

**CARACTERIZACIÓN DE LAS COMUNIDADES PERIFÉRICAS COMO  
PARAMETRO BIOLÓGICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE  
AGUA DE LAS QUEBRADAS ZARAPANGA Y CLARETE, VEREDA CLARETE,  
MUNICIPIO DE POPAYÁN, DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

**YESENIA ANDREA MARTÍNEZ HERRERA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
LABORATORIO DE RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS**

**POPAYÁN-CAUCA**

**2011**

**CARACTERIZACIÓN DE LAS COMUNIDADES PERIFÍTICAS COMO  
PARAMETRO BIOLÓGICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE  
AGUA DE LAS QUEBRADAS ZARAPANGA Y CLARETE, VEREDA CLARETE,  
MUNICIPIO DE POPAYÁN, DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

**YESENIA ANDREA MARTÍNEZ HERRERA**

Trabajo de grado para optar por el título de

**BIÓLOGO**



**GERARDO IGNACIO NAUDORF SANZ**

**Magíster en Ciencias - Microbiología Ambiental**

Director

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
LABORATORIO DE RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS**

**POPAYÁN-CAUCA**

**2011**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Msc. Gerardo Ignacio Naundorf (Director)**

---

**William Garcia (Jurado)**

---

**Jose Beltran (Jurado)**

**Popayán, \_29\_ de Noviembre 2011**

*Cada día que pasa me convenzo que estudié lo que debí haber estudiado, la Biología me hace muy feliz, Dios y la Virgencita iluminaron el camino que debía seguir.*

*A mi querida mamita Yasmin, quien nunca dudo de mis decisiones y formó la mujer que hoy en día soy. A mis hermanos Juan y Kata quienes con sus travesuras y cariños han hecho de estos años una mezcla sin igual de deberes universitarios y escolares. A mi mamita Leo y mi Pa´ Alex, personas que me enseñaron que en la educación encuentro la herencia más invaluable haya recibido. A mí querida tía Sole, formadora de mi amor a la lectura y a la naturaleza. A mi familia en general quienes siempre me han apoyado en esta locura que al inicio no creían, tuviera resultado alguno.*

*A William, persona digna de mis afectos y fiel compañero. Y mis queridos amigos con los cuales compartí las más hermosas experiencias que en mi mente siempre estarán.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco profundamente al Departamento de Biología de la Universidad del Cauca, por brindarme los espacios de formación, los Docentes y amigos con los que hoy cuento. En especial, al Profesor GERARDO NAUNDORF SANZ, Profesor y Director del Laboratorio de Recursos Hidrobiológicos, indispensable para la elaboración de este documento por su constante apoyo, dedicación y por brindarme los conocimientos y medios necesarios. Al Profesor Camilo Andrade Sossa, por contribuir a mi crecimiento académico y personal, enseñándome el talento especial del Limnólogo, ser buen amigo e intelectual.

A la Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonía y su Laboratorio de Limnología, particularmente SANTIAGO ROBERTO DUQUE ESCOBAR, MSc, profesor de la U. Nacional de Colombia Sede Amazonia – Instituto Amazónico de Investigaciones (Imani), por sus inigualables enseñanzas y asesorías, por brindarme espacios y mentores para el aprendizaje y su aplicación. A CLAUDIA PATRICIA ANDRAMUNIO, integrante del Laboratorio de Limnología, de quien aprendí lecciones llenas de ternura, amor y dedicación por lo que se hace.

De igual manera agradezco a todos los compañeros que hacen parte del Laboratorio de Recursos Hidrobiológicos de la Universidad del Cauca, con quienes las salidas de Campo y las jornadas de trabajo de laboratorio se hicieron una experiencia única, especialmente a mis grandes amigos ANGELA PANTOJA, LEONARDO GÜIZA y OSVAR CÚPITRA por sus conocimientos, apoyo en campo, consejos y compañía.

## **CONTENIDO**

### **1. RESUMEN**

### **2. INTRODUCCION**

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

### **4. JUSTIFICACION**

### **5. MARCO TEORICO**

#### **5.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA**

##### **5.1.1. Luz**

##### **5.1.2. Color**

##### **5.1.3. Turbidez**

##### **5.1.4. Gases disueltos**

##### **5.1.5. Sales minerales**

##### **5.1.6. Dureza**

##### **5.1.7. Fosforo y Nitrógeno**

##### **5.1.8. Conductividad**

##### **5.1.9. pH**

#### **5.2. El Perifiton**

#### **5.3. Importancia del perifiton en las comunidades dulceacuícolas.**

**5.4.** Factores que controlan el desarrollo del perifiton.

**5.4.1.** Principales grupos que conforman el perifiton.

## **5.5. METODOLOGÍAS DE ESTUDIO DEL PERIFITON**

**5.5.1.** Sustratos naturales.

**5.5.2.** Sustratos artificiales.

**5.5.3.** Fijación, identificación y conteo.

**5.6.** Relaciones de variables fisicoquímicas con la variable biológica perifiton.

## **6. METODOLOGIA**

**6.1** Área de estudio

**6.2.** Características del ensamble perifítico

**6.2.1.** Análisis estadísticos

**6.2.3.** Análisis bioindicativo

## **8. RESULTADOS**

**8.1.** Variables Hidrológicas

**8.2.** Variables fisicoquímicas

**8.3.** Estructura de la comunidad

**8.3.1.** Quebrada Clarete.

**8.3.2.** Quebrada Zarapanga

**9.** Discusión.

**9.1.** Variables Fisicoquímicas.

**9.3.** Estructura de la comunidad.

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** Formas de mayor crecimiento de perifiton, considerable variación en la forma y la estratificación vertical.

**Figura 2.** Área de estudio. Güiza Leonardo. 2011.

**Figura 3.** Comparación de Quebradas en función de los promedios de cada variable.

**Figura 4.** Variaciones de caudal Quebradas Clarete y Zarapanga

**Figura 5.** Distribución de morfoespecies en clases taxonómicas en las quebradas Clarete y Zarapanga.

**Figura 6.** Distribución de géneros en clases taxonómicas. Quebrada Clarete, Municipio de Popayán, Cauca.

**Figura 7.** Dendrograma de las muestras en base a la abundancia del perifiton de la Quebrada Clarete. Estimado con base en el índice de similitud de Bray-Curtis.

**Figura 8.** Índices de Shannon y Margalef. Quebrada Clarete

**Figura 9.** Clases taxonómicas. Quebrada Zarapanga, Municipio de Popayán, Cauca.

**Figura 10.** Dendrograma de las muestras en base a la abundancia del perifiton de la Quebrada Zarapanga. Estimado con base en el índice de similitud de Bray-Curtis

**Figura 11.** Índices de Shannon y Margalef. Quebrada Zarapanga.

## LISTA DE TABLAS

**Tabla 1.** Clasificación del tipo de dureza para diferentes tipos de propósitos Según Boyd, 1990.

**Tabla 2.** Porcentaje promedio de la composición química de las aguas dulces. Tomada de Roldan 2008.

**Tabla 3.** Parámetros fisicoquímicos de la quebrada Clarete, correspondiente al punto 1 de estudio.

**Tabla 4.** Parámetros fisicoquímicos de la quebrada Zarapanga, correspondiente al punto 2 de estudio.

**Tabla 5.** Lista de Morfoespecies. Estación 1 (Quebrada Clarete) y estación 2 (Quebrada Zarapanga) del muestreo.

**Tabla 6.** Géneros de Perifiton. Estación 1, Quebrada Clarete.

**Tabla 7.** Géneros de Perifiton. Estación 2, Quebrada Zarapanga.

## 1. RESUMEN

Se estudió la composición y estructura de la comunidad perifítica en las quebradas Clarete y Zarapanga, Vereda Clarete, Municipio de Popayán, simultáneamente con la caracterización físico química hídrica mediante métodos estándar, con el propósito de establecer preliminarmente la calidad del agua. Inicialmente se realizó un análisis cualitativo de las comunidades perifíticas mediante la técnica de raspado en sustratos naturales (roca y vegetación) de las quebradas para la determinación de su composición y riqueza. Se relacionaron los disturbios con los individuos encontrados y las características fisicoquímicas determinadas en ambos sistemas para comparar y sustentar los resultados obtenidos. Se realizaron seis muestreos por un periodo de 3 meses durante una época de alta precipitación.

La comunidad perifítica encontrada estuvo representada por 70 morfoespecies correspondientes a 5 Clases taxonómicas siendo los géneros *Gomphonema*, *Navicula* y *Pinnularia* las más abundantes y *Colacium*, *Gloeocapsa* y *Cosmarium* los géneros que raramente fueron encontrados. Las quebradas Clarete y Zarapanga se caracterizaron por ser aguas blandas con tendencia a la eutrofia (Clarete particularmente) carácter mesotróficas y pH ácidos, moderada cantidad de nutrientes y productividad. Biológicamente se evaluaron los datos arrojando un índice de diversidad de Shannon y de riqueza de Margalef en las quebradas Clarete de 1,0408 y 9,3478 y Zarapanga de 0,9998 y 9,3708 respectivamente.

## 2. INTRODUCCION

Las quebradas o pequeños arroyos, cuerpos de agua de gran importancia y distribución local, representan en el relieve del Cauca uno de los más significativos tributarios de ríos primarios y secundarios de la región. A pesar de tener poco caudal si se compara con la mayoría de los ríos, representa en pequeñas comunidades como la Vereda Clarete, fuente de abastecimiento del recurso y recreación familiar.

En pequeñas corrientes, las características hidrológicas de estos sistemas son las más relevantes en el momento de definir factores controladores para el establecimiento de las comunidades bióticas como el perifiton; se sabe que este tipo de comunidades al estar adheridas y crecer sobre un sustrato determinado del arroyo o quebrada, liga su desarrollo a los patrones de caudal, velocidad de la corriente, ancho y profundidad del flujo de agua (Stevenson 1996), donde dichas características proveen un modelo espacial y temporal para el establecimiento, colonización y crecimiento del ensamble perifítico (Andramunio 2006).

Aunque desde hace mucho tiempo se han utilizado las características físicas y químicas del agua para definir su calidad, recientes estudios donde se utiliza la biota acuática como el perifiton, permite un análisis completo, no solo encaminando los estudios a las características del agua sino también a la cualificación y cuantificación del impacto o disturbio. El perifiton recientemente utilizado como indicador de la calidad de agua, refleja de manera rápida y confiable el medio en el que vive (Roldan 2008), es capaz de indicar la calidad del agua gracias a su sensibilidad a los cambios del medio en que viven, por tanto se convierten en un referente del estado ecológico de cualquier sistema acuático.

Las algas perifíticas como principal productor y fuente de energía de los sistemas de corriente, son los mejores organismos capaces de utilizar el medio acuático

lotico como hábitat. Guardan una relación importante con los procesos homeostáticos del sistema y el reciclaje de materiales en el agua al reciclar los nutrientes orgánicos e inorgánicos disueltos en ella. Sin embargo, cuando aumentan demasiado (floraciones algales) la concentración de dichos nutrientes se convierten en un riesgo para la utilización del agua principalmente en recreación y consumo (Vadeboncoeur & Steinman 2002)

La variación de las condiciones climáticas según Andramunio 2006, principalmente en el régimen de lluvias influye directamente en la hidrología de las quebradas en la alteración del caudal, considerado como un disturbio directo sobre la comunidad perifítica que en respuesta, modifica y desencadenan procesos de sucesión dentro de la comunidad. Adicionalmente los procesos de flujo, mezcla y concentración de nutrientes contribuyen al aumento o la reducción de la biomasa de individuos sensibles a dichos cambios, afectando la diversidad desencadenando procesos de alteración de los ecosistemas. Cambios en la concentración de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno se traducen en la presencia, incremento, disminución o ausencia de ciertos individuos como por ejemplo las diatomeas.

En ambientes de agua dulce loticos, las algas más comunes están representadas en las clases *Cyanophyceae* (Cianobacterias), *Chlorophyceae* (Algas verdes), *Bacillariophyceae* (Diatomeas), *Zygnematophyceae* (Desmideas) y *Euglenophyceae* (Flagelados) (Stevenson et al. 1996) Su crecimiento está ligado a factores físicos, químicos e hidrodinámicos del sistema por lo que la influencia de dichos factores se puede inferir a partir del cambio en la estructura de la comunidad, reducción del número total de taxones y cambios en las proporciones en de la comunidad (Casco & Toja 2003).

Han sido entonces estandarizados métodos y técnicas para la utilización del perifiton como indicador biológico: Índices de diversidad, relaciones de abundancia y riqueza y estructuras de la comunidad. En el caso del presente estudio, se

tendrá en cuenta la estructura de la comunidad a nivel de géneros para la aproximación de la calidad de agua de las quebradas y con los datos fisicoquímicos tomados también en campo, se obtendrá un análisis conjunto de variables biológicas, físicas y químicas del agua. Los datos cualitativos de las muestras orientan a la fisicoquímica en el establecimiento de posibles causas, métodos de corrección de los distintos problemas presentes en las quebradas donde la capacidad de desarrollo del ensamble perifítico es el resultado de una serie de interrelaciones de tipo biológico y la calidad de aguas.

Debido a la importancia de las algas períticas en el estudio de bioindicación y la contribución en el avance de las bases biológicas para el conocimiento y manejo de los medios, en este trabajo se analiza las quebradas Zarapanga y Clarete, correspondientes a la cuenca hidrográfica del río Palacé, muestreadas durante un periodo de lluvias intensas por aproximadamente 3 meses, con el que se identificó la estructura de la comunidad a través de un estudio cualitativo y cuantitativo del perifiton y fisicoquímico del agua. Los resultados evidencian diferencias temporales a nivel biótico y las influencias principales de factores controladores de la comunidad perítica en general, además de los disturbios generados por la actividad antrópica.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar la calidad de agua de las quebradas Zarapanga y Clarete utilizando el perifiton como parámetro biológico de bioindicación y las características físico químicas del agua.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 3.2.1.** Establecer las relaciones de caracterización, composición y riqueza de géneros de los ensambles algales en las quebradas Zarapanga y Clarete.
- 3.2.2.** Determinar la variación temporal en la composición de los ensambles algales de las quebradas Zarapanga y Clarete.
- 3.2.3.** Determinar las características fisicoquímicas de las mencionadas quebradas, sus variaciones en función del tiempo y su relación con los ensambles perifíticos.
- 3.2.4.** Contribuir al conocimiento taxonómico y ecológico de los ecosistemas dulceacuícolas estudiados, quebradas Zarapanga y Clarete.

#### 4. JUSTIFICACIÓN

Los sistemas acuáticos constituyen ecosistemas de gran importancia para el desarrollo de los ecosistemas terrestres, sin agua es imposible el desarrollo de cualquier individuo vivo, pues visible o no se encuentra constituyendo hábitats, alimentos y los mismos individuos.

Las comunidades biológicas existentes en el medio acuático reflejan el estado del sistema, por lo que son utilizadas como indicadores de los grados de perturbación en el ambiente. El ensamble perifítico permite establecer mediciones de tolerancia y respuesta a los distintos tensesores del sistema, para lo cual se utiliza la presencia, número de especies y sus cambios en función del tiempo.

Actualmente los efectos generados por las actividades antrópicas en general, desde el uso doméstico del agua hasta la actividad agraria y ganadera forman parte de las amenazas que enfrentan los ecosistemas acuáticos y sus dinámicas de interrelación biológica y del ambiente. Por tanto el aporte de las investigaciones acerca de la calidad de los cuerpos de agua que existen dentro de una comunidad, en este caso la de la vereda Clarete, establece condiciones medioambientales de los cuerpos de agua que le abastece, el posible origen de las perturbaciones provenientes en su mayoría del uso forestal, ganadero y de cultivo (minoritariamente) del suelo, actividades que como se sabe tienen diferentes niveles de impacto sobre los cuerpos de agua. Adicionalmente, la información suministrada podrá ser usada por la comunidad u otras personas para desarrollar estrategias de conservación en las microcuencas de la vereda Clarete.

## 5. MARCO TEORICO

### 5.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA

Al hablar de un ecosistema acuático, tenemos en cuenta las propiedades físicas y químicas del agua (Tabla 2), bajo las cuales se determinan las condiciones para el desarrollo de la vida y la dinámica del sistema.

**Tabla 2.** Porcentaje promedio de la composición química de las aguas dulces. Tomada de Roldan 2008.

<b>Iones</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>Aniones</b>	
$\text{CO}_3^{-2}$	33,40
$\text{SO}_2^{-2}$	15,31
$\text{Cl}^-$	7,44
$\text{NO}_3^-$	1,15
$\text{PO}_4^-$	<0,10
<b>Cationes</b>	
$\text{Ca}^{+2}$	19,36
$\text{Mg}^{+2}$	4,87
$\text{Na}^+$	7,46
$\text{K}^+$	1,77

De esta manera, a continuación se mencionan algunas de las propiedades fisicoquímicas a considerar para el desarrollo del presente trabajo:

**5.1.1. Luz.** La radiación solar penetra en las aguas, hasta determinadas profundidades, dependiendo de los materiales que se encuentran en suspensión y del ángulo de incidencia de los rayos luminosos. La luz es indispensable para la fotosíntesis que realizan las plantas acuáticas, especialmente el fitoplancton. Parte

de la luz que penetra en el agua es absorbida selectivamente, es decir, determinadas longitudes de onda penetran más profundamente que otras. Una parte de la luz es desviada o sufre fenómenos de reflexión. Por tanto, las condiciones ópticas de las aguas son de importancia primordial para la productividad biológica y para el mantenimiento de la vida (Roldan 2008).

Una de las propiedades ópticas del agua que influye en la penetración de la luz es la **transparencia**. Si existen muchos materiales en suspensión, la penetración de la luz será menor; esto puede constituir un factor limitante para el desarrollo de los organismos vivos. Si la turbidez del agua proviene de la concentración de los seres vivos, la productividad es mayor. Las diferencias de transparencia en las aguas dulces varían mucho, siendo mayor en los riachuelos de montañas y menor en las aguas de un río que recoja las aguas de zonas desprovistas de vegetación.

Existen otros factores que determinan la penetración de la luz además de la transparencia de las aguas. Estos factores son: la intensidad luminosa, el porcentaje de nubosidad, el ángulo de incidencia de la luz en la superficie del agua y el grado de agitación del agua (Montoya-Moreno & N. Aguirre-Ramírez. 2008).

**5.1.2. Color.** Básicamente el color de un cuerpo de aguas naturales está dado por la luz que no ha sido absorbida y dependerá fundamentalmente de: sustancias disueltas, tales como compuestos de naturaleza orgánica (proteínas, hidratos de carbono, lípidos y derivados de su proceso de degradación), materia orgánica particulada (seston), integrada por material vivo (phyto y zooplancton) y material no vivo (tripton: organismos muertos, detritus y partículas coloidales). Además es conveniente considerar el material alóctono que sea aportado en un sistema hídrico por procesos de escorrentía y lixiviación. Para la aplicación del concepto, se pueden establecer dos tipos de color a saber: el color verdadero y el aparente.

**Color verdadero:** Está dado por la presencia de sustancias en solución o partículas en estado coloidal.

**Color aparente:** Es producto del efecto de la luz sobre el material particulado suspendido y el tipo de sustrato (Boyd, 1990).

**5.1.3. Turbidez.** La turbidez se refiere a cuán clara o cuán turbia está el agua. El agua clara tiene un nivel de turbidez bajo y el agua turbia o lodosa tiene un nivel alto de turbidez. Según Ortega (1997) el concepto turbidez "*se refiere a la cantidad de materiales suspendidos que interfieren el paso de la luz a través de ella*". La turbidez puede ser producida por plancton o por exceso de materiales arcillosos en el agua (sólidos suspendidos). Si la turbidez del agua es alta, habrá muchas partículas suspendidas en ella. Estas partículas sólidas bloquearán la luz solar y evitarán que las plantas acuáticas obtengan la luz solar que necesitan para la fotosíntesis. Las plantas producirán menos oxígeno y con ello bajarán los niveles de Oxígeno Disuelto (OD). Las plantas morirán más fácilmente y serán descompuestas por las bacterias en el agua, lo que reducirá los niveles de OD aún más. Las partículas suspendidas en el agua también absorberán calor adicional de la luz solar lo cual ocasionará que el agua sea más caliente. El agua caliente no es capaz de guardar tanto oxígeno como el agua fría, así que los niveles de OD bajarán, especialmente cerca de la superficie.

**5.1.4. Gases disueltos** (Esteves 1988). El oxígeno y el anhídrido carbónico disueltos en el agua son los dos gases de mayor importancia. Tanto la concentración de oxígeno como la del anhídrido carbónico constituyen con frecuencia factores limitantes.

El **oxígeno** disuelto en el agua proviene de la fotosíntesis que realizan los vegetales con clorofila. Como esta actividad fotosintética es mayor en las capas superiores bien iluminadas, su concentración será mayor a este nivel. En los niveles próximos al fondo, su concentración es mínima debido a los procesos de oxidación de la materia orgánica (Andrade 2001).

El **anhídrido carbónico** es un gas que se combina con el agua para formar ácido carbónico. Proviene de la atmósfera y de la actividad respiratoria de los organismos. Su concentración en el agua es variable; cuando es alta, puede constituir un factor limitante para los animales, ya que en estos casos suele ir asociado a concentraciones bajas de oxígeno (Andrade 2001). El anhídrido carbónico tiene relación con el pH del medio acuático e interviene en la formación de los esqueletos, carapachos y conchas de muchos invertebrados (Stevenson 1966).

**5.1.5. Sales minerales.** En las aguas dulces las sales minerales más abundantes son los carbonatos, los sulfatos y los cloruros. Los cationes de mayor importancia son el calcio (64%), el magnesio (17%), el sodio (16%) y el potasio (3%) (Pantoja 2010).

El calcio juega un papel fundamental, ya que determina dos diferentes tipos de agua: a) **aguas duras**, cuando la concentración de calcio es inferior a 25 mg por litro; b) **aguas blandas**, cuando la concentración de calcio es inferior a 9 mg por litro (Boyd 1990). Muchos moluscos, crustáceos y otros invertebrados, tienen necesidad de calcio para formar sus caparazones o conchas y por tanto puede ser factor limitante para algunas especies (Roldan 2008).

La concentración de sales minerales en las aguas dulces, tienen relación con los procesos de osmorregulación de los seres vivos (Castro 2009). Estos, presentan en muchos casos mecanismos de regulación de la presión osmótica, lo cual les permite subsistir en medio de diferente concentración a la del medio interno.

**5.1.6. Dureza.** Es la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en el agua. Existen varias clasificaciones de acuerdo con los valores de dureza entre ellas:

**Tabla 3.** Clasificación del tipo de dureza para diferentes tipos de propósitos Según Boyd, 1990.

<b>Propósito Sanitario</b>	<b>Propósito Acuícola</b>	<b>Clasificación</b>
0-75 mg CaCO <sub>3</sub> /L	0-25 mg CaCO <sub>3</sub> /L	Blanda
75-150 mg CaCO <sub>3</sub> /L	25-50 mg CaCO <sub>3</sub> /L	Semidura
150-300 mg CaCO <sub>3</sub> /L	50-75 mg CaCO <sub>3</sub> /L	Dura
>300 mg CaCO <sub>3</sub> /L	>75 mg CaCO <sub>3</sub> /L	Muy dura

**5.1.7. Fósforo y Nitrógeno.** Constituyen los dos elementos más importantes de la productividad primaria en los ecosistemas acuáticos (Esteves 1988). En medios oligotróficos sus concentraciones son relativamente bajas, por el contrario en medio eutrofizado las concentraciones alcanzan varios miligramos por litro. Puede ser uno de los factores más limitantes en la productividad primaria. El fósforo proviene de la disolución de las rocas fosfatadas y por la mineralización de la materia orgánica, que retorna del medio el fósforo inorgánico a través de los procesos de descomposición microbiana. El nitrógeno tiene como fuente principal el nitrógeno atmosférico; además regresa al medio a través de la descomposición de materia orgánica. (Roldán1992).

**5.1.8. La conductividad.** Refleja la mineralización de las aguas (sólidos disueltos), dado que conjuga los cationes sodio, potasio, calcio, magnesio, así como los aniones carbonatos, bicarbonatos, sulfatos (concentraciones considerables de azufre) y cloruros principalmente, por lo tanto se correlaciona con la dureza (calcio y magnesio) y la alcalinidad (principalmente carbonatos, bicarbonatos e hidroxilo) (Roldan 2008).

**5.1.9. pH.** El agua está dissociada en iones H<sup>+</sup> y OH<sup>-</sup>. Las sales minerales disueltas en el agua se disocian en iones positivos y esta ionización varía de unos compuestos a otros (Gualtero 2007). El pH se expresa en la práctica como una escala que va de 1 a 14 y representa el inverso del logaritmo 10<sup>-14</sup>. Si por ejemplo,

decimos que el pH de una solución o del suelo es 7, existe un equilibrio entre los iones; por tanto este valor constituye el *punto neutro*, el cual corresponde al *agua pura* (agua destilada). Por debajo de este valor, el pH es ácido y lo será tanto más, cuanto más se aproxime a 0 (Rodríguez 2008). Así por ejemplo una solución de pH 3.5 es más ácida que una de pH 5. Por encima del punto neutro (7), los valores expresan alcalinidad y ésta será más alta cuanto más se aproxime a 14.

Hay organismos que viven en aguas con un pH ácido; otros viven en medios acuáticos alcalinos. Así, la planta *Elodea canadensis* vive en aguas con un pH entre 7.4 y 8.8. *Typha angustifolia* (enea) vive en aguas con un pH de 8.4 a 9. Los hongos, y otros organismos, viven en medios ácidos (Roldan 2008). Las aguas dulces tienen el pH entre 6.5 y 8.7; las aguas marinas entre 8 y 8.5 (Nuñez Avellaneza 2008).

Las algas son organismos muy importantes en los sistemas acuáticos, (Donato & Martínez 2000) en sistemas lóticos donde la corriente no permite el establecimiento de plantas superiores, es el perifiton el encargado de la producción primaria y la depuración del sistema, por medio de la oxidación de materia orgánica a través de la fotosíntesis (Duque & Donato 1992). Además, son un excelente bioindicador por su sensibilidad a los cambios del ambiente

## **5.2. EL PERIFITON**

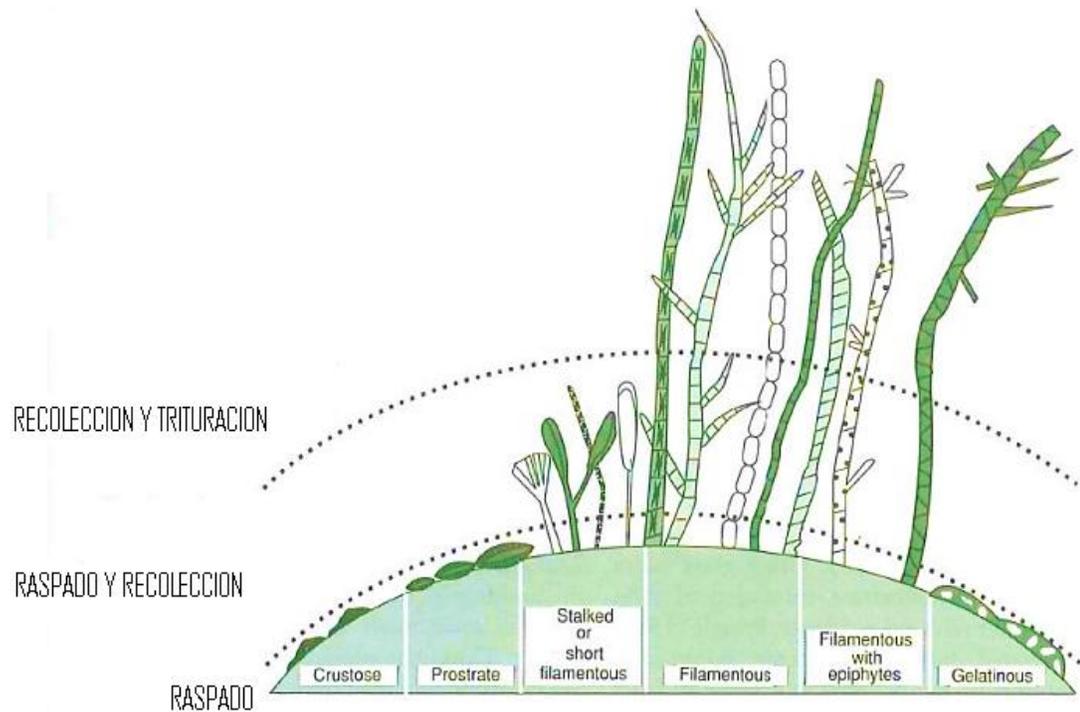
El termino perifiton es utilizado para definir a la comunidad de organismos adheridos a un substrato (Gualtero 2007). Desde el inicio de su conocimiento, algunos autores pioneros en el tema intentaron hacer una definición concreta y completa para esta comunidad acuñando términos como “Aufwuchs” termino Alemán que significa “crecer sobre” (Seligo 1905), “perifiton” (Behning 1924) y “Perifiton” y “Pseudoperifiton”. Finalmente, Wetzel en el año de 1983, utilizando el término “Perifiton”, es el primero que tras un congreso Internacional de Limnología, establece esta palabra para hablar de una comunidad completa formada entre otros, por microorganismos (bacterias, algas, protozoarios, flagelados) detritus

orgánicos e inorgánicos, que viven mediana o firmemente adheridos a algún sustrato, vivo o muerto, orgánico o inorgánico. Definición por la que algunos autores actuales incluyen a determinados rotíferos como parte del perifiton (Roldan 2008).

Dicho ensamble de individuos una vez adheridos a una superficie, realizan sus actividades metabólicas y modifican el sustrato con la creación de un biofilm en el que se favorece el desarrollo y protección de una comunidad (Rodríguez 2008). Su estructura puede ser tridimensional (Fig. 1) y asemejarse a la conformación de la vegetación de un bosque, con formas variadas de crecimiento (Nuñez Avellaneza 2008): formas Erguidas filamentosas como el caso de las algas filamentosas, postradas y penduladas propias de Diatomeas y Desmideas principalmente (Gualtero 2007).

En la actualidad, la compleja comunidad del perifiton es clasificada según el sustrato de crecimiento, de acuerdo al microhábitat que ocupan. Así, se conoce como Epiliton a las algas que crecen sobre rocas; Epifiton, si crecen sobre plantas (incluye algas filamentosas); Epidendron, si se encuentran sobre la madera; Epipelon, en sedimento fino; Episamon, sobre arena y epizoon, cuando crecen sobre animales acuáticos (Allan, 1995; Hauer y Lamberti, 1996; Stevenson et al., 1996 en Gualtero Diana 2007) (Roldán Pérez Gabriel. 2008). Debido a que la composición de la comunidad caracteriza el sustrato al que pertenece, las dinámicas internas y a su vez los procesos externos con el medio: cambios ocurridos en las condiciones físicas, químicas y biológicas del ambiente, gran

parte de su estudio se asocia a las determinaciones medioambientales.



**Figura 1.** Formas de mayor crecimiento de perifiton, considerable variación en la forma y la estratificación vertical. Tomada de Gualtero 2007.

Los grupos principales de algas presentes en el perifiton de sistemas lóticos son las cianobacterias (Cyanophyta), algas verdes (Chlorophyta), algas rojas (Rhodophyta) y diatomeas (Bacillariophyceae), siendo estas últimas las algas que comprenden la mayoría de las especies del perifiton (Rodríguez 2008).

### **5.2.1 IMPORTANCIA DEL PERIFITON EN LAS COMUNIDADES DULCEACUÍCOLAS**

El papel desempeñado por el perifiton en la dinámica de los ecosistemas acuáticos es demasiado significativo, tanto así que distintos autores hoy en día insisten en la importancia de las investigaciones en esta área (Pinilla 2011). Como productores primarios (rol vital en el desarrollo de la cadena trófica) mediante la fotosíntesis fijan dióxido de carbono, liberan oxígeno al cuerpo de agua, aumentan

el suministro de nutrientes en su ciclo, y son fuente energética para los organismos que se alimentan de estos. Las cianobacterias, indicadoras de ambientes ricos en nitrógeno por ejemplo, fijan el nitrógeno atmosférico en el agua y lo convierten a  $\text{NH}_3$  y aminoácidos (Peña Salamanca Et al. 2005)

Dentro de los ecosistemas acuáticos y en particular, en los dulceacuícolas es el más alto productor primario que contribuye al sistema con más del 70% de la materia orgánica en la productividad total (Roldan 1992). Al ser una comunidad formada básicamente por seres unicelulares, sus procesos rápidos de metabolismo y desarrollo se ven reflejados en su gran aporte a la productividad en del ciclo trófico del sistema (Roldan 2008).

Al estar adheridos a un sustrato, ocupar una gran superficie, tener una alta tasa de reproducción y responder a las condiciones del ambiente, el perifiton es utilizado como comunidad bioindicadora del sistema al que pertenece (Donato & Martinez 2000). Sus características únicas en sus etapas de acumulación y pérdida por procesos de inmigración-emigración, colonización y crecimiento, desprendimiento y pastoreo (herbivoría), reflejan los disturbios y perturbaciones al que pueden estar sometidos dentro del sistema (Payne, A. 1986). Criterios como composición, tamaño, grupos funcionales y niveles tróficos de la comunidad pueden decir de manera individual o interrelacionada la influencia de los factores en las condiciones del sistema (Rodríguez 2008).

El perifiton constituye en alimento de muchas especies de insectos y peces quienes lo obtienen al raspar superficies de plantas y rocas (Stevenson 1996). Con lo anterior, el perifiton adquiere una importancia económica en el cultivo en particular de peces, teniendo en cuenta los esfuerzos de la investigación piscícola en disminuir y/o sustituir el uso de alimento artificial por fuentes alternativas de proteína y carbohidratos para bajar los costos de producción. Ejemplo de ello el bocachico (*Prochilodusreticulatus madalena*) pez de gran importancia

económica en el país, quien en ambientes naturales se alimenta de perifiton con lo que se pueden hacer estudios en pro del mejoramiento de la productividad de los embalses (Roldan 2008).

### **5.3 FACTORES QUE CONTROLAN EL DESARROLLO DEL PERIFITON**

La estructura y dinámica de la comunidad perifítica se encuentra regulada por macro y micro factores: la hidrodinámica, luz, transparencia, turbidez, temperatura, pH, tipo de sustrato, entre otros (Margalef 1993).

Los factores hidrodinámicos pueden incidir de manera directa en la colonización y crecimiento de las comunidades perifíticas (Stevenson 1996). Las características ambientales de las cuencas (pendiente, topografía, incluso uso de la tierra y tipo de vegetación) influyen por ejemplo en la velocidad de la corriente y caudal de sistemas lóticos en donde el volumen de agua altera la permanencia de los sustratos, condición de luz, temperatura y nutrientes, distribución y abundancia de las algas (Nuñez, Avellaneza, 2008). Las diatomeas por su parte son los organismos que de mejor manera se adaptan a las corrientes rápidas, gracias a sus cojines mucilaginosos que les permiten adherirse mejor.

La luz es la principal fuente energética. Según Roldán (2008) en el trópico se dispone de la misma luz más o menos todo el año, por lo que constituye como factor limitante sólo en las zonas de profundidad de lagos y embalses; en las orillas muy sombreadas de ríos. En el caso particular de los embalses del trópico, la turbiedad constituye en un impedimento para la entrada de la luz al cuerpo de agua por lo que la producción perifítica se concentra en los primeros metros. Sin embargo en profundidades considerables, pueden encontrarse a diversos morfotipos de especies persistentes y resistentes.

La naturaleza de la luz y la temperatura varían de forma limitante. Ambos factores significativos para el desenvolvimiento de las comunidades perifíticas se relacionan estrechamente en términos de productividad, concentración de oxígeno y dióxido de carbono en la columna de agua. De acuerdo con Tundisi & Tundisi (2008), un aumento de la temperatura de 11,9°C a 20°C con 20.000 Lux de intensidad lumínica puede incrementar en un 33,4% la tasa fotosintética del perifiton.

Los aminoácidos, nucleótidos, clorofila, ficobilinas, son sintetizados a partir del fósforo y el nitrógeno principalmente, por lo que son los nutrientes más estudiados. La relación N:P es importante para detectar una limitación en el crecimiento de las algas, ambientes ricos en fósforo o nitrógeno promueven aumento de diatomeas y cianobacterias, respectivamente, sin embargo esto solo en términos de biomasa, pues no se ve reflejado en el aumento de la diversidad o la riqueza de especies (Marcus 1980; Lowe Et al. 1986; Biggs 1996; Biggs y Smith 2002).

El pH por su parte, en sitios con valores muy bajos reflejan poca productividad y poca presencia de perifiton (la presencia de Desmidiáceas indican este tipo de ambientes), mientras que en ambientes de pH básicos, donde los nutrientes están más disponibles, reflejan gran desarrollo del ensamble (Wetzel 1982).

Al existir una cierta preferencia por parte del ensamble perifítico a determinado sustrato, este se constituye como fundamental en la comprensión del sistema al determinar patrones de densidad de la comunidad perifítica (Andramunio 2006). Según Roldán, aunque no del todo claro esta tendencia se cree a la naturaleza química del agua, a la rugosidad del sustrato y a las estructuras adaptativas de adhesión de los organismos como los usados por las algas que viven en las corrientes rápidas de los ríos, quienes por medio de sus tallos mucilaginosos se adhieren con fuerza a troncos y rocas para no ser arrastrados. El ensamble

perifítico se desarrolla de mejor manera en sustratos de estabilidad y acción mínima de las corrientes.

Finalmente, la acción de los consumidores (pastoreo) sobre estructura tridimensional del ensamble perifítico en términos de biomasa, es de carácter selectivo de acuerdo a la morfología de la parte bucal del consumidor (Stevenson 1993).

### **5.3.1 Principales grupos que conforman el perifiton.**

El perifiton constituye una comunidad muy diversa de organismos muy distintos entre sí, organismos fotosintéticos y heterótrofos, procariotas y eucariotas.

Las algas presentan un rango de variación en su forma de vida o nivel de organización que involucra aspectos evolutivos (Hoek, 1995) y ecológicos (Margalef, 1978). Las formas de vida son: unicelulares, coloniales, filamentos, pseudofilamentos, parenquimatosas, pseudoparenquimatosas y cenocíticas de las cuales se tratarán las tres primeras formas (Nuñez-Avellaneza, M. 2008)

Las algas pueden ser fotoautotróficas obligadas: realizan fotosíntesis y fijación de carbono. Heterotróficas: Capturan el carbono orgánico del ambiente externo ingiriendo partículas (fagotrofía), por la toma de compuestos orgánicos disueltos (Osmotrofía), y algunos son incapaces de sintetizar vitaminas esenciales como biotina, tiamina y B12. Mixotróficas: Dependiendo de las condiciones ambientales pueden funcionar como fotoautótrofas (productores) y otras veces como heterótrofos. Debido a estos aspectos, se han hecho una serie de separaciones por clases en base de aspectos bioquímicos principalmente: tipo de clorofila, pigmentos accesorios y material de reserva. Por el color característico predominante en la células producto del pigmento accesorio, se ha hecho la siguiente separación, Algas verdes: *Euglenophyceae*, *Chlorophyceae* y

*Zygnemaphyceae*, Algas pardas: *Coscinodiscophyceae*, *Fragillariophyceae*, *Bacillariophyceae*, *Chrysophyceae*, *Dinophyceae* y *Tribophyceae* y algas rojas *Cyanophyceae* y *Rhodophyceae*, líneas (Hoek *et al.*, 1995; Graham & Wilcox, 2000 en Nuñez-Avellaneza, M. 2008).

**Euglenophyceae:** Células con uno o dos flagelos asomando en la parte anterior; sin placas externas pero con película debajo de la membrana que puede estar ornamentada en la mayoría de los géneros, excepto en *Euglena*.

**Chlorophyceae:** Filamento de vida libre.

**Zygnemaphyceae** Célula con división o incisión a nivel de pared o membrana, celulosita o celulósico-péctica, formando dos hemi-células iguales que son cada una el reflejo espectral de la otra (verse al espejo)

**Coscinodiscophyceae** Célula con simetría radial (Orden Centrales)

**Dinophyceae:** Células con dos flagelos, ubicados en diferente posición, uno en la cintura o parte media de la célula y otro en el extremo posterior. Células con placas de celulosa tenue o bien marcada.

**Chrysophyceae:** Células con dos flagelos ubicados en posición anterior. Células con escamas

**Bacillariophyceae** Células con simetría bilateral (Orden Pennales)

**Cyanophyceae** Organismos con filamentos uni-seriados sin organelos internos de color verde – azulado o rojo.

**Rhodophyceae:** Organismos ramificados de color azul o rojo.

## 5.4. METODOLOGÍAS DE ESTUDIO DEL PERIFITON

El estudio del perifiton se considera un componente biológico importante en la determinación de la calidad de agua. Diversos agentes de control y monitoreo ambiental lo utilizan, entre ellos los protocolos a seguir para el análisis ambiental, como por ejemplo la EPA en EE UU fundamenta su estudio en la identificación de las especies y estructura de la comunidad.

Para dar una aproximación real al comportamiento de la comunidad dentro del sistema antes del estudio, se deben efectuar muestreos previos con el fin de escoger las estaciones de muestreo, la técnica de colecta, además de la determinación de las metodologías a aplicarse. A continuación se presentarán las metodologías usadas básicamente, sustratos naturales y artificiales

**5.4.1. Sustratos naturales:** La colecta y raspado del sustrato colonizado por el perifiton en un área determinada, es el método más simple y utilizado para hacer la colecta. Una vez almacenado y fijado se lleva al laboratorio para su posterior identificación, conteo y determinación de comunidades producida por unidad de área. Este procedimiento debe ser repetido mínimo tres veces en cada uno de los distintos sustratos: rocas, troncos, lodo, etc. con el fin de obtener una muestra representativa, para los distintos estudios de caracterización en cuanto a riqueza, composición, abundancia, composición química y biomasa.

Esta metodología, logra hacer una aproximación al estado real del sistema puesto que el efecto del enriquecimiento de nutrientes, se ve reflejado en la disminución de especies no tolerantes a los cambios y en la aparición dentro de la estructura de la comunidad de especies dominantes tolerantes al cambio.

**5.4.2. Sustratos artificiales.** Gran variedad de estudios realizados en sustratos artificiales acerca de por ejemplo los procesos de colonización, reflejan la

importancia de esta metodología en el estudio del perifiton, sin embargo, simplemente se dará una breve información teniendo en cuenta que en el presente estudio no se utilizarán sustratos artificiales.

Entre los materiales más usados se encuentran láminas de vidrio, plástico, madera, cerámica y eternit. Para su aplicación es indispensable revisar estudios preliminares, las condiciones medioambientales además de establecer el tiempo de sucesión y colonización de la comunidad (tiempo clímax) para según el objetivo del estudio utilizar un sustrato determinado, determinar el número de réplicas y establecer otras variantes como el grado de rugosidad del sustrato, posibilidad de remoción, posición y localización dentro del sistema.

**5.4.3. Fijación, identificación y conteo.** Sin fijación de la muestra serían imposibles los procesos de identificación y conteo del material colectado. La fijación ideal, aunque inexistente, se lograría gracias a la utilización de una solución fijadora que no altere las estructuras internas ni externas de los organismos. Hoy en día se usan los fijadores que cumplen casi todos los requisitos, los mismos utilizados para la fijación de fitoplancton como la solución fijadora Transeau o 6:3:1 compuesta por 6 partes de agua, 3 partes de alcohol etílico al 95% y 1 parte de formol comercial, utilizándola en proporción 1:1 respecto al volumen de la muestra, empleada básicamente en las determinaciones cualitativas.

La identificación y el conteo se realizan en el laboratorio con ayuda del microscopio empleando cámaras de Sedgwick-Rafter y campos aleatorios o transeptos, utilizando un área mínima, los resultados del conteo se expresan en términos de densidad numérica o biomasa. Es importante que el material sea bien identificado antes del conteo con la ayuda de dibujos o fotografías de las especies encontradas en la revisión cualitativa para alguien con más experiencia en el tema logre corregir las fallas del investigador.

## **5.6. RELACIONES DE VARIABLES FISICOQUÍMICAS CON LA VARIABLE BIOLÓGICA PERIFITON**

Aunque no son lo fundamental del estudio, las variables fisicoquímicas incluidas para los trabajos de bioindicación son vitales en el establecimiento de relaciones y porqués en la estructura de la comunidad perifítica y el estado del sistema acuático a analizar. Variables como por ejemplo el pH debe permanecer en ciertos rangos para la disponibilidad de nutrientes y el desarrollo maduro de toda la comunidad perifítica.

Toda acción antrópica genera un factor de degradación en los ecosistemas, más cuando este tipo de alteraciones no son reguladas. Contaminación puntual como la que se hace cuando se fertiliza un campo cerca de una cuenca que por acción de escorrentías alteran la distribución de nutrientes, constituyen en estudios que se pueden llevar a cabo gracias al biomonitoreo con algas perifíticas y parámetros fisicoquímicos.

## 6 METODOLOGIA

### 6.1. ÁREA DE ESTUDIO.

El área de estudio se encuentra ubicada en el departamento del Cauca, municipio de Popayán, corregimiento Las Piedras, vereda Clarete<sup>1</sup>. Dicha vereda ubicada al Nororiente del municipio se localiza en la subcuenca media del río Palacé, tributario del río Cauca.

El uso del territorio está marcado principalmente por plantaciones de pino, eucalipto, roble y parcelaciones de cultivos pan coger y potreros de vocación agrícola-ganadera. Esta zona se halla ubicada entre los 1400 y 2600 msnm sobre un tipo piso bioclimático subandino<sup>2</sup>; presenta un clima templado a frío con una temperatura entre 12°C y 17°C. Los suelos son moderadamente profundos, bien a excesivamente drenados; textura de franco arenosa a arcillosa, fuertemente a moderadamente ácidos. (POT Popayán, cap. 1: Dimensión ambiental. 2010).

Cuenta con una población de aproximadamente 68 familias ubicadas en 201 predios, las cuales utilizan el agua de las microcuencas: Clarete y Zarapanga, para riego, ganadería, recreación, usos domésticos y consumo (solamente, Zarapanga). Aunque solamente es la quebrada Zarapanga la única que nace y muere dentro de la vereda, ambas la atraviesan y constituyen en parte importante de las actividades generales de la población.

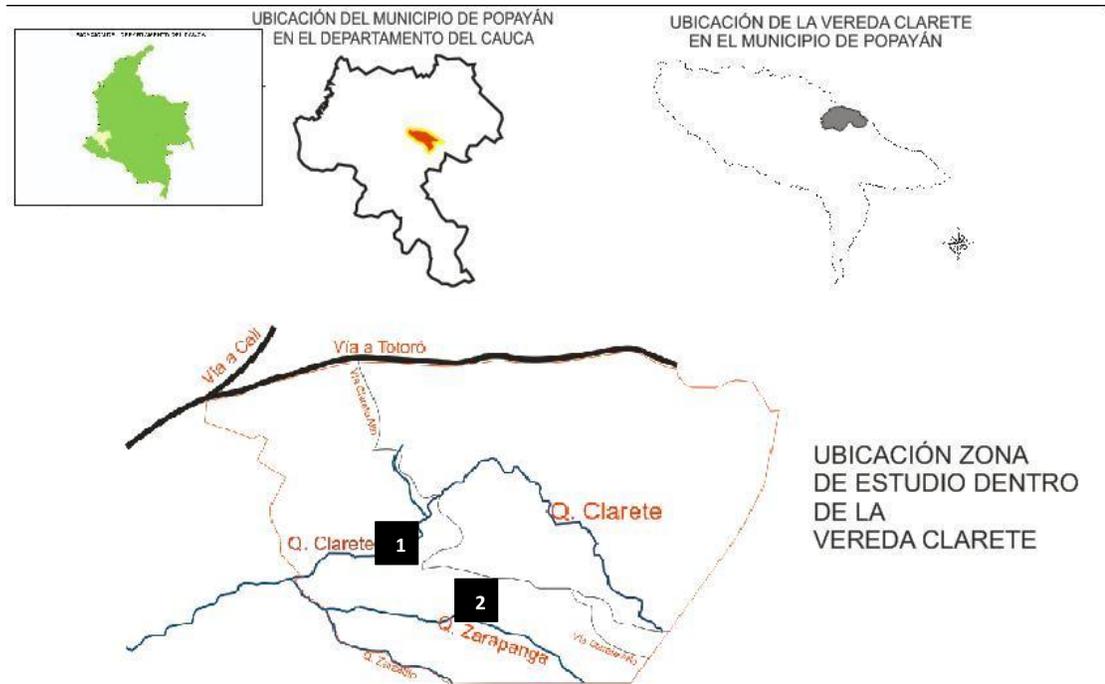
Las estaciones de muestreo (ver figura 2) son la Quebrada Clarete N 02°30'12.3" y W 076°31'52.2", altitud 1954 msnm (Estación 1), Estación 2, la bocatoma de la

---

<sup>1</sup> ALCALDÍA DE POPAYÁN. Plan De Ordenamiento Territorial -Municipio De Popayán. POT-DOCUMENTO. 2010

<sup>2</sup> FIGUEROA & CONCHA "Educando para formar sembradores de agua" Cartilla de educación ambiental Experiencia Vereda Clarete Universidad del Cauca. Junta de acción comunal. CRC. COLCIENCIAS. Grupo de estudios Ambientales Universidad del Cauca 2006-2007

quebrada, Zarapanga N 2° 30' 05.91" y W 76° 32' 06.2" altitud de 1916 msnm., sitio de toma para el abastecimiento de la comunidad. En cada uno de las estaciones se tomaron las variables fisicoquímicas y eco hidráulicas (algunas veces), temperatura del agua y del ambiente con el uso de Kits colorimétricos e instrumentos de medición como metros y termómetro ambiental.



**Figura 2.** Área de estudio. Güiza Leonardo 2011, según Montenegro Eider Antonio. 2009-2010

## 6.2. CARACTERIZACION DEL ENSAMBLE PERIFITICO

Las muestras se tomaron por 3 meses, tiempo en el que se realizaron 6 salidas cada dos semanas, el tiempo de frecuencia se determinó respecto al tiempo aproximado de colonización y establecimiento de la comunidad perifítica en las zonas de muestreo. En cada punto de muestreo, se colectaron las muestras mediante raspado o barrido con pincel o cepillo en diferentes sustratos y el

tratamiento para la preservación de las muestras fue en solución fijadora Transeau o 6:3:1, compuesta por 6 partes de agua, 3 partes de alcohol etílico al 95% y 1 parte de formol comercial, utilizada en proporción 1:1 respecto al volumen de la muestra.

La identificación de los géneros se hizo llevando las muestras al Laboratorio de Recursos Hidrobiológicos de la Universidad del Cauca, donde por medio de diversas claves taxonómicas y la utilización de un microscopio óptico se logró establecer la estructura de ambas quebradas, con lo que finalmente se determinó riqueza y composición del ensamble perifítico muestreado

### **6.2.1. ANALISIS ESTADÍSTICOS**

Los análisis estadísticos utilizados estuvieron encaminados en la determinación de las variaciones observadas en función de tiempo y estación de muestreo. Igualmente, para establecer relaciones significativas entre estaciones y las características físicas y químicas del agua. Después de conocer la estructura de la comunidad de algas perifítica se procedió a calcular los siguientes índices:

**Índice de Shannon (H')**: El índice de diversidad de Shannon con el que se determinó la composición de la comunidad teniendo en cuenta el número y la igualdad de especies, ya que es sensible a los cambios en la abundancia de las especies raras presentes en las muestras (Moreno, 2005).

**Índice de Shannon (H')**:  $H' = - \sum p_i \ln p_i$ , donde:

$$p_i = n_i / n$$

**n<sub>i</sub>** = número de individuos del taxón iésimo

**n** = número total de individuos en la muestra

$$n = \sum n_i$$

**6.2.3. ANÁLISIS BIOINDICATIVO.** Para tal efecto, se tendrán en cuenta aquellos géneros de algas utilizados como bioindicadores de la calidad de aguas y su abundancia en el ecosistema evaluado, evaluando con ello el estado en el cual se encuentran las aguas de las fuentes termales muestreadas. Para ello se utilizará material bibliográfico relacionado con la bioindicación de la calidad de agua en Colombia.

Los datos obtenidos en la toma de variables físico-químicas se sistematizaron en una hoja electrónica Excel obteniendo los gráficos respectivos para establecer las abundancias, diversidad y variaciones de los datos. El tipo de análisis estadístico es descriptivo en su mayoría con el que se logró determinar las variaciones observadas en los datos estadísticamente significativas, relación de la información fisicoquímica e hídrica con los datos de la estructura de la comunidad perifítica. Para tales efectos, se utilizaron software estadísticos como SPSS Versión 11.5 y BioDiversity Pro y PAST.

## 7 RESULTADOS

### 7.1. Variables Fisicoquímicas.

Los parámetros muestran correlaciones entre sí, asociados con condiciones del caudal, la altitud, capacidad de reoxigenación, el terreno y sus usos.

Durante el periodo estudiado, se observó características distintas correspondientes a periodos de lluvias y lluvias excesivas, reflejado en los parámetros físicos y químicos tomados en las quebradas. En la Tabla 3 se muestran las variaciones de la fisicoquímica así como su promedio y desviación estándar para el primer cuerpo de agua correspondiente a la quebrada Clarete.

La quebrada Clarete se caracteriza en promedio por mantener un pH ligeramente ácido (6,75 unidades de pH), condiciones de oxígeno subsaturadas (4,52 mg/L), alcalinidad (0,56 mg/L CaCO<sub>3</sub>), Cloruros (5 mg/L), Acidez (0,52 mg/L), Dureza Carbonacea (0,86 mg/L), Dureza Total (2,38mg/L CaCO<sub>3</sub>), Dióxido de Carbono (1,83 mg/L), Nitratos (30 mg/L), Calcio (8,25 mg/L) y hierro (0,41 mg/L). La variable ambiental de menor variación fue la acidez, con una Desviación estándar correspondiente al 0,21 y la de mayor variación fueron los nitratos con una Desviación estándar de 21,91 debido al enriquecimiento de las aguas por escorrentía de una zona de cultivo cerca al punto de muestreo. Se puede decir que corresponde a un sistema de aguas blandas, oligotróficas que por factores externos se transformaron en aguas mesotróficas.

**Tabla 3.** Parámetros fisicoquímicos de la quebrada Clarete, correspondiente al punto 1 de estudio. **M**: muestreo; **S**: Desviación Estándar.

	<b>M<sub>1</sub></b>	<b>M<sub>2</sub></b>	<b>M<sub>3</sub></b>	<b>M<sub>4</sub></b>	<b>M<sub>5</sub></b>	<b>M<sub>6</sub></b>	<b>Promedio</b>	<b>S<sup>2</sup></b>
<b>pH</b>	7,6	7	6,54	5,35	7	7	6,75	0,76
<b>T° agua (°C)</b>	15,9	16	14	17	16	15	15,65	1,03

	<b>M<sub>1</sub></b>	<b>M<sub>2</sub></b>	<b>M<sub>3</sub></b>	<b>M<sub>4</sub></b>	<b>M<sub>5</sub></b>	<b>M<sub>6</sub></b>	<b>Promedio</b>	<b>S<sup>2</sup></b>
<b>O<sub>2</sub></b>								
<b>Disuelto (mg/L)</b>	4,7	5	3,5	2,5	6	5,4	4,52	1,2921
<b>Cloruros (mg/L)</b>	0	0	0	10	10	10	5	5,48
<b>Acidez (mg/L)</b>	0,6	0,3	0,7	0,6	0,7	0,2	0,52	0,21
<b>Dureza Carbonácea (mg/L)</b>	0,4	3	0,3	0,3	0,4	0,8	0,86	1,06
<b>Dureza Total (mg/L)</b>	4	5	2,5	0,8	1,2	0,8	2,38	1,78
<b>CO<sub>2</sub> (mg/L)</b>	2,5	0,5	2,5	1,5	2	2	1,83	0,75
<b>Nitratos (mg/L)</b>	50	10	10	50	50	10	30	21,91
<b>Calcio (mg/L)</b>	20	8	0,5	0,7	0,3	20	8,25	9,55
<b>Fe (mg/L)</b>	0,3	0,3	0,3	1	0,3	0,3	0,42	0,28

En cuanto al punto dos se encontró que la quebrada Zarapanga (Ver tabla 4), tiene valores promedio de pH que tienden a la acidez (6,235 unidades de pH), alcalinidad (0,41 mg/L CaCO<sub>3</sub>) parámetros correspondientes según Roldan (2008) a los rangos de la cuenca del río Cauca, con una baja saturación de Oxígeno (2,4 mg/L O<sub>2</sub> disuelto), Cloruros (1,73mg/L), Acidez (0,716mg/L), Dureza Carbonacea (0,45 mg/L), Dureza total (2,01 mg/L), Dióxido de Carbono (2,16 mg/L), Nitratos

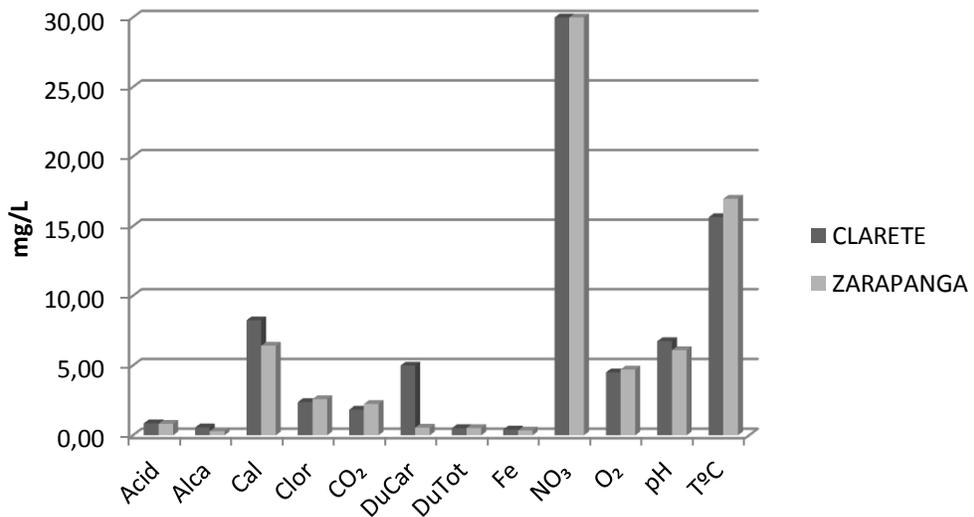
(32,5 mg/L) , Calcio (6,62 mg/L) y Hierro (0,3mg/L). El parámetro con menor variación fue la alcalinidad, con Desviación estándar de 0,10 y el parámetro que más variación fueron nuevamente como en el caso de Clarete los Nitratos con Desviación Estándar de 25,44

**Tabla 4.** Parámetros fisicoquímicos de la quebrada Zarapanga, correspondiente al punto 2 de estudio.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	Promedio	S <sup>2</sup>
<b>pH</b>	6,5		5,73	5,68	6,5	6,5	6,23	0,41
<b>T° agua (°C)</b>	14,9	14	16	17,2	17,7	17	16,13	1,44
<b>O<sub>2</sub> Disuelto (mg/L)</b>	3	4,5	5	3	6,5	4,4	4,4	1,32
<b>Alcalinidad (mg/L)</b>	0,4	0,5	0,4	0,2	0,3	0,3	0,35	0,10
<b>Cloruros (mg/L)</b>	0	0	0,6	6	0,8	3	1,73	2,36
<b>Acidez (mg/L)</b>	0,3	0,7	0,3	0,7	0,3	2	0,72	0,66
<b>Dureza Carbonacea (mg/L)</b>	0,2	0,3	0,7	0,5	0,3	0,7	0,45	0,22
<b>Dureza Total (mg/L)</b>	5	5	0,5	0,4	0,7	0,5	2,01	2,31
<b>CO<sub>2</sub> (mg/L)</b>	2,5	1,5	2,5	3,5	0,5	2,5	2,16	1,03

Nitratos (mg/L)	M1	M2	M3	M4	M5	M6	Promedio	S <sup>2</sup>
	50	25	10	25	75	10	32,5	25,44
Calcio (mg/L)	6	8	0,6	0,6	0,5	24	6,62	9,10
Fe (mg/L)	0,3	0,1	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,13

Ambas Quebradas Clarete y Zarapanga demuestran una distribución similar en cuanto a los valores fisicoquímicos, tomando los promedios de cada parámetro en los seis muestreo y construyendo un gráfico comparativo (Fig. 3) podemos ver que las condiciones de ambos sistemas solamente difieren en cuanto al valor del calcio debido a los variación de suelos de las quebradas, en la Quebrada Clarete Limo Arcilloso rojo y en Zarapanga Arcillo Arenoso, ambos tipos de suelo buenos para el depósito de las aguas, minerales y crecimiento de macrófitas.



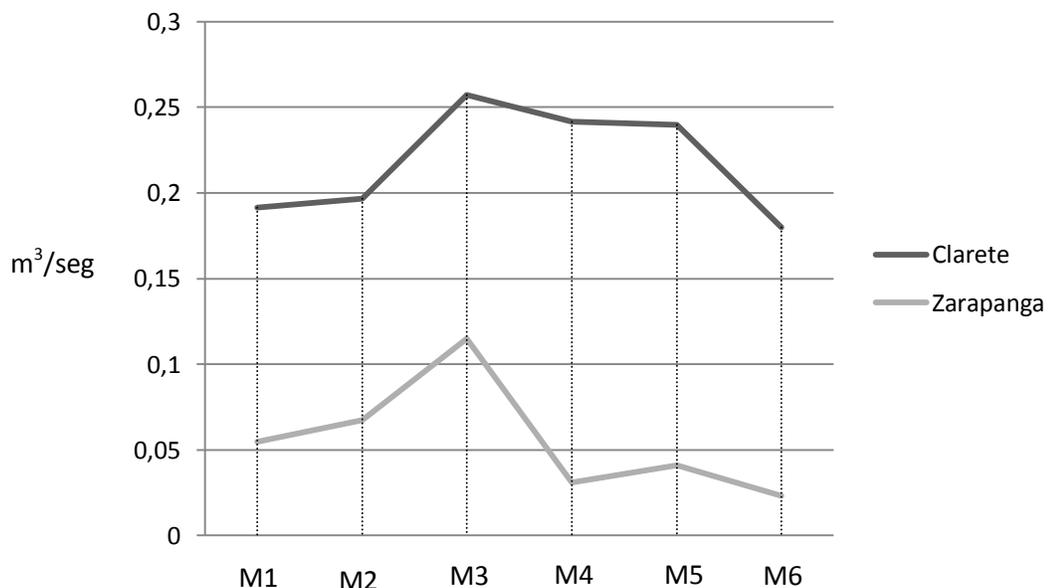
**Figura 3.** Comparación de Quebradas en función de los promedios de cada variable.

### 7.3 Variables Hidrológicas

El Caudal, única variable hidrológica analizada durante los seis períodos de muestreo varió acorde con la estacionalidad de las lluvias. Durante el muestreo 3 se presentó los valores más altos de caudal, que corresponde con las épocas de mayor precipitación. En los muestreos restantes se presentaron los valores más bajos de estos parámetros.

En las quebradas de la vereda (Ver fig. 4) el menor valor promedio de caudal correspondió a la Quebrada Zarapanga ( $0,055 \text{ m}^3/\text{s}$ ), el mayor valor se registró en la Quebrada Clarete ( $0,217 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Los valores de Caudal para la Quebrada clarete muestran una disminución significativa a partir del muestreo 4, dicha disminución consecuencia la caída de distintos árboles y taludes de tierra metros antes de la estación, por las excesivas precipitaciones en la zona y la falta de mantenimiento por parte de la población.



**Figura 4.** Variaciones de caudal Quebradas Clarete y Zarapanga.

### 7.3 Estructura de la Comunidad Perifítica

Los sustratos como rocas y vegetales, se encontraron durante toda la época de muestreo a excepción del muestreo 3, en el que no se encontró sustrato vegetal debido a la excesiva precipitación. La lista taxonómica de organismos, muestreo y estación de colecta en el que fueron hallados se presentan a continuación, se identificaron 70 morfoespecies correspondientes a cinco clases taxonómicas en las dos quebradas.

**Tabla 5.** Lista de Morfoespecies. Estación 1 (Quebrada Clarete) y Estación 2 (Quebrada Zarapanga) del muestreo.

	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4		Muestra 5		Muestra 6	
	E1	E2										
<b>Cyanophyceae</b>												
<i>Anabaena</i>	x	x	x	x	x		x					
<i>Chroococcus</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Borzia</i>	x		x	x	x							
<i>Oscillatoria Sp1</i>	x		x	x		x	x		x		x	
<i>Oscillatoria Sp2</i>			x	x	x		x				x	x
<i>Oscillatoria Sp3</i>	x	x		x			x	x	x	x	x	
<i>Raphidiopsis</i>	x											
<i>Ulhotrix</i>	x		x	x					x		x	
<b>Chlorophyceae</b>												
<i>Closterium Sp1</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Closterium Sp2</i>				x	x					x		x
<i>Gloeocapsa</i>	x											
<b>Bacilliarophyceae</b>												
<i>Aulocoseira Sp1</i>	x											
<i>Amphora Sp1</i>			x	x		x	x		x	x	x	x
<i>Achnanthes Sp1</i>					x		x		x			
<i>Cymbella Sp1</i>			x	x			x					
<i>Cymbella Sp2</i>		x		x	x			x		x		x
<i>Cymbella Sp3</i>	x	x	x	x	x							
<i>Cymbella Sp4</i>					x					x		
<i>Encyonema Sp1</i>			x			x			x		x	

	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4		Muestra 5		Muestra 6	
	E1	E2										
<i>Encyonema Sp2</i>	x			x				x		x		x
<i>Eunotia Sp1</i>	x	x	x	x	x			x				x
<i>Eunotia Sp2</i>			x		x	x		x	x		x	x
<i>Eunotia Sp3</i>			x									
<i>Eunotia Sp4</i>	x			x				x	x	x	x	x
<i>Eunotia Sp5</i>				x								
<i>Ephitemia Sp1</i>	x		x					x				
<i>Gomphonema Sp1</i>	x		x	x			x				x	
<i>Gomphonema Sp2</i>		x		x		x	x		x			x
<i>Gomphonema Sp3</i>		x		x	x		x		x		x	
<i>Fragillaria Sp1</i>			x	x								
<i>Fragillaria Sp2</i>			x	x								
<i>Fragillaria Sp3</i>					x							x
<i>Frustulia Sp1</i>	x		x	x	x		x		x		x	
<i>Frustulia Sp2</i>		x		x		x	x			x	x	x
<i>Frustulia Sp3</i>	x			x	x					x	x	x
<i>Frustulia Sp4</i>			x	x	x					x	x	x
<i>Frustulia Sp5</i>			x						x		x	
<i>Frustulia Sp6</i>					x					x	x	x
<i>Lepocinclis Sp1</i>		x	x		x	x		x		x		x
<i>Navicula Sp1</i>			x	x			x		x	x	x	
<i>Navicula Sp2</i>	x		x		x	x		x	x			x
<i>Navicula Sp3</i>	x	x		x	x		x				x	x
<i>Navicula Sp4</i>	x		x	x		x	x	x	x	x	x	x
<i>Navicula Sp5</i>				x								
<i>Navicula Sp6</i>				x	x		x		x		x	x
<i>Navicula Sp7</i>					x		x	x		x		x
<i>Nitzschia Sp1</i>				x			x	x	x	x	x	x
<i>Nitzschia Sp2</i>				x			x					
<i>Pinnularia Sp1</i>	x	x	x		x			x			x	
<i>Pinnularia Sp2</i>		x	x		x	x	x			x		x
<i>Pinnularia Sp3</i>			x	x								
<i>Pinnularia Sp4</i>			x	x	x				x			x
<i>Pinnularia Sp5</i>	x		x	x	x		x		x			x
<i>Surirella Sp1</i>	x	x		x		x						
<i>Tabellaria Sp1</i>				x								
<i>Ulnaria Sp1</i>	x	x		x		x						

	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4		Muestra 5		Muestra 6	
	E1	E2										
<i>Ulnaria Sp2</i>				x								
<b>Zygnematophyceae</b>												
<i>Cosmarium Sp1</i>	x											
<i>Staurastrum Sp1</i>		x	x			x		x		x		x
<i>Staurastrum Sp2</i>			x									
<b>Euglenophyceae</b>												
<i>Colacium Sp1</i>				x			x					

La distribución de morfoespecies (Ver figura 6) estuvo marcada principalmente por la presencia de individuos en su mayoría diatomeas correspondientes a la clase taxonómica Bacilliarophyceae (75,41%) gracias a sus adaptaciones a sistemas de caudales considerables, representada por el orden de las Pennales. Le siguen la Clase Cyanophyceae (13,11%), la Clase Zygnematophyceae y Chlorophyceae (4,92%) y finalmente la Clase Euglenophyceae (1,64%). Las morfoespecies encontradas fueron similares en ambos sistemas, de las 70 especies encontradas en ambas quebradas, Clarete reporta 66 morfoespecies, mientras que Zarapanga 62 morfoespecies

Los organismos más encontrados corresponden a los géneros de *Oscillatoria*, *Closterium*, *Gomphonema*, *Navícula*, *Pinnularia* y *Amphora*, siendo los cuatro últimos correspondientes al 48,16% del total de individuos encontrados por géneros.

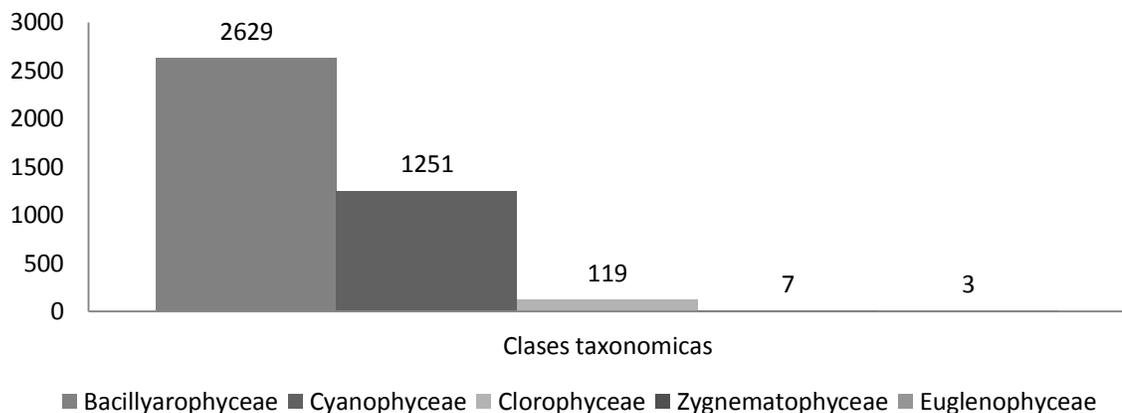
En el sistema de la quebrada Clarete se contaron 4009 individuos (Ver tabla 3), gran cantidad correspondiente a los géneros *Gomphonema* (635 individuos) y *Oscillatoria* (627 individuos), así mismo en la quebrada Zarapanga 1750 individuos (Ver tabla 4) con gran aporte de los géneros *Navícula* (299 individuos) y *Pinnularia* (268 individuos).

**Tabla 6.** Géneros de Perifiton. Estación 1, Quebrada Clarete

	Muestra 1 E1	Muestra 2 E1	Muestra 3 E1	Muestra 4 E1	Muestra 5 E1	Muestra 6 E1	TOTAL
<b>CYANOPHYCEAE</b>							
<i>Anabaena</i>	61	48	21	20	15	0	165
<i>Chroococcus</i>	57	54	34	25	22	12	204
<i>Borzia</i>	35	25	23	31	23	25	162
<i>Oscillatoria</i>	154	68	169	97	46	93	627
<i>Raphidiopsis</i>	64	0	0	0	0	0	64
<i>Ulhotrix</i>	15	8	0	0	3	3	29
<b>CHLOROPHYCEAE</b>							
<i>Closterium</i>	24	12	32	24	15	9	116
<b>CHLOROPHYCEAE</b>							
<i>Gloeocapsa</i>	3	0	0	0	0	0	3
<b>BACILLYAROPHYCEAE</b>							
<i>Aulocoseira</i>	13	0	0	0	0	0	13
<i>Amphora</i>	110	98	76	69	29	20	402
<i>Achnanthes</i>	0	0	2	5	16	0	23
<i>Cymbella</i>	59	54	0	46	0	0	159
<i>Encyonema</i>	26	23	0	0	52	19	120
<i>Eunotia</i>	27	23	14	0	0	0	64
<i>Ephitemia</i>	8	4	0	0	0	0	12
<i>Gomphonema</i>	159	94	48	165	90	79	635
<i>Fragillaria</i>	72	45	0	0	0	0	117
<i>Frustulia</i>	27	17	21	13	25	12	115
<i>Lepocinclis</i>	0	1	1	0	0	0	2
<i>Navicula</i>	122	78	66	58	66	45	435
<i>Nitzschia</i>	33	0	0	12	5	3	53
<i>Pinnularia</i>	120	43	87	34	52	35	371
<i>Surirella</i>	35	1	32	0	0	12	80
<i>Tabellaria</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ulnaria</i>	28	0	0	0	0	0	28
<b>ZYGNEMATOPHYCEAE</b>							
<i>Cosmarium</i>	3	0	0	0	0	0	3
<i>Staurastrum</i>	0	4	0	0	0	0	4
<b>EUGLENOPHYCEAE</b>							
<i>Colacium</i>	0	0	0	3	0	0	3
<b>TOTAL</b>	1255	700	626	602	459	367	<b>4009</b>

### 7.3.1 Quebrada Clarete

El grupo con mayor abundancia (2629 individuos) y mayor número de morfoespecies (16 morfoespecies) fue el correspondiente a la Clase *Bacillariophyceae* (Ver figura 6). Los géneros con mayor número de individuos contabilizados en las seis muestras analizadas fueron *Gomphonema* y *Oscillatoria*, sin embargo esto no fue una constante a lo largo de los muestreos. Los cambios en la distribución de los individuos, se ven evidentes en el segundo muestreo donde el género *Amphora* (98 individuos) es el más abundante, en el tercero *Oscillatoria* (169 individuos), en el cuarto y quinto nuevamente *Gomphonema* (165 y 90 individuos, respectivamente) y finalmente en el sexto *Oscillatoria* (93 individuos).



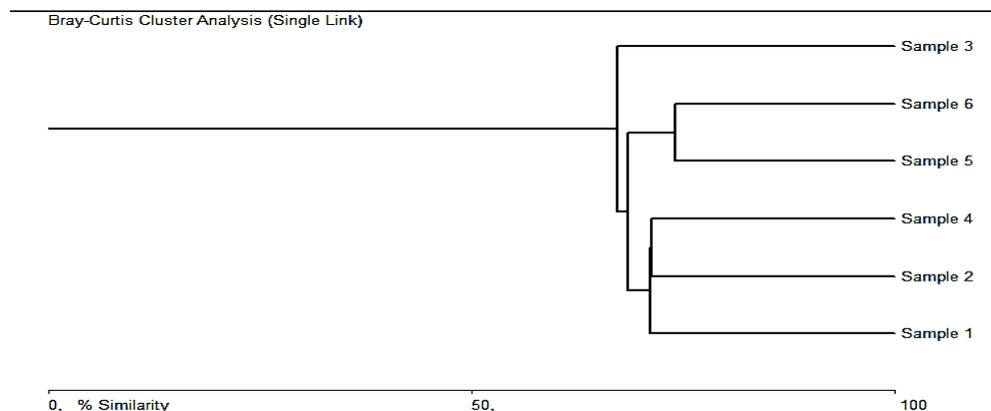
**Figura 6.** Distribución de géneros en Clases taxonómicas. Quebrada Clarete, Municipio de Popayán, Cauca.

Durante el tiempo de estudio se evidencia la sucesión del perifiton. En el primer muestreo, abundan los individuos del grupo de las Cianobacterias y algas de bajo perfil como *Oscillatorias*, *Navículas*, *Amphoras*, diatomeas pioneras y oportunistas presentes a lo largo del tiempo de muestreo y parte de la estructura bidimensional el perifiton (Ver tabla 5). Para el muestreo dos, se encuentran formaciones típicas de diatomeas, evidenciando una comunidad madura de crecimiento tridimensional, determinando así el tiempo sucesional de la comunidad en aproximadamente 15

días en los que la comunidad va cambiando desde un nivel bidimensional a uno tridimensional, manifestado en la fijación de diatomeas de gran talla con pedúnculos de fijación y de filamentos sencillos y ramificados de cianofíceas y clorofíceas. Esta estructura de la comunidad les permite levantarse sobre la película de sedimentos, para aprovechar la luz incidente y obtener una segunda fuente de nutrientes en el ambiente acuático circundante (Andramunio 2006).

Los resultados responden a los cambios como las altas precipitaciones presentadas antes del muestreo tres, por ejemplo son el porqué de la dominancia de algas y cianobacterias propias de la primera etapa de sucesión y de la poca densidad de géneros tridimensionales como *Frustulia*, *Encyonema*, *Cymbella* y *Suriella*.

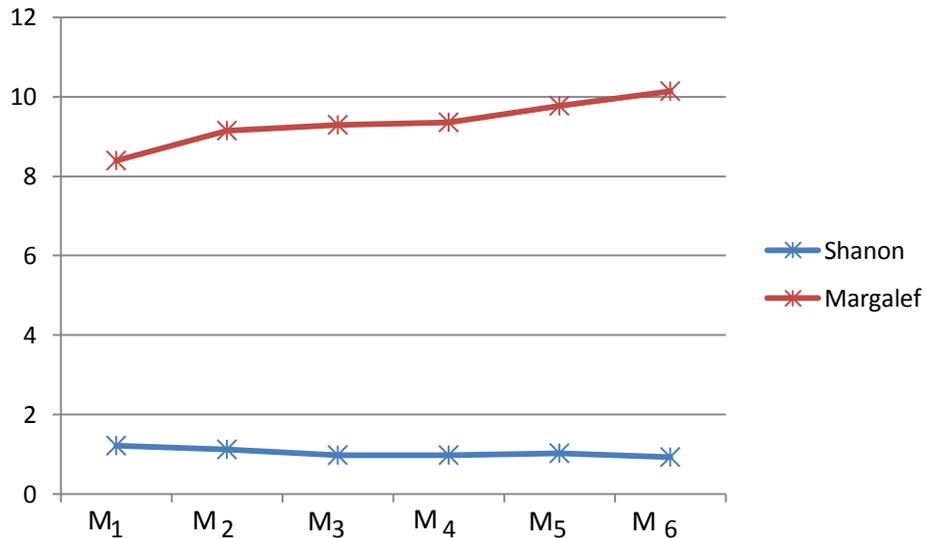
Se estableció que los géneros bidimensionales dominantes fueron *Oscillatoria*, *Gomphonema* y *Navicula*, los tridimensionales dominantes fueron *Pinnularia*, *Encyonema* y *Frustulia*, en relación de abundancia los géneros bidimensionales superan a los tridimensionales.



**Figura 7.** Dendrograma de las muestras en base a la abundancia del perifiton de la Quebrada Clarete. Estimado con base en el índice de similitud de Bray-Curtis

Se encontró relación entre el crecimiento de la comunidad y los factores fisicoquímicos en procesos de eutrofización y aumento de carga orgánica dentro

del sistema, especialmente a nivel de Nitratos. Géneros que contribuyen a la bioindicación como lo son *Naviculas*, *Pinnularias* y *Surirella*, *Nitzchia*, también *Cymbella*, *Fragillaria* y *Achnantes*, géneros que están presentes y son resistentes en este tipo de condiciones.



**Figura 8.** Índices de Shannon y Margalef. Quebrada Clarete

El índice de similitud utilizado en base de Bray- Curtis arrojó la matriz Género-Muestra (Fig. 7), señala que las muestras son altamente similares (>50%) por la constancia en el número de géneros. La muestra 3 es la menos similar del conjunto de las analizadas, en esta sólo se pudieron identificar 14 de los 28 géneros encontrados en por ejemplo la muestra 1, además en términos de abundancia nos muestra como varía la dominancia y distribución del número de individuos por géneros en las muestras, donde los muestreos 1,2 y 4 se relacionan por la dominancia de *Gomphonema* separadas del conjunto por la dominancia de *Oscillatoria* durante los muestreos 3 y 6.

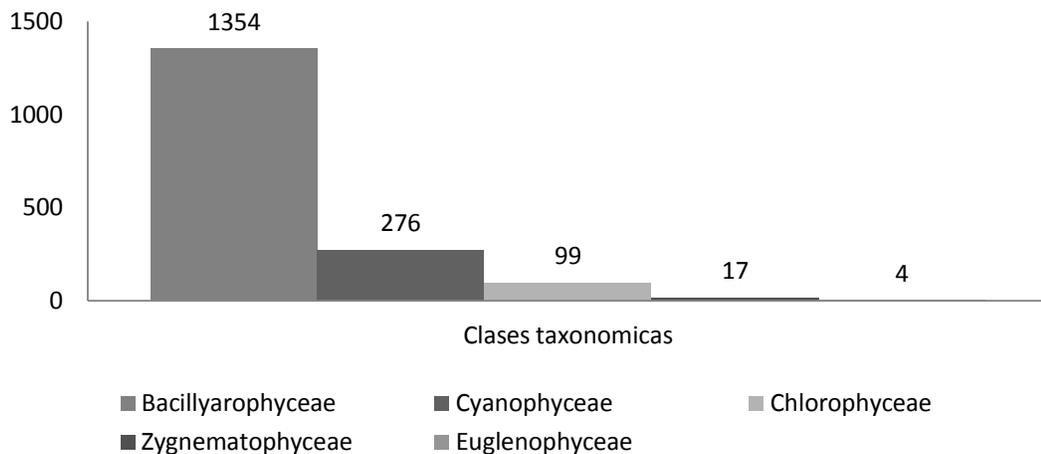
Por otra parte, los índices de Shannon y Margalef (Fig. 8) que reflejan valores distintos en cuanto a la biodiversidad, muestran la diferencia evidente en cuanto a tomarla en términos de abundancia o de cantidad de géneros. Los valores de

Shannon son mayores pero se puede ver como es el primer muestreo es el de mayor valor de Shannon y la incidencia en los valores tanto de variables hidrológicas como fisicoquímicas en la variación de este.

### 7.3.2 Quebrada Zarapanga

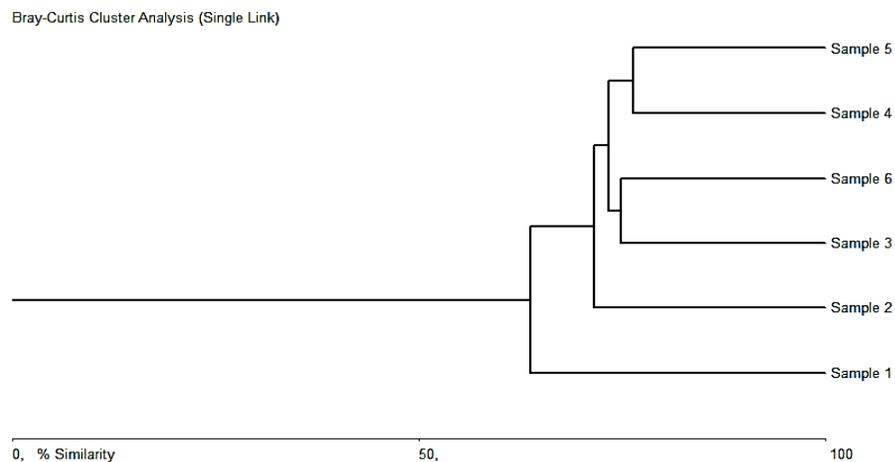
Zarapanga reporta un total de 1750 individuos (Ver tabla 6) y 62 morfoespecies, los géneros con mayor número de individuos contados fueron *Gomphonema*, *Navicula* y *Pinnularia*, correspondientes a la clase *Bacillariophyceae*. Los seis muestreos presentan una distribución similar en la que cantidad de taxones e individuos colectados.

Al igual que en Clarete la distribución de los individuos en morfoespecies estuvo principalmente marcada por la clase *Bacillariophyceae* (Fig. 9), sin embargo hubo mayor presencia de individuos pertenecientes a las otras clases taxonómicas como el caso particular de *Chlorophyceae*, más abundante en esta quebrada.



**Figura 9.** Clases taxonómicas. Quebrada Zarapanga, Municipio de Popayán, Cauca.

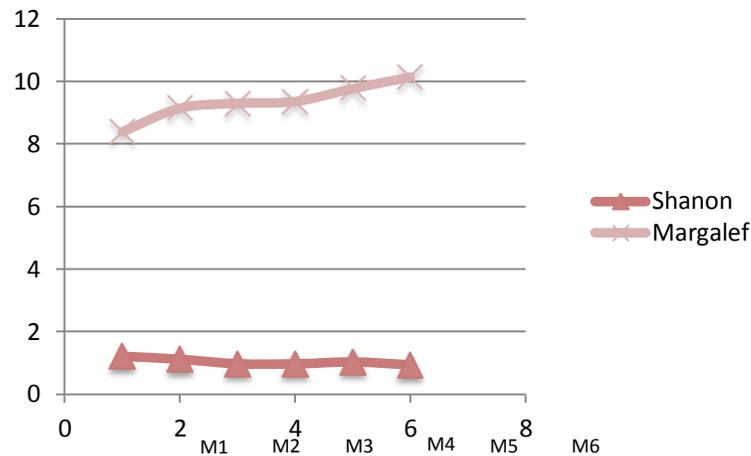
La sucesión de la comunidad perifítica presente en la Quebrada Zarapanga no evidencia una etapa particular del desarrollo de la comunidad perifítica, ya que durante todos los periodos de muestreo se presenta una constancia en la cantidad de morfoespecies colonizadoras, bidimensionales y tridimensionales. Sin embargo, los individuos colonizadores como las cianobacterias, fueron representados por *Oscillatoria* y *Chroococcus*; mientras que dentro de los géneros bidimensionales, dominaron *Anabaena*, *Navicula*, *Nitzchia* y *Gomphonema* y dentro de los géneros tridimensionales dominó *Pinnularia* que por la cantidad de individuos, especialmente en el muestreo 6 (65 individuos), dan una posible indicación de una maduración de la comunidad.



**Figura 10.** Dendrograma de las muestras en base a la abundancia del perifiton de la Quebrada Zarapanga. Estimado con base en el índice de similitud de Bray-Curtis

Las condiciones medioambientales de la quebrada Zarapanga inciden directamente en la composición del perifiton, evidenciándose principalmente en la presencia de géneros como *Navicula* y *Pinnularia*, que como se sabe son indicadores de sistemas enriquecidos en el caso particular por el derrumbe en varias ocasiones de taludes de tierra a causa de las excesivas lluvias y por

encontrarse metros antes de la estación de muestreo (bocatoma), un sistema de sedimentación de arena.



**Figura 11.** Índice de Shannon y Margalef. Quebrada Zarapanga.

Las condiciones de las muestras analizadas para la Quebrada Zarapanga muestran una similitud mayor al 50% (Fig. 10). La muestra 1 es la menos similar al resto del conjunto, los géneros iniciales presentan dominancia de *Gomphonema* que con el transcurrir de los muestreos se ve alterada significativamente ya que varía drásticamente el número de individuos contados, estableciendo a *Navícula* en el género dominante, la estructura de la comunidad y la densidad varían significativamente durante los muestreos por lo que la similitud en ellos es menor que la observada en la Quebrada Clarete.

Es importante tener en cuenta los valores del índice de Shannon (0,9998) y riqueza de Margalef (9,3708) que muestran (Ver Fig. 11) la complejidad de la comunidad perifítica. Como se nota en la tabla 6, a lo largo de los muestreos existen una o varias especies dominantes que prevalecen durante el estudio, lo que incide directamente en el valor del índice de Shannon que muestra una comunidad poco diversa reflejando la relación entre los géneros presentes y su abundancia relativa, mientras el valor de Margalef hace la estimación en cuanto a la distribución numérica en cuanto al número de individuos (PLA, Laura 2006).

**Tabla 7.** Géneros de Perifiton. Estación 2, Quebrada Zarapanga.

	Muestreo 1 E2	Muestreo 2 E2	Muestreo 3 E2	Muestreo 4 E2	Muestreo 5 E2	Muestreo 6 E2	TOTAL
<b>Cyanophyceae</b>							
Anabaena	12	32	0	0	0	0	44
Chroococcus	15	23	25	11	9	10	93
Borzia	0	16	0	0	0	0	16
Oscillatoria	31	23	21	12	23	12	122
Raphidiopsis	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ullothrix</i>	0	1	0	0	0	0	1
<b>Chlorophyceae</b>							
Closterium	12	15	9	23	12	28	99
Gloeocapsa	0	0	0	0	0	0	0
<b>Bacilliarophyceae</b>							
Aulocoseira	0	0	0	0	0	0	0
Amphora	0	34	35	0	23	29	121
Achnanthes	0	0	0	0	0	0	0
Cymbella	32	14	0	23	17	34	120
Encyonema	0	12	9	4	12	18	55
Eunotia	17	12	11	9	9	16	74
Ephitemia	0	0	0	12	0	0	12
Gomphonema	78	67	47	12	10	45	259
Fragillaria	0	23	0	0	0	12	35
Frustulia	0	12	9	0	13	8	42
Lepocinclis	4	0	1	3	2	1	11
Navicula	34	26	48	59	65	67	299
Nitzchia	0	9	0	4	5	1	19
Pinnularia	12	35	54	57	45	65	268
Surirella	15	9	11	0	0	0	35
Tabellaria	0	3	0	0	0	0	3
Ulnaria	12	7	4	0	0	0	23
<b>Zygnematophyceae</b>							
Cosmarium	3	0	0	0	0	0	3
Staurastrum	2	0	1	3	6	2	14
<b>Euglenophyceae</b>							
<i>Colacium</i>	0	4	0	0	0	0	4
<b>TOTAL</b>	<b>279</b>	<b>377</b>	<b>285</b>	<b>232</b>	<b>251</b>	<b>348</b>	<b>1772</b>

## 8 DISCUSION

### **Parámetros fisicoquímicos**

Las quebradas estudiadas se caracterizaron por ser de aguas frías, con pH ligeramente ácidos y pobres en iones disueltos. Los valores de poca saturación de oxígeno disuelto son de baja variación entre muestreos, situación que se puede atribuir a la morfología de las quebradas, los caudales y la introducción de nutrientes por parte de cultivos cerca de la zona de estudio.

Aunque no es el caso de la estación de la quebrada Clarete, la estación de Zarapanga está ubicada en una parte del sistema lótico de zona de bosque donde la entrada de luz se reduce por el dosel de los árboles, aumentando en este sistema la carga orgánica del sistema

En ambos sistemas los valores de los parámetros fisicoquímicos pueden estar relacionados con el consumo de herbívoros y raspadores sobre las comunidades de algas, y muy íntimamente con el estado trófico del cuerpo de agua y la influencia a lo que están sometidos.

Las concentraciones de solutos en el agua son consecuencia de la interacción entre la diversidad y el tipo de suelo, además los cambios que ocurren en el mismo como deforestación alrededor de la cuenca, algunas actividades antrópicas. El P y el N son los elementos limitantes de la producción primaria acuática, y a su vez son los responsables de la eutrofización. En el caso particular de la quebrada Clarete, como la luz y otros factores (como micronutrientes) son suficientes, el P se puede considerar como el primer nutriente limitante, dado que en el agua dulce tiene menor abundancia relativa que el nitrógeno (Wetzel, 1975).

Los patrones de caudal de los sistemas lótico constituyen una de las variables que orienta la ecología de las algas (Zapata y Donato 2005), las Zonas de rápidos y de

deposición permiten el establecimiento de los ensambles y el patrón de tiempo y espacio en el cual se desarrolla. Su efecto es antagónico al ser un factor positivo de estimulación para la toma de nutrientes y negativo por el desprendimiento y estrés que genera en la comunidad (Stevenson, 1996; Biggs, 1998 en Zapata y Donato 2005).

## **QUEBRADA CLARETE**

Los parámetros fisicoquímicos presentaron variación entre uno y otro muestreo relacionado con la fluctuación del caudal, el uso de los suelos y la principalmente la precipitación como condicionan de las condiciones físicas, químicas y biológicas del sistema (Martínez & Donato, 2003) y a su vez, catalogada en ríos de alto Andinos como el principal factor de influencia (Margalef 1983; Payne 1986).

Particularmente, la baja acidez y alcalinidad registradas están relacionadas con el pH con tendencia neutra (6.75) del sistema asociada probablemente a la baja concentración de iones en el agua. La concentración de oxígeno revela una buena saturación de este compuesto (4.52 mg/L; aprox. 80%), dada por la temperatura relativamente fría del agua (15.6°C) además la existencia de una corriente que permite la oxigenación del agua y buena actividad fotosintética de los organismos autótrofos como las algas.

El calcio, la dureza carbonacea y la dureza total reflejan que la quebrada Clarete tiene aguas blandas, siendo aptas según esta condición para manejo sanitario y también acuícola (Boyd, 1990). Por otro lado, la concentración de nitratos (30 mg/L) refleja la dinámica de los nutrientes en el sistema, siendo que procesos como la descomposición de materia orgánica y la síntesis de nitrógeno por parte de las plantas, en este caso, de las algas contribuyen al intercambio de nitrógeno dentro del sistema y la incidencia de las lluvias generadoras de crecientes en la quebrada, procesos de mezcla y descarga de compuestos a causa del arrastre por escorrentía.

## **QUEBRADA ZARAPANGA**

La quebrada Zarapanga demuestra constantes diferencias respecto a la Clarete, empezando por la ubicación. La morfología de la quebrada que limita la entrada de la luz y aumenta la disolución de materia orgánica hace que los distintos valores de los parámetros fisicoquímicos sean considerablemente diferentes de manera independiente aunque en sus valores promedios sean similares.

Sin embargo, aun cuando ambas quebradas presentan aguas blandas por la concentración de calcio y dureza carbonácea en sus aguas, son estas variables en la quebrada Clarete las que presentan una concentración mayor a la registrada en la quebrada Zarapanga. La concentración de los iones del agua, atribuidas y relacionadas principalmente al tipo de suelo y a la ubicación de la estación cercana a un banco de sedimentación de arena, que hace que se pierdan grandes cantidades de minerales y nutrientes por procesos de lixiviación.

## **ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD PERIFITICA**

La condición de las comunidades perifíticas estudiadas, aunque no han sido tomados patrones de especies tolerantes a los distintos tensores, se puede determinar haciendo un acercamiento a las condiciones siguiendo referencias de información y apoyo de los datos en base información fisicoquímica (Peña Salamanca, Palacios Peñaranda, Ospina Álvarez. 2005). Estas referencias obtenidas a partir de los muestreos realizados en las estaciones del área de Estudio, Quebradas Clarete y Zarapanga, intentan hacer de manera cronológica una idea acerca de los cambios de la comunidad y sus posibles explicaciones.

En los sitios estudiados, los géneros encontrados fueron los comunes del perifiton lófico, diatomeas como *Gomphonema*, *Navicula*, *Nitzchia* *Cymbella*, *Eunotia*, en su mayoría de formas postradas identifican el ecosistema que favorece el crecimiento

de estos individuos capaces de soportar la fuerza de la corriente, gracias al desarrollo de mucílago en el que se envuelven evitando el arrastre. En general, las especies de *Gomphonema* se presentan en aguas circumneutrales, *Navicula* y *Nitzschia* contienen morfotipos tolerantes a medios contaminados.

Las diatomeas pertenecientes al ensamble algal constituyen 18 géneros (75,41%) del total encontrados en las quebradas, la riqueza de las morfoespecies en las quebradas Clarete y Zarapanga aumenta y disminuye de acuerdo a la tolerancia y respuesta a los cambios de la calidad de agua, todo depende del tipo de tensión al que se enfrente. Sin embargo las estimaciones hechas a partir de la riqueza representan distintos errores en cuanto a las falencias del investigador en la clasificación taxonómica, la imposibilidad de hacer clasificación de las morfoespecies y los errores de los conteos, en donde los agrupamientos de diatomeas por ejemplo, pueden constituir en una fuente adicional de error, tanto a nivel de conteo como de identificación.

La relación existente entre la cantidad de cianobacterias encontradas especialmente en esta quebrada puede ser explicada, a partir de que estos individuos son productores de nitrógeno liberado por la descomposición que hacen de la materia orgánica (Casalla & Giinter, 2001)

El índice de diversidad de Shannon 1,199 muestra una baja diversidad entre los individuos que conforman la comunidad perifítica de la quebrada Clarete.

Las clases taxonómicas encontradas y su crecimiento vertical y horizontal de la comunidad se asocian con factores limitantes como la luz, de ahí que la respuesta de las clases taxonómicas en términos de abundancia, muestran como son las Clorophytas, las cuales necesitan baja intensidad lumínica (Hill, 1996) para crecer abundan más en la quebrada Zarapanga que en Clarete donde reciben mayor incidencia solar, por la menor densidad del dosel.

Encontramos entonces dos tipos de sistemas acuáticos Clarete y Zarapanga, con características bioindicativas propias de sistemas con tendencia a la Eutrofia y de Mesotrofia respectivamente, por la abundancia en el caso de Clarete de *Navicula*, *Pinnularia*, *Nitzchia*, géneros que se favorecen al aumentar la polución debida a altas cargas de materia orgánica (Martínez y Donato 2003; Castellanos y Donato 2004)

*Gomphonema*, *Fragillaria* y *Amphora* géneros abundantes durante los muestreos de la quebrada Clarete son especies tolerantes a los cambios de pH del sistema y a la adición de nutrientes como el nitrógeno (Castro, Roa. 2009), explicación de los procesos iniciales de la eutrofización del sistema.

Zarapanga por su parte muestra un sistema aunque perturbado por la adición de nutrientes, apto por las características fisicoquímicas y del ensamble algal para la recreación y el uso doméstico, sin embargo al no existir un sistema de potabilización del agua en la Vereda Clarete, el agua tomada de la quebrada Zarapanga no se puede usar para el consumo directo.

## 9 CONCLUSIONES

En la Vereda Clarete las cuencas de las quebradas actúan en procesos de retención y liberación de nutrientes. Las concentraciones de solutos en el agua son consecuencia de la interacción entre la biota, el tipo de suelo, y los cambios que ocurren en el mismo (deforestación, agricultura, etc.). La mayor concentración de nutrientes en Clarete pudo ser ocasionada por el uso urbano y agrícola de su cuenca, especialmente la inclusión de monocultivos cercanos que pudieron ser la fuente inmediata para el aumento de N en el cuerpo de agua.

La variación climática y fisicoquímica dada por el aumento en el patrón de lluvias de la zona no permite establecer un parámetro particular para ser asociado con los cambios en la composición de la comunidad perifítica.

El valor del pH principalmente marca la distribución de las comunidades perifíticas, los individuos encontrados en los sistemas estudiados contribuyen al estado o calidad del agua, ya que dichos individuos se manifiestan en condiciones marcadas y composición de nutrientes en la columna de agua.

El establecimiento de las distintas clases taxonómicas permite asociar el crecimiento vertical y horizontal de la comunidad con factores limitantes como la luz, la velocidad de corrientes.

La abundancia de la clase *Bacilliarophyceae* a la que pertenecen las diatomeas, permite establecer tipo de sistema acuático estudiado, Clarete y Zarapanga.

La mayor abundancia en los géneros *Gomphonema* y *Navicula*, explican las estrategias de crecimiento de las diatomeas, la capacidad de adherirse por medio de mucilagos y con capacidad de movimiento (gracias al rafe en *Navicula*) y las

estructuras de adhesión como lo son los pedúnculos y estructuras basales (Según Gualtero 2007).

La quebrada Clarete muestra géneros de especies tolerantes a los cambios de pH del sistema y a la adición de nutrientes como el nitrógeno (Castro, Roa. 2009), explicación de los procesos iniciales de la eutrofización del sistema mientras que la quebrada Zarapanga muestra un sistema aunque perturbado por la adición de nutrientes, apto para la recreación y el uso doméstico, pero no para el consumo directo al no existir un sistema de potabilización del agua en la Vereda Clarete.

## 10 BIBLIOGRAFÍA

**ALCALDÍA DE POPAYÁN 2010.** Plan De Ordenamiento Territorial -Municipio De Popayán. POT-DOCUMENTO.

**ANDRADE SOSSA, C, 2001.** Efecto de la fluctuación del nivel del agua sobre la estructura de la comunidad de rotíferos planctónicos en el lago Yahuaraca (Río Amazonas, Colombia). Tesis de maestría. Departamento de biología. Universidad de los Andes. Bogotá.

**ANDRAMUNIO ACERO. C.P. 2006.** Tesis: Estudio De La Comunidad Fitoperifítica Asociada A Sustratos Naturales Durante Un Período Hidrológico En El Lago Tarapoto (Amazonia Colombiana). Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá

**BEHNING, A., 1924.** Studien über die Malakostraken des Wolga bassins. I. Systematische Übersicht der im Wolga bassin bis jetzt aufgefundenen Malacostraca. II. über den Ursprung und die Verbreitung der Malakostraken Fauna der Wolga. Int. Rev. ges Hydrobiol. Hydrogr. 12, 228-247.

**BIGGS. B.J.F & C, W, HICKEY. 1994.** Periphyton responses to a hydraulic gradient in a regulated river in New Zealand. Freshwater Biology 32pp;49-59.

**BIGGS. B.J.F & H.A. THOMSEN. 1995.** Disturbance of stream periphyton by perturbations in shear stress: time to structural failure and differences in community resistance. Phycology 31:233-241.

**BOYD, C.E. (1990).** Water quality in ponds for aquaculture. Birmingham publishing company, Birmingham, Alabama.

**CASALLAS G. J.E. & GIINTER. G 2001.** Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: el lago San Pablo, Ecuador. Limnetica 20(2): 215-232

**CASCO M.A & TOJA J. (2003).** Efecto de la fluctuación de nivel del agua en la biomasa, la diversidad y las estrategias del perifiton de los embalses. *Limnetica* 22(1-2): 115-134

**CASTRO ROA D. 2009.** Desarrollo de un índice de diatomeas periticas para evaluar los estados de los humedales de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

**DONATO J.CH & L.F. MARTINEZ 2000.** Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). *Rev. Caldasia* 25(2) 337-354.

**DUQUE S,R & J. CH. DONATO 1992.** Biología y ecología del fitoplancton de las aguas dulces en Colombia. Cuaderno divulgativo N° 35. Universidad Javeriana. Bogota 35: 1-21

**ESTEVEZ, F., 1988.** Fundamentos de limnología. Rio de janeiro: Editora Interciencia Ltda. Rio de Janeiro.

**GUALTERO LEAL 2007.** Composición y abundancia de las algas bénticas de cinco sistemas lóticos de Puerto Rico. Universidad de Puerto Rico.

**FIGUEROA & CONCHA 2006-2007** “Educando para formar sembradores de agua” Cartilla de educación ambiental Experiencia Vereda Clarete Universidad del Cauca. Junta de acción comunal. CRC. COLCIENCIAS. Grupo de estudios Ambientales Universidad del Cauca.

**GARI N, CORIGLIANO M. C. 2004.** La estructura del perifiton y de la deriva algal en arroyos serranos. Rio Cuarto, Argentina. Universidad Nacional de Río Cuarto. *Limnetica* 23(1-2): 11-24.

**MARGALEF, R.** 1983. Limnología. Ed. Omega. Barcelona.

**MONTOYA-MORENO Y. Y N. AGUIRRE-RAMÍREZ.** 2008. Asociación de algas perifíticas en raíces de macrófitas en una ciénaga tropical Colombiana. *Hidrobiológica* 18 (3): 189-198

**NÚÑEZ-AVELLANEZA, M.** 2008. Microalgas acuáticas: la otra escala de la biodiversidad. Bogotá, Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas -Sinchi.

**PANTOJA A.** 2001. Influencia del pulso de inundación sobre las comunidades planctónicas de los lagos Peruanos Caballococha y Cushillococha (Cuenca Río Amazonas).

**PAYNE, A.** 1986. The ecology of tropical lake and rivers. John Willey & Sons.

**PEÑA SALAMANCA, E., PALACIOS PEÑARANDA, M. L. Y OSPINA ALVAREZ, N** 2005. Algas como indicadoras de contaminación. Editorial Universidad del Valle. Cali.

**PINILLA, GABRIEL** 2001. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Compilación bibliográfica. Centro de Investigaciones Científicas, Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, D. C.

**PLA, LAURA** 2006. Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *INCI*, ago. 2006, vol.31, no.8, p.583-590. ISSN 0378-1844.

**REPÚBLICA DE COLOMBIA – MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL-  
MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL** 2007. Guía que amplía aspectos técnicos para la selección del punto de muestreo para

el control y vigilancia de la calidad del agua para consumo humano sobre la red de distribución.

**RODRIGUEZ, P. L. 2008.** Estructura y producción primaria del fitoplancton y perifiton en un humedal del bajo Paraná. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires.

**ROLDAN, G. 1992.** Fundamentos de la Limnología Neotropical. Primera Edición. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín. Pág. 78-85, 357-366

**ROLDÁN PÉREZ GABRIEL 2008.** Universidad de Antioquia. Fundamentos de Limnología Neotropical. 2ª Edición. Editorial Universidad de Antioquia.

**ROUND, F. E. 1984.** The ecology of algae. Cambridge University. New York. U.S.A

**SELIGO, A. 1905.** Über den Ursprung Fishnahrung. Mitt. Westgr. Fisch. –V. Danzig. Mitt. 17: 52-56.

**SLÁDECKOVA A, SLÁDECÉK V. 1977.** Periphyton as indicator of the reservoir water quality II.Pseudo-periphyton. Archives Fur Hydrobiologie,63:202-237

**SLADECKOVA, A. 1962.** Limnological investigation methods for the periphyton community. Botanical Review 28(2): 286-326  
Allan, J. D. 1995. Stream ecology: structure and function of running waters. KluwerAcademic

**STEVENSON, MAX. I. & LOWE L. REX. 1996.** Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems. USA.

**TRAAEN, TS and LINDSTROM, EA. 1983.** Influence of current velocity on periphyton distribution. Pp.97-99.

**HOEK, V.D & MANN & JAHNS H. M. (1995).** Algae. An introduction to phycology. Cambridge University Press, 623 p.

**VADEBONCOEUR & STEINMAN 2002.** Periphyton function in lake ecosystems. the scientific world, 2: 1449-1468.

**WETZEL RG (ED.) 1982.** Periphyton of Freshwater Ecosystems: Proceedings of the First International Workshop on Periphyton of Freshwater Ecosystems, held in Växjö, Sweden, 14-17. JunkPublishers, TheHague, Netherlands.

**ZAPATA, A.M & J.C. DONATO. 2005.** Cambios diarios de las algas perifíticas y su relación con la velocidad de corriente en un río tropical de montaña (río Tota - Colombia). Bogotá, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Limnetica, 24(3-4): 327-338.