgas como indicadores se destaca por su correlación con las concentraciones de nutrientes, de manera que puede alcanzar una importancia destacada en condiciones de contaminación orgánica y eutrofización (Pardo *et al*, 2010)

### **3. ALCANCES**

Los estudios limnológicos basados en la bioindicación, han sido ampliamente utilizados alrededor del mundo, bien sea aplicándolos tanto a sistemas dulceacuícolas como marinos.

El alcance de este estudio en particular se basa en el establecimiento de características sobre las cuales los dos sistemas dulceacuícolas léntico y lótico, se puedan encontrar. Por otra parte este estudio queda abierto a que otras mentes puedan continuarlo y establecer un manejo más amplio de la información de acuerdo a los resultados obtenidos en la actualidad.

#### **4. LIMITACIONES**

Los estudios de bioindicación generan una gran demanda de tiempo que pueden ser desde meses o incluso años, como sucede en España y en el Perú, además del requerimiento de equipos especializados (Redes de plancton, redes de bentos, botellas colectoras, multiparametros, disco secchi, botellas de tipo Van Dorn, entre otras) para llevar a cabo de forma más efectiva la actividad. Asimismo como la necesidad de utilizar equipos de laboratorios especializados en el tema para la obtención de una información mucho más certera y detalla acerca del problema a solucionar.

## 5. AREA DE ESTUDIO

Para este tipo de estudio se consideraron las diferencias físicas que existen entre los sistemas acuáticos, por lo que se decidió realizar un muestreo tanto para un sistema léntico como para uno lótico. A continuación se describen de forma general los sistemas analizados:

### 5.1. RÍO TABACAL

El Río tabacal se encuentra ubicado a 5 km aproximadamente del casco urbano del municipio de la Vega, Cundinamarca vía la Laguna. Esta es un sistema acuático con presencia de un flujo unidireccional evidente y constante (Lótico), el cual es capaz de generar aportes al sistema tanto de sedimentos como de material orgánico de origen vegetal. Asimismo fue posible evidenciar en el que el sustrato que lo compone es del tipo rocoso con presencia de arenas, lo que hace que este sea poco compacto, lo que puede permitir que se presente una alta mineralización (**Figura 1**).

**Figura 1.** Sistema Lótico Río Tabacal.



**Fuente:** Villarraga y Téllez, 2012

## 5.2. LAGUNA TABACAL

Se encuentra ubicada a 7 kilómetros del casco urbano del municipio de La Vega en el departamento de Cundinamarca, se trata de un sistema léntico de medianas dimensiones, con aguas de color verdoso generado por la presencia de microalgas, cuenta con un sustrato variado conformado por rocas, fango y abundante material en descomposición. Esta se encuentra ubicada junto a una ladera montañosa en la cual la profundidad aumenta bruscamente; en sus alrededores se logra observar la presencia de algunas especies de macrófitas dentro de las que se resaltan el buchón de agua y la enea. Es de tener en cuenta que esta laguna está catalogada como zona de reserva en donde no se pueden realizar actividades antrópicas (**Figura 2**).

**Figura 2.** Sistema Léntico Laguna El Tabacal.



**Fuente:** Villarraga y Téllez, 2012

## 6. METODOLOGIA

La metodología utilizada para la realización del monitoreo y para el análisis de las muestras en laboratorio se encuentran descritas por el Standard Methods 22 Ed. y que se describe en la siguiente tabla.

**Tabla 1.** Metodologías utilizadas para la colecta, preservación y procesamiento de las muestras.

Comunidad	Método usado	
	Muestreo	Análisis
Fitoplancton	10200B SM	Semina 1978 En: UNESCO 1978
Zooplancton	10200B SM	Paggi y Paggi, 1995 En: Lopretto y Tell, 1995
Bentos	10500B SM	10500C SM
Perifiton	Rivera y Zapata (2009)	10300C, SM modificado

**Nota:** SM modificado hace referencia a una serie de adecuamientos a la ecuación de acuerdo a las necesidades de los investigadores.

**Fuente:** Villarraga y Téllez, 2012

### 6.1. FASE DE MUESTREO

En la fase de campo (muestreo), se debe contar con el material necesario para tomar los parámetros hidrobiológicos requeridos para cada una de las comunidades hidrobiológicas, una vez se llega a los puntos de muestreo previamente establecidos se deben registrar algunas de las características propias del medio como lo son el tipo de sistema, ancho y profundidad, color del agua, corriente, sustrato, vegetación circundante y todo tipo de posibles variables del medio. Durante esta etapa se toman las muestras de cada comunidad acuática

basados en procedimientos estandarizados y referidos en las literaturas mencionadas en la **Tabla 1**.

### 6.1.1. Plancton (Fitoplancton y Zooplancton)

La comunidad planctónica fue muestreada utilizando una red cónica, la cual se encuentra conectada con una botella colectora en su extremo terminal. De esta red se debe tener en cuenta el tamaño del ojo de malla el cual fue de 23  $\mu\text{m}$  para fitoplancton y de 80  $\mu\text{m}$  para zooplancton (**Figura 3**). A través de estas redes se hizo pasar un volumen de agua de 60 litros para la comunidad del fitoplancton y 100 litros para la comunidad del zooplancton. Finalmente la muestra fue teñida con lugol, fijada con solución Transeau y rotulada para su identificación.

**Figura 3.** Muestreo de la comunidad Planctónica (Fitoplancton – Zooplancton).



**Fuente:** Villarraga y Téllez, 2012

### 6.1.2. Macroinvertebrados Bentónicos (Bentos)

La comunidad bentónica se muestreo con una red de tipo Surber, la cual presenta una malla de 150  $\mu\text{m}$  de diámetro de poro y de un área de superficie de 0,09  $\text{m}^2$ . Con esta red se realizaron cinco replicas en cada uno de los sistemas acuáticos con el objetivo de poder coleccionar una mayor información biológica referente a la comunidad a estudiar. Para realizar una buena utilización y por ende una buena práctica en campo, la red Surber debe ser ubicada en contra de la corriente, realizar movimientos de remoción del sustrato para así hacer que los organismos surjan a flote y queden atrapados en ella (**Figura 4**).

**Figura 4.** Muestreo de la comunidad de los Macroinvertebrados bentónicos (Bentos).



Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

### 6.1.3. Perifiton

Para esta comunidad y de acuerdo a su origen, se procedió a la selección de varios sustratos como lo son rocas, hojas y troncos. A partir de estos sustratos se realizó un raspado con un cepillo de dientes de la biopelícula (capa algal) que se encontraba adherida a los mismos, el área de raspado fue de 36  $\text{cm}^2$ .

Posteriormente la muestra se almacenó en envases plásticos color ambar de 70 mL, en donde fue teñida con lugol y fijada con solución Transeau (**Figura 5**).

**Figura 5.** Muestreo de la comunidad del Perifiton.



Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

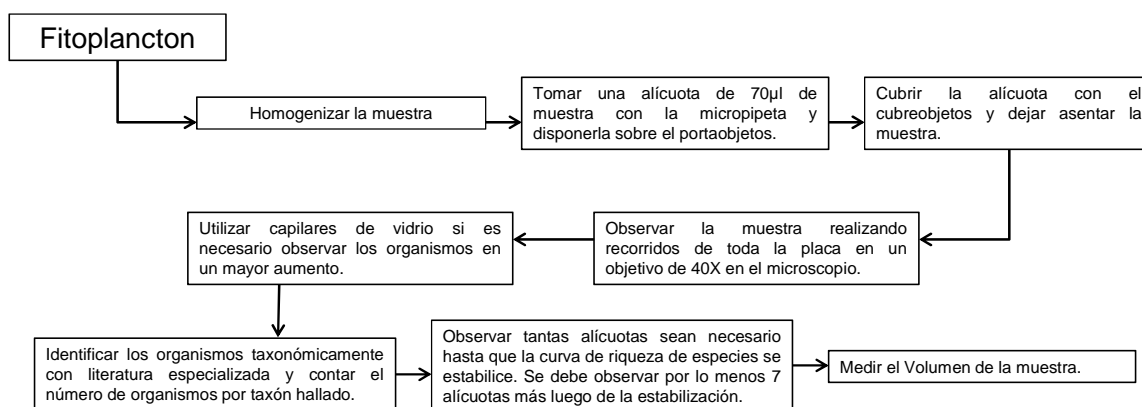
## 6.2. FASE DE LABORATORIO

### 6.2.1. Fitoplancton

Las muestras fueron homogenizadas por medio de burbujeo utilizando una pipeta Pasteur, la metodología utilizada se encuentra referenciada en Semina 1978 **En:** UNESCO 1978. Esta metodología permitió un mejor manejo de los datos para la aplicación de la técnica de análisis de una alícuota. Para este análisis se utilizó una micropipeta transferpette de 10 - 100  $\mu\text{L}$  estableciendo un volumen de 70  $\mu\text{L}$  para cada alícuota. Una vez ubicada la muestra bajo el microscopio óptico compuesto se realizó un barrido en zigzag en el aumento de 40X de manera que abarcara la mayor área posible de la alícuota y contando tantas alícuotas como sea necesario (mínimo 10 alícuotas) hasta que la curva de riqueza acumulada se estabilice.

Para la identificación de las muestras se utilizó literatura especializada teniendo en cuenta las siguientes referencias Ramírez, (2000); Streble y Krauter (1987); Whitford y Schumacher (1969) y APHA-AWWA-WPCF, (2012) mientras que para la clasificación taxonómica de cada especie se tuvo en cuenta la base de datos taxonómica Integrated Taxonomy Information System (ITIS) (**Figura 6**).

**Figura 6.** Procedimiento de análisis de las muestras de Fitoplancton.



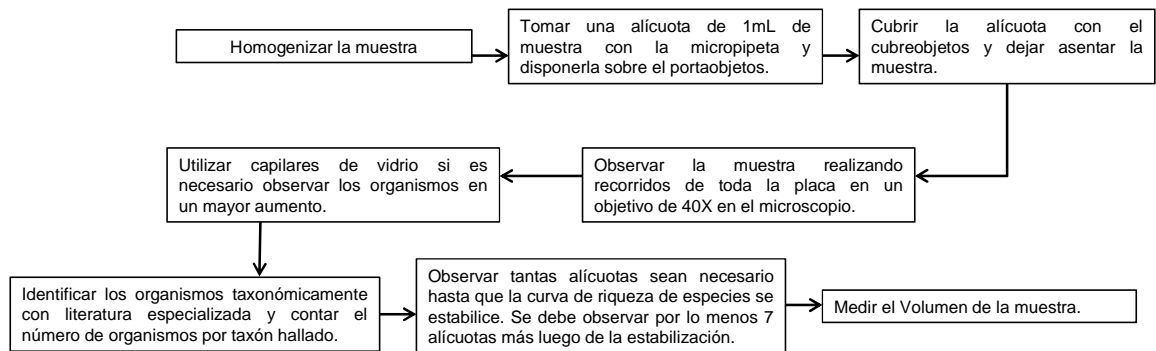
Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

## 6.2.2. Zooplancton

Las muestras fueron homogenizadas con una pipeta Pasteur antes de ser analizada por medio de burbujeo. El análisis de las muestras se realizó siguiendo la propuesta de Paggi y Paggi 1995 **En:** Lopretto y Tell, 1995 la cual se enfoca en la utilización de una placa SR (Sedgwick-Rafter) y una pipeta graduada de 1 mL la cual es el volumen utilizado por alícuota. La muestra se coloca bajo el microscopio óptico compuesto y se analiza realizando un barrido en zigzag bajo el aumento de 10X. Se deben analizar tantas alícuotas sean necesarias hasta que la curva de diversidad acumulada se estabilice (mínimo 10 alícuotas). La identificación de los organismos se realizó con literatura especializada teniendo en cuenta las siguientes referencias Streble y Krauter (1987); mientras que para la clasificación

taxonómica se utilizó la base de datos taxonómica Integrated Taxonomy Information System (ITIS) (**Figura 7**).

**Figura 7.** Procedimiento de análisis de las muestras de Zooplancton

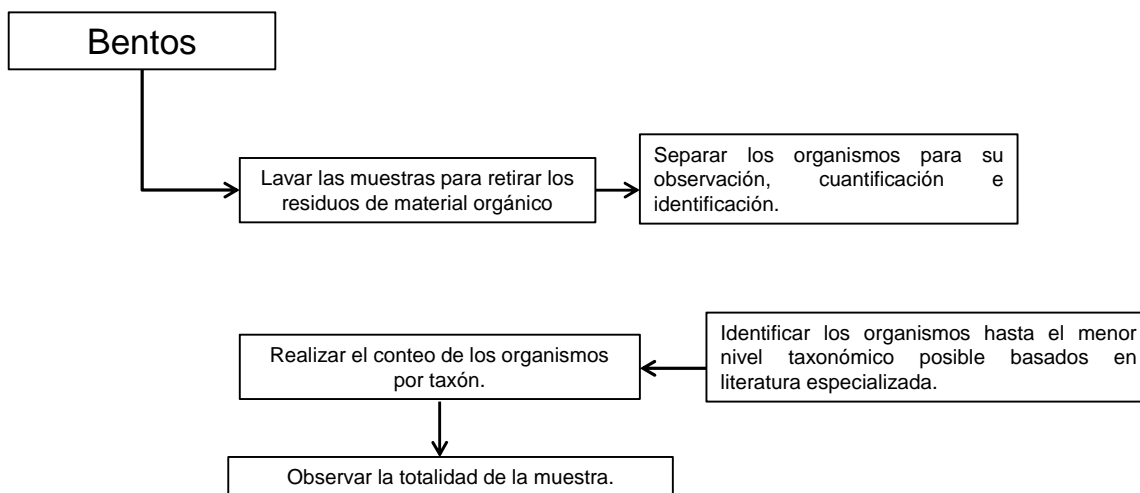


Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

### 6.2.3. Macroinvertebrados bentónicos (Bentos)

Para analizar esta comunidad cada muestra fue trabajada de manera independiente sometiéndolas a un lavado con agua sobre unos tamices de 250  $\mu\text{m}$  710  $\mu\text{m}$  cuyo objetivo es separar los organismos de las demás impurezas (material vegetal y sedimentos). Los organismos fueron sometidos a tinción con solución de Rosa de Bengala durante 1 hora para facilitar la separación la cual se realizó en cajas petri con el manejo de pinzas y el estereoscopio. Una vez separados los organismos se procedió a su identificación bajo el estereoscopio utilizando literatura especializada resaltando las siguientes referencias Liévano y Ospina, 2007; Roldan, 1988; Roldan, 2003, mientras que para la clasificación taxonómica se tuvo en cuenta la base de datos taxonómica Integrated Taxonomy Information System (ITIS) (**Figura 8**).

**Figura 8.** Procedimiento de análisis de las muestras de Macroinvertebrados Bentónicos (Bentos)



Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

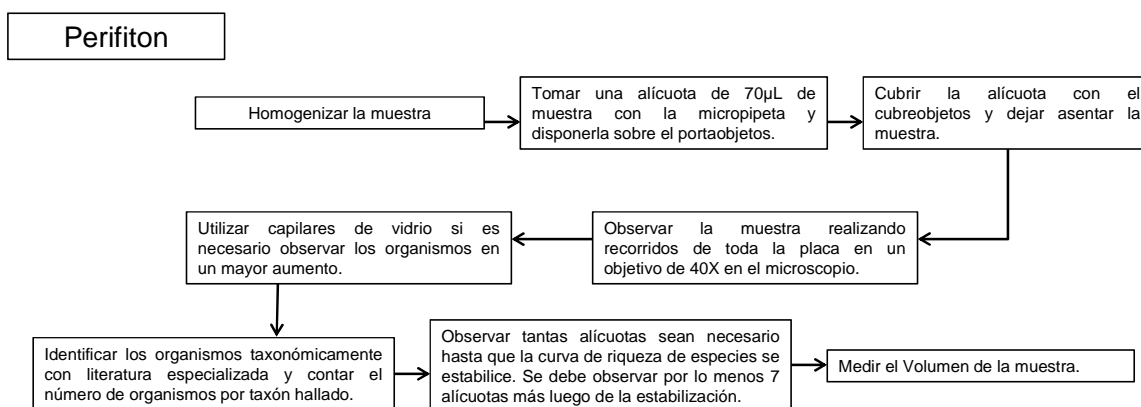
#### 6.2.4. Perifiton

Las muestras fueron homogenizadas por medio del burbujeo utilizando una pipeta Pasteur, a la metodología utilizada se le realizó una modificación tal método aparece en la APHA, AWWA y WPCF, en el Standard Methods Ed. 22 la cual permitió el mejor manejo de datos para la aplicación de la técnicas de análisis de una alícuota. Para este análisis se utilizó una micropipeta transferpette de 10 - 100  $\mu$ L estableciendo un volumen de 50  $\mu$ L para cada alícuota. Una vez ubicada la muestra bajo el microscopio óptico compuesto se realizó un barrido en zigzag en el aumento de 40X de manera que abarcara la mayor área posible de la alícuota y contando tantas alícuotas como sea necesario (mínimo 10 alícuotas) hasta que la curva de riqueza acumulada se estabilice.

Para la identificación de las muestras se utilizó literatura especializada teniendo en cuenta las siguientes referencias Ramírez, (2000); Streble y Krauter (1987); Whitford y Schumacher (1969) y APHA-AWWA-WPCF, (2012) mientras que para

la clasificación taxonómica de cada especie se tuvo en cuenta la base de datos taxonómica Integrated Taxonomy Information System (ITIS) (**Figura 9**).

**Figura 9.** Procedimiento de análisis de las muestras del Perifiton



Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

### 6.3. FASE DE CÁLCULOS

Algunos índices matemáticos describen la riqueza y la distribución de especies en la comunidad; son los índices de diversidad de especies, y se utilizan para describir el conjunto de las poblaciones de una comunidad. Los índices de diversidad raramente se han aplicado a las comunidades microscópicas como lo son el caso del Plancton y del Perifiton debido a las dificultades técnicas para clasificar los numerosos organismos que las componen. Los científicos a menudo utilizan la taxonomía numérica (p.e Morfotipos) para determinar las especies presentes en una muestra. En la taxonomía numérica se tienen en cuenta gran número de características a menudo fenotípicas de los organismos hallados en una muestra, y se realizan análisis de agrupaciones para establecer las semejanzas entre los organismos; se considera que organismos similares pertenecen a la misma especie (Atlas y Bartha, 2002).

Los índices de diversidad relacionan el número de especies y la importancia relativa de las especies individuales. Los dos principales componentes de la diversidad de especies son la riqueza de especies o variedad y la uniformidad. La riqueza de especies puede expresarse mediante relaciones simples entre el número total de especies y el número total de organismos. Es una medida del número de especies en la comunidad, pero no de cuantos individuos existen de una especie concreta. La equidad o uniformidad es una medida de la proporción de individuos dentro de cada especie e indica si existen poblaciones dominantes. En este orden de ideas a continuación se señalan algunos de los índices de diversidad, riqueza y dominancia ecológica aplicados en este presente estudio. El cálculo de estos índices se realizó con el software PRIMER V5.2

### **6.3.1. El índice de Shannon-Weiner**

Este índice tiene en cuenta la equidad de la muestra, es decir que tiene en cuenta la abundancia de todas las especies y es independiente del tamaño de la muestra (Moreno, 2001); se calcula con la siguiente ecuación:

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \log P_i$$

Donde  $p_i$  es la proporción de individuos de cada especie en el número total de organismos en la muestra. Este índice da resultados de 0.0-5.0 bits/individuo; valores de 0.0-1.5 bits demuestran aguas muy contaminadas, de 1.5-3.0 bits/individuo, medianamente contaminadas; y 3.0-5.0 bits/individuos, aguas muy limpias (Roldán y Ramírez, 2008).

### **6.3.2. El índice de Equidad o Uniformidad de Pielou**

Este índice mide la proporción de la diversidad observada con la máxima diversidad esperada (Moreno, 2001). Se calcula de la siguiente manera:

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

Donde  $H'_{max} = \ln(S)$ .

### 6.3.3. El índice de Dominancia de Simpson

El índice de Simpson está influenciado por la importancia de las especies más dominantes de la muestra (Moreno, 2001; Roldan y Ramírez, 2008); este dato se puede hallar de las siguientes maneras:

$$\lambda = \sum(P_i)^2 \quad (1)$$

$$\lambda' = \frac{\sum n_i(n_i-1)}{n_i(n_i-1)} \quad (2)$$

1: Índice de dominancia para una comunidad infinita.

2: Índice de dominancia para una comunidad finita.

Este índice varía entre 0 y 1; cuando los valores obtenidos tienden a 0, la diversidad es alta, pero cuando los valores son iguales a 1 existe un individuo dominante (Roldán y Ramírez, 2008). Como el índice de Simpson ( $\lambda$ ) refleja el grado de dominancia en una comunidad, la diversidad de la misma puede calcularse como **Diversidad = 1 -  $\lambda$** .

### 6.3.4. El índice de biodiversidad de Margalef

El índice establecido por el ecólogo Catalán Ramón Margalef juega con la variación en el tamaño de la muestra y tiene en cuenta la relación ente el número

de especies y el número total de individuos (Moreno, 2001). Se calcula con la siguiente ecuación:

$$D_{mg} = \frac{S-1}{\ln N}$$

Donde, S = número de especies y N = número total de individuos. Este índice varía entre 0 y 30, cuando la diversidad es baja y la dominancia es alta, el índice tiene a 0 (Roldán y Ramírez, 2008).

### 6.3.5. Serie de números de Hill

La serie de números de Hill se refieren a una serie de números que permiten calcular el número efectivo de especies en una muestra, es decir, una medida del número de especies cuando cada especie es ponderada por su abundancia relativa. De toda la serie, los más importantes son:

N1= número de especies abundantes

N2= número de especies muy abundantes

$$N_A = \sum (P_i)^{1/(1-A)}$$

## **7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los sistemas acuáticos presentan un grado de complejidad estructural bastante alto a causa de la cantidad y variedad de organismos que habitan allí. En términos más específicos, los sistemas acuáticos colombianos son poco profundos y por esta razón presentan una muy baja tasas de procesamiento y de retención de contaminantes, sin embargo en algunos casos la poca mineralización y por ende una baja capacidad amortiguamiento los hace sensibles a la contaminación (Rivera y Zapata, 2009).

El estudio de los sistemas acuáticos debe estar enmarcado dentro de una variedad de objetivos que toquen los temas espacio físico, hasta los procesos que puedan estarse realizando en el cuerpo de agua a estudiar. Ahora bien uno de los enfoques más utilizados en los estudios de Limnología, es el desarrollo de caracterizaciones de índole taxonómico y ambientales de los ecosistemas, ya que la diversidad biótica puede dar una idea más clara del estado de los cuerpos de agua con el fin de resolver problemáticas relacionadas con la zonificación, ordenación, conservación y uso sostenible del recurso agua (Rivera y Zapata, 2009).

### **7.1. Río Tabacal**

#### **7.1.1. Fitoplancton**

##### **Composición**

Entre los indicadores biológicos comúnmente utilizados se destaca el fitoplancton. Estos organismos micro-algales se encuentran fuertemente ligados a las condiciones ambientales de cada uno de los ecosistemas en los que se localizan, así pudiéndose establecer el tipo de sistema al que se hace mención de acuerdo a la presencia de determinados grupos de microalgas presentes en él (Roldán y

Ramírez, 2008). La comunidad de microalgas Fitoplanctónicas presento una composición de 5 morfo especies, las cuales se encuentran agrupadas en 5 órdenes, 3 clases y 2 divisiones taxonómicas (**Tabla 2**). Dentro de este grupo se logra apreciar un claro dominio por organismos perteneciente a la división de las Bacillariophyta o Diatomeas como son comúnmente llamadas entre ellos se pueden encontrar *Cocconeis* sp., *Melosira* sp., *Rhopalodia* sp. y *Gomphonema* sp. Este amplio grupo en términos generales ha sido diferenciado porque sus representantes muestran una gran cantidad de formas y tamaños, pero con la característica común de constituir conchas silíceas cuyos patrones de ornamentación son importantes en su taxonomía. Cuando aparecen en el plancton son señal inequívoca de muestras tomadas en cuerpos de aguas poco profundos o de alta turbulencia (Ramírez y Viña, 1998).

Otro grupo representado en esta comunidad son las Cyanophycota (Phylum) o algas verde azules (*Stigonema* sp.), las cuales presentan una particularidad y es que a sus representantes se les suele asociar a sistemas que se encuentran en constante cambio o han sufrido alteraciones ambientales importantes, sin embargo en este caso la dinámica estacional que incluye el cambio de época climática pueden generar algunos cambios estructurales en las condiciones ambientales tales como acumulación de materia orgánica y reducción en la oferta de oxígeno favoreciendo la permanencia de este tipo de especies.

**Tabla 2.** Clasificación taxonómica de las microalgas Fitoplanctónicas en el Río Tabacal

División	Clase	Orden	Familia	Taxa
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i> sp.
Bacillariophyta	Coccinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	<i>Melosira</i> sp.
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i> sp.
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema</i> sp.
Cyanophycota (Phylum)	Cyanophyceae	Stigonematales	Stigonemataceae	<i>Stigonema</i> sp.

Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

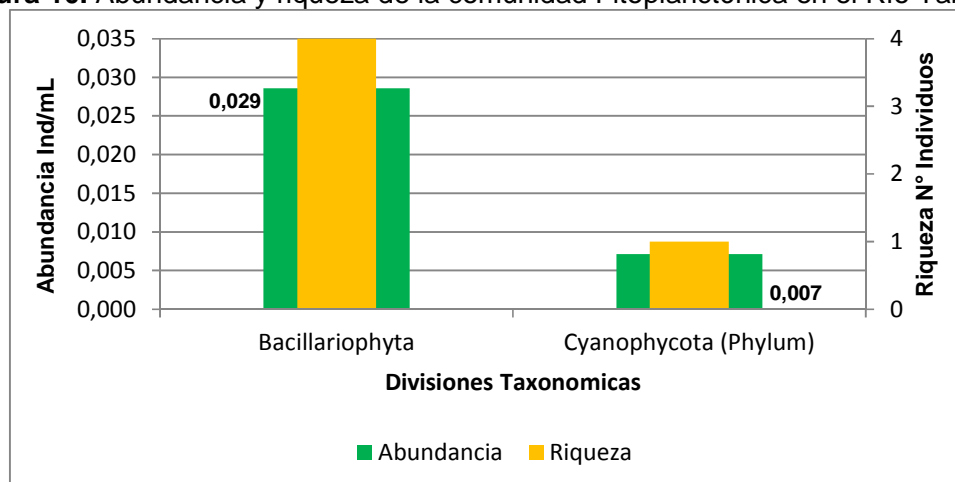
## Abundancia y Riqueza

En términos de abundancia y riqueza esta comunidad de microalgas se vio representada por dos divisiones taxonómicas Bacillariophyta y Cyanophycota (Phylum), en donde la primera división se manifestó con una abundancia de 0,029 Ind/mL y una riqueza de 4 especies, mientras que la segunda división solo obtuvo una abundancia de 0,007 Ind/mL a partir de una especie hallada (**Figura 10**).

El grupo de las diatomeas (p.e. *Melosira* sp. y *Gomphonema* sp.) pueden indicar cuerpos de agua poco profundos y aguas con grandes rango de turbidez si estas se encuentran en el plancton. Estos organismos vegetales han sido ampliamente diversificados debido a que se les puede hallar tanto en aguas dulces como salobres y marinas, a su vez están muy relacionados con aguas que contienen altos contenidos de materia orgánica tendiendo a la eutrofización y a la existencia de una zona de mezcla provocada por la turbulencia de sus aguas (Pinilla, 2000; Ramírez, 2000).

Por su parte la división Cyanophycota (Phylum) con su representante *Stigonema* sp., se caracterizan por habitar cuerpos de agua de temperaturas templadas y su proliferación depende altamente del pH del medio, ya que ha pH neutros o ligeramente ácidos su crecimiento se da de una mejor manera. Son consideradas de gran importancia en términos de la productividad primaria de los ecosistemas, debido a su gran capacidad de fijación del N<sub>2</sub>, sin embargo su excesivo crecimiento se considera toxico llegando a matar invertebrados bentónicos y a los vertebrados acuáticos (peces) (Roldán y Ramírez, 2008). Estos organismos asimismo se ven altamente favorecidos por la gran oferta de nutrientes presentes en los ecosistemas, ya que son asociados a ambientes eutróficos (Pinilla, 2000), sin embargo para los sistemas loticos la sola presencia de una corriente hace parte fundamental en la dispersión de los nutrientes y de esta manera se puede disminuir la carga proporcionada.

**Figura 10.** Abundancia y riqueza de la comunidad Fitoplanctónica en el Río Tabacal.



FUENTE: Los autores

### 7.1.2. Zooplancton

#### Composición

La comunidad del zooplancton se caracteriza porque sus representantes presentan características animales y ellos contribuyen como uno de los primeros en el escalafón de la cadena trófica. En términos de abundancia y riqueza su proporción es mucho menor a la del fitoplancton a pesar de pertenecer a al grupo del Plancton. A estos organismos se les puede encontrar tanto en aguas continentales como marinas, asimismo estos organismos pueden presentar algún rasgo típico de adaptación de acuerdo al sistema en donde se encuentren, caracterizándolos por su amplia plasticidad adaptativa (Roldán y Ramírez, 2008).

El zooplanctónica en este sector de monitoreo se caracterizó en términos de composición por presentar como representantes dos especies (Taxa) que pertenecen a dos diferentes órdenes y clases taxonómicas (**Tabla 3**). Las clases taxonómicas a las cuales se hace referencia son Lobosa y Maxillopoda, la primera se caracteriza porque los organismos son considerados protozoos, los cuales a su vez son formas de vida asociada a ecosistemas con altos contenidos de material orgánico. Por otra parte la recolección de estos organismos es de gran dificultad

por esto rara vez se les relaciona a estudios limnológicos (Roldán y Ramírez, 2008).

La clase Maxillopoda hace referencia a microorganismos denominados copépodos. Estos organismos se pueden presentar en gran cantidad tanto en agua dulce como en aguas marinas y se distribuyen de forma litoral, pelágica y bentónica. Son considerados de gran importancia en la cadena trófica, ya que regulan el crecimiento del fitoplancton y asimismo sirven como alimento fundamental para vertebrados como los peces y mamíferos filtradores. Morfológicamente presentan cuerpos alargados casi a modo de cilindro lo que favorece su movilidad en la columna de agua aunque esta movilidad sea limitada ya que ellos se encuentran a la deriva (Roldán y Ramírez, 2008).

**Tabla 3.** Clasificación taxonómica del zooplancton en el Río Tabacal.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Taxa
Protozoa	Lobosa	Arcellinida	Centropyxidae	<i>Centropyxis</i> sp.
Arthropoda	Maxillopoda	Harpacticoida	-----	Morfo 1

Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

### Abundancia y Riqueza

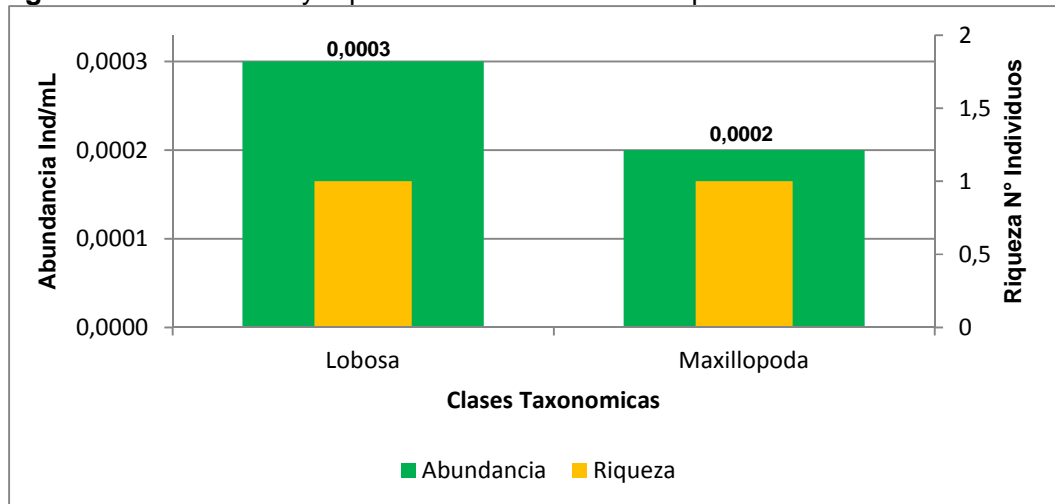
En términos de abundancia y riqueza es válido acotar que la comunidad zooplanctónica estuvo representada por las clases taxonómicas Lobosa y Maxillopoda, en donde la primera obtuvo una abundancia de 0,0003 Ind/mL y una riqueza de una especie (*Centropyxis* sp.), mientras que la segunda obtuvo una abundancia de 0,0002 Ind/mL y una riqueza de una especie (Morfo 1 Harpacticoida) (**Figura 11**).

La clase lobosa se caracteriza por presentar organismos que son expertos en habitar cuerpos de agua con altos contenidos de material orgánico o detritus, ya que gracias a este (detritus) pueden obtener una fuente de alimento, para el caso

de *Centropyxis* sp. que es un organismo ameboideo tecados perteneciente a la clase lobosa, el detritus además de ser una fuente alimenticia, es utilizado como fuente de “construcción”, ya que estos organismos toman el material disuelto en el medio y lo adhieren a sus cuerpos desnudos para formar las tecas que le ayudaran posteriormente para su protección (Streble y Krauter, 1987).

Por su parte la clase Maxillopoda, la cual estuvo representada por un organismos del orden Harpacticoida, se caracteriza por que sus representantes (copépodos) se alimentan del fitoplancton y de las partículas que se encuentran en el medio, indicando así que son propios de sistemas con alta turbiedad y por ende de aguas con tendencia a la eutrofia y medianamente quietas en donde las tasas de remoción son relativamente bajas y que a su vez dependen del estado de la comunidad fitoplanctónica (Roldán y Ramírez, 2008; Pinilla, 2000). Otras cualidades de los sistemas en los cuales pueden habitar son la tendencia del pH del agua a la alcalinidad y que puede llegar a existir una estratificación térmica del mismo. (Pinilla, 2000).

**Figura 11.** Abundancia y riqueza de la comunidad Zooplanctónica en el Río Tabacal



Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

### 7.1.3. Macroinvertebrados Bentónicos (Bentos)

#### Composición

La comunidad de invertebrados bentónicos para el río Guaroco estuvo conformada por 3 Phylum, 3 Clases, 4 Órdenes, 4 Familias y 4 Taxa (**Tabla 4**), en ella se resalta una mayor presencia del Phylum Arthropoda el cual conto con dos especies denominadas Morfo 4 perteneciente a la familia Hydropsychidae y Morfo 1 perteneciente a la familia Chironomidae. Por otra parte el Phylum Annelida conto con la presencia de la especie *Helobdella* sp., comúnmente denominadas sanguijuelas o hirudíneos, estos organismos pueden variar en tamaño desde 5 y 45 mm de longitud. Su cuerpo es aplanado y se caracteriza por poseer una ventosa anterior y otra posterior, las cuales utiliza para fijarse fuertemente al sustrato y para su desplazamiento. Las sanguijuelas viven por lo general en aguas quietas, en charcas, lagunas, embalses, y en orillas de ríos de poco movimiento, adheridas a vegetación, troncos y prácticamente a todo tipo de sustrato que se encuentre a su alrededor. Se alimenta de residuos orgánicos, pero la mayoría son carnívoras comen caracoles, insectos, lombrices de agua y pequeños invertebrados. El Phylum Mollusca se hizo presente con la clase Gasterópoda estos organismos son muy cosmopolitas, se caracterizan por poseer una concha en espiral y su tamaño puede variar entre 2 y 70 mm. Viven por lo regular en aguas con abundante carbonato de calcio necesario para la construcción de su concha. Por lo general están asociados a lugares con mucha vegetación acuática y materia orgánica en descomposición (Roldan y Ramírez, 2008).

En términos generales aunque en este lugar de monitoreo se apreció una mayor diversidad de especies aún se refleja una baja riqueza de individuos generado por la misma composición del sustrato y por los efectos producidos por la corriente.

**Tabla 4.** Clasificación taxonómica de los Macroinvertebrados bentónicos presentes en el Río Tabacal.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Taxa
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	Morfo 4
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	Morfo 1
Annelida	Clitellata	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i> sp.
Mollusca	Gasteropoda	Neotaenioglossa	Thiaridae	<i>Brotia</i> sp.

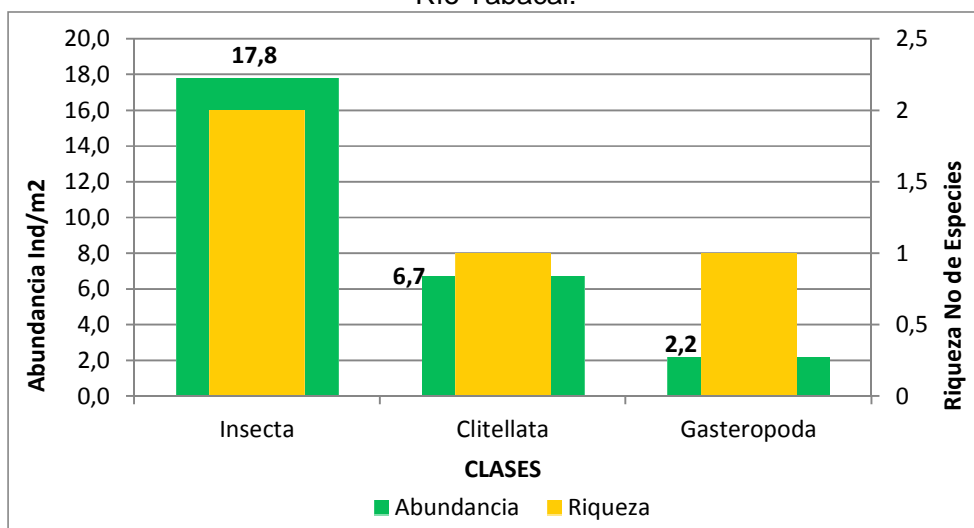
Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

### Abundancia y Riqueza

La comunidad bentónica estuvo representada por las clases Insecta, Clitellata y Gasteropoda en donde se resalta una mayor dominancia por parte de la clase Insecta la cual conto con una riqueza de 2 especies y una abundancia de 17,8 Ind/m<sup>2</sup> (**Figura 12**), en ella se resalta una mayor densidad de organismos para la familia Chironomidae la cual está asociada a sistemas de aguas limpias a contaminadas (Pinilla, 2000; Roldan, 2003), ya que se trata de un organismo muy cosmopolita y suele encontrársele adaptado a diferentes tipos de sistemas y de sustratos.

Por su parte la clase Clitellata conto con una abundancia de 6,7 Ind/m<sup>2</sup> representados por la especie *Helobdella* sp., estos organismos pueden tolerar ambientes con bajas concentraciones de oxígeno por lo que se les encuentra en gran número en lugares afectados por contaminación orgánica y en zonas de ríos en vías de recuperación (Roldan y Ramírez, 2008). En este sistema también se vio reflejada la presencia de la clase Gastropoda evidenciando una abundancia de 2,2 Ind/m<sup>2</sup> suelen estar asociados a medios con alta dureza y alcalinidad y con abundante materia orgánica en descomposición, suelen desarrollarse por miles en orillas de ríos y lagos (Roldan y Ramírez, 2008; Roldan, 2003).

**Figura 12.** Abundancia y riqueza de los Macroinvertebrados bentónicos presentes en el Río Tabacal.



Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

#### 7.1.4. Perifiton

##### Composición

El perifiton es una comunidad característica de cuerpos de agua con corrientes (Lóticos), sin embargo también se les puede encontrar en cuerpo de agua lenticos debido a la capacidad que estas microalgas poseen para adherirse a cualquier tipo de sustrato bien sea inorgánico u orgánico (Ramírez y Viña, 1998). La comunidad perifítica en este punto del estudio estuvo comprendida por un gran grupo Bacillariophyta (Diatomeas), que a su vez se vio representada por la presencia de tres especies taxonómicas (**Tabla 5**).

En términos generales las microalgas perifítica comprenden una de las principales entradas de energía a los ecosistemas acuáticos y por ende a los demás sistemas terrestres, este proceso es posible debido a la capacidad fotosintética que les permite capturar energía lumínica proveniente del sol y transformarla en compuestos orgánicos como los carbohidratos para su crecimiento, manteniendo así los niveles de la cadena trófica (Ramírez y Viña, 1998).

Una de las razones del estudio de esta comunidad radica en que el establecimiento de esta comunidad está ligado a la disponibilidad de nutrientes en el sistema como también de la cantidad de sales y minerales, esenciales para la formación de estructuras celulares y extracelulares, lo que quiere decir que si estos factores no cumplen con las necesidades para la floración de colonias y/o el establecimiento de esta comunidad, los organismos que se alimentan de ellos (consumidores primarios) convertirán la vía detrítica como la entrada principal de energía causando un desnivel en la cadena trófica. Otra razón radica en que las han asociado al grado de contaminación orgánica de los cuerpos de agua, sugiriendo así que cuerpos de agua limpias presentan un desarrollo de una gran diversidad (variedad de microalgas), mientras que aguas muy contaminadas presentan un gran predominio de bacterias y cianobacterias (Ramírez y Viña, 1998).

**Tabla 5.** Clasificación taxonómica de las microalgas del Perifiton en el Río Tabacal.

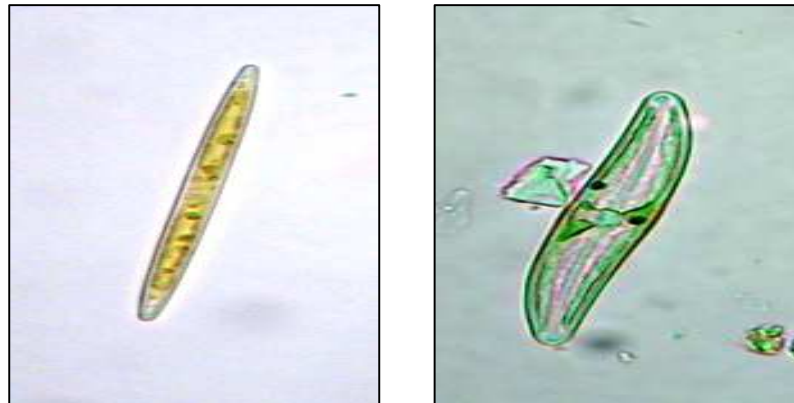
División	Clase	Orden	Familia	Taxa
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i> sp.
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Pleurosigmaaceae	<i>Gyrosigma</i> sp.
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i> sp1.

Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

### Abundancia y Riqueza

La abundancia en este gran grupo de microalgas fue de 17,1 Ind/cm<sup>2</sup> la cual estuvo dada únicamente por tres especies (*Nitzschia* sp. *Gyrosigma* sp. y *Nitzschia* sp1) pertenecientes a las diatomeas, para esta comunidad no se esquematiza una figura de barras ya que solo fue posible hallar organismos pertenecientes a una misma División taxonómica, por lo tanto se demuestran los organismos en la **Figura 13**.

**Figura 13.** Fotografía de *Nitzschia* sp. y *Gyrosigma* sp., encontradas en el Río Tabacal.



*Nitzschia* sp.

*Gyrosigma* sp.

Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

Las diatomeas suelen habitar en diversos sistemas acuáticos, debido a que poseen características de soportar todo tipo de cambio drástico en el ambiente, sin embargo son más asociadas a cuerpos de aguas turbulentas (sólidos suspendidos) y de poca profundidad (Ramírez y Viña, 1998). Para el caso *Nitzschia* sp., su presencia ocurre en cuerpos de agua con altos índices de turbulencia y por ende estado de mezcla, estas microalgas pueden habitar tanto en aguas oligotróficas hasta eutróficas. Una particularidad es que en términos de contaminación su presencia puede indicar aguas contaminadas por desechos industriales con contenidos fenólicos, de cobre y azufre (Pinilla, 2000; Ramírez, 2000). Mientras que *Gyrosigma* sp., se caracteriza por habitar ambientes turbulentos con pH ligeramente ácido y una relación Nitrógeno Fosforo alta, para poder realizar sus procesos fisiológicos vegetativos y de crecimiento (Pinilla, 2000).

### Índices Ecológicos

Los índices ecológicos para este punto de monitoreo arrojó valores bajos de diversidad para todas las comunidades, ya que este índice (Shannon-Wiener  $H'$ ) maneja valores en un rango de 0 – 5 (Ver valores de  $H'$  **Tabla 6**), lo que podría

indicar que el sistema acuático se encuentra en estado de eutrofia, ya que la presencia de una gran variedad de individuos está directamente relacionada con la disponibilidad y amplitud de los recursos (Roldán y Ramírez, 2008). Para el índice de dominancia de Simpson ( $\lambda$ ), la comunidad perifítica revela un valor medio de dominancia, este fenómeno está influenciado tal vez por la disponibilidad de los recursos en sistema y que estos a su vez sean aprovechados por las especies que lo habitan, sin embargo para este caso en particular la dominancia no está claramente marcada y esta razón se le puede atribuir a la cantidad de morfo especies encontradas (3). Las demás comunidades no revelan un valor significativamente relevante para el índice de Simpson y esto está dado por la similitud en términos de abundancia que se obtuvo para cada grupo biótico, indicando así que la dominancia no existe.

El Índice de Pielou ( $J'$ ) se basa en la uniformidad u homogeneidad de la composición de cada una de las comunidades estudiadas y su concepto es inverso al índice de Simpson, lo que indica que la comunidad fitoplanctónica se comportó de forma homogénea en donde efectivamente todas las morfo especies halladas relacionaron un valor de abundancia igual (0,007 Ind/mL) haciendo que el fenómeno de la dominancia efectivamente no exista, sin embargo este fenómeno fue similar para todas las comunidades, indicando así que la disponibilidad de los recursos está siendo lo bastante grande para poder permitir el establecimiento de nuevos organismos promoviendo una posible sucesión ecológica.

**Tabla 6.** Índices de diversidad para las comunidades presentes en el Río Tabacal. S: Riqueza de especies, N: Abundancia, d: Riqueza de Margalef,  $J'$ : Uniformidad de Pielou,  $H'$ : Diversidad de Shannon-Wiener,  $\lambda$ : Predominio de Simpson. Serie de Números de Hill (N1, N2) (No registra valor (---)).

Comunidad	S	N	d	$J'$	$H'(\log_e)$	$\lambda$	N1	N2
Fitoplancton	5	0,036	----	1	1,61	----	5	5
Zooplancton	2	0,0005	----	0,97	0,67	----	1,96	1,92
Macroinvertebrados Bentónicos (Bentos)	4	26,667	0,914	0,86	1,19	0,347	3,31	2,88
Perifiton	3	17,1	0,70	0,86	0,95	0,41	2,59	2,27

Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

## 7.2. Laguna Tabacal

### 7.2.1. Fitoplancton

#### Composición

La comunidad del fitoplancton en este punto del estudio se presentó por medio de 3 divisiones taxonómicas, 4 clases, 6 órdenes, 6 familias taxonómicas y 7 taxones (**Tabla 7**). En términos muy generales y como se había mencionado con anterioridad las algas Fitoplanctónicas son de gran importancia ecológica para los sistemas acuáticos tanto marinos como dulce acuícolas, debido a que al igual que el perifiton aportan grandes cantidades de energía provenientes de los efectos de los procesos de la productividad primaria y por ende ayuda a crear mayor cantidad de biomasa ecosistémica (Ramírez y Viña, 1998).

El fitoplancton es muy diverso y tiene la facilidad de encontrarse asociado tanto a la superficie de los cuerpos de agua como a los fondos de acuerdo a la hora del día en la que se realice el monitoreo, ya que ellos realizan migraciones verticales en la columna de agua dependiendo de la disponibilidad de recursos que exista en el momento.

**Tabla 7.** Clasificación taxonómica de las microalgas Fitoplanctónicas en la Laguna El Tabacal.

División	Clase	Orden	Familia	Taxa
Bacillariophyta	Coccinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	<i>Melosira</i> sp.
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i> sp.
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i> sp.
Chlorophyta	Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	<i>Oedogonium</i> sp.
Cyanophycota (Phylum)	Cyanophyceae	Nostocales	Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya</i> sp.
Cyanophycota (Phylum)	Cyanophyceae	Stigonematales	Stigonemataceae	<i>Stigonema</i> sp.
Cyanophycota (Phylum)	Cyanophyceae	Nostocales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i> sp.

Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

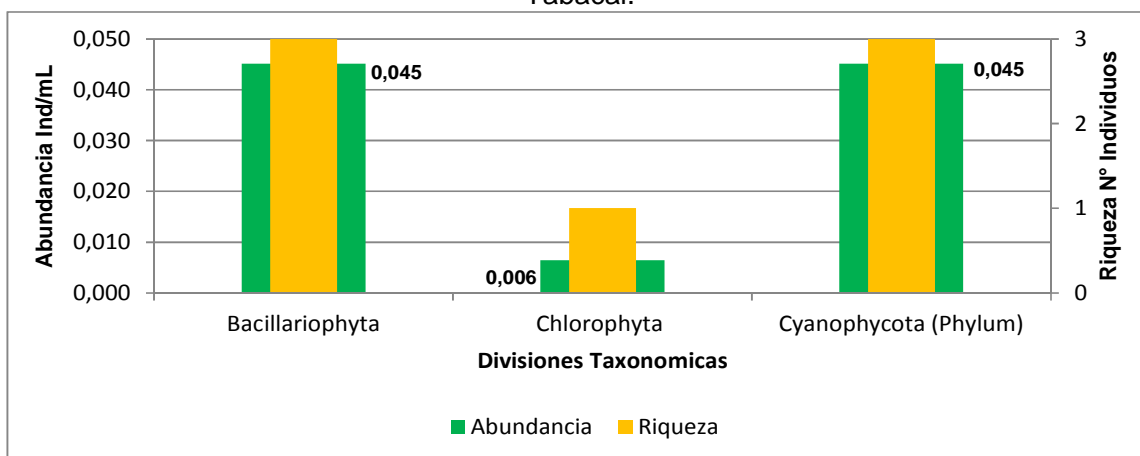
## Abundancia y Riqueza

El fitoplancton se caracterizó por presentar una abundancia total de 0,097 Ind/mL, la cual estuvo distribuida en tres grandes divisiones taxonómicas Bacillariophyta 0,045 Ind/mL con 3 especies como representantes, al igual que Cyanophycota (Phylum). Mientras que Chlorophyta con una abundancia de 0,006 Ind/mL representada por una especie (**Figura 14**).

La división Bacillariophytas planctónicas se caracterizan por relacionarse a aguas someras, de alta turbulencia, son de formas cilíndricas o semicilíndricas, lo que les ayuda a ser mayor hidrodinámicas y poderse mover con las corrientes en la columna de agua (Ramírez y Viña, 1998). En caso particular de *Melosira* sp., los organismos pertenecientes a esta especie son considerados como algas superficiales, cuando crecen en grandes cúmulos formando “blooms” hacen que el agua huelga a tierra, algunos organismos de esta especie pueden habitar aguas contaminadas por materia orgánica (Ramírez, 2000).

En el grupo de las Cyanophycota (algas verde azules) el representante más abundante fue *Lyngbya* sp., estos organismos son propios de aguas con elevados contenidos de sedimentos, los que en su mayoría son causados por aporte alóctono al sistema debido al arrastre por la corriente, conductividad alta, estratificación y sucesión ecológica avanzada (Peña *et al.*, 2005). Por último *Oedogonium* sp., representante de las Chlorophyta (algas verdes) se localizan comúnmente sobre las hojas, en cuerpo de aguas claras y con baja mineralización. Estas microalgas son comunes en aguas alcalinas y ricas en compuestos húmicos provenientes del suelo con elevados contenidos de hierro (Ramírez, 2000).

**Figura 14.** Abundancia y riqueza de la comunidad Fitoplanctónica en la Laguna El Tabacal.



Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

## 7.2.2. Zooplancton

### Composición

La comunidad zooplanctónica presentó una composición taxonómica de una especie o taxón perteneciente al grupo de los rotíferos Eurotatoria (**Tabla 8**). Los rotíferos son un amplio grupo perteneciente al zooplancton dulceacuícolas ya que raras veces son encontrados en el ámbito marino. Aunque la mayoría de estos organismos pertenecen al plancton (se dejan llevar de las corrientes), pueden presentar movilidad en línea recta con movimientos rotatorios de allí su nombre o con saltos en casos particulares, su alimentación está dada por un comportamiento omnívoro e incluso canibalismo. Debido a su pequeño rango de distribución se les considera como organismos de migraciones verticales homogéneas, independiente del nivel trófico del sistema que se esté estudiando estos individuos pueden ser hallados (Roldán y Ramírez, 2008).

**Tabla 8.** Clasificación taxonómica del Zooplancton en la Laguna El Tabacal.

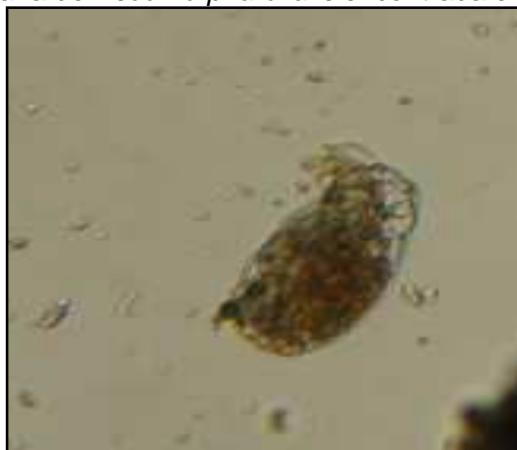
Phylum	Clase	Orden	Familia	Taxa
Rotifera	Eurotatoria	Ploima	Gastropodidae	<i>Ascomorpha ovalis</i>

Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

## Abundancia y Riqueza

El zooplancton en este punto de monitoreo estuvo representado por la presencia de una especie *Ascomorpha ovalis* (**Figura 15**) con una abundancia de 0,0002 Ind/mL. Esta especie perteneciente a la familia Gastropodidae de la clase taxonómica Eurotatoria es propia de aguas estancadas, eutróficas de pH con tendencia a la alcalinidad y con cierto grado de estratificación térmica marcada, se especializan en alimentarse de organismos fitoplanctónicos en su mayoría de dinoflagelados (Streble y Krauter, 1987; Pinilla, 2000).

**Figura 15.** Fotografía de *Ascomorpha ovalis* encontrada en la Laguna El Tabacal.



Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

### 7.2.3. Macroinvertebrados Bentónicos (Bentos)

#### Composición

Los macroinvertebrados bentónicos u organismos bentónicos en este punto de estudio se vieron agrupados en una solo clase taxonómica Insecta, del mismo modo se presentaron 5 órdenes taxonómicos de esta gran grupo, los cuales hacen referencia a diversas características adaptativas para poder habitar diferentes ambientes acuáticos (**Tabla 9**). Gracias a la genética evolutiva aunque los cuerpos

de la mayoría de los insectos estén diseñados para la vida terrestres, la gran mayoría de los individuos pertenecientes este grupo pasan por la fase de larvas y pupas antes de llegar a adultos en el agua.

A grandes rasgos el orden de los coleópteros (escarabajos) tiene muchos individuos que viven en el agua como larvas o como adultos, es el grupo de insectos más grandes del mundo y por ende el más complejo evolutivamente. Los dípteros como las moscas y los mosquitos, por lo general habitan en el agua en estadios larvales o de ninfa, es un grupo muy complejo a nivel evolutivo, sus representantes son muy abundantes y la tasa de reproducción de los mismos es muy elevada. Los efemerópteros se caracterizan porque son de vida muy corta o efímera, cuando son larvas pueden vivir durante semanas, mientras que al llegar a la madurez, deben reproducirse rápidamente ya que el tiempo de vida es de tan solo unas horas. Los hemípteros “chinchas de agua” se caracterizan por tener un aparato mandibular a modo de “chupa”, convirtiéndolos así en excelente succionadores y depredadores de larvas de otras especies y por último están los odonatos, dentro de ellos están las libélulas o caballitos del diablo pueden ser holometábolos debido a que sus perdidos larvales varían desde pocos a muchos meses, están ampliamente distribuidos en las regiones tropicales y es un grupo muy abundante dentro de los insectos (Roldán y Ramírez, 2008).

**Tabla 9.** Clasificación taxonómica de los Macroinvertebrados bentónicos en la Laguna El Tabacal.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Taxa
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	<i>Heterelmis</i> sp
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	Morfo 1
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Tricorythidae	Morfo 4
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Naucoridae	<i>Limnocoris</i> sp
Arthropoda	Insecta	Odonata	Coenagrionidae	Morfo 3
Arthropoda	Insecta	Odonata	Gomphidae	Morfo 6
Arthropoda	Insecta	Odonata	Libellulidae	Morfo 7

Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

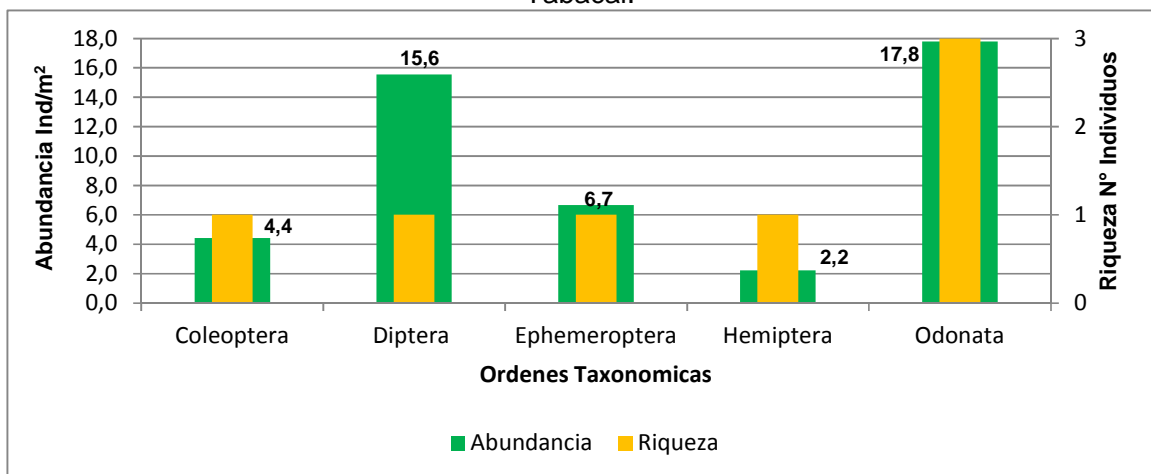
## Abundancia y Riqueza

La abundancia total obtenida en esta comunidad fue de 46,7 Ind/m<sup>2</sup>, la cual estuvo dada por cada uno de los órdenes taxonómicos anteriormente mencionados. La abundancia obtenida por cada uno de los órdenes taxonómicos encontrados como representantes de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos se muestra en la **Figura 16**. Dentro de ellos el más abundante fue Odonata (17,8 Ind/m<sup>2</sup>) con 3 especies como representantes (Morfo 3 – Coenagrionidae, Morfo 6 – Gomphidae y Morfo 7 -Libellulidae). Este grupo de organismos es frecuente encontrarlos en aguas estancadas o de corriente lenta, oligotrófica pero muy cercana a la eutrofia debido a que pueden estar ligeramente contaminadas con material orgánico en descomposición (Pinilla, 2000). La mayoría de las veces prefieren los pozos o los pantanos, al igual estas aguas deben ser de poca profundidad y de abundante vegetación en donde estos organismos puedan hallar un refugio temporal (Roldán, 2003; Roldán y Ramírez, 2008).

El siguiente grupo debido al valor de abundancia alcanzado fue el orden Díptera (15,6 Ind/m<sup>2</sup>) con una morfo especie como representante (Morfo 1 – Chironomidae). Estos organismos se caracterizan por ser holometábolos, es decir cada una de las etapas de formación (larva, pupa, adulto) es de desarrollo completo son propios de cuerpos de agua, las larvas requieren una buena fuente de alimento y nutrientes para poder tener las reservas necesarias para luego desarrollar el estadio de pupa, lo que implica que prefieran cuerpo es de agua con sustrato fangoso o semi-blando (limosos arcilloso), en donde se puedan acumular gran cantidad de detritus (material orgánico). No obstante también se les encuentra sobre vegetación sumergida y sobre otros organismos. Dentro de la cadena trófica estos organismos son depredados por ortos de mayor tamaño, pero como depredadores son de gran importancia porque favorecen a la remoción de los sedimentos orgánicos y por ende a la mineralización de los mismos (Domínguez y Fernández, 2009). Los efemerópteros (6,7 Ind/m<sup>2</sup>) y los coleópteros

(4,4 Ind/m<sup>2</sup>) ambos como una morfo especie como representantes (Morfo 4 – Tricorythidae) y *Heterelmis* sp. respectivamente, tienen preferencias de hábitats similares, ya que estos organismos prefieren cuerpos de agua con gran influencia de las corrientes, en donde el medio este bien oxigenado, donde pueda existir material vegetal como troncos y hojas a su merced, para poder ser utilizadas como refugio (Roldán, 2003). En cuanto a los Hemípteros, existen organismos que pueden presentar gran diversidad de modos de vida como lo son los que viven toda su vida en el agua, o son semiacuáticos o son totalmente terrestres. Para el caso de este estudio *Limnocois* sp., es totalmente acuático prefiere cuerpos de agua eutróficos con altas cargas de material vegetal (contaminación orgánica), con sustrato fangoso y de corrientes lentas para así aprovechar de mejor manera los nutrientes disponibles en el sistema (Domínguez y Fernández, 2009).

**Figura 16.** Abundancia y riqueza de los Macroinvertebrados bentónicos en la Laguna El Tabacal.



Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

#### 7.2.4. Perifiton

##### Composición

El perifiton estuvo conformado por las Divisiones taxonómicas Bacillariophyta, Chlorophyta y Cyanophycota (Phylum), a su vez se ven representadas 3 clases, 8 órdenes, 9 familias taxonómicas y 10 morfo especies (**Figura 10**).

Generalmente se puede considerar que el ensamblaje algal en el agua dulce pertenece al fitoplancton y al fitobentos. Este último término se refiere al desarrollo y movilidad de cierto tipo de algas que presentan características para estar asociadas a un sustrato en particular y no se encuentran flotando. Sin embargo el perifiton o fitobentos ha sido definido como un conjunto de organismos que se encuentran asociados en términos de crecimiento y movilidad a un sustrato inanimado necesariamente sumergido, sobre el cual el cumulo de estos organismos forman una nata o biopelícula continua o discontinua (Roldán y Ramírez, 2008). Como componente ecosistémico el perifiton, desempeña un papel importante en la dinámica de los sistemas, ya que produce metabolitos orgánicos para diversos organismos de la cadena trófica, contribuye cerca del 70% – 80% de la producción total y promueven la tasa de reciclaje de los nutrientes por aquello de ser la base de la cadena trófica (Ramírez y Viña, 1998; Roldán y Ramírez, 2008).

**Tabla 10.** Clasificación taxonómica de las microalgas del Perifiton en la Laguna El Tabacal.

División	Clase	Orden	Familia	Taxa
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora</i> sp.
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema</i> sp.
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i> sp.
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella</i> sp.
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i> sp.
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i> sp.
Chlorophyta	Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	<i>Oedogonium</i> sp.
Chlorophyta	Chlorophyceae	Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Spirogyra</i> sp.
Cyanophycota (Phylum)	Cyanophyceae	Nostocales	Oscillatoriaceae	<i>Phormidium</i> sp.
Cyanophycota (Phylum)	Cyanophyceae	Nostocales	Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya</i> sp.

Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

### Abundancia y Riqueza

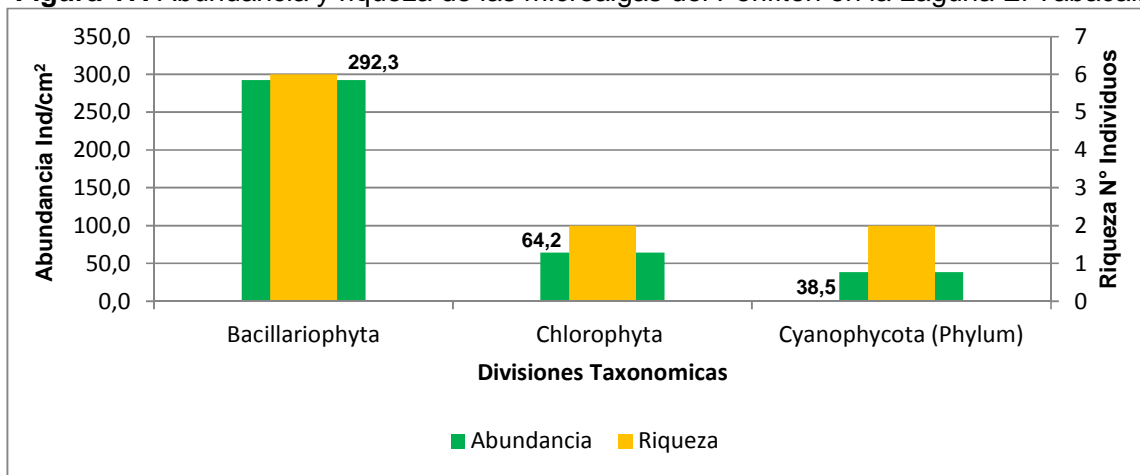
La comunidad de microalgas perifíticas como ya se había menciona estuvo representada por tres grandes grupos denominados divisiones taxonómicas

Bacillariophyta, Chlorophyta y Cyanophycota (Phylum), en donde las Bacillariophyta (diatomeas) obtuvieron el mayor valor en términos de abundancia 292,3 Ind/cm<sup>2</sup> y una riqueza de 6 especies *Amphora* sp., *Gomphonema* sp., *Rhopalodia* sp., *Cymbella* sp., *Navicula* sp. y *Nitzschia* sp. Seguido a este grupo se encontró Chlorophyta con una abundancia de 64,2 Ind/cm<sup>2</sup> con una riqueza de 2 especies *Oedogonium* sp. y *Spirogyra* sp. Por último estuvo Cyanophycota (Phylum) con una abundancia de 38,5 Ind/cm<sup>2</sup> y una riqueza de 2 especies *Phormidium* sp. y *Lyngbya* sp. (**Figura 17 y Tabla 10**).

Dentro del grupo de las diatomeas al especie más abundante fue y lo que a su vez indica que tuvo mayor representatividad de organismos fue *Amphora* sp. (170,2 Ind/cm<sup>2</sup>) del total 292,3 Ind/cm<sup>2</sup> para el grupo. Esto se refiere a que el sistema puede presentar condiciones de turbulencia y turbiedad alta, pH ligeramente ácido, Bajas concentraciones de iones Ca<sup>++</sup> y una relación de Nitrógeno y Fosforo alta (Pinilla, 2000). Dentro de este mismo grupo otra especie que tuvo una alta abundancia fue *Cymbella* sp. (57,8 Ind/cm<sup>2</sup>). Los organismos pertenecientes a este grupo son características de aguas con residuos fenólicos y ácido sulfhídrico, asimismo de aguas con altos contenidos de sales (Ramírez, 2000).

Las algas verdes (Chlorophyta) tuvieron como representante más abundante a la especie *Oedogonium* sp. (54,6 Ind/cm<sup>2</sup>) estos organismos pueden de aguas alcalinas, ricas en compuestos elevados en hierro y gran contenido nutritivo proveniente del material orgánico de los suelos (Ramírez, 2000). Por su parte las algas verde azules (Cyanophycota) tuvieron como más abundante a *Phormidium* sp. (32,1 Ind/cm<sup>2</sup>), estas algas pueden crecen en ambientes acuáticos con temperaturas entre 35°C hasta 40°C, aunque algunas filiales se les puede relacionar a temperaturas más altas. Su desarrollo se da de mejor manera en aguas alcalinas, en donde el bicarbonato es esencial para dicha finalidad, con pH bastante alcalinos, pero pueden habitar en aguas acidas, lo que las convierten en una especie cosmopolita (Ramírez, 2000).

**Figura 17.** Abundancia y riqueza de las microalgas del Perifiton en la Laguna El Tabacal.



Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

### 7.2.5. Índices Ecológicos

Los índices ecológicos revelan que para este punto de estudio la comunidad del Zooplancton al presentar una única especie como representante no muestra valores de para los índices de uniformidad de Pielou ( $J'$ ) ni para dominancia de Simpson ( $\lambda'$ ), ya que estos se basan en la relación de unas especies con respecto a otras en el mismo grupo. Ahora bien esta comunidad arroja un valor para el índice de diversidad de Shannon-Wiener de cero ( $H' = 0,0$ ) (Tabla 11), lo que indica efectivamente que no diversidad de especies ya que solo se vio una especie como representante. El fenómeno de no aparición de mayor cantidad de organismos y asimismo de especies puede estar relacionado con la geomorfología del cuerpo de agua, ya que este era de muy poca profundidad y por ende la columna de agua y la estratificación del sistema era casi nula, lo que impide que estos organismos puedan establecerse según sus requerimientos nutritivos de una mejor manera.

En este orden de ideas las demás comunidades muestran valores iguales tanto para los índices de uniformidad de Pielou ( $J'$ ) y para diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) (Tabla 11), ya que las abundancias obtenidas en cada uno de los

grupos por cada una de las especies se compensan entre sí, es decir, todos los organismos encontrados se están beneficiando en su momento de igual manera del recurso, los nutrientes y la homogeneidad en la geomorfología del punto estudiado ayuda al establecimiento de estas especies.

Los valores de uniformidad (Composición homogénea de especies) y de dominancia pueden ser comprobados con la serie de los números de Hill (N1 y N2), en donde se aprecia con claridad que el rango de abundancias iguales entre las especies está dado entre el 60% y el 100% (**Tabla 11**).

**Tabla 11.** Índices de diversidad para las comunidades presentes en la Laguna El Tabacal.

S: Riqueza de especies, N: Abundancia, d: Riqueza de Margalef, J': Uniformidad de Pielou, H': Diversidad de Shannon-Wiener,  $\lambda'$ : Predominio de Simpson. Serie de Números de Hill (N1, N2) (No registra valor (---)).

Comunidad	S	N	D	J'	H'(loge)	$\lambda'$	N1	N2
Fitoplancton	7	0,097	---	0,9	1,8	---	5,9	5,0
Zooplancton	1	0,0002	---	---	0,0	---	1,0	1,0
Macroinvertebrados bentónicos (Bentos)	7	46,7	1,6	0,9	1,8	0,2	6,0	5,2
Perifiton	10	395,1	1,5	0,8	1,8	0,2	5,9	4,1

Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

## 8. CONCLUSIONES

La eutrofización es un proceso natural que ocurre en todos los cuerpos de agua. La acumulación gradual de nutrientes y biomasa orgánica acompañada por el aumento en la fotosíntesis y un descenso en la profundidad promedio de la columna de agua el cual es causado por la acumulación de sedimento (Navarro, 2002).

- En el punto de muestreo *Río Tabacal* se evidenciaron similitudes en términos de aparición de especies para cada una de las comunidades estudiadas, indicando efectivamente que el sistema presenta una serie de características hidrológicas que pueden estar beneficiando el establecimiento de estos grupos.
- El ecosistema Lótico (Río Tabacal) presenta características mesotróficas y con tendencia a la eutrofia, esto último se refleja en la presencia de especies de microalgas, como las Cianofíceas y Diatomeas, a causa de procesos de mineralización del cuerpo de agua, lo que lleva a determinar que dicho sistema es víctima de procesos de erosión causados por efectos de la corriente.
- La laguna El Tabacal, a pesar de ser un área establecida como Zona de Reserva, presenta condiciones de un sistema eutrófico, en donde la disponibilidad de minerales y de metabolitos secundarios producidos por microalgas en los procesos de fotosíntesis, son bastante elevados, afectando de forma directa el crecimiento del Zooplancton.
- Las comunidades del fitoplancton, perifiton y macroinvertebrados bentónicos en todos los puntos de monitoreo presentaron alta representación en términos de especie y de abundancia.

- El Zooplancton es una comunidad de difícil manejo y colecta en campo, por lo tanto es poco estudiada a nivel limnológico, su baja densidad poblacional evidenció alteración de las condiciones específicas del medio, tales como estratificación, turbiedad, material orgánico y elevada presencia de microalgas.
- Los sistemas acuáticos estudiados presentaron condiciones de mesotrófia con tendencia a la eutrofia, lo que está corroborado por la comparación con los criterios de bioindicación establecidos; el proceso de eutrofización es necesario para la recirculación de nutrientes y el establecimiento de nuevas comunidades (sucesión ecológica), sin embargo el estudio realizado permite intuir que estos procesos de eutrofización han sido potenciados por acción antrópica, bien sea por vertimiento o por disposición de residuos, alterando los ciclos naturales de la materia y repercutiendo en un desbalanceado crecimiento de especímenes y por ende en un desorden trófico y ecológico al ecosistema.
- EL sistema acuático Río Tabacal puede estar presentando un mayor impacto por parte de la actividad del hombre, ya que se encuentran asentamientos humanos a sus alrededores y asimismo es atravesado por una carretera de paso vehicular, lo que a grandes rasgos puede influenciar de cierta forma en un proceso de eutrofización cultural generándose en él por descargas de desperdicios orgánicos y/o nutrientes.

## 9. RECOMENDACIÓN

En la actualidad se hace necesario entender que el análisis de la estructura poblacional como criterio válido de bioindicación para un ecosistema, requiere más que el simple reconocimiento de las interrelaciones entre las poblaciones; por lo tanto para que el estudio sea concluyente se requiere recolectar mayor información cuantitativa y cualitativa de los organismos, su biomasa poblacional, las tasas de actividad de crecimiento y muerte y aquellas tasas de transferencia y actividad cíclica de materiales en el seno de los ecosistemas (Productividad primaria).

En ocasiones, las limitantes técnicas nos fuerzan a estimar medidas con una variable no tan relevante, como el número de individuos, y no a calcular con otras más significativas, como puede ser el cálculo de la biomasa, estos dos criterios de análisis deben estar correlacionados y emplearse de manera simultánea y complementaria entre sí.

Se hace necesaria una mayor rigurosidad en los sistemas de control y vigilancia por parte de la autoridad ambiental, para que la acción antrópica desmedida, principalmente asentamientos humanos y actividades relacionadas con el Ecoturismo, no alteren de manera significativa el equilibrio ecosistémico.

## BIBLIOGRAFIA

- APHA-AWWA-WPCF. 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington D.C. 22 Edition.
- ATLAS, R.M. y BARTHA, R., 2002. Ecología microbiana y microbiología ambiental. Madrid. Ed. Addison Wesley.
- BRÜNNER G & BECK P. Nueva guía práctica de plantas acuáticas. Tetra-Verlag. Melle, 1990, 191 p.
- CASTRO, P. y HUBER, M., 2007. Biología marina. Ed. Mc Graww Hill. Madrid-
- COGNETTI, G., SARÁ, M., y MAGAZZÚ, G. 2001. Biología marina. Ed. Ariel S.A. Barcelona, España.
- DAHL, G. 1971. Los peces del norte de Colombia. Ministerio de Agricultura .INDIERENA.391p
- DOMÍNGUEZ E. y FERNÁNDEZ H. 2009. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo. Tucumán, Argentina. p 654.
- GALLO-SÁNCHEZ L., AGUIRRE-RAMÍREZ N., PALACIO-BAENA J. & RAMÍREZ-RESTREPO J. 2009. Zooplankton (Rotífera Y Microcrustacea) y su relación con los cambios del nivel del agua en la Ciénaga de Ayapel, Córdoba, Colombia Zooplankton (Rotifera and Microcrustacea) and its relationship with the level water changes in Ayapel floodplain lake (Córdoba) Colombia. Caldasia 31(2):339-353.






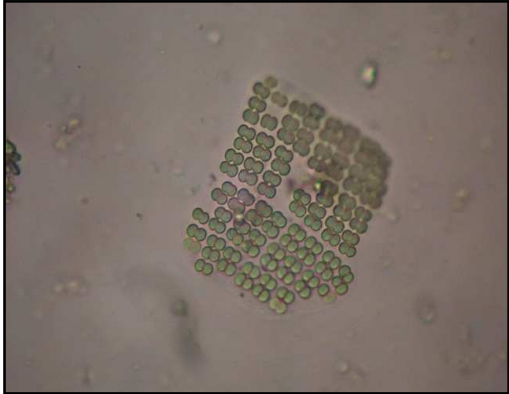
- INTEGRATED TAXONOMY INFORMATION SYSTEM (ITIS).[www.itis.gov](http://www.itis.gov)  
Última Actualización: 27/06/2012 Consultada: 12/01/2013.
- LIEVANO, A., y OSPINA, R. 2007. Guía ilustrada de los macroinvertebrados acuáticos del río Bahamón. Editorial Instituto Alexander von Humboldt, Universidad El Bosque. 130 p.
- MARGALEF, R. 1983. Limnología. Editorial Omega. Barcelona, España. p 390.
- MONTOYA, Y. & RAMÍREZ, J. 2007. Variación estructural de la comunidad perifítica colonizadora de sustratos artificiales en la zona de ritral del río Medellín, Colombia. Universidad de Antioquia. Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 55 (2): 585-593.
- MORENO, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T– Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.
- NAVARRO, A. 2002. Eutrofización y descargas orgánicas. Datos marinos Sea Grant # 50. Universidad de Puerto Rico.
- PAGGI, S.J. & J.C. PAGGI. 1995. Determinación de la abundancia y biomasa zooplanctónica. En: Lopretto, E.C & G. Tell (eds) Ecosistemas de aguas Continentales. Metodología para su estudio. II. (1995) Ediciones Sur, La Plata, Argentina.
- PARDO, I., GARCÍA, L., DELGADO, C., COSTAS, N. & ABRAÍN, R., 2010. Protocolos de muestreo de comunidades biológicas acuáticas fluviales en el ámbito de las Confederaciones Hidrográficas del Miño-Sil y Cantábrico. Convenio entre la Universidad de Vigo y las Confederaciones Hidrográficas del Miño-Sil y Cantábrico. 68pp.

- PINILLA, G.A. 2000. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Compilación bibliográfica. Centro de Investigaciones Científicas. UJTL. 106 p.
- RAMÍREZ, A. y VIÑA, G. 1998. Limnología Colombiana, Aportes a su Conocimiento y Estadísticas de Análisis. Panamericana, Formas e Impresos S.A. Bogotá, Colombia. 293 p.
- RAMIREZ, J. 2000. Fitoplancton de agua dulce: Bases ecológicas, taxonómicas y sanitarias. Editorial Universidad de Antioquia. 206 p.
- RAMÍREZ, A. 2006. Ecología: Métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades. Editorial Pontificia Universidad Javeriana. 273 p.
- RIVERA, C. y ZAPATA, A. 2009. Criterios generales para la recolección, preservación, manejo de muestras y monitoreo de ecosistemas acuáticos epicontinentales. Capítulo 6. **En:** ACOSTA, A., ZAPATA, A., y FAGUA, G. 2009. Técnicas de campo en ambientes tropicales: manual para el monitoreo en ecosistemas acuáticos y artrópodos terrestres. Editorial Pontificia Universidad Javeriana. 215 p
- ROLDAN, G. 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Editorial Universidad de Antioquia. 217 p.
- ROLDÁN, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Propuesta para el uso del método BMWP/Col. Editorial Universidad de Antioquia. Colección de Ciencia y Tecnología. Medellín.
- ROLDÁN, G. y RAMÍREZ, J. 2008. Fundamentos de limnología neotropical. 2ª Edición. Colombia, Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. 440 p.

- SEMINA H.J. 1978. Treatment of an aliquot simple. En: UNESCO. 1978. Phytoplankton manual. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris.
- STREBLE, H. y KRAUTER, D. 1987. Atlas de los microorganismos de agua dulce. Ediciones Omega. Barcelona. 372 p.
- TAPHORN D. 2003. Manual de identificación y biología de los peces Characiformes de la Cuenca del Río Apure en Venezuela. BioCentro. Guanare, estado Portuguesa, Venezuela.
- WHITFORD, L. A. y SHUMACHER, A. 1969. A manual of the fresh-water algae in North Carolina. North Carolina Agricultural Experiment Station. Tech. Bul. No. 188. 313 p.
- VIDAL, L. 2010. Manual de fitoplancton hallado en la Ciénaga grande de Santa Marta y cuerpos de agua dulce aledaños. Editorial Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 384 p.
- ZAPATA, A., y DONATO. J., 2005. Cambios diarios de las algas perifíticas y su relación con la velocidad de corriente en un río tropical de montaña (río Tota-Colombia). *Limnetica* 24 (3-4):327-338





## ANEXOS

### Anexo A Registro Fotográfico - Microalgas Fitoplanctónica y Perifíticas

	
<i>Navicula sp.</i>	<i>Gomphonema sp.</i>
	
<i>Cymbella sp.</i>	<i>Stigonema sp.</i>
	
<i>Oedogonium sp.</i>	<i>Merismopedia sp.</i>

Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

**Anexo B Registro Fotografico – Zooplancton**

	
<p><i>Centropyxis</i> sp.</p>	<p>Bivalva (Larva Veliger)</p>
	
<p>Maxillopoda (Haracticoida)</p>	<p><i>Notommata</i> sp.</p>

Fuente: Villarraga y Téllez, 2012

**Anexo C Macroinvertebrados Bentónicos**



*Baetis* sp.



*Brotia* sp.



Chironomidae



Coeanagrionae



*Gyraulus* sp.



*Helobdella* sp.



*Hesperocorixa* sp.



Hydropsychidae



Mesovellidae



Naucoridae



*Parapsyche* sp.



*Phalacrocera* sp.



*Physa* sp.



*Psephenops* sp.



Tipulidae



*Trepobates* sp.



Elmidae



Libellulidae

	
<p>Limnocoris</p>	<p><i>Physa</i> sp.</p>
	
<p><i>Heterelmis</i> sp.</p>	<p><i>Hexatoma</i> sp.</p>
	
<p>Hydropsychidae</p>	<p>Nemata (Phylum)</p>

Fuente: Villarraga y Téllez, 2012