

**ESTUDIO DE ECOSISTEMAS TERRESTRES Y ACUÁTICOS  
UBICADOS EN EL PARQUE NACIONAL NATURAL CUEVA DE LOS  
GUÁCHAROS (ACEVEDO, HUILA)**

ABRIL, A. ÁLVAREZ, C. AMADO, A. BONILLA, C. BUENO, JC. GARCÍA, J.  
GUTIÉRREZ, M. GUZMÁN, A. MARTÍNEZ, AM. MAYORGA, A. MEDRANO, M.  
MORENO, N. PATIÑO, M. PINILLA-BUITRAGO, G. PINTO, I. REINALES, S.  
ROJAS, A. URREGO, O.

Bajo la dirección de los profesores  
PINILLA, GA. & ZULUAGA, S.

Editado por  
GUZMAN, A. MORENO, N. PINILLA-BUITRAGO, G. REINALES, S.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
Facultad de Ciencias  
Departamento de biología  
Ecología Regional Continental. II-2010  
Bogotá D.C.

## ÍNDICE

1. Caracterización de la zona de estudio..... 4
2. Análisis Limnológico de Ecosistemas acuáticos del Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos.....9
  - Análisis fisicoquímico comparativo de los cuerpos de agua del Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos (Acevedo, Huila). ABRIL, A. MEDRANO, M.
  - Composición del plancton de red de la Laguna Encantada, Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos. PINILLA-BUITRAGO, G.
  - Caracterización de la comunidad perifítica en ríos del Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos. BONILLA, C. URREGO, O.
  - Macroinvertebrados de ecosistemas acuáticos del Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos. GUZMÁN, A. ROJAS, A. PINTO, I.
3. Estudio de estructura y arquitectura de un bosque subandino ubicado en Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos. Acevedo, Huila. MORENO, N. GUTIÉRREZ, M. AMADO, A. BUENO, JC. ÁLVAREZ, C. MAYORGA, A. REINALES, S. GARCÍA, J. PATIÑO, M. MARTÍNEZ, AM.....59
4. Proyectos libres realizados en el Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos.....92
  - Variación de algunas variables químicas del río Suaza al pasar por la Cueva de los Guácharos (Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos) por posible influencia de la especie *Steatornis caripensis*. ABRIL, A. MEDRANO, M.
  - Efecto del pH y la conductividad sobre las comunidades de perifitón de dos sistemas lóticos del PNN Cueva de los Guácharos. BONILLA, C. URREGO, O.
  - Evaluación de la calidad del agua de la Quebrada Chánchiras (Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos) con base en la comunidad de Macroinvertebrados. ROJAS, A. HOLGUÍN, A.
  - Caracterización de la diversidad de artrópodos que tienen como hábitat bromelias, en el bosque andino del Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos. GUZMÁN, A. MARTÍNEZ, A.
  - Actividad de macroinvertebrados en suelo del Robledal del Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos. BUENO, JC. PINILLA, G.
  - Efecto de la hojarasca en el número y diversidad de plántulas en bosque andino y bosque de robles del Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos. MAYORGA, A. REINALES, S.

- Patrón de distribución de las plántulas de *Quercus humboldtii* y *Colombobalanus excelsa* en un Robledal del Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos. ÁLVAREZ, C. GARCÍA, J.
- Influencia de las condiciones de luz y materia orgánica sobre la comunidad de plántulas de claro y sotobosque en el Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos. GUTIERREZ, MI. MORENO, N.
- Influencia de los factores ambientales sobre la germinación de semillas en la Cueva Grande de los Guácharos, Parque Nacional Cueva de los Guácharos – Huila, Colombia. PATIÑO, M. PINTO, I.

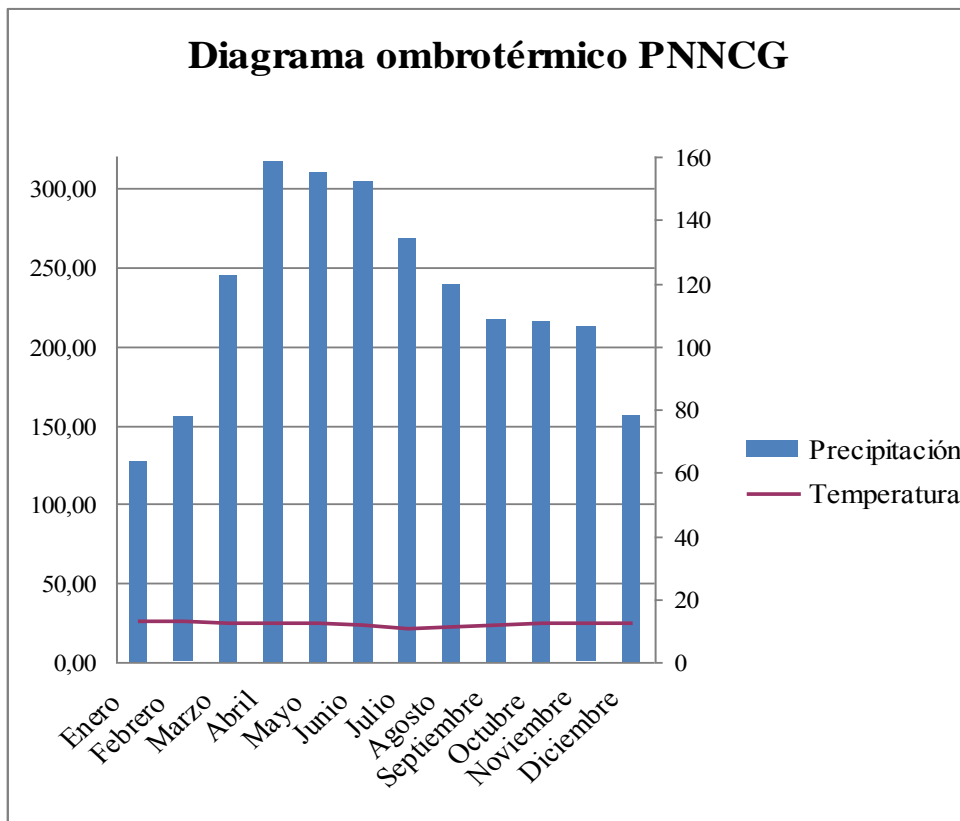
5. SINTESIS.....	177
ANEXOS GENERALES.....	179

## 1. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos se encuentra localizado entre los departamentos de Huila y Caquetá. En 1960 fue la primera reserva declarada como tal en Colombia, inicialmente abarcando 700ha hasta 1975 cuando la superficie del parque fue ampliada a 9000ha, creado con el objetivo de preservar el conjunto de cuevas en las que habita la especie de ave nocturna, el guácharo (*Steatornis caripensis*).

Ubicado sobre la vertiente occidental de la cordillera oriental, en el departamento del Huila, municipio de Acevedo y el municipio de San José de la Fragua en el departamento de Caquetá; correspondiendo a un área del 80% para el departamento del Huila y 20% para el Caquetá (Sistema de PNN de Colombia, 2006).

De acuerdo con la triangulación de las estaciones de San José del Fragua, Palestina, San Adolfo y El Tabor, se presenta en el parque un régimen de precipitación unimodal biestacional sin déficit hídrico en ningún mes del año (Figura 1).



**Figura 1.** Diagrama ombrotérmico del Parque Natural Nacional Cueva de los Guácharos

La más alta precipitación registrada en un día ocurrió el 13 de abril de 1978 cuando en 10 horas se registraron 113 mm y 143 mm en 24 horas (Tabla 1). El parque se caracteriza por presentar piso térmico frío, con temperaturas que oscilan entre los 12 y 18° C, en la mayoría del área. Una mínima parte del área núcleo, correspondiente a la entrada al

Parque hasta el sector Los Cedros, aproximadamente, se caracteriza por el piso térmico templado, con temperaturas entre los 18 y 24° C. Es frecuente también el fenómeno bruma, especialmente en las primeras horas del día y al atardecer (Plan de manejo 2005-2009).

<b>INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA</b>	<b>REGISTRO</b>
Temperatura media anual	12,0 °C
Precipitación promedio anual	2718 mm
Mes más seco	Enero, 126,84 mm
Mes más lluvioso	Abril, con 317,68 mm
Época más lluviosa	Marzo a Julio
Época menos lluviosa	Diciembre a Febrero

**Tabla 1.** Información climatológica del PNN Cueva de los Guácharos

Es importante resaltar que la triangulación climática presentada es una aproximación a partir de las estaciones aledañas mediante polígonos de Thiessen y puede no representar las condiciones reales del PNN Cueva de los Guacharos. Además, se debe tener presente que se tuvieron sólo cuatro estaciones y los triángulos resultantes no fueron similares ni en forma ni en tamaño y estuvieron lejos de ser equiláteros, lo cual afecta significativamente el método de polígonos utilizado (Thiessen).

Dentro del Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos, se pudieron identificar los siguientes ecosistemas:

- Ecosistemas acuáticos continentales

La clasificación de ecosistemas y hábitats acuáticos se dificulta por la continuidad que existe entre las diferentes unidades y subunidades que puedan proponerse; así, los arroyos se convierten en ríos y estos pueden formar ciénagas o lagos. No obstante, se propone un sistema en el cual se diferencian cuatro tipos principales de ecosistemas acuáticos no marinos en Colombia: Ríos y otros sistemas de aguas corrientes (sistemas lóticos); Lagos y otros sistemas de aguas lentas (sistemas lénticos); Humedales y Embalses. (Márquez, s.f.).

Entre los sistemas lóticos presentes en el PNN Cueva de los Guacharos encontramos: el Río Suaza, que se caracteriza porque su lecho es profundo, su cauce torrentoso, sus aguas son muy frías y presentan un color ferruginoso oscuro; por su margen derecha el río recibe varias quebradas como son: La Seca, El Chorro (presenta una cascada) y La Lindosa (presenta varias cascadas); por la margen izquierda el río Suaza recibe varias quebradas pequeñas y la quebrada Cascajosa, la cual tienen un cauce menos turbulento que el río Suaza, forma pequeños remansos y es de aguas cristalinas.

Por su margen derecha dentro del Parque, la quebrada Cascajosa recibe varias quebradas afluentes, como El Campamento, El Zanjón, La Chorrera, El Cedro y El Cidral.

Parte considerable de límite oriental del Parque, lo constituye el cauce de la quebrada Negra, la cual es más turbulenta y de color que hace mérito a su nombre. Su tributario principal por su margen izquierda es la quebrada Mayo; el Río Guarapas, la cuenca del río Guarapas está conformada por las microcuencas de las quebradas Aguas Claras, La Quebradona y La Caspusala. La microcuenca de la quebrada Aguas Claras posee un área de 5.152,4 Ha, caracterizada por rangos de pendientes que van desde medio hasta escarpado; predomina el clima frío con temperaturas que oscilan entre los 12° C en la parte más alta y 18° en la zona más baja.

La quebrada La Quebradona se ubica sobre el margen occidental del río Guarapas, posee un área estimada de 4.182,7 Ha totalmente intervenidas, conservando una pequeña porción de bosque secundario en su zona de recarga, sometida a procesos de colonización. Desde su nacimiento a los 1.900 msnm hasta la desembocadura sobre los 1.400 msnm su cauce registra una longitud de 18,3 Km; predomina un clima húmedo con temperaturas frías de 12° a 18° C en la parte alta y media, y entre los 18° y 24° C en la parte baja.

Las quebradas La Cresta, El Cuadro y La Chanchiras hacen parte del límite del Parque por el norte (Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales, 2005).

Respecto a los sistemas lénticos, en el PNN Cueva de los Guacharos, se encuentran: la Laguna Encantada y Lagos de origen glaciario, localizados en el área de subpáramo, en donde comienzan los bosques de pajonal-frailejón (*Espeletia* sp.), y donde abundan áreas cubiertas por musgos, líquenes, helechos y bromelias. (Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales, 2005)

- Ecosistemas terrestres.

El bosque andino incluye al bosque Subandino de clima templado, y bosques Altoandinos, comprendidos en una franja entre 2900 y 3800 msnm. Los robledales y los bosques de niebla son representativos de los bosques altoandinos.

Los bosques de roble dominados por *Quercus humboldtii* se encuentran ubicados en Nariño, Boyacá, Huila, Santander, Antioquia, Caldas, Cauca, Caquetá, Cundinamarca, Risaralda y Tolima. Esta especie crece formando asociaciones bastante homogéneas que se encuentran generalmente desde los 1500 m hasta altitudes de 3000 m. s. n. m, con algunas variaciones. La temperatura oscila entre 10 y 17 ° C, y la precipitación va de 1300 a 3000 mm/año.

Son bosques con dosel denso, altura variable (10-15m hasta 40 m), dominado por el género *Quercus*. Existe una estratificación poco notoria (2-3 estratos), puede existir un estrato emergente compuesto por palmas del género *Ceroxylon*. Presencia de hemiparásitas epífitas, fanerogamas epífitas, escasa cantidad de trepadoras leñosas, presencia de helechos arbóreos y numerosos líquenes. El follaje en estos bosques es persistente o brevemente caduco, las hojas generalmente leptófila hasta megáfila con máxima proporción de mesófilas.

La presencia del robledal favorece el desarrollo de especies de menor porte (sotobosque), creando así un microclima propicio. Además su continua defoliación contribuye a la formación de materia orgánica indispensable para el autosostenimiento del bosque.

A nivel florístico se encuentra que los bosques de roble presentan una composición de 85% para el Roble tanto blanco (*Querus humboldtii*) como negro (*Colombobalanus excelsa*), y el resto se encuentra representado por Encenillo (*Weimannia tomentosa*), Gaque (*Clusia sp.*) y Aliso (*Alnus acuminata*). Otras especies que se pueden encontrar son Chuguacá (*Viburnum sp.*), Matudaea colombiana, Jiguá (*Nectandra sp.*), Laurel (*Ocotea sp.*), Limoncillo (*Siparuma sp.*), Pategallina (*Schefflera sp.*) y Tuno (*Miconia sp.*), Arrayán (*Myrcianthes sp.*), Tinto (*Cestrum sp.*), Cajeto (*Citarexillum suflavensis*), Calvo (*Cinchona sp.*), Garrocho (*Clethra sp.*), Helechos, Guamo (*Inga sp.*), Yuco (*Didimopanax sp.*), entre otras.

Los bosques de robles albergan una fauna muy valiosa. Aves de diversas especies, mamíferos como ardillas, osos perezosos y muchos insectos. Buena parte de la fauna andina encuentra refugio en el robledal.

#### - Ecosistemas Subterráneos

El ecosistema subterráneo se define por factores como temperatura, luz y humedad:

**Temperatura:** en las zonas medias y profundas de las cavidades, la temperatura permanece estable; la roca posee una escasa conductibilidad calorífica y, cuando no existen corrientes de aire, los cambios debidos a las variaciones climáticas estacionales o diurnas son mínimos. Las cavidades pueden ser calientes o frías según su estructura morfológica, y existe un margen de temperaturas en el cual las condiciones son óptimas para la vida.

**Humedad:** en las cavidades subterráneas existe siempre un elevado índice de humedad en el aire, próximo al nivel de saturación. Es un factor esencial, y en aquellas cavidades que son secas no pueden vivir en absoluto los animales cavernícolas.

**Luz:** en las cavernas reina una total ausencia de luz. Esto es evidente en las zonas medias y profundas de las mismas. Esto trae consigo dos consecuencias: no hay plantas verdes en una cavidad (sólo en la entrada), y como consecuencia de lo anterior la presencia de animales fitófagos es escasa.

Además de estos tres factores hay otros dos que también son importantes y que son la dureza del agua y el pH.

Una cueva es un ecosistema subterráneo de temperatura constante a excepción de la zona crepuscular (boca de la cueva); las fluctuaciones en el número de organismos troglobios, trogloditas y troglóxenos son muy amplias, debido a que el alimento es muy escaso, lo que reduce las densidades poblacionales.

La comunidad cavernícola, se integra de organismos troglobios de tres formas: Troglobitas: Que viven permanentemente en la zona oscura, troglófitos: Aquellos que viven en las cuevas pero salen periódicamente a alimentarse fuera y troglóxenos: Aquellos que usan las cuevas solamente como refugios temporales.

Dentro del PNN Cueva de los Guacharos se encuentran ecosistemas subterráneos como la Cueva del Cuadro, en las cuales anidan Guacharos (*Steatornis caripensis*), Las cuevas del Indio y la cueva El Hoyo donde se encuentran formaciones calcáreas de estalagmitas, estalagmitas y estalagmatas o columnas.

Las cuevas de los Guácharos y del Cuadro se caracterizan porque a través de ellas pasa el río Suaza en su interior y sirven como hábitat de guácharos en época de anidación. Los escenarios paisajísticos y formaciones de cavernas (tanto la cuevas de anidación de guácharos como las de formaciones calcáreas) están compuestas por elementos físicos como quebradas, cascadas y formaciones geomorfológicas, y bióticos como la vegetación característica de algunos de ellos.

#### Bibliografía

Márquez Calle Germán. Sistemas Ecológicos y Sociedad en Colombia. Ecosistemas Acuáticos Continentales.  
<[http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2010615/lecciones/eco\\_col/eco\\_col5.html](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2010615/lecciones/eco_col/eco_col5.html)>  
[Consulta: Agosto 26 de 2010]

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales. 2005. Plan de manejo 2005-2009. Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos.



## 2. ANÁLISIS LIMNOLÓGICO DE ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DEL PARQUE NACIONAL NATURAL CUEVA DE LOS GUÁCHAROS

### ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO COMPARATIVO DE LOS CUERPOS DE AGUA DEL PARQUE NACIONAL NATURAL CUEVA DE LOS GUÁCHAROS (ACEVEDO, HUILA)

Alejandro Abril Torres<sup>1</sup>, Miguel Ángel Medrano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología. Estudiante.

#### RESUMEN

Con el fin de realizar una caracterización de sistemas de acuáticos continentales de Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos (PNNCG) se estudiaron las características fisicoquímicas, transparencia, conductividad, pH y temperatura (*in situ*) y se determinaron las concentraciones de sulfatos, amonio, fosfatos y sólidos suspendidos en varios cuerpos de agua de la región, pertenecientes a la cuenca del río Magdalena. Se analizaron dichas variables para obtener un panorama comparativo de los diferentes sistemas acuáticos visitados y sus implicaciones en las comunidades biológicas. Los resultados muestran una mineralización de las aguas típico de los sistemas cársticos y de ambientes neotropicales, de temperaturas medias y moderadamente alcalinas. La baja intervención humana de la que goza el parque y su geografía propician que estos ambientes sean oligotróficos (baja concentración de nutrientes)

**Palabras clave:** Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos, ríos neotropicales, limnología física y química, materia orgánica, nutrientes, ambientes cársticos

#### ABSTRACT

In order to characterize inland aquatic systems of Cueva de los Guácharos National Park (Acevedo, Huila), the physicochemical characteristics such as transparency, conductivity, pH and temperature (*in situ*) and the concentrations of sulfates, ammonium, phosphate and suspended solids were measured in several rivers of the region, which is part of the Magdalena River basin. These variables were analyzed to obtain a comparative survey of the different aquatic systems visited and to know their implications on their biological communities. The results show a water mineralization typical of karst and neotropical environments, average temperatures and moderately alkaline. The low human intervention that surrounds the park and its geography conducive environments are oligotrophic (low nutrient)

**Keywords:** Cueva de los Guácharos National Park, neotropical rivers, physical and chemical limnology, organic matter, karst environments

## INTRODUCCIÓN

Hay diversos factores físicos y químicos que afectan, de manera directa o indirecta, las propiedades de los ecosistemas acuáticos y sus implicaciones en la biota existente. Sin embargo, hay unos factores que se muestran como mejores indicadores para propósitos de determinación del grado de eutrofización y de viabilidad de comunidades biológicas. –El efecto abiótico más importante de la absorción de la luz es el *calentamiento* y el efecto biótico más importante es la *fotosíntesis*” (Roldán y Ramírez, 2008).

La luz y el calor están dados por la radiación solar y favorecen el proceso de estratificación en los ecosistemas lenticos. La estratificación se presenta como la definición de una zona superior llamada zona eufótica, epilimnion o zona de mezcla. En esta zona ocurre la producción primaria por el proceso fotosintético que realiza la flora algal. Por efectos del viento y descenso de la temperatura en las horas nocturnas la tendencia de la zona de mezcla es a homogeneizarse. Pero es la luz la que determina fundamentalmente la temperatura del agua y por lo tanto la profundidad de la zona de mezcla (Peralta y León, 2006). Roldán y Ramírez (2008) también hacen consideraciones importantes acerca de que el calor no sólo estimula el metabolismo de los seres vivos, sino que también provoca fenómenos meteorológicos como los vientos y las lluvias, que ayudan a crear nuevos hábitats y a modificar los existentes. La turbiedad en el agua está relacionada con la transmisión de la luz e incide directamente en la productividad y en el flujo de energía dentro del ecosistema. (Roldán y Ramírez, 2008).

Por otro lado, en los ecosistemas acuáticos existen numerosas especies químicas y a menudo pueden presentarse en una combinación de ellas. Las tasas de intercambio entre estas formas químicas dependen del equilibrio químico, la absorción y la liberación de sustancias por parte de partículas y organismos biológicos (Peralta y León, 2006). Las concentraciones son muy variables bien sea por la influencia ejercida por la naturaleza del sustrato o por efectos de la contaminación doméstica e industrial producida por el hombre (Roldán y Ramírez, 2008)

Los nutrientes (nitratos y fosfatos, principalmente) son responsables de la productividad primaria. Su fuente natural es la descomposición de la materia orgánica, la cual al mineralizarse pone de nuevo estos iones a disposición de las plantas y las algas (Roldán y Ramírez, 2008).

La recarga del acuífero kárstico se produce principalmente en las aguas del afluente de los sumideros de corriente, ya sea a través de depósitos aluviales o directamente de los afloramientos de roca caliza de la región. La recarga por filtraciones de aguas de la cuenca local de un sistema de este tipo, por lo general, es pequeño (Albèric y Lepiller, 1998).

A manera de reflexión, Galán y Herrera (2006) manifiestan la necesidad de abordar la protección de las regiones kársticas y la conservación de especies. En muchas regiones la transformación de los ecosistemas superficiales, por expansión de la frontera agrícola principalmente, comienza a detener efectos negativos en la fauna que albergan las cuevas. Esta fauna en muchos casos es única en el mundo y por tanto de gran relevancia para la biodiversidad global del planeta.

## MÉTODOS Y MATERIALES

	Fecha	Latitud (Grados)	Longitud (Grados)	Altitud msnm
<b>Quebrada Chánchiras antes de la bocatoma</b>	06/10/2010	1,62726838	-76,09877595	1645
<b>Río Suaza debajo del primer puente</b>	07/10/2010	1,61859931	-76,10261159	1869
<b>Laguna Encantada</b>	08/10/2010	1,59152183	-76,10918091	2029
<b>Cueva del Indio Quebrada de la Virginidad</b>	09/10/2010	1,63098517	-76,10262995	1960
<b>Quebrada La Lindosa</b>	10/10/2010	1,67665732	-76,10320084	2029
<b>R. Suaza- en la Cueva de los Guácharos</b>	11/10/2010	1,61559214	-76,1062195	1836
<b>Río Suaza- Quebrada Cristales</b>	12/10/2010	1,61559775	-76,10626719	1888
<b>Quebrada de la Laguna Encantada</b>	13/10/2010	1,61041455	-76,10449811	1850

**Tabla 1.** Fecha, Geoposicionamiento y Altitud de los puntos de muestreo.

Las mediciones fisicoquímicas y los procedimientos que se llevaron a cabo en cada punto de estudio fueron:

### En campo:

- Transparencia del agua: medición de la transparencia con disco Secchi; el disco se sumergió horizontalmente cuando el sistema tuvo poca profundidad y la transparencia se midió con un periscopio invertido que se alejó del disco debajo del agua hasta perderlo de vista.. En sistemas más profundos como la laguna Encantada el disco se sumergió verticalmente hasta la profundidad donde se perdió su visibilidad y se registró dicha medida.
- Temperatura del agua, potencial de Hidrogeno (pH), conductividad y sólidos disueltos totales: estas variables se midieron con sondas portátiles marca Extech.

### En laboratorio:

Se tomaron muestras de agua en frascos previamente lavados con HCl diluido y agua destilada. Las muestras se preservaron con ácido sulfúrico concentrado hasta un pH 2 y se llevaron al Laboratorio de Ecología del Departamento de Biología de la Universidad Nacional, donde se neutralizaron y se realizaron las siguientes pruebas:

- Sólidos suspendidos totales (orgánicos e inorgánicos): se filtraron 200 ml en una bomba de vacío a través de membranas de papel de fibra de vidrio (previamente pesadas). Las membranas con el material retenido se secaron en una estufa durante 24 horas a 80° C, se enfriaron en un desecador y se pesaron en una

balanza de precisión. Posteriormente los filtros se colocaron en una mufla a 600 °C durante dos horas, se dejaron enfriar en un descador y se pesaron nuevamente. La materia orgánica particulada se halló por diferencia de pesos entre los filtros secados e incinerados.

- Fosfatos disueltos: se tomaron 25 ml del agua filtrada, a los cuales se les aplicó el método del ácido ascórbico-Phos Ver 3 para realizar las lecturas en un espectrofotómetro HACH DR2000.
- Sulfatos disueltos: se tomaron 25 ml del agua filtrada, a los cuales se les aplicó el método Sulfa Ver 4, para realizar las lecturas en un espectrofotómetro HACH DR2000.
- Amonio disuelto: se fueron tomaron 25 ml del agua filtrada, a los cuales se les aplicó el método del reactivo de Nessler, para realizar las lecturas en un espectrofotómetro HACH DR2000.
- Nitratos disueltos: se tomaron 25 ml del agua filtrada, a los cuales se les aplicó el método del rango bajo Nitra Ver 3, para realizar las lecturas en un espectrofotómetro HACH DR2000.

#### Análisis numéricos:

El tratamiento general de los datos se realizó en tablas de Excel (estadística descriptiva). También se realizó un Análisis de Componentes Principales (APC) de las variables fisicoquímicas del conjunto de sitios muestreados, para lo cual se empleó el programa Past.

### RESULTADOS

	Fecha	Nitritos (mg/L)	Amonio (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)
Quebrada Chánchiras antes de la bocatoma	06/10/2010	0,0423	0.62	320	0.62
Río Suaza debajo del primer puente	07/10/2010	0,0376	1.43	220	0.10
Laguna Encantada	08/10/2010	0,0188	1.30	220	0.04
Cueva del Indio Quebrada de la Virginidad	09/10/2010	0,0376	1.30	260	0.05
Quebrada La Lindosa	10/10/2010	0,0329	0.92	410	0.00
R. Suaza- en la Cueva de los Guácharos	11/10/2010	0,0235	0.44	350	0.01
Río Suaza-Quebrada Cristales	12/10/2010	0,0047	2.19	250	0.03
Quebrada de la Laguna Encantada	13/10/2010	0,0094	1.14	1250	0.04
Promedio	No aplica	0,026	1,168	410,000	0,111
Desviación Estándar	No aplica	0,014	0,540	345,915	0,208
Coeficiente de Variación	No aplica	0,541	0,462	0,844	1,867

**Tabla 2.** Resultados de los análisis químicos por espectrofotometría.

	pH	Conductividad- μS/cm	T (C°)	O2- disuelto- (mg/L)	Caudal-por- método del tarrito- (m3/s)	Caudal por conductividad- (m3/s)
Chánchiras antes-de bocatoma	5,25	15,5	17	8	0,146	0,072
Río-Suaza-primer- puente	6,65	152	15,6	6,6	1,9	0,72
Laguna- Encantada	7,57	23,6	17,8	6,45	no aplica	no aplica
Quebrada-de-La- Virginidad	7,07	30	16	8,3	no aplica	0,0008185
Quebrada La Lindosa	3,6	113,2	13,3	5,7	0,834	0,032083
Río Suaza en la Cueva-de-los- Guácharos	7,51	137,3	14,2	7,4	1,484	0,4089
Río Suaza en la quebrada-Cristales	7,78	120,8	15,2	3,8	1,26	0,45
Quebrada de la Laguna-Encantada	7,71	347	19	6,4	no aplica	0,03129
Promedio	6,643	117,425	16,013	6,581	1,125	0,245
Desviación Estándar	1,484	107,676	1,873	1,424	0,669	0,281
Coeficiente de variación	0,223	0,917	0,117	0,216	0,595	1,148

**Tabla 3.** Datos fisicoquímicos tomados en campo

	Transparencia- Sechi-horizontal (m)	Transparencia- Sechi-vertical- (m)	Profundidad- media-(m)	Sólidos disueltos totales-(mg/l)	Pendiente
Chánchiras-antes-de-bocatoma	1,44	no aplica	0,2156	no aplica	8°, 14%
Río-Suaza-primer- puente	0,62	0,66	0,595	no aplica	4°, 7%
Laguna-Encantada	no aplica	1,16	no aplica	no aplica	no aplica
Quebrada-de-la-Virginidad	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Quebrada La Lindosa	no aplica	2,15	0,182	90,3	no aplica
Río Suaza en la Cueva-de-los- Guácharos	no aplica	no aplica	0,355	105,1	no aplica
Río Suaza en la quebrada- Cristales	1,1	1,15	0,28	120,9	no aplica
Quebrada de la Laguna- Encantada	no aplica	1,02	no aplica	273	no aplica

**Tabla 4.** Datos fisicoquímicos tomados en campo

Ubicación	Sólidos suspendidos totales (mg/l)	Materia inorgánica (mg/l)	Materia orgánica (mg/l)
Chánchiras-antes-de-bocatoma	25	0	25
Río-Suaza-primer-puente	10	0	10
Laguna-Encantada	5	0	5
Quebrada-de-la-Virginidad	130	120	10
Quebrada La Lindosa	5	0	5
R. Suaza-Cueva-de-los-Guácharos	15	10	5
Río Suaza-quebrada-Cristales	10	10	0
Quebrada de la Laguna-Encantada	25	0	25
<b>Promedio</b>	<b>28,125</b>	<b>17,500</b>	<b>10,625</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>41,913</b>	<b>41,662</b>	<b>9,425</b>
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>1,490</b>	<b>2,381</b>	<b>0,887</b>

Tabla 5. Resultados de contenido de materia orgánica en los puntos de muestreo

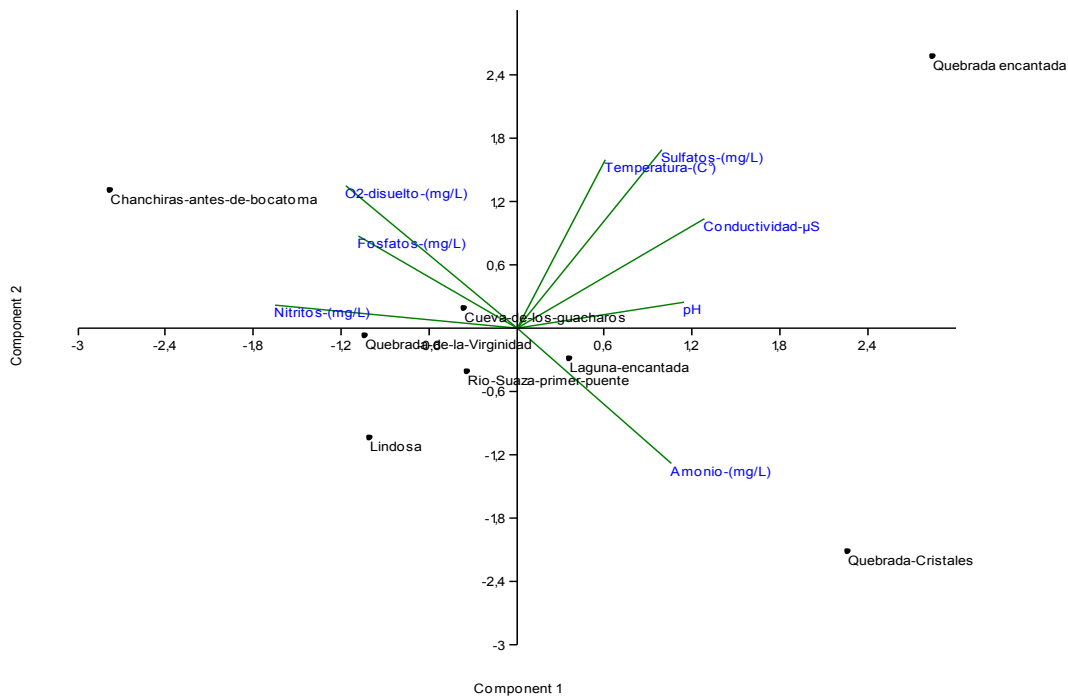


Figura 1. Análisis de componentes principales (APC) de los datos fisicoquímicos de los cuerpos de agua del PNNCG

## DISCUSIÓN

Aunque la mayoría de los sitios visitados no registran valores de pH por fuera de lo reportado por Roldán y Ramírez (2008) para aguas naturales (6.0 a 9.0), hay dos lugares en donde las aguas tienen niveles de pH inferiores a este rango. Primero, la quebrada Chánchiras, que presenta un pH de 5.25, que podría indicar los aportes de ácidos orgánicos producidos por la descomposición de la materia orgánica que se acumulaba en su cauce y que proviene de la vegetación riparia. Es importante tener presente que esta quebrada es angosta y de bajo caudal, por lo cual no arrastraría la materia orgánica que recibe, sino que ésta tiende a depositarse y descomponerse a lo largo de su trayecto, favoreciendo así un pH bajo. Del mismo modo, la quebrada La Lindosa, cuyo pH fue de 3.6, parece estar fuertemente influenciada por la presencia de ácidos húmicos en los alrededores de la quebrada (material alóctono), que pueden afectar los procesos ecológicos y modificar otras variables de este cuerpo de agua.

Los lagos naturales de alta montaña presentan valores de pH entre 6.5 y 7.5, con excepción de los lagos de turberas en los páramos andinos, que registran valores entre 4.0 y 5.0 (Roldán y Ramírez, 2008). Esto es consistente con lo encontrado en la Laguna Encantada, en donde se registró un pH de 7.57, muy cercano al rango mencionado.

Por lo general, los cambios geomorfológicos sucesivos son acompañados de cambios fisicoquímicos del agua, lo que trae como consecuencia el establecimiento de comunidades específicas adaptadas a cada hábitat particular (Roldán y Ramírez, 2008). En la zona krenal de una cuenca (como el caso de los ríos visitados en el PNNCG) dichos cambios geomorfológicos no son tan concluyentes al momento de analizar los puntos estudiados debido a que son muy cercanos.

La figura 1 muestra algunas condiciones contrastantes entre las quebradas estudiadas. Así por ejemplo, la quebrada Chánchiras se destaca por sus mayores concentraciones de oxígeno y fóstatos, mientras que la el río Suaza a la altura de la quebrada Cristales tuvo bajos valores de dichas variables, pero altos de amonio. Por su parte, la quebrada que sale de la Laguna Encantada tuvo registros altos de conductividad (debida a altas concentraciones de sulfatos) y temperatura alta, características opuestas a las halladas en la quebrada La Lindosa, donde el agua fue muy fría y desmineralizada. Los puntos cercanos al centro de la figura 1 no muestran variables que sean predominantes, es decir, son sitios más cercanos a unas condiciones "promedio" dentro de la hidroquímica de la región.

El oxígeno disuelto es una variable que depende de la pendiente, entre otros factores, siendo los sistemas con mayor pendiente los que tienen más capacidad de oxigenación por el movimiento del agua. Por el contrario, los ambientes de menor pendiente tienen menos capacidad de oxigenación. Esto se ve evidenciado en los datos obtenidos para la medida de oxígeno disuelto en los distintos puntos, puesto que los sitios con mayor pendiente (observación directa) como la quebrada Chánchiras y los cuerpos de agua dentro de las cavernas, gracias a las caídas de agua y la canalización, facilitan la oxigenación del agua (8 mg/l para Chánchiras, 8.3 mg/l para la quebrada de La Virginidad y 7,4 mg/l para el río Suaza en la Cueva de los Guácharos). Por su parte, los sitios con menor pendiente como la laguna Encantada y los distintos puntos de medición sobre el río

Suaza, presentaron los valores de oxígeno disuelto más bajos (6.45, 6,6 y 3.8 mg/l respectivamente). Se destaca el río Suaza a la altura de la quebrada Cristales, que tiene un valor muy bajo de oxígeno disuelto (3.8 mg/l) en comparación con los demás puntos, lo que puede deberse a que esta zona tenía poca pendiente junto con una profundidad baja (0,28 m), lo que facilita la pérdida del oxígeno como resultado del calentamiento solar. Esta zona estaba libre de cobertura vegetal que impidiera el paso de los rayos solares. Por otro lado se esperaría una considerable cantidad de oxígeno disuelto en La Lindosa como resultado de la cascada que se encuentra en el lugar de muestreo, pero debido a la formación de un pozo profundo (lugar de toma de la muestra) la oxigenación resulta ser insuficiente y el agua relativamente quieta no promueve la oxigenación del agua aun cuando su temperatura es muy baja (13,3°C).

La temperatura es el resultado de varios aspectos como la altura a la cual se encuentran los puntos de medición, la cobertura vegetal y la profundidad del sistema; se esperaría que los sitios ubicados a mayor altura se correspondan con menores temperaturas. Tal comportamiento es evidente en la quebrada La Lindosa, en donde se evidencia la menor temperatura de todos los sitios visitados (13,3°C); sin embargo los otros 3 puntos altos como lo son la quebrada Chánchiras, la laguna Encantada y la quebrada de la laguna Encantada presentan las temperaturas más altas (17°, 17.8° y 19° C respectivamente), lo cual puede ser resultado de una alta incidencia solar en el momento de los muestreos, dejando así en un segundo plano la altura. Hay que considerar no obstante, que las diferencias de altura entre todos los puntos de muestreo no superan los 384 m, por lo cual el efecto de la altitud no es muy marcado.

La conductividad es una medida directa del contenido de sales en los sistemas hídricos, por lo cual los sistemas con mayor cantidad de sulfatos y carbonatos (que deben ser altos en los puntos cercanos a la disolución cárstica, como lo son las cuevas y sistemas próximos a estas), presentan valores de conductividad mayores. Este es el caso de la quebrada de la laguna Encantada, la cual tiene un mayor contenido de sulfatos y una la mayor conductividad (347  $\mu\text{S}$ ). El segundo punto con mayor conductividad fue el río Suaza cerca a los sistemas cársticos (152  $\mu\text{S}$ ) después del lapiaz, por lo que lleva un alto contenido de sales resultantes de la disolución cárstica. El río Suaza al pasar por Cueva de los Guácharos tiene también un valor alto de conductividad (137,3  $\mu\text{S}$ ) y un alto contenido de sulfatos. Es de esperarse que todos estos sitios tenga un alto contenido de carbonatos. En cuanto al punto de muestreo sobre el río Suaza en la quebrada Cristales, se observa una reducción de la conductividad (120,8  $\mu\text{S}$ ), lo indica una menor influencia de los sistemas.

La Lindosa presenta un alto contenido de sulfatos pero su conductividad no fue tal alta (113,2  $\mu\text{S}$ ), lo cual puede deberse a que esta quebrada se encuentra antes del sistema de cavernas. Por lo tanto sería de esperar que hubiera pocos carbonatos en comparación con los sistemas cársticos y de esta manera el contenido de sulfatos no es suficiente para superar los valores de conductividad aportados por los carbonatos. Así mismo, la quebrada Chánchiras y la laguna Encantada se encuentra a mayor altura que el sistema de cavernas y presentan valores bajos de sulfatos, por lo que son los sitios de menor conductividad (15,5 y 23,6  $\mu\text{S}$  correspondientemente). La conductividad de la quebrada de La Virginidad en la cueva del Indio tuvo un valor muy bajo (30  $\mu\text{S}$ ), aun cuando su contenido de sulfatos fue alto (260 mg/l); este dato es extraño puesto que esta cueva, al igual que la de los Guácharos es de origen cárstico, por lo que su contenido de



carbonatos debería ser alto. Una posiblemente explicación es que el agua que forma la quebrada de La Virginidad es de escorrentía local y se infiltra desde la superficie, en un tramo demasiado corto como para lograr un enriquecimiento alto con carbonatos. No puede descartarse tampoco un error en la medición de este parámetro. Otro valor de conductividad para resaltar es el de la quebrada que nace en la laguna Encantada, el cual es el mayor después de La Lindosa. Este registro podría indicar cierto efecto de concentración y acumulación de sólidos y nutrientes en el agua que sale de la laguna. Sin embargo, parece más probable que haya una fuente localizada de rocas sulfatadas en el trayecto que recorre esta quebrada, las cuales le estarían dando las altas concentraciones de sulfatos y la elevada conductividad a sus aguas.

La transparencia con el disco Secchi es una medida que depende de múltiples factores, como lo son la profundidad del sistema, el caudal, el contenido de plancton, la cantidad de sólidos suspendidos y disueltos, y la intensidad de la luz (afectada por la nubosidad) en la zona. También influye la capacidad visual de la persona que toma el dato. Así, en sistemas profundos como La Lindosa (en el pozo en que se realizó la medición), los sólidos suspendidos tienden a precipitarse, al igual que la materia orgánica (esto está en concordancia con el valor de sólidos suspendidos totales para este punto, el cual fue de 5 mg/l). Por otra parte, hay una buena penetración de la luz debido a la que la cobertura vegetal no hace sombra sobre el sitio de medición, por lo cual la profundidad Secchi fue alta (2,15 m), en comparación con los demás sitios donde se midió esta variable. Por el contrario, el río Suaza (en la zona del primer puente vía a La Mensura), presentó el valor más bajo de transparencia con el disco Secchi (0,66 m), lo cual se puede explicar por el alto caudal del río el día de la medición (0,72 m<sup>3</sup>/s) como resultado de las lluvias de la noche anterior. En estas circunstancias, el arrastre de sedimentos reduce la transparencia del agua. En general, los sistemas lóticos con alto caudal, aunque pueden tener poco plancton, transportan una gran cantidad de sólidos suspendidos y disueltos. Además, la turbulencia de la corriente los remueve del fondo permanente a lo largo de su recorrido, lo que genera aguas más turbias.

En cuanto a la materia orgánica suspendida en las muestras de agua, se puede observar que los mayores valores se encuentran en las quebradas de menor caudal. En ellas se evidenció una gran cantidad de materia orgánica, como pedazos de troncos provenientes de la vegetación riparia, en especial en la quebrada Chánchiras y en la quebrada de la laguna Encantada (25 mg/l en los dos puntos de estudio). Por otro lado, al ser la laguna Encantada un sistema léntico y tener una alta presencia de macrófitas que facilitan la sedimentación de los materiales en suspensión, presentan una baja concentración de materia orgánica (5 mg/l). Sin embargo, valores como el obtenido para la Cueva de los Guácharos (5 mg/l) no concuerdan mucho con las demás características físicas y otras observadas, como fue el hecho de que el río en la Cueva de los Guácharos presentaba una gran cantidad de plumas y materia orgánica en suspensión (observación directa). Estos materiales provienen de la actividad de los guácharos que habitan dentro de la cueva, por lo que se esperarían concentraciones de materia orgánica mayores, o al menos más altas que la hallada en la quebrada de La Virginidad dentro de la cueva del Indio (10 mg/l), donde toda el agua proviene de infiltración y no hay presencia de guácharos.

Por otro lado, el río Suaza a la altura de la quebrada Cristales (unos pocos kilómetros más debajo de las cuevas) presentó una concentración de materia orgánica igual a 0 mg/l, lo

que parece mostrar la alta capacidad del río para retener y digerir la materia orgánica que transporta. No obstante, hay que considerar la posibilidad de que las determinaciones de materia orgánica hayan tenido errores técnicos y de método, debido a la poca precisión de las balanzas disponibles para este fin.

En conclusión, todos los datos fisicoquímicos que caracterizan a los ecosistemas acuáticos del PNNCG corresponden a sistemas típicos neotropicales, con baja intervención humana y condiciones propias de ambientes cársticos. Las aguas de la región son de temperaturas medias y se mineralizan al pasar por el sistema de cuevas; son ligeramente alcalinas y bajas en nutrientes (oligotróficas) y transportan bajas a moderadas cantidades de sólidos suspendidos.

## BIBLIOGRAFIA

Albéric P, Lepiller M. 1998. Oxydation de la matière organique dans un système hydrologique karstique alimenté par des pertes fluviales (Loiret, France). Elsevier Science. Vol. 32, N° 7, pp. 2051-2064

HACH. Manual de funcionamiento del espectrofotómetro HACH DR2000. Disponible en URL:

[http://www.hach.com/hc/view.file.categories.invoker/FILCAT\\_MAN\\_PHOTOMETERS DR2000\\_DR3000/NewLinkLabel=DR%26frasl%3B2000+and+DR%26frasl%3B3000+Spec trophotometer+Manuals/SESSIONID|BzVNeIV5TURNekptZDFaWE4wUIZGTFJFTXhNZz09QnpZM05UWQ==](http://www.hach.com/hc/view.file.categories.invoker/FILCAT_MAN_PHOTOMETERS_DR2000_DR3000/NewLinkLabel=DR%26frasl%3B2000+and+DR%26frasl%3B3000+Spec%26trophotometer+Manuals/SESSIONID|BzVNeIV5TURNekptZDFaWE4wUIZGTFJFTXhNZz09QnpZM05UWQ==) [consultado el 15 octubre de 2010]

Margalef R. 1983. Limnología. Ediciones Omega S.A., Barcelona, España. 1983.

OCDE. 1982. Eutrophisation des eaux. Méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte. Paris. 164 pp.

Onac B, Veres D. 2003. Sequence of secondary phosphates deposition in a karst environment: evidence from Magurici Cave (Romania). E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, D-70176 Stuttgart

Peralta P, León J. 2006. Estudios de caracterización limnológica de los embalses de la provincia de Mendoza. Componente de calidad de agua y suelo. Programa de riego y drenaje de la provincia de Mendoza prosap – dgi – oei. Departamento general de irrigación, gobierno de Mendoza, provincia de Mendoza. Argentina.

Roldán G, Ramírez J. 2008. Fundamentos de limnología neotropical. Segunda edición. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

Wetzel R. 1981. Limnología. Ediciones Omega S.A., Barcelona, España.

# COMPOSICIÓN DEL PLANCTON DE RED DE LA LAGUNA ENCANTADA, PARQUE NACIONAL NATURAL CUEVA DE LOS GUACHAROS

Gonzalo Pinilla-Buitrago<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología. Estudiante.

## RESUMEN

A partir de este estudio se encontró como es la composición del fitoplancton y zooplancton de la Laguna Encantada del Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos (PNNCG). Se utilizaron cámaras de sedimentación Utermöhl y microscopio invertido para la estimación de la abundancia de los microorganismos. A partir de estos se realizó un análisis descriptivo de los grupos más abundantes y como estos se relacionan con los valores de nutrientes, pH del cuerpo de agua y entre los organismos mismos. Los grupos más abundantes encontrados fueron diatomeas y oscilatorias para el componente fitoplanctónico, mientras que el zooplancton se encontró una dominancia de rotíferos.

**Palabras Claves:** Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos, Laguna Encantada, Fitoplancton, Zooplancton, Abundancia.

## ABSTRACT

This study found the composition of phytoplankton and zooplankton in the "Encantada" Lagoon in National Natural Park "Cueva de los Guacharos" (PNNCG). We used Utermöhl sedimentation cameras and inverted microscope to estimate the abundance of microorganisms. From this we performed a descriptive analysis of the abundant and the relation with values of nutrients, pH of the water body and between the organisms themselves. The most abundant groups found were diatoms and oscillatory for the phytoplankton component, while the zooplankton was found a dominance of rotifers.

**Keywords:** National Natural Park "Cueva de los Guacharos", Encantada Lagoon, Phytoplankton, Zooplankton, Abundance.

## INTRODUCCIÓN

Dentro de los ecosistemas acuáticos del Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos (PNNCG), se encuentran varios lagos y lagunas que se caracterizan por ser cuerpos de agua relativamente profundos, con bajas tasas de renovación (aguas en movimiento lento, por contraste con los ríos, de aguas corrientes) y que en general tienen un flujo unidireccional de las mismas, a través de una o varias corrientes afluentes y otra efluente. El flujo unidireccional las diferencia de las ciénagas, que en general son menos profundas, ligadas a ríos a través de caños cuyo curso cambia del río hacia la ciénaga y viceversa, según el nivel de las aguas por influencia de las lluvias (Márquez, s. f.).

En el PNNCG, dentro de la clasificación de sistemas lenticos, se encuentra la Laguna Encantada, algunos humedales y varios lagos de origen glacial, localizados en el área de subpáramo, en donde comienzan los bosques de pajonal-frailejón (*Espeletia* sp.), y donde abundan áreas cubiertas por musgos, líquenes, helechos y bromelias (Unidad

Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales, 2005). Específicamente se han identificado los siguientes ecosistemas lénticos: 1) en la margen izquierda del río Suaza frente al Lapiaz o sitio denominado "La Cascada" se halla la Laguna Encantada, de 1 Ha aproximadamente; 2) en el sitio denominado "La Hacienda", se ubica un humedal de 1/3 de Ha aproximadamente, junto al sendero La Loma, entre la quebrada Cristales y el puente sobre el río Suaza; 3) al norte del Parque, se encuentra un humedal de 1/2 Ha, a 30 minutos de las instalaciones del sector Los Cedros por el camino que accede desde la escuela Villa Fátima; y 4) en el centro sur del Parque, en el sitio denominado La Argelia, a 3 horas de las instalaciones del sector Los Cedros hay otro ambiente léntico (Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales, 2005).

En cada uno de estos sistemas lénticos son de vital importancia las funciones realizadas por el fitoplancton y el zooplancton, en especial por las microalgas. Estas juegan un papel fundamental en la producción primaria de los lagos y en la dinámica de nutrientes (Reynolds, 1997 y Margalef, 2002 citados por Pinilla *et al.*, 2007). Para el zooplancton se conoce su función como controlador de las comunidades de fitoplancton (Sterner, 1989 citado por Pinilla *et al.*, 2007) y la manera como aporta gran cantidad de materia orgánica y nutrientes al agua (Capblancq, 1990).

Para este estudio se realizó un levantamiento sencillo de la composición planctónica de la Laguna Encantada, dando un breve análisis descriptivo de los grupos con mayor presencia en el área y de cómo estos resultados se pueden relacionar con las variables físico-químicas de la laguna.

## MÉTODOS Y MATERIALES

La laguna Encantada se encuentra a 1862 m.s.n.m, en las coordenadas LW 76° 6' 22,47" y LN 1° 36' 56.14". El muestreo se realizó los días 8 y 13 de septiembre de 2010 al medio día. Para cada uno de estos días de muestreo se tomaron tres muestras en diferentes partes de la laguna. Las muestras de fitoplancton y zooplancton se obtuvieron filtrando 200 litros, en redes con poros de un diámetro de 40 µm y 60 µm respectivamente. Dichas muestras se preservaron con lugol concentrado (fitoplancton) y formol al 4% (zooplancton).

Para la identificación y cuantificación de los organismos se utilizaron cámaras de sedimentación Utermöhl con volúmenes entre 1 ml a 2 ml (para el fitoplancton tan solo se realizó una sedimentación mientras que para zooplancton se observaron de 16 a 22 volúmenes distintos). Las observaciones se hicieron mediante un microscopio invertido (Lund *et al.*, 1958).

A partir de las observaciones al microscopio invertido se realizó la estimación de la abundancia de estos organismos en el cuerpo de agua, como se indica en la ecuación 1. Posteriormente se hizo un análisis descriptivo de la composición del plancton encontrado en la laguna para mostrar los taxones de mayor abundancia (tanto a nivel de género como de clase). Para el análisis descriptivo y la elaboración de gráficas se utilizó el programa Microsoft Excel 2007 ®.

Ecuación para el cálculo de la abundancia de organismos/L:

**Ecuación 1:**

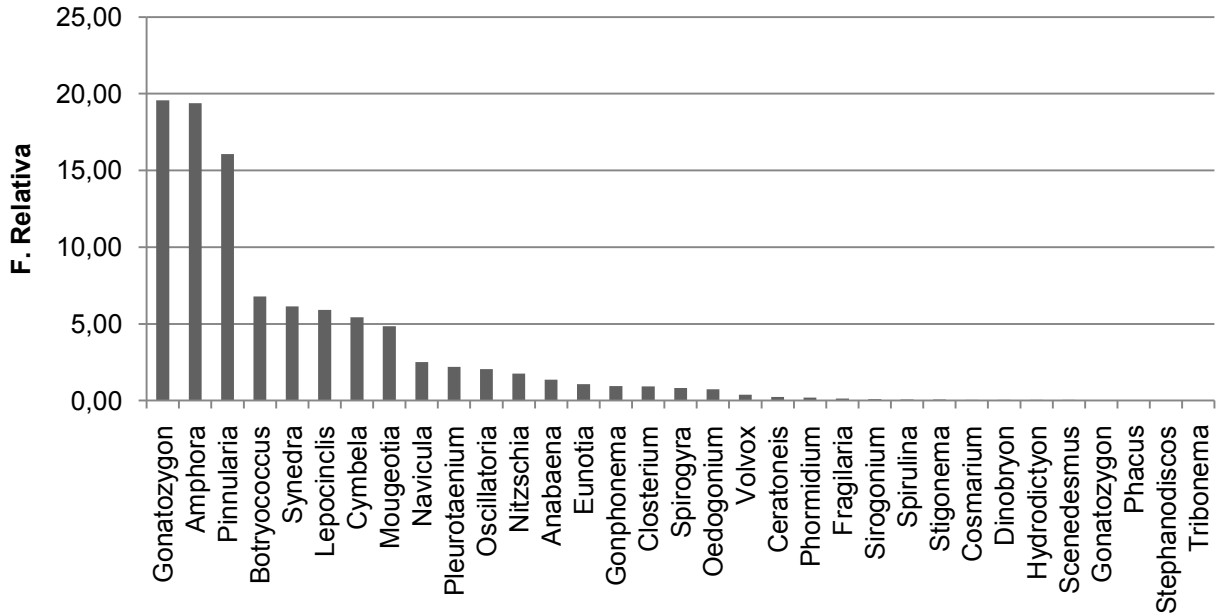
Teniendo para esta ecuación VOC como el volumen observado concentrado producto de la filtración; VTC, Volumen total en el que se concentro la muestra; y VTF, equivalente al volumen que se filtro en las redes de plancton.

**RESULTADOS**

**FITOPLANCTON**

A partir de la observación de las muestras de fitoplancton se determinaron 4102 individuos, de los cuales se encontraron en total 33 géneros distintos pertenecientes a varias clases u órdenes, tales como Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Zygnematophyceae, Coscinodiscophyceae, Cyanophyceae y del Orden Oscillatoriales.

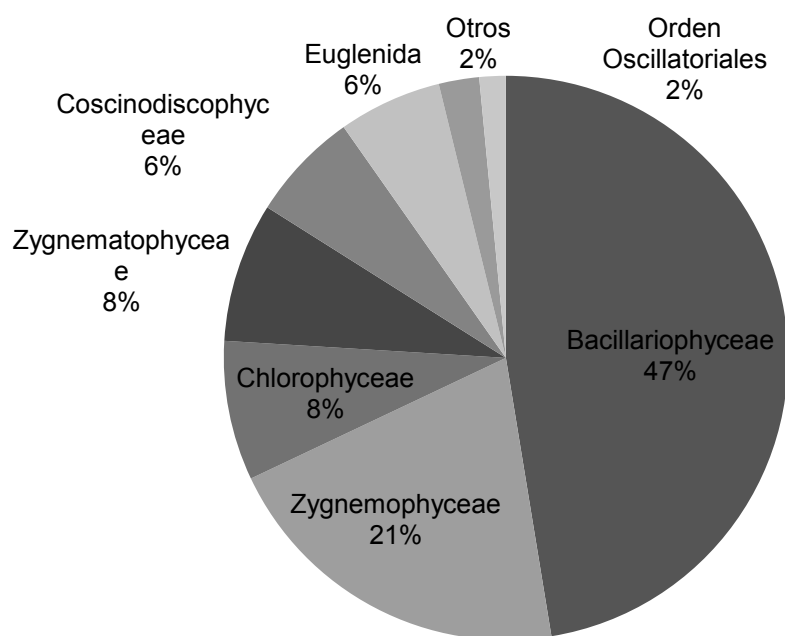
Según lo observado en el sistema léntico de la Laguna Encantada, se encuentra una dominancia notable de los géneros de *Gonatozygon*, *Amphora* y *Pinnularia*, concentrando estas tres más de 50% de los individuos hallados (Figura 1). Otro conjunto de organismos menos representativos, pero de igual forma con la suficiente frecuencia para sumar casi un 30% de los individuos (cada uno de estos géneros presentó un valor mayor o cercano al 5%) estuvo constituido por los géneros *Botryococcus*, *Synedra*, *Cymbela*, *Lepocinclis* y *Mougeotia*.



**Figura 1.** Frecuencias relativas de los géneros de fitoplancton presentes en Laguna Encantada.

A niveles taxonómicos mayores (Clases u Órdenes) se observa que las Diatomeas (Bacillariophyceae más Coscinodiscophyceae) tuvieron una dominancia superior al 50% de los organismos hallados (Figura 2). Otro grupo de gran relevancia en la composición de fitoplancton de la laguna fueron las algas verdes pertenecientes a la clase Zygnemophyceae, cuya frecuencia relativa fue del 21%. Un grupo con una función importante en el sistema pero no tan abundante fueron las euglenas, representadas en un 6% en la comunidad. El resto de organismos pertenecen a algas verdes (clorofíceas y desmídias).

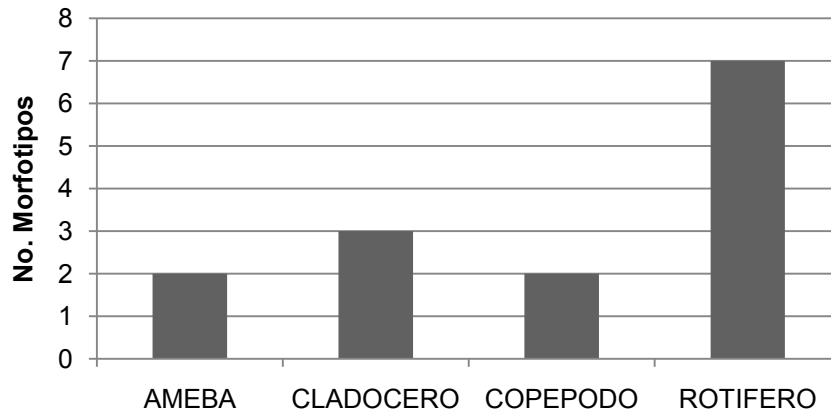
Según los datos hallados la concentración de fitoplancton en la laguna es de 1282 organismos por cada litro, el cual es un valor demasiado bajo para un sistema lenticó. Este resultado puede atribuirse a problemas al seguir la metodología propuesta.



**Figura 2.** Proporción de las clases halladas partiendo del número de individuos pertenecientes a cada una de estas.

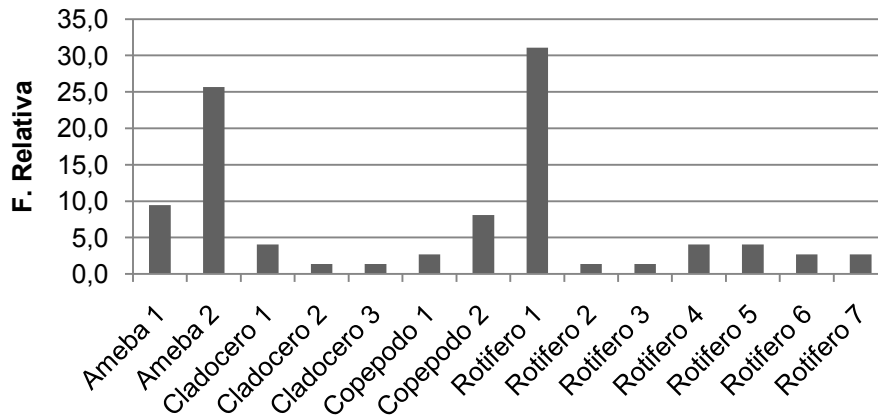
## ZOOPLANCTON

Se observaron en total 76 individuos distribuidos en cinco clases de organismos: Amebas, Cladóceros, Copépodos y Rotíferos. Se encontró un mayor número de morfotipos de rotíferos (siete), siendo el grupo con mayor diversidad de la Laguna (Figura 3). El número de morfotipos de los demás grupos no fue superior a tres (Cladóceros).



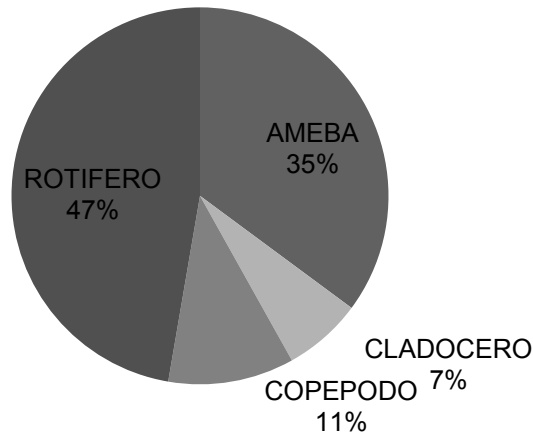
**Figura 3.** Número de morfotipos encontrados por grupo de zooplancton.

Los datos de abundancia de cada uno de los morfotipos reportados de zooplancton muestran que dicha comunidad estuvo dominada por un rotífero que tuvo más del 30% de representación (Figura 4). Otro taxón representativo fue un morfotipo de ameba, con un valor cercano al 4% de frecuencia en las muestras.



**Figura 4.** Frecuencia relativa de individuos encontrados por cada morfotipo del zooplancton.

Los rotíferos fueron no solo los más frecuentes sino también los de mayor abundancia. Alcanzaron el 47% en número, seguido por las amebas, con un valor del 35% de abundancia (Figura 5).



**Figura 5.** Composición de las clases de zooplancton halladas en Laguna Encantada partiendo del número de individuos pertenecientes a cada taxón.

Para los datos encontrados en zooplancton se tiene una baja densidad de tan solo 2.5 individuos por litro.

### DISCUSIÓN

Aunque no se puede hacer un análisis más profundo con los datos obtenidos, si se pueden realizar algunas inferencias. Así por ejemplo, la gran cantidad de diatomeas, que requiere del sílice de la zona fótica (Roldán, 1992), puede señalar una gran influencia de la zona litoral, rica en macrófitas, donde estas algas encuentran sustratos apropiados para desarrollarse. Su abundancia también puede indicar que la Laguna Encantada es un sistema bastante turbulento por acción del viento (Pinilla, com. pers).

La presencia de manera importante de las cianobacterias (*Oscillatoria*) podría estar asociada a una relación N/P baja en la laguna (es decir, con limitación por N), ya que estas algas pueden utilizar nitrógeno atómico. De esta manera cumplen con una función importante de la asimilación de nitrógeno para todo el sistema. Además, este grupo de cianobacterias tienen un amplio rango de tolerancia al medio, estando presentes en ambientes con difíciles condiciones (Roldán, 1992). Si se tuviera registros continuos de las cantidades de fósforo y nitrógeno y de la abundancia de cianobacterias en la laguna, se podrían establecer relaciones más claras entre el aumento en la abundancia de estos organismos y las condiciones de limitación por nitrógeno. Por otra parte, la presencia de Oscillatoriales concuerda con el medio ligeramente alcalino de la laguna (Roldán, 1992).

Las abundancias del zooplancton son mucho menores a las del fitoplancton, lo que se puede explicar por la pérdida de energía que se da entre los dos eslabones de la red trófica. Es decir, solo pasa una pequeña cantidad de energía del fitoplancton al zooplancton, lo que limita la abundancia y diversidad de este último.

Según Roldán (1992) la presencia de organismos zooplanctónicos demuestra la abundancia de fitoplancton, ya que estos son consumidos por los primeros. Donde la depredación por el zooplancton juega un papel importante, ocurren efectos como cambios



en la abundancia de una y otra comunidad, y cambios en la disponibilidad de oxígeno disuelto, nutrientes y pH en la columna de agua.

La predominancia de rotíferos en la comunidad zooplanctónica de la Laguna Encantada puede indicar abundancia de materia orgánica en el agua, ya que este grupo de organismos abunda bajo dichas condiciones (Pinilla, 1998). Lo que concuerda también con el registro de la euglena *Lepocinclis*.

Otro punto importante de los datos obtenidos se encontró un bajo número de individuos por litro, lo que se puede deber principalmente a la pérdida de gran parte del plancton de menor tamaño a los poros de las redes utilizadas. A parte de estos valores pueden estar acorde con la baja cantidad de nutrientes y de materia orgánica disponible en el sistema, donde no existe una gran capacidad del sistema para presente una mayor cantidad de individuos. Además concuerda con la gran diversidad hallada en cada uno de los grupos, para fitoplancton 33 géneros y para zooplancton 13 morfotipos hallados. Donde se puede reflejar que a mayor escasez de recursos, mayor diversidad del sistema.

Los datos obtenidos a partir de los muestreos realizados en la Laguna Encantada no son suficientes para establecer cómo se conforma la comunidad planctónica de dicho lago. Se requerirá en el futuro además una valoración detallada de los nutrientes como fósforo y nitrógeno, que permita relacionar las abundancias de los organismos planctónicos con las características abióticas del ecosistema.

Para futuros estudios de la zona se debería tomar registros de plancton de la laguna varias veces al año, a fin de detectar los patrones de cambios de la composición del plancton, y establecer plenamente las relaciones existentes entre el componente fitoplanctónico y el zooplanctónico. También se deberán tener en cuenta otras variables fisicoquímicas (pH, conductividad, alcalinidad, dureza, sílice) para encontrar las pautas de cambios en el tiempo de la composición planctónica en esta laguna.

## BIBLIOGRAFIA

Capblancq J. 1990. Nutrient dynamics and pelagic food web in oligotrophic and eutrophic environments: an overview. *Hydrobiologia*, 207: 1-14.

Lund JW, Kipling C, Le Creen ED. 1958. The inverted microscope method of estimating algal number and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia*, 11: 143-170.

Márquez CG. *Sistemas Ecológicos y Sociedad en Colombia. Ecosistemas Acuáticos Continentales*. Recuperado el 26 de agosto de 2010 en [http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2010615/lecciones/eco\\_col/eco\\_col5.html](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2010615/lecciones/eco_col/eco_col5.html)

Pinilla GA. 1998. *Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia*. Compilación bibliográfica. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 67 p.

Pinilla GA, Canosa A, Vargas A, Gavilán M, López L. 2007. Acoplamiento entre las comunidades planctónicas de un lago amazónico de aguas claras (lago Boa, Colombia). *Limnetica*, 26 (1): 53-65.

Roldán, G. 1992. Fundamentos de Limnología Neotropical. Editorial Universidad de Antioquia. 529 p.

Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales. 2005. Plan de manejo 2005-2009. Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial.

## **CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA EN RÍOS DEL PARQUE NACIONAL NATURAL CUEVA DE LOS GUACHAROS**

Claudia angélica Bonilla<sup>1</sup>, Oscar Giovanni Urrego M<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología. Estudiante.

### **RESUMEN**

Como parte de la caracterización del Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos (PNNCG), se evalúan los índices de diversidad de Simpson y Shannon, la abundancia, y la dominancia de las comunidades perifíticas en nueve puntos de diferentes ecosistemas acuáticos del PNNCG. Estos datos se relacionan con algunos factores abióticos como luz, pH, conductividad, temperatura y nutrientes, dando como resultado patrones en la organización de la comunidad de perifiton y en su diversidad y abundancia, consecuentes con las condiciones del lugar de muestreo. Esto demuestra que tales factores determinan el crecimiento de la comunidad. Además se establece el nivel de eutroficación con base en el índice de Palmer, el cual confirma la alta calidad de las aguas del PNNCG, dado el buen estado de conservación de los ecosistemas de la reserva.

**Palabras claves:** PNN Cueva de los Guacharos, Perifiton, Índices de diversidad, abundancia, riqueza, índice de polución orgánica (OPI)

### **ABSTRACT**

As part of the characterization of the Parque Natural Nacional Cueva de los Guacharos (PNNCG) we have calculated index of Simpson and Shannon diversity, abundance and dominance of periphytic communities in nine locations in different aquatic ecosystems of PNNCG. These data are related to abiotic factors as light, pH, conductivity, temperature and nutrients, resulting in patterns in the organization of the periphyton community and its diversity and abundance, consistent with the sampling site conditions. This shows that such factors determine the growth of the community. Also we set the level of eutrophication based on the Palmer index, which confirm the high quality of the waters of PNNCG, given the good state of conservation of the ecosystems of the reserve.

**Keywords:** Parque Natural Nacional Cueva de los Guacharos, periphyton, Index of diversity, abundance, richness, Palmer index.

### **INTRODUCCIÓN**

Todos los organismos que se encuentran en la superficie de un tronco, roca u hoja sumergidos en el agua del río o lago constituyen la comunidad perifítica. En este documento se hará referencia solo a los organismos autótrofos del perifiton (el fitoperifiton). Este componente autótrofo es un productor primario de los ecosistemas acuáticos, y como tal juega un papel esencial en el establecimiento de las cadenas tróficas y en la transmisión de energía en estos ecosistemas. Algunos de los factores que controlan el crecimiento del perifiton son la temperatura, la luz, los nutrientes, el pH, el sustrato y la velocidad de la corriente (Roldán, 1992). Así por ejemplo, la temperatura en climas templados crea ciclos muy marcados de productividad, siendo más alta en

temporadas cálidas y baja en temporadas frías, lo que como resultado un crecimiento de las comunidades de perifiton mayor en los lugares más cálidos (Pertti, 1982).

La luz como factor que controla el crecimiento del perifiton en zonas tropicales solo se ve limitada en las zonas profundas de los lagos, o embalses o por el sombrero en las orillas de los lagos y ríos. Los grupos que más se ven afectados por las variaciones de luz son las clorofíceas, ya que requieren buena cantidad de radiación para su desarrollo, mientras las diatomeas en general parecen no ser afectadas por las variaciones de luz (Roldán, 1992; Steinman, 1992). Al someter las comunidades de perifiton a niveles altos y bajos de intensidad de luz se observa un efecto en su estructura y en sus capacidades funcionales como productores primarios (Bouchez, 2010; Roldán, 1992; Steinman, 1992).

Los fosfatos y los nitratos son factores limitantes para el desarrollo de algunas algas, y por lo tanto para la estructura del perifiton, por lo que las clorofíceas y cianofíceas crecen mejor en zonas cercanas a descargas de aguas residuales, ya que aprovechan la eutroficación del medio (Wang, 2009). Algunos estudios en lagos norteamericanos muestran que cuando se suministran nutrientes limitantes, como nitrógeno y fósforo, algunos taxones de fitoplancton tienen la habilidad de incrementar su contribución relativa a la biomasa total de la comunidad, a expensas de otras especies. Por ejemplo, las cianobacterias se ven favorecidas cuando el nitrógeno soluble es reducido (por su capacidad de usar N atómico), mientras que las diatomeas crecen a altas concentraciones de este nutriente (Piehler, 2004). Además, en comparación con el efecto de la luz, el nitrógeno es el factor principal que limita el crecimiento del perifiton (Mosisch *et al.*, 1999)

Las comunidades de perifiton se desarrollan mejor en pH básicos debido a la solubilidad de los nutrientes; los fosfatos y los nitratos son más solubles en pH básicos al igual que los carbonatos y bicarbonatos (Roldán, 1992). A través de modelos de crecimiento del fitoplancton, se ha establecido que al existir una cantidad alta de CO<sub>2</sub> disponible, la fotosíntesis se estimula, llegando a doblarse la producción al doblarse la concentración de dióxido de carbono (Schippers, 2004).

La corriente tiene la función de renovar los requisitos agotados y eliminar la acumulación de subproductos del metabolismo (Odum, 1956). Se ha demostrado en sistemas lóticos y lénticos, que especies de *Oedogonium* y *Spirogyra* tienen tasas de respiración y absorción de fósforo más altas, cuando se someten a corrientes más fuertes que las aguas tranquilas (Mcintire, 1964). Además del metabolismo, algunas comunidades de perifiton prefieren ciertos sustratos dependiendo de las estructuras adaptativas de adhesión que poseen. Así, las algas que poseen pedúnculos que les permiten adherirse fuertemente a las rocas o troncos, se encuentran en lugares con corriente fuerte, de esta forma el sustrato y la corriente están relacionados, ya que el perifiton se desarrolla mejor sobre sustratos que le ofrezcan estabilidad y donde la acción de las corrientes sea mínima pero suficiente (Roldán, 1992). Por otra parte, en estudios sobre el efecto químico del sustrato, se ponen a prueba diferentes tipos de rocas de características químicas contrastantes y se concluye que no hay efecto de la química de la roca en las comunidades de perifiton (Bergey, 2008).

La comunidad de perifiton permite a su vez evaluar las características químicas del agua en la que se desarrollan y de esta manera se puede concluir sobre la calidad del agua (Antezana *et al.*, 2006). Entre los índices que se han propuesto para valorar la calidad de

agua se encuentra el índice biótico de Palmer, que posee dos derivaciones: una para géneros y otra para especies (Roldán, 1992). En el caso del PNNCG, se usó el índice a nivel de géneros dado el poco conocimiento sobre las especies presentes en el parque. El índice de Palmer retoma el índice propuesto por Pantle y Buck, el cual relaciona el grado saprobiótico que se le asigna a cada especie con la abundancia relativa de los taxones (Calvo, 2003). Este índice de polución orgánica se basa en la presencia de 20 géneros de algas consideradas las más tolerantes a agentes contaminantes, las cuales Palmer derivó de los registros obtenidos en la literatura (Pinilla, 1998). Este índice además, toma en cuenta que un alga registrada como presente debe tener una densidad mayor a 50 organismos  $\text{ml}^{-1}$  (Pinilla, 1998 y Roldán, 1992).

De acuerdo a los valores que tome el índice de Palmer, las aguas se clasifican así: acumulación muy fuerte de materia orgánica (MO) tiene valores de 2.5 a 3.5; acumulación fuerte de MO, va de 2.5 a 3.5; presencia débil de MO va de 1.5 a 2.5, mientras que presencia muy débil de MO va de 1.0 a 1.5 (Calvo, 2003).

Como parte del estudio del PNNCG, este trabajo buscó caracterizar la comunidad de fitoperifiton de diferentes sistemas lóticos y un sistema léntico, y relacionarlos con los factores que controlan el crecimiento de esta comunidad, descritos previamente.

## MÉTODOS Y MATERIALES

Para el estudio del fitoperifiton se recolectaron muestras de diferentes sustratos rocas, hojas y troncos en varios cuerpos de agua del PNNCG. Las colectas se hicieron por medio de diez raspados con cepillos de dientes dentro de un área total de  $86.4 \text{ cm}^2$ , delimitada por marcos de diapositivas de  $3.6 \times 2.4 \text{ cm}$  en cada uno de los puntos visitados: quebradas Chánchiras, La Lindosa y Encantada, quebrada de la Virginidad en la Cueva del Indio y río Suaza dentro de la Cueva de los Guácharos, laguna La Encantada, río Suaza a la altura de la cascada Cristales y río Suaza en el puente camino a La Mensura (Tabla 1). Las muestras se preservaron con solución transeu (cuyas proporciones fueron 6:3:1 de agua, alcohol y formol, respectivamente), en frascos plásticos de 50 ml. La caracterización (identificación y cuantificación) del perifiton se estimó en cámaras de sedimentación, las cuales se dejaron reposar al menos un día; en las cámaras de sedimentación se utilizaron 5ml de muestra diluida 1:1 con solución transeu. El conteo e identificación de los microorganismos se realizó bajo un microscopio invertido. Para la identificación se utilizaron libros como los de Ramirez (2000), Heinz y Streble (1985).

Punto de Muestreo	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Altitud (msnm)
Río Suaza- Cascada Cristales	1.62726838	76.09877595	1645
Río Suaza en el puente camino a la Mensura	1.61859931	76.10261159	1869
Quebrada La Lindosa	1.59152183	76.10918091	2029
Quebrada La Encantada	1.61559214	76.1062195	1836
Laguna La Encantada	1.61559775	76.10626719	1888
Río Suaza dentro de la Cueva de los Guácharos	1.61041455	76.10449811	1850

Quebrada Chánchiras	1.61545367	76.10240766	1934
---------------------	------------	-------------	------

**Tabla 1.** Geoposicionamiento de los sitios de muestreo limnológicos en el PNNCG. Los datos de geoposicionamiento de la quebrada La Virginidad dentro de la Cueva del Indio no fueron tomados.

La ecuación para el cálculo de abundancia de organismos del perifiton por cm<sup>2</sup> fue la siguiente:

$$A = (\#organismos\ observados * 20) / 86.4\ cm^2$$

Los resultados se sometieron a los siguientes estadísticos: Prueba de Shapiro Wilk para determinar la normalidad de las muestras, curvas colector y estimadores no paramétricos Chao1 y Jack1 para determinar el esfuerzo de muestreo. Estos estadísticos se calcularon con el programa EstimatesWin800 8.20 (Colwell, 2006). También se cálculo índices de abundancia, riqueza, dominancia y diversidad (Shanon y Simpson) y se hicieron análisis de similaridad con el índice de Bray-Curtis y de ordenación con el método Non Metrical Multidimensional Scaling (NMDS). Para estos estadísticos de diversidad y análisis multivariados se utilizó el programa PAST 1.74. (Hammer *et al.*, 2007).

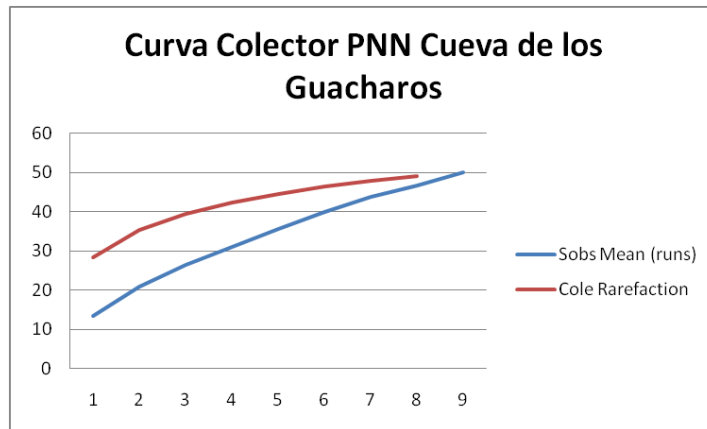
La determinación del índice de Palmer como indicador de calidad de agua, se realizó de acuerdo a la siguiente fórmula:  $S = (\sum h * g * s) / (\sum h * g)$ , donde h es la frecuencia relativa de cada género, g es el valor de polución dado a cada género y s es el valor saprobiótico de cada género encontrado (Calvo, 2003; Pinilla 1998).

## RESULTADOS

El esfuerzo de muestreo según el índice de Chao1 refleja una eficiencia de colecta del 90.37%, lo cual estadísticamente indica que 9.63% de los géneros esperados no fueron muestreados (Tabla 2). El índice Jack1 refleja un porcentaje mayor de géneros no recolectados (32.43%) (Tabla 2). La curva colector (Figura 1) no presenta una asíntota entre los géneros teóricos calculados (Cole Rarefaction) y los géneros encontrados (sob Mean); sin embargo, cualitativamente se observa una tendencia a la formación de la asíntota (que indica un 100% de cobertura del muestreo). Por lo tanto, los estadísticos Chao1 y Jack1 (cuantitativos) y la curva Colector (cualitativo) son consistentes entre ellos.

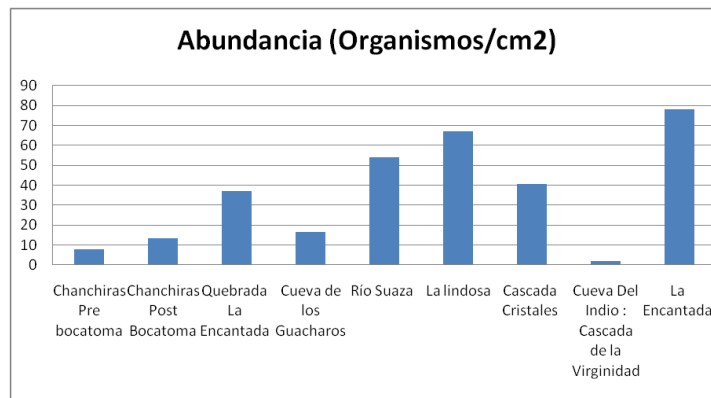
	Géneros Observados (Sob)	50
Estimadores No paramétricos	Chao1	55.33
	% diferencia entre Chao1 y Sob	9.63
	Jack1	74
	% diferencia entre Jack1 y Sob	32.43
Prueba de Shapiro Wilk P(normal)	Géneros entre Sitios de Muestreos	<0.043
	Géneros dentro de los Sitios de Muestreo	<1,387E - 12

**Tabla 2.** Pruebas de Normalidad (Shapiro Wilk) y esfuerzo de colecta para las muestras de perifiton del PNN Cueva de los Guacharos.  $\alpha = 0.05$ ; \*: Distribución normal.

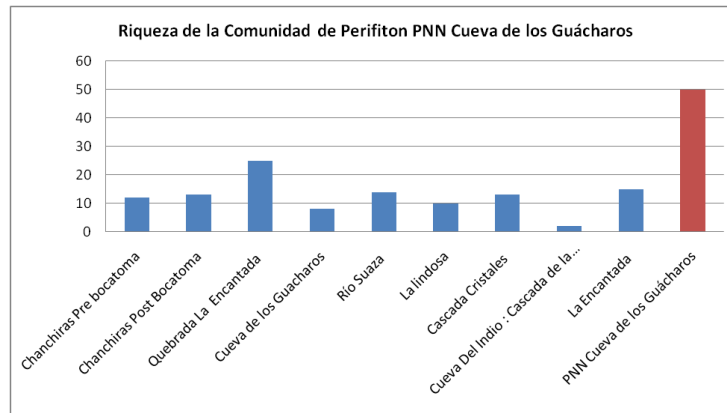


**Figura 1.** Curva Colector de perifiton para los diferentes sitio de muestreo en el PNNCG.

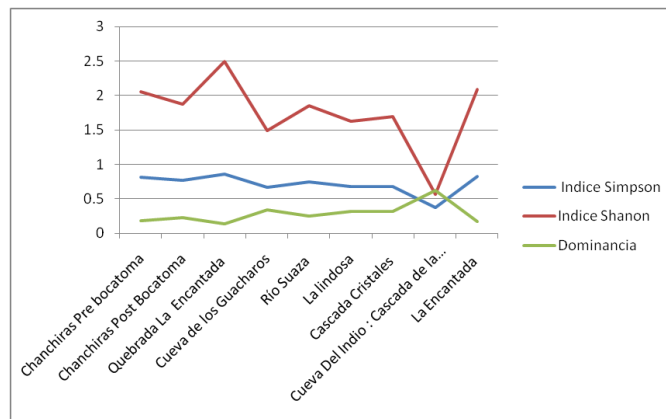
La abundancia de microalgas perifíticas (Figura 2) obtuvo su valor máximo en la quebrada la Encantada, seguida por la quebrada Chánchiras pre-bocatoma y la laguna la Encantada. Por otro lado, la cascada de La Virginidad en la Cueva del Indio obtuvo el valor más bajo de todos los sitios muestreados (0.375 organismos/cm<sup>2</sup>). En general el perifiton del PNNCG presentó una riqueza de 50 géneros. La quebrada La Encantada y la Laguna la Encantada tuvieron una riqueza de 25 y 15 géneros respectivamente, siendo los valores más altos de todos los sitios muestreados, mientras que la cascada de La Virginidad en la Cueva del Indio presentó la menor riqueza (2 géneros) (Figura 3). Los sitios que obtuvieron los índices de diversidad (Shanon y Simpson) más altos, fueron la quebrada y laguna la Encantada, seguido de la quebrada Chánchiras pre-bocatoma, que congruentemente presentaron los menores índices de dominancia (Figura 4). Por otra parte, la cascada de La Virginidad (Cueva del Indio) mostró la máxima dominancia de todos los sitio de colecta y los menores valores de diversidad (Figura 4).



**Figura 2.** Abundancia de organismos por unidad de área para los diferentes sitios de muestreo en el PNNCG.



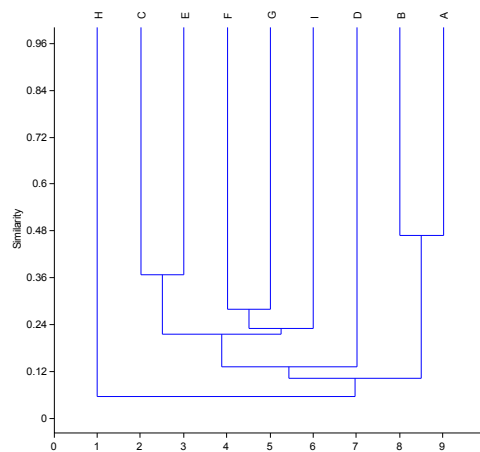
**Figura 3.** Riqueza de géneros en la comunidad de perifiton para los sitios de muestreo en el PNNCG. En rojo la sumatoria de géneros para todo el parque.



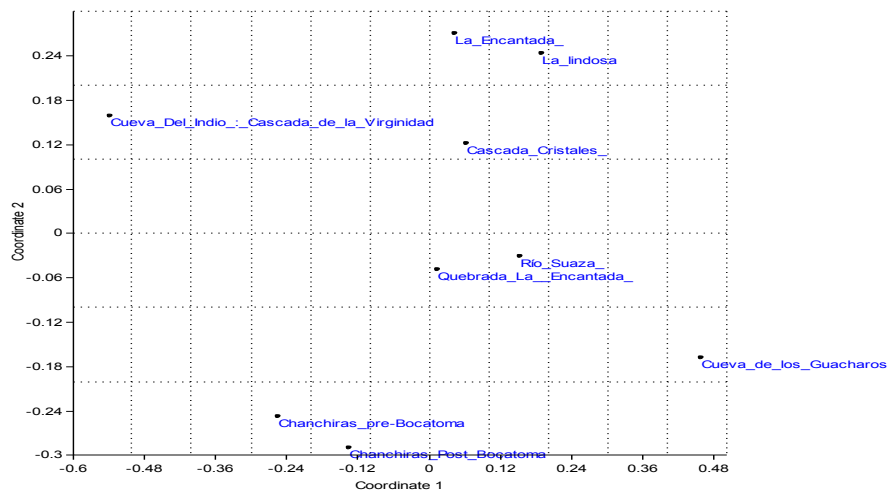
**Figura 4.** Índices de Diversidad (Simpson y Shannon) y Dominancia para la comunidad de perifiton en los distintos sitios de muestreo en el PNNCG. Nótese que la escala para los índices de dominancia y de Simpson va de 0 a 1.

Los sitios de muestreo Chánchiras pre- y post- bocatoma presenta los mayores porcentajes de similaridad entre ellos (~ 48%, Figura 5); el río Suaza en el puente a La Mensura y la quebrada de la Encantada presenta un índice de similaridad de ~0.36. Este grupo a su vez presenta un índice de similaridad de aproximadamente 0.24 con el grupo formado por la quebrada La Lindosa, el río Suaza a la altura de la Cascada Cristales y la laguna la Encantada. Las similitudes en general fueron bajas a muy bajas, como se puede ver en la asociación entre la Cascada de la Virginidad en la Cueva del Indio y todos los demás sitios muestreados, la cual fue menor a 0.10 (Figura 5). El análisis MDS no métrico de Bray-Curtis (Figura 6) es consistente con lo descrito en la Figura 5., ya que se observa un grupo de mayor similaridad entre los sitios de la quebrada Chánchiras (pre- y post-bocatoma), y otro grupo más grande formado por la laguna la Encantada, la quebrada La Lindosa y el río Suaza en la Cascada Cristales. Cerca a este grupo se forma otro conjunto que reúne al río Suaza en el puente a La Mensura y a la quebrada La Encantada. Tanto la Cueva del Indio como la Cueva de los Guácharos están muy separadas, formando cada una un grupo distinto.





**Figura 5.** Análisis de clusters de similaridad Bray-Curtis de los sitios con base en el peifiton. A: Chánchiras pre-bocatoma; B: Chánchiras post-bocatoma; C: Quebrada La Encantada; D: Río Suaza en la Cueva de los Guacharos; E: Rio Suaza en el puente a La Mensura; F: Quebrada La Lindosa; G: Río Suaza en la Cascada Cristales, H: cascada de la Virginidad en la Cueva del Indio; I: Laguna la Encantada



**Figura 6.** Análisis MDS no métrico Bray-Curtis de los sitios de muestreo de la comunidad de perifiton en el PNNCG.

El índice de Palmer para el perifiton del PNNCG mostró que la Cascada de la Virginidad presenta los niveles más bajos de saprobiedad de todos los sitios muestreados. Las quebradas Chánchiras, La Encantada, La Lindosa, la Laguna Encantada y el río Suaza a la altura del puente camino a La Mensura y en la confluencia con la Cascada Cristales presentaron valores dentro del rango de (1-2.16), indicando un contenido de materia orgánica medio, mientras que el río Suaza en la Cueva de los Guácharos presenta el valor más alto registrado en el PNNCG, posiblemente como consecuencia de la materia

orgánica acumulada por las especies de aves y mamíferos establecidos en este sitio, que es lavada por el río.

PUNTO	INDICE DE PALMER
Chanchiras Pre bocatoma	2.16
Chanchiras Post Bocatoma	1.68
Quebrada La Encantada	1.43
Cueva de los Guacharos	3
Río Suaza	1.54
La lindosa	1.2
Cascada Cristales	1.52
Cueva Del Indio : Cascada de la Virginidad	1
La Encantada	1.04

**Tabla 3.** Índices de Palmer de la comunidad de perifiton en los sitios de muestreo del PNNCG.

## DISCUSIÓN

Los estadísticos Chao1, Jack1 y la curva Colector señalan que la eficiencia en el esfuerzo de colecta de muestras fue alta y hubo una buena aproximación entre la cantidad de géneros muestreados y la cantidad de géneros esperados. En todos los sitios de colecta se presentaron riquezas y valores en los índices de diversidad y abundancia consistentes con las diferencias entre las condiciones bióticas y abióticas de cada lugar de muestreo. La riqueza general de taxones fitoperifíticos del PNNCG es de 50 géneros (relativamente alta), donde el género más representativo es la cianobacteria *Oscillatoria* seguido de la diatomea *Synedra*, mientras que otra diatomea (*Scenedesmus*) son los taxones menos representativos (Anexo 1). Así mismo, los grupos que presentaron mayor abundancia en el parque fueron las Crysophytas (diatomeas) y las Clorophytas con 25% de abundancia promedio cada uno (Anexo 2).

El río Suaza se estudió en tres puntos diferentes de su recorrido. El primer punto es la Cueva de los Guacharos, la cual presenta un pH de 7.51, la conductividad es de 137.3  $\mu\text{S/cm}$  y la temperatura de 14.2 °C. Puesto que es una cueva, presenta condiciones limitadas de luz. La riqueza es de sólo ocho géneros (Figura 3). Los índices de diversidad de Shannon y Simpson (Figura 4), así como la abundancia (Figura 2) fueron bajos en este sitio, mientras que la dominancia fue la más alta para los tres puntos del río Suaza. Los géneros más representativos fueron *Eunotia*, *Oscillatoria* y *Aphanothece* (Anexo 1).

El segundo punto estudiado en el río Suaza se localizó debajo del puente cerca al campamento, en el camino a La Mensura. Aquí el pH fue 6.65, la conductividad 152  $\mu\text{S/cm}$  y la temperatura 15.6°. Por otro lado, la riqueza fue de 14 géneros (Figura 3) y la abundancia y los índices de diversidad de Shannon y Simpson (Figuras 2 y 4) fueron los más altos para los tres puntos del río suaza, con una consecuente baja dominancia. Los géneros más representativos fueron: *Oscillatoria*, *Pinnularia* y *Eunotia* (Anexo 1).

El tercer punto del río muestreado corresponde a su confluencia con la Cascada Cristales, donde el pH fue de 7,78, la conductividad de 120.8  $\mu\text{S/cm}$  y la temperatura de 15.2°C. Los índices de diversidad y abundancia (Figuras 2 y 4) están dentro de los valores

obtenidos para el primer y segundo punto, con una alta representatividad de los géneros *Stichococcus*, *Closterium* y *Cymbella* (Anexo 1).

Los valores de similaridad de los análisis Bray-Curtis (Figura 5) y el NMDS (Figura 6) de la comunidad perifítica muestran al río Suaza debajo del puente cerca al campamento, como más similar a la estación del río en la Cascada Cristales. Al parecer, las condiciones abióticas entre los dos lugares son bastante parecidas, por lo que la comunidad perifítica se estructura de manera semejante. Por su parte, las pobres características del perifiton en el río Suaza a su paso por la Cueva de los Guácharos reflejan claramente la carencia de luz y resaltan el papel de este factor en el desarrollo del perifiton (Perez, 1992; Bouchez, 2009). En este lugar todas las otras condiciones ambientales determinantes de la composición y la estructura del perifiton (nutrientes, pH, conductividad, temperatura) fueron similares a las encontradas en las estaciones fuera de la caverna.

Las diferencias significativas en el pH son probablemente la causa de las variaciones en las comunidades perifíticas entre el punto del río Suaza debajo del puente cerca al campamento y el río Suaza en la Cascada Cristales, ya que se ha observado que diferencias de 0.3 unidades en la escala de pH pueden generar efectos diferenciales sobre la comunidad de perifiton (Niederhauser y Schanz, 1994).

Era de esperarse que se presentaran altas similaridades en las comunidades perifíticas de la laguna La Encantada y la quebrada del mismo nombre que nace en esta laguna. A pesar de que la laguna tiene una riqueza de 15 géneros y la quebrada de 25 géneros (Figura 3), sus índices de diversidad de Simpson y Shannon (Figura 4) tienen valores altos (los mayores en comparación con todos los puntos muestreados), lo que es consecuente con una dominancia baja. Los datos de abundancia muestran que los principales géneros fueron *Oscillatoria* para la quebrada La Encantada y *Lepocinclis* para la laguna La Encantada (Anexos 1 y 2). Estas diferencias en composición se reflejan en los análisis de similaridad Bray-Curtis y NMDS (Figura 5 y 6), en los que se observa que la quebrada La Encantada es más similar al río Suaza que a la laguna La Encantada, mientras que el perifiton de esta laguna parece más de la quebrada La Lindosa y al del río Suaza en la Cascada Cristales. Este comportamiento no es el esperado, pero se explica al tener en cuenta que a pesar de que los dos sitios (quebrada La Encantada y laguna La Encantada) presentan un pH similar (en la laguna 7,57 y en la quebrada 7,71), la conductividad de la quebrada (347 $\mu$ S) y la de la laguna (33,3 $\mu$ S) son considerablemente diferentes, lo que provocaría un cambio importante en la composición del fitoperifiton y por tanto mayores disimilitudes entre estas comunidades perifíticas.

Los análisis de similaridad Bray-Curtis y NMDS (Figuras 5 y 6) para los puntos quebrada Chánchiras pre y post bocatoma indican alta similaridad entre sí, lo cual es consecuente con los valores de pH, conductividad y temperatura para los dos puntos (5.2, 5.25; 15.5  $\mu$ S, 17.2  $\mu$ S; 17°C, 16.3°C; respectivamente). En otras palabras las condiciones ambientales importantes para el crecimiento del perifiton (incluida la sombra del bosque) son semejantes en los dos puntos. Además, según Vannote *et al.* (1980) las comunidades río abajo son modeladas según las condiciones y los procesos río arriba; por lo tanto, y teniendo en cuenta que los dos puntos pertenecen a la misma quebrada, que no hay mucha distancia entre ellos y que sus condiciones no varían drásticamente, es entendible que los valores de abundancia para la mayoría de los individuos estén distribuidos en los

mismos grupos (*Pinularia*, *Scenedesmus*, *Synechococcus*, *Epithemia*, *Raphidiopsis*) (Anexos 1 y 2). La diversidad y abundancia (Figuras 2 y 4) en estos puntos son las esperadas, dadas las condiciones adecuadas para el crecimiento de perifiton, ya que no se observa ningún factor de estrés en ellos.

Por último, La Lindosa presenta pH de (3.6) y temperatura de (13,3°C), los cuales son los datos más bajos de todos los sitios muestreados. Estas condiciones podrían considerarse como fuente de estrés ambiental; aún así, los índices de abundancia y riqueza para esta quebrada (Figuras 2 y 3), así como la riqueza de géneros, indican condiciones ideales de crecimiento para las comunidades perifíticas. Esto puede señalar una buena adaptación de la comunidad a dichas condiciones, de manera que los factores de estrés en este sitio pueden ser otros no incluidos en el presente análisis.

Vannote *et al.* (1980), basados en la teoría del equilibrio de la energía de los geomorfólogos fluviales, establecen que las características estructurales y funcionales de las comunidades de un río se adaptan o se ajustan a la posición más probable. Las comunidades biológicas asumen estrategias relacionadas con la pérdida mínima de energía; río abajo las comunidades son modeladas para acumular las deficiencias del proceso río arriba, lo que permite la adaptación al equilibrio entre condiciones físicas y dinámicas del cauce (Donato, 2008).

En el PNNCG la geología regional es la principal responsable del contenido total de sales y de la naturaleza de la carga suspendida. La cantidad de luz regula el aumento y la producción de perifiton lo que condiciona la productividad primaria, y las propiedades físicas como el transporte de sedimentos, la transparencia y la turbidez modelan dicha productividad. Además, los ríos de montaña están influenciados por la precipitación, la cual afecta las variables físicas y químicas, en especial la concentración de nutrientes. En consecuencia, las variaciones en el caudal, asociadas a las variaciones en las lluvias, tienen un papel fundamental en el almacenamiento o exportación de dichos nutrientes aguas abajo (Donato, 2008).

En los sistemas lóticos del PNNCG se presentan condiciones oligotróficas características de los ríos de montaña, como se deduce de las bajas concentraciones de nutrientes registradas (Ver capítulo de caracterización fisicoquímica de los ecosistemas acuáticos). Los pocos nutrientes que se encuentran en estos ambientes acuáticos provienen del lavado de la cuenca y de la descomposición parcial de la materia orgánica. Las especies predominantes en los ríos de montañas de los Andes colombianos generalmente están representadas por diatomeas (Donato, 2008), lo que concuerda con lo encontrado en el PNNCG, donde conforman uno de los grupos más representativos. Las diatomeas tienen una dinámica reproductiva y metabólica muy alta acoplada a las elevadas velocidades de la corriente, a los procesos de nitrificación y desnitrificación y a los cambios de pH en los ríos (Donato, 2008). Sin embargo, para el PNNCG la corriente no es un factor determinante ya que todos los lugares muestreados se caracterizaron por tener una corriente suave. Puede decirse entonces que la diversidad y abundancia de las comunidades perifíticas de la reserva responden principalmente a factores de crecimiento tales como luz, pH, conductividad, temperatura y nutrientes.

El índice de Palmer ubica al río Suaza a su paso por la Cueva de los Guácharos como el punto de mayor contenido de materia orgánica. Las quebradas Chánchiras y La

Encantada, el río Suaza en el puente y el río Suaza en la Cascada Cristales tienen según este índice, contenidos relativamente altos de materia orgánica. Por su parte, la quebrada La Lindosa, la Cascada de La Virginidad en la Cueva del Indio y la laguna Encantada serían lugares que el índice cataloga como de baja presencia de materia orgánica. Este índice tiene en cuenta los géneros que responden a la presencia de nutrientes y de materia orgánica, por lo cual refleja el enriquecimiento con dichos materiales. El valor alto para el río Suaza en la Cueva de los Guácharos muestra claramente el efecto de eutroficación y saptobiedad ocasionado por los desechos orgánicos (excrementos y residuos vegetales) que producen los guácharos (*Steatornis caripensis*) y otras especies de mamíferos y aves. Para los otros sitios con niveles medios a altos de materia orgánica, los aportes de materiales vegetales de la cuenca (con poca o ninguna intervención humana) pueden ser los responsables de estos resultados. En la Cascada de La Virginidad (formada por aguas de infiltración dentro de la Cueva del Indio) hay obviamente menos aportes de materia orgánica. El perifiton de la Laguna Encantada está dominado por *Lepocinclis*, género calificado por Palmer como de aguas claras y limpias.

Con el índice utilizado se puede dar una imagen general del estado de saptobiedad de las aguas del parque. Los resultados señalan que no hay fuentes antrópicas de enriquecimiento que ocasionen cambios anómalos en las abundancias de las especies de perifiton.

#### BIBLIOGRAFIA

Antezana R, Ostoic F, Gonzalez A. 2006. Indicadores Biológicos de Calidad del Agua. Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología. Programa de Maestría en Ingeniería Ambiental.

Bergey E. 2008. Does rock chemistry affect periphyton accrual in streams? *Hydrobiologia*, 614:141–150.

Bouchez A, Montuelle B, Villeneuve A. 2010 Influence of slight differences in environmental conditions (light, hydrodynamics) on the structure and function of periphyton. *Aquat. Sci.* 72:33–44.

Calvo M. 2003. Manual de tratamiento, reciclado, aprovechamiento y gestión de las aguas residuales de las industrias agroalimentarias. Mundi-Prensa Libros, - 465 p.

Colwell RK. 2006 EstimateS 8.0. Department of Ecology & Evolutionary Biology, University of Connecticut, Storrs, CT 06869-3043, USA. <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>.

Donato R. 2008. Ecología de un río de montaña de los Andes colombianos (Río Tota, Boyacá). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, 240 p.

Evison L, James A. 1979. Biological indicators of water Quality. Great Britain, A Wiley-Interscience Publication.

Hammer O, Harper D; Ryan P. 2007. PAST - PAleontological STatistics, ver. 1.73. <http://folk.uio.no/ohammer/past>.

Heinz S, Streble H. 1985. Atlas de los microorganismos de agua dulce: La vida en una gota de agua. Ed. Omega, Barcelona. 377 p.

McIntire D. 1964. Some Effects of Current Velocity on Periphyton Communities in Laboratory Streams. *Hydrobiologia*, Volume 27, Numbers 3-4, pp 559-570.

Mosisch T, Bunn S, Davies P, Marshall C. 1999. Effects of shade and nutrient manipulation on periphyton growth in a subtropical stream. *Aquatic Botany* Volume 64, Issue 2, Pages 167-177.

Niederhauser P, Schanz F. 1994. Comparison of diatom communities in remote high-mountain lakes using index B and cluster analysis. *Hydrobiologia* 274: 115-120.

Odum H. 1956. Primary production in flowing waters. *Limnology and Oceanography* Vol. 1, No. 2, pp. 102-117.

Roldán G. 1992. Fundamentos de limnología Neotropical. Ed. Universidad de Antioquia. Medellín.

Pertti V. 1982. Periphyton growth and diatom community structure in a cooling water pond. *Hydrobiologia* Volume 96, Number 3, Pages 253-265.

Piehl M. 2004. Impacts of inorganic nutrient enrichment on phytoplankton community structure and function in Pamlico Sound. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 61, P.197-209.

Pinilla G. 1998. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia: compilación bibliográfica U. Jorge Tadeo Lozano, 67 páginas.

Ramirez JJ. 2000. Fitoplancton de agua dulce: bases ecológicas, taxonómicas y sanitarias; Medellín; Universidad de Antioquia.

Schippers P. 2004. Increase of atmospheric CO<sub>2</sub> promotes phytoplankton productivity. *Ecology Letters*, Volume 7, Number 6, pp. 446-451.

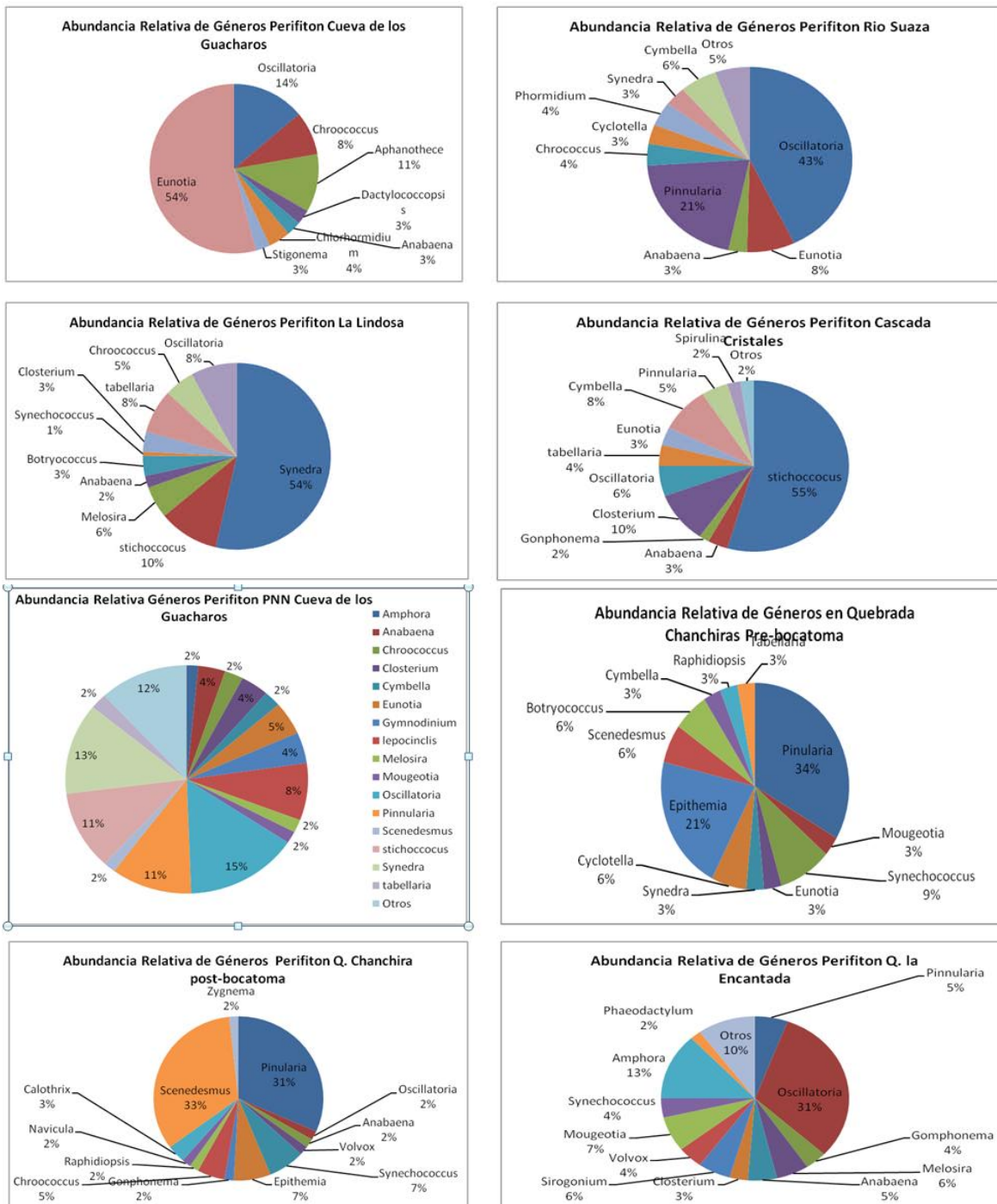
Steinman A. 1992. Does an increase in irradiance influence periphyton in a heavily-grazed woodland stream?. *Oecologia* Vol. 91 : 163-170.

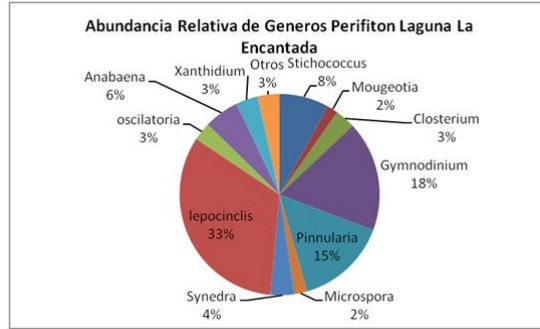
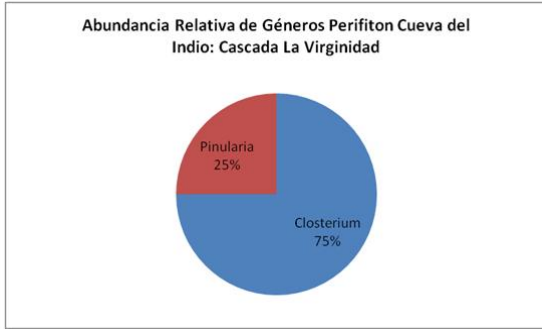
Vannote R, Minshall K, Cummins J, Sedell C. 1980. The river continuum concept. *Can. J.Fish. Aquat. Sci.* 37:130-137.

Wang Z. 2009. Phytoplankton community structure and environmental parameters in aquaculture areas of Daya Bay. *Journal of Environmental Science (China)*, 21(9), Pages1268-1275.

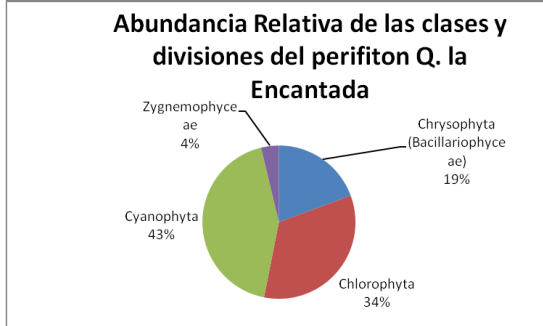
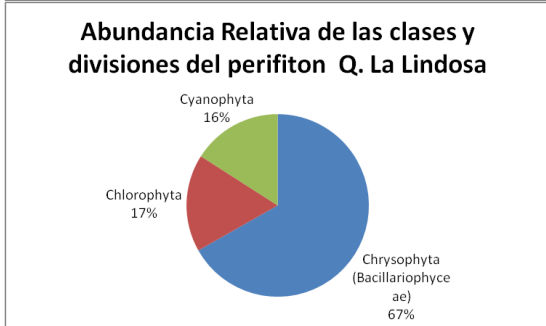
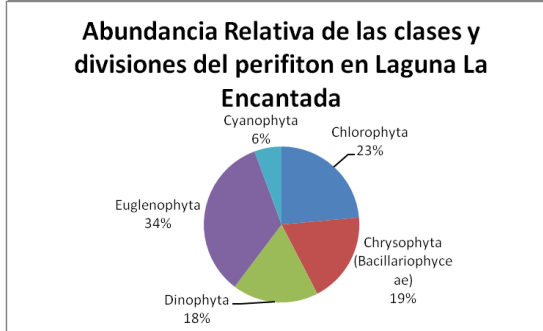
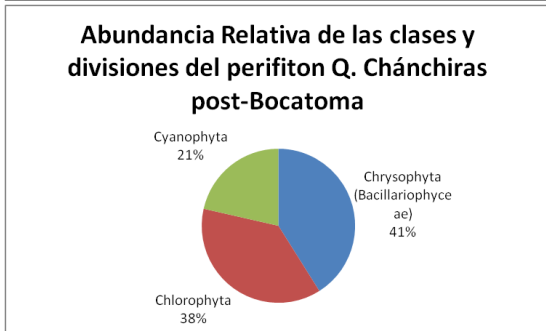
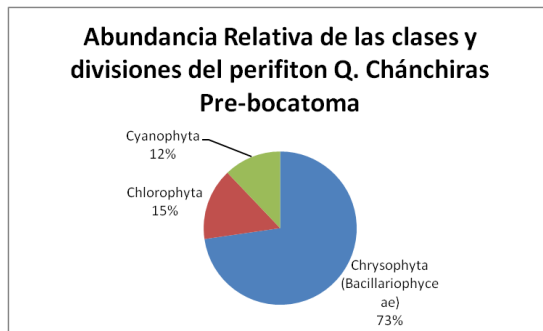
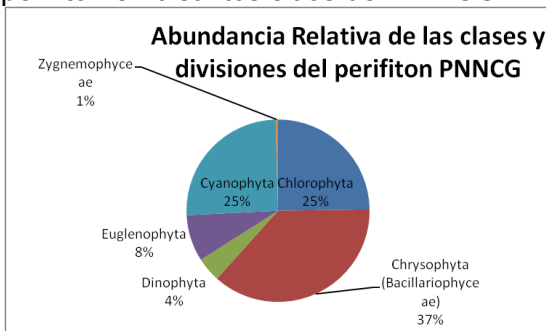
## ANEXOS

**Anexo 1.** Gráficos de abundancia relativa de géneros en el PNNGC y en cada uno de los sitio de colecta dentro del parque.



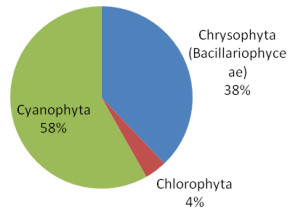


**Anexo 2.** Gráficos de abundancia relativa de las divisiones y clases de la comunidad de perifiton en distintos sitios del PNNCG.

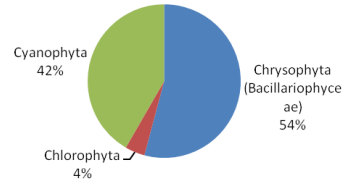




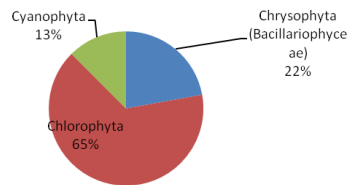
**Abundancia Relativa de las clases y divisiones del perifiton río Suaza**



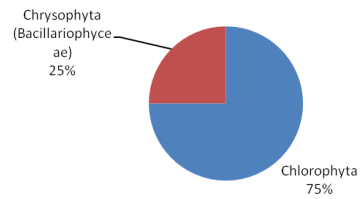
**Abundancia Relativa de las clases y divisiones del perifiton río Suaza Cueva de los Guacharos**



**Abundancia Relativa de las clases y divisiones del perifiton río Suaza Cascada Cristales**



**Abundancia Relativa de las clases y divisiones del perifiton Cueva del Indio: Cascada La Virginidad**



# MACROINVERTEBRADOS DE ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DEL PARQUE NACIONAL NATURAL CUEVA DE LOS GUÁCHAROS

Andrea Guzmán, Angela Rojas, Iván Darío Pinto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología. Estudiante.

## RESUMEN

Las cualidades de los ambientes de aguas continentales varían dependiendo de los lugares en los cuales se ubican y su relación con este entorno, la macrofauna es el mejor de los elementos de estos ecosistemas para evaluar el estado de conservación en el que se encuentra, por los ciclos de desarrollo de la fauna, su tamaño y fácil colecta a bajo costo. Entre las metodologías más comunes se realizan con red Surber, Thieneman, corazonador y captura manual. Se identificó en base a claves de Roldán y Needham & Needham, permitiendo analizar abundancias, índices de diversidad, análisis multivariable y de bioindicación según BMWP/Col (Roldán, 2003). Los Díptera con la mayor abundancia, Ephemeroptera indicadores de aguas corrientes y limpias, Hemiptera en remansos de ríos y aguas lenticas como la quebrada Chanchiras después de la bocatoma y Trichoptera de aguas limpias y oligotróficas como la quebrada Chanchiras antes de la bocatoma, presentan una alta abundancia. La diversidad dada por los índices indica a la quebrada Chanchiras antes de la bocatoma como la más diversa seguida de la cascada Cristales y la laguna Encantada B, no se encuentra una fuerte dominancia de algún taxón en alguno de los sitios y la mayor equitatividad fue dada para el río Suaza en la cueva de los Guacharos. La composición biótica y las condiciones fisicoquímicas similares relaciona lugares como la quebrada Chanchiras antes de la bocatoma y la Lindosa o el río Suaza en la cascada Cristales, la laguna Encantada B y la quebrada Chanchiras después de la bocatoma. Se observa el impacto que ejerce la bocatoma sobre la quebrada Chanchiras. Los puntajes obtenidos de calidad del agua varían mostrando que la Quebrada Chanchiras y Laguna Encantada, tienen los mayores puntajes (buena calidad de agua), le siguen el Río Suaza y la Cristalina (calidad dudosa), la Lindosa (estado crítico) y finalmente, el puntaje más bajo para la Cueva de los Guacharos (estado muy crítico), se debe tener en cuenta que se excluyeron individuos que no pudieron ser identificados hasta el nivel de familia, eliminando parte de la información de macroinvertebrados, se puede observar que las predicciones acerca de la calidad del agua cambian asignando una calidad aceptable. Se recomienda que al aplicar este tipo de métodos, se realice en zonas cuyas familias hayan sido plenamente identificadas hasta el nivel de familia y que se tengan en cuenta variables como el esfuerzo de muestreo, la cantidad de individuos obtenidos y las condiciones fisicoquímicas del lugar.

**Palabras clave:** macroinvertebrados, lótico, léntico, diversidad, Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos.

## ABSTRACT

The qualities of inland water environments vary according of the places where they are located and their relationship with this environment, the macrofauna is the best element of these ecosystems to assess the state of conservation, the cycles of development, size and easy to collect at low cost. Among the most common methodologies are carried out with Surber net, Thieneman net, hearts and manual capture. Were identified based on Roland's keys and Needham & Needham, allowing analysis of abundance, diversity indices, multivariate and bioindication analysis according BMWP / Col (Roldán, 2003). The

Diptera present the greatest abundance, Ephemeroptera indicators of clean flowing water, Hemiptera in backwaters rivers and lentic waters as quebrada Chanchiras after the intake; and Trichoptera clean water and nutrient as Quebrada Chanchiras before the intake, have a high abundance. The diversity indices given by the Quebrada Chanchiras before the intake was indicated as the most diverse followed by the waterfall Cristales and lake Encantada B, there isn't a strong dominance of some taxa in the sites and the higher evenness was given for the river Suaza in the cave of guacharos. The similar composition of biotic and physicochemical conditions create a link between palces like quebrada Chanchiras before the intake and the Lindosa or the river Suaza at the waterfall Cristales, lake Encantada B and quebrada Chanchiras after the intake. It notes the impact of the intake on the quebrada Chanchiras. The scores obtained of water quality change, showing that quebrada Chanchiras and Laguna Encantada have the highest scores ("good" water quality), followed by the rio Suaza and the Cristalina (as "doubtful"), the Lindosa ("critical ") and finally, the lowest score for the Cave of the Guacharos (condition "very critical "), you should keep in mind that we excluded individuals who could not be identified to family level, eliminating some of the information of macroinvertebrate, we can observed that predictions about water quality change by assigning an acceptable quality. It is recommended that the application of such methods, first we must takes place in areas whose families have been fully identified to family level and second we must taking into account variables such as the sampling effort, the number of individuals obtained and the physicochemical conditions of the site.

**Key words:** macroinvertebrates, lotic, lentic, diversity, National Park Natural Cave Guacharos

## INTRODUCCIÓN

El estudio de la biología y ecología de las aguas continentales brinda información acerca de las características fisicoquímicas del agua y del tipo de flora y fauna asociadas. Entre las comunidades que habitan los sistemas acuáticos se encuentran los macroinvertebrados acuáticos, los cuales comprenden una gran parte de la diversidad biológica, siendo a menudo el principal componente animal de los sistemas lóticos y lénticos. Los macroinvertebrados son aquellos organismos observables a simple vista que se clasifican según su hábito de vida en: los que viven en el fondo o dentro del sedimento, bentos; los que nadan activamente dentro del agua, llamados necton; y los que nadan sobre la superficie catalogados como neuston. Dentro de los grupos más representativos están los poríferos, celenterados, platelmintos, nematomorfos, anélidos, moluscos, insectos, crustáceos y arácnidos (Roldán, 1996).

Estos organismos juegan un papel importante en la red trófica de sistemas dulce - acuícolas, controlan la cantidad y distribución de sus presas, constituyen una fuente alimenticia para consumidores terrestres y acuáticos, e igualmente aceleran la descomposición de detritos contribuyendo al reciclaje de nutrientes (Castellanos y Serrato, 2008). La macrofauna de los sistemas acuáticos representa el ejemplo de redes tróficas de más fácil entendimiento para la comunidad científica, dada la escala bajo la cual funciona.

De todas las metodologías para el estudio de sistemas acuáticos, aquellas basadas en el estudio de macroinvertebrados frecuentemente son las más utilizadas. Las razones radican en el tamaño relativamente grande de los organismos, los ciclos de desarrollo largos que permiten evaluar alteraciones ambientales de acuerdo al grado de tolerancia

que poseen determinadas especies a diferentes grados de contaminación, y la facilidad con la cual se pueden colectar mediante equipos de bajo costo (Tercedor, 1996). El conocimiento de la actividad biológica de los organismos macrofaunísticos permite entender la dinámica del sistema en el que habitan. Su taxonomía y distribución, proveen información importante para comprender la ecología y el papel que desempeñan en el medio (Castellanos y Serrato, 2008). De igual forma, su estudio permite entender los procesos antrópicos tanto negativos como positivos que se pueden dar en el ecosistema.

Por lo tanto, con el fin de contribuir al conocimiento de los macroinvertebrados en Colombia, se analiza y compara su diversidad en diferentes cuerpos de agua del Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos (PNNCG). Esto permitirá relacionar las comunidades de macrofauna acuática con el estado de conservación y calidad de las aguas del parque. Se pretende generar además información de línea de base, para posteriores estudios en este sector del país.

## **METODOLOGÍA**

En época de lluvias hacia el segundo semestre del año 2010 en el mes de septiembre se realizó un muestreo de macroinvertebrados en algunos ríos, quebradas y lagunas del PNNCG (Tabla 1).

Los métodos de captura utilizados fueron variados y se seleccionaron según las condiciones del sustrato (pedregoso, lodoso, vegetación, hojarasca), el tipo de ambiente acuático a muestrear (lótico o léntico), y las comunidades a evaluar (bentos, necton o neuston). Dado lo anterior se utilizaron las siguientes metodologías:

Muestreo:

- 1) Red Surber: consta de un marco metálico al cual está sujeta una red de nylon (Roldán 1996). Se ubicó en lugares con corriente y con sustrato rocoso. Se muestrearon las rocas ubicadas dentro de área de la red levantándolas y limpiándolas manualmente, de tal manera que los individuos liberados se recogieron en el interior de la red. Se hicieron en promedio tres repeticiones y el material colectado se preservó con alcohol en bolsas plásticas resellables para su posterior determinación.
- 2) Red Thienneman: Esta red se pasó un determinado número de veces por la vegetación acuática o riparia más cercana al cuerpo de agua, buscando que los individuos presentes quedaran atrapados en la red. El material colectado se conservó con alcohol en bolsas plásticas resellables, para su posterior separación, almacenamiento e identificación.
- 3) Corazonador: en los lugares lodosos o arenosos se extrajo el sedimento bentónico superficial con un tubo de PVC. La muestra se tamizó y el material resultante se conservó con alcohol en bolsas plásticas resellables hasta su posterior limpieza, separación e identificación.
- 4) Captura manual: se tomaron rocas del cuerpo de agua a las cuales se les extrajo de manera directa los individuos adheridos a su superficie. Para cada roca se tomaron medidas de longitud y diámetro. Los organismos se conservaron con alcohol en frascos plásticos hasta su posterior identificación y cuantificación.

**Limpeza e Identificación:**

Para todos los casos los organismos se limpiaron y se conservaron en alcohol al 70%. Los muestreos de un mismo lugar y obtenidos con una misma metodología se conservaron en un mismo frasco. Para la determinación se utilizaron estereoscopio y claves especializadas (Roldán, 1996 y Needham, J & Needham, P, 1978), lo cual permitió clasificar los individuos en morfoespecies y estos a su vez a familias. En anexos (tabla 1), se especifican los tipos de muestreos empleados en cada sitio de colecta.

### **Análisis Numéricos:**

Con los datos obtenidos se calcularon varios índices de diversidad por medio del programa estadístico PAST. Dichos índices fueron:

1. Dominancia de Simpson (D); fluctúa entre 0 y 1 y mide la probabilidad de sacar dos individuos de la misma especie en una muestra de la comunidad; por tanto es una media de la dominancia de los taxones en la muestra.

$$D = \sum ((n_i/n)^2)$$

$N_i$  es el número de individuos para el taxón  $i$

2. Diversidad de Simpson (1-D); al ser la dominancia menos 1 mide la diversidad de la comunidad; fluctúa entre 0 y 1
3. Riqueza de Margalef; medida de la diversidad con valores que oscilan entre 1 y el número máximo de taxones presentes en la comunidad.

$$I = (s-1)/\ln(n)$$

$S$  es el número de taxones y  $n$  el número de individuos.

4. Diversidad de Shannon; es una medida de la entropía u orden en la comunidad (a mayor cantidad de especies y mayor equitatividad, menor entropía); varía entre 0 (total dominancia de una especie) y 5 (máxima cantidad de especies con distribución homogénea de los individuos de la comunidad).

$N$  el número de individuos:  $H = - \sum ((n_i/n)\ln(n_i/n))$

### **Análisis Multivariados:**

Se utilizó el Non-metric Multi Dimensional Scaling (NMDS) como método de ordenamiento de los datos biológicos. Esta técnica permite ubicar los puntos de muestreo y los taxones en dos coordenadas de un gráfico, reduciendo así la variabilidad de la información a dos ejes.

### **Análisis de Bioindicación:**

A través del método BMWP/Col (Roldán, 2003) se evaluó la calidad del agua de los seis lugares muestreados mediante el uso de los macroinvertebrados identificados hasta el nivel de familia. Aquellos macroinvertebrados que no se determinaron a familia se designaron como morfoespecies, y no se tuvieron en cuenta para este análisis.

Se asignaron puntajes de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia que poseen los diferentes de familias a la contaminación orgánica de un cuerpo de agua. Esta asignación de puntajes se realizó con base al trabajo de Roldán (2003), en el cual se estandariza esta metodología para el análisis de la calidad del agua en Colombia. Los resultados del BMWP se interpretaron según la escala mostrada en la tabla 2

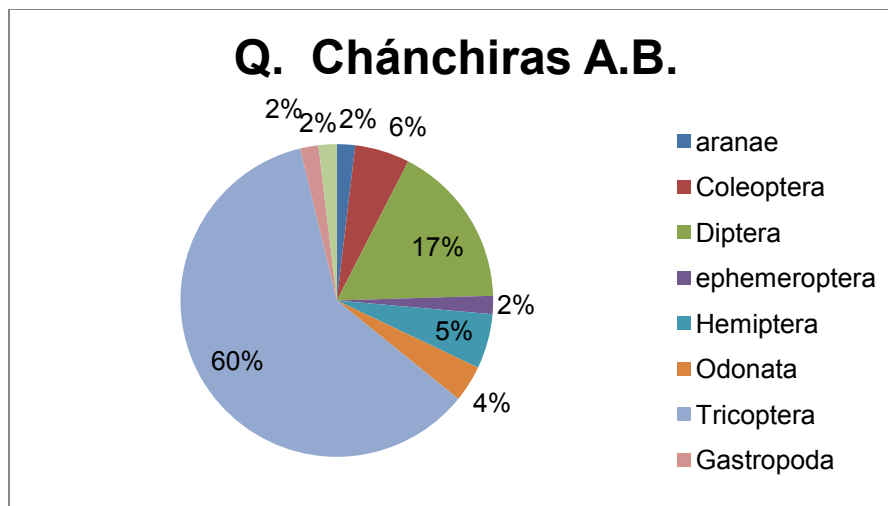
Clase	Calidad	BMWP/Col	Significado	PPT	Color
I	Buena	< 150, 101–120	Aguas muy limpias a limpias	8 -10	Blue
II	Aceptable	61 - 100	Aguas ligeramente contaminadas	6 – 8	Green
III	Dudosa	36 - 60	Aguas moderadamente contaminadas	4 – 6	Yellow
IV	Critica	16 - 35	Aguas muy contaminadas	2 – 4	Orange
V	Muy critica	< 15	Aguas fuertemente contaminadas	0 – 2	Red

**Tabla 2.** Clases de calidad de agua, valores BMWP/Col y PPT (Roldán, 2003)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

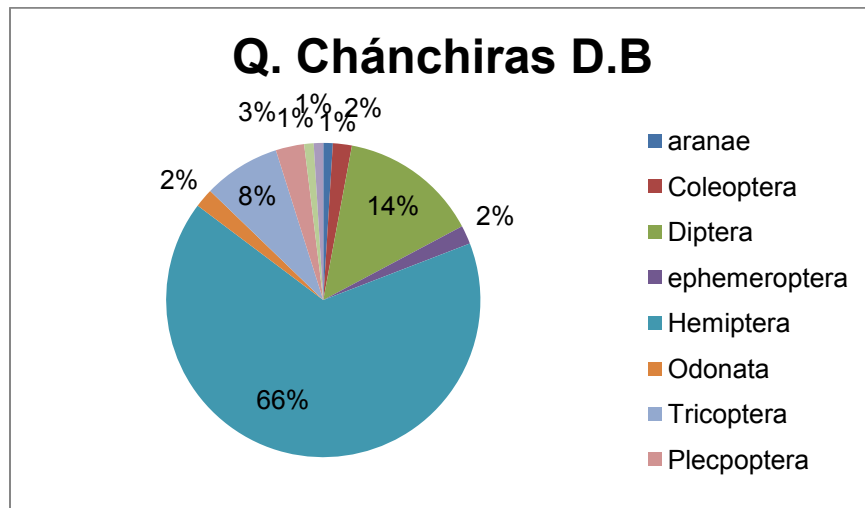
### Composición y Abundancia de la Comunidad de Macroinvertebrados:

Para la Quebrada Chánchiras antes de la bocatoma (A.B) el 66% esta representado por el orden Tricoptera, siendo el es mas abundante para esta zona(Figura 1). Este valor puede estar relacionado con el habito de este tipo de organismos, los cuales viven en aguas quietas, en remansos de ríos y quebradas. (Roldán, 1996)



**Figura 1.** Porcentaje de órdenes presentes en la quebrada Chánchiras Antes de la Bocatoma

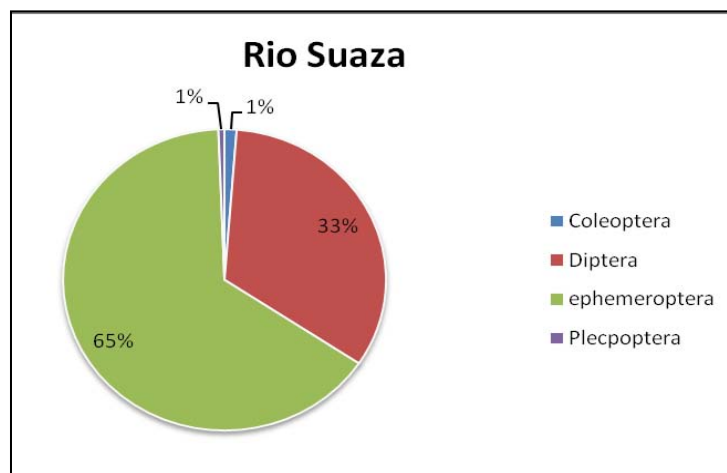
A diferencia de la Quebrada Chánchiras antes de la bocatoma, el orden hemiptera ocupa el primer lugar en abundancia, para la zona despues de la bocatoma (D.B) (Figura 2). Se debe tener en cuenta que los hemipteros viven en remansos de ríos y quebradas, y poco resisten las corrientes rápidas.



**Figura 2.** Porcentaje de órdenes presentes en la quebrada Chánchiras Después de la Bocatoma

Para ambos puntos de muestreo (A.B y D.B) el segundo lugar lo ocupa el orden Diptera con un 17% y 14% respectivamente. El porcentaje de aparición de este orden puede ser un indicativo de algún grado de intervención en la quebrada, sin embargo los organismos pertenecientes a este orden, tienen la plasticidad de ocupar desde los ambientes más limpios hasta los más contaminados.

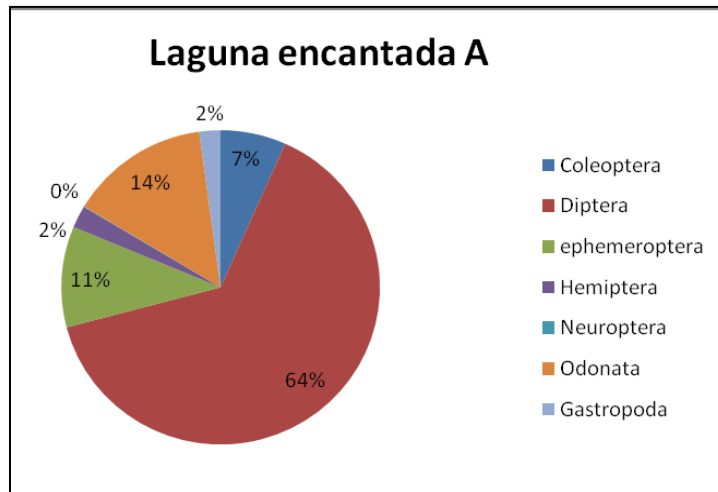
El cambio en los porcentajes de los órdenes entra estas dos zonas puede estar influenciado por el método y duración de muestreo, sin embargo el cambio a una corriente más lenta y la presencia de material como piedras, troncos y material vegetal propician las condiciones adecuadas para el desarrollo de unos organismos más que otros.



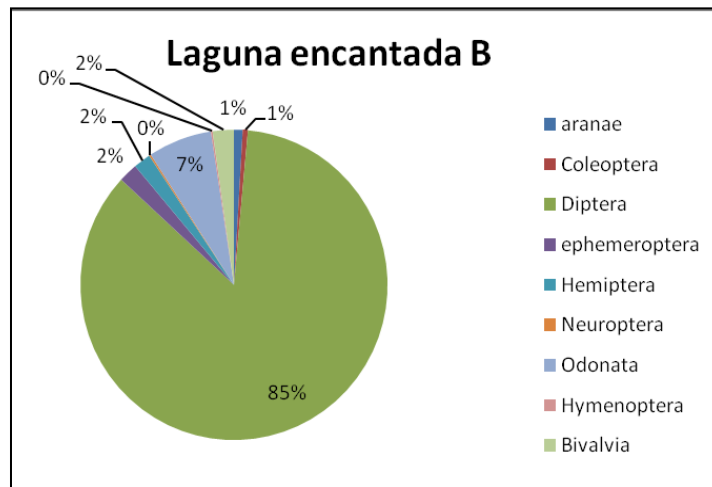
**Figura 3.** Porcentaje de órdenes presentes en el Rio Suaza en el puente a La Mensura. Dadas las condiciones del rio Suaza, un sistema lótico, el orden Ephemeroptera es el más abundante, este tipo de organismos por lo regular habitan aguas corrientes, y la presencia de este tipo de organismos indica una calidad de agua limpia y bien oxigenada (Figura 3).

Se observa que para la Laguna Encantada A y B (figura 4 y 5) el orden mas representativo es Diptera, con un 64% para la toma A y 85 % para la toma B; y que el segundo mas abundante es Odonata para ambas muestras.

Esto es un indicativo de que este tipo de ambiente lenticico es adecuado para el desarrollo y mantenimiento de familias pertenecientes a estos dos ordenes.



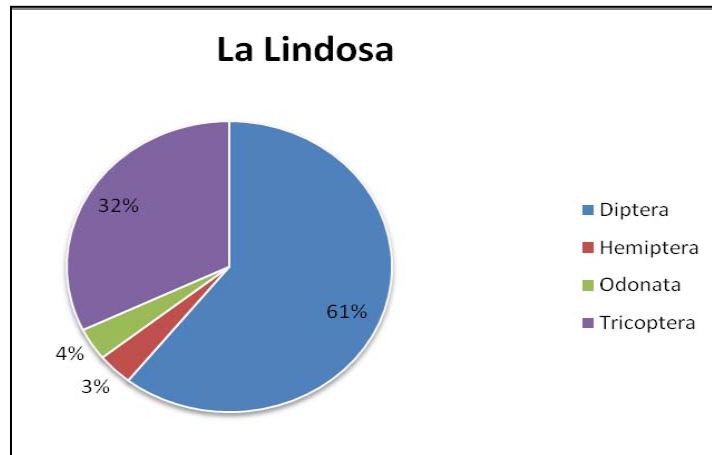
**Figura 4.** Procentaje de de órdenes presentes en la Laguna Encantada A.



**Figura 5.** Procentaje de órdenes presentes en la Laguna Encantada B.

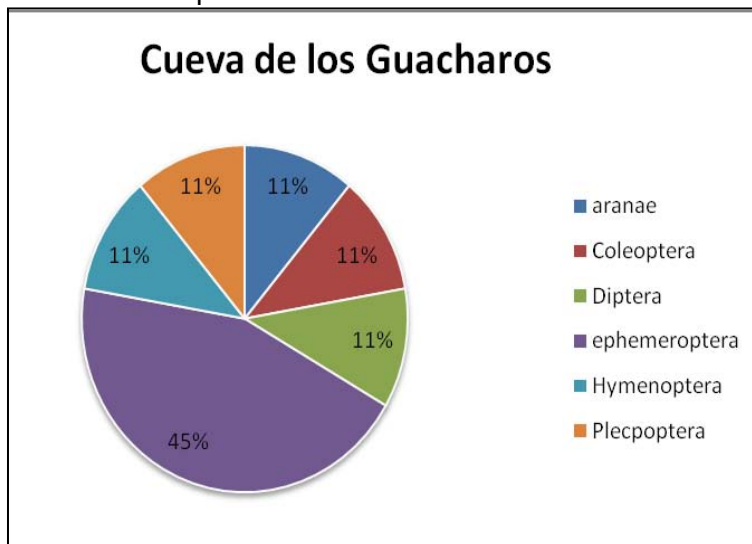
En la Lindosa (figura 6), Diptera y Tricoptera son los ordenes mas abundantes, esto puede indicar que las condiciones del lugar no son propicias para el mantenimiento de Hemipteros y Odonatos, o que hay que incrementar el esfuerzo de muestreo.





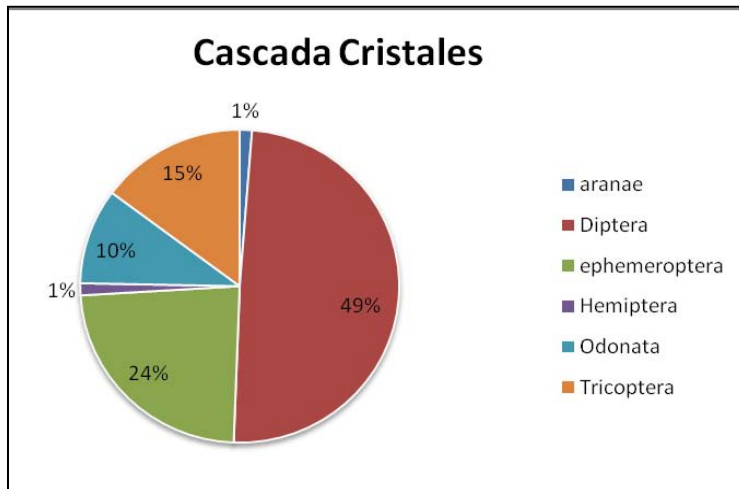
**Figura 6.** Procentaje de órdenes presentes en la quebrada La Lindosa.

A pesar de las condiciones fisico quimicas presentes en la Cueva de los Guacharos de este lugar el orden Ephemeroptera es el mas abundante, a diferencia de los otros cinco ordenes que muestran un compartamiento similar en abundancia de familias (figura 7).

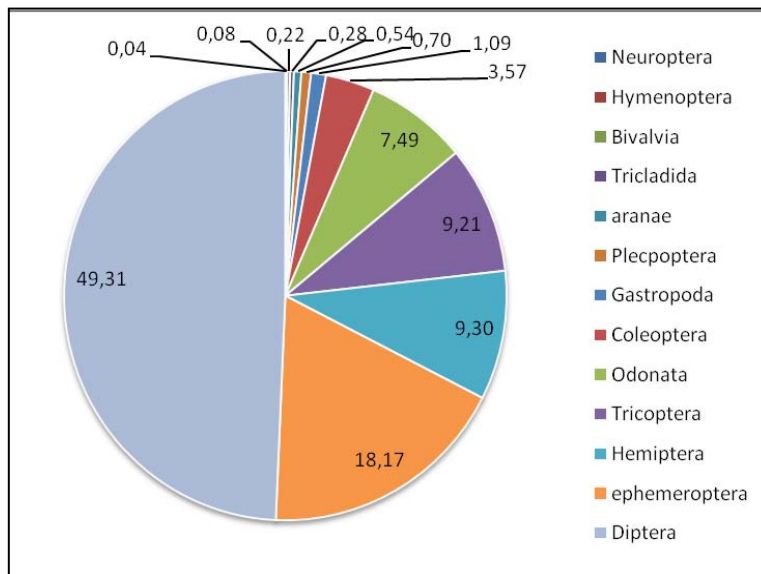


**Figura 7.** Procentaje de órdenes presentes en el río Suaza a su paso por La Cueva de los Guácharos

En el ambiente lotico la la Cascada Cristales (figura 8) los tres ordenes con mayor abundancia son Diptera, Ephemeroptera y Tricoptera, los cuales son caracteristicos de ambientes de corrientes rapidas.



**Figura 9.** Procentaje de órdenes presentes en el río Suaza en su confluencia con la Cascada Cristales



**Figura 10.** Porcentaje total de órdenes obtenidos en los lugares muestreados en el PNN Cueva de los Guacharos (porcentajes calculados con base en las abundancias totales en ind/m<sup>2</sup>).

Entre los órdenes presentes se observa que los que poseen mayor porcentaje en abundancia son Díptera, Ephemeroptera, Hemiptera y Tricoptera (figura 10). El porcentaje de los órdenes identificados indica que Díptera es el más abundante, siendo este valor el resultado de una abundancia alta en cuatro lugares (Laguna Encantada A y B, La Lindosa y Cascada Cristales), de ocho muestreados, teniendo una representatividad en la mitad de los lugares muestreados.

Lo anterior se debe a que el hábitat de los organismos del orden Díptera es muy variado: se encuentran en ríos, arroyos, quebradas, lagos a todas las profundidades. Existen

representantes de aguas muy limpias como la familia Simuliidae o contaminadas como Tipulidae y Chironomidae (Roldán, 1996). La familia Chironomidae tiene una amplia distribución en todos los tipos de hábitats acuáticos y en todo tipo de sustratos. Así mismo su tolerancia a condiciones adversas de calidad de agua también es alta pudiendo estar en aguas con altos contenidos de materia orgánica (Liévano y Ospina, 2007). Teniendo en cuenta que la Laguna Encantada es un sistema léntico y La Lindosa y Cascada cristales son sistemas lóticos se refleja la versatilidad de este grupo, aunque se hubiese esperado que en los últimos dos sistemas se presentara mayor abundancia en otro orden como trichoptera, al ser característicos de sistemas más oligotróficos y lóticos

Los Ephemeroptera el siguiente orden abundante se caracterizan porque viven por lo regular en aguas corrientes, limpias y bien oxigenadas. Se consideran indicadores de buena calidad de agua. Sus ninfas se encuentran normalmente adheridas a rocas, troncos, hojas o vegetación sumergida (Roldan, 1996). Este orden fue más abundante en el Río Suaza en el puente y en la Cueva de los Guacharos, aunque en esta última las condiciones físicas a nivel de luminosidad son bajas, se asume que son suficientes para que este orden se pueda presentar allí.

En tercer lugar los hemípteros viven en remansos de ríos y quebradas; poco resisten las corrientes rápidas. Son frecuentes también en lagos, ciénagas y pantanos (Roldan, 1996). Estos presentaron mayor abundancia en la Q. Chanchiras después de la bocatoma lugar que presentaba las condiciones antes mencionadas probablemente por la intervención antropica que se presenta por estar después de la bocatoma presentando se una disminución en el caudal y en la velocidad del agua.

El último orden con mayor abundancia es el Trichoptera, estos en su mayoría viven en aguas corrientes, limpias y oxigenadas, debajo de piedras, troncos y material vegetal; algunas especies viven en aguas quietas y remansos de ríos y quebradas. En general son buenos indicadores de aguas oligotróficas (Roldan, 1996). Estos fueron más representativos en la Q. Chanchiras antes de la bocatoma (figura 1).

*Riqueza y Diversidad de la Comunidad de Macroinvertebrados:*

INDICES	CHANCHIRAS AB	CHANCHIRAS DB	SUAZA	ENCANTADA A	LINDOSA	SUAZA C. GUACHAROS	C. CRISTALES	ENCANTADA B
Taxa_S	15	16	8	16	7	6	8	24
Riqueza	53	104	13	483	29	10	20	329
Dominance_D	0,282	0,3739	0,253	0,3795	0,2414	0,3201	0,2104	0,3161
Shannon_H	1,985	1,624	1,551	1,551	1,665	1,64	1,747	1,742
Simpson_1-D	0,718	0,6261	0,747	0,6205	0,7586	0,6799	0,7896	0,6839
Margalef	2,676	2,324	1,091	2,089	1,303	1,73	1,238	3,968
Equitability_J	0,7332	0,5857	0,7457	0,5596	0,8558	0,9151	0,8401	0,5482
Berger-Parker	0,492	0,5896	0,3263	0,597	0,29	0,4444	0,2982	0,4833

**Tabla 4.** Índices de diversidad de los sitios muestreados en el PNN Cueva de los Guacharos.

La Laguna Encantada A presenta la mayor riqueza de todos los lugares muestreados. La mayor diversidad de macroinvertebrados aplicando el índice de Shannon que tiene como valor óptimo 2,5 para subsistemas bentónicos se presentó en la Q. Chanchiras antes de la Bocatoma seguido por la Cascada Cristales y la Laguna Encantada B, lo que representa un valor significativo de diversidad en estos lugares, similar al índice de Simpson que presenta una mayor diversidad en la Cascada Cristales, continuando con la Lindosa y la Quebrada Chanchiras antes de la bocatoma. Al aplicar el índice de Margalef La Laguna Encantada B resulta ser más diversa seguida por la Q. Chanchiras antes de la bocatoma, esto se ve representado teniendo en cuenta el número de especies y morfotipos determinados. Ninguno de los lugares muestreados presenta dominancia de algún taxón, los valores más altos los reportaron La laguna Encantada y la Q. Chanchiras después de la bocatoma, pero son valores menores a 0,5, lo cual no da para tomarlo como dominancia. Se presenta una mayor equitatividad para la Cueva de los Guacharos.

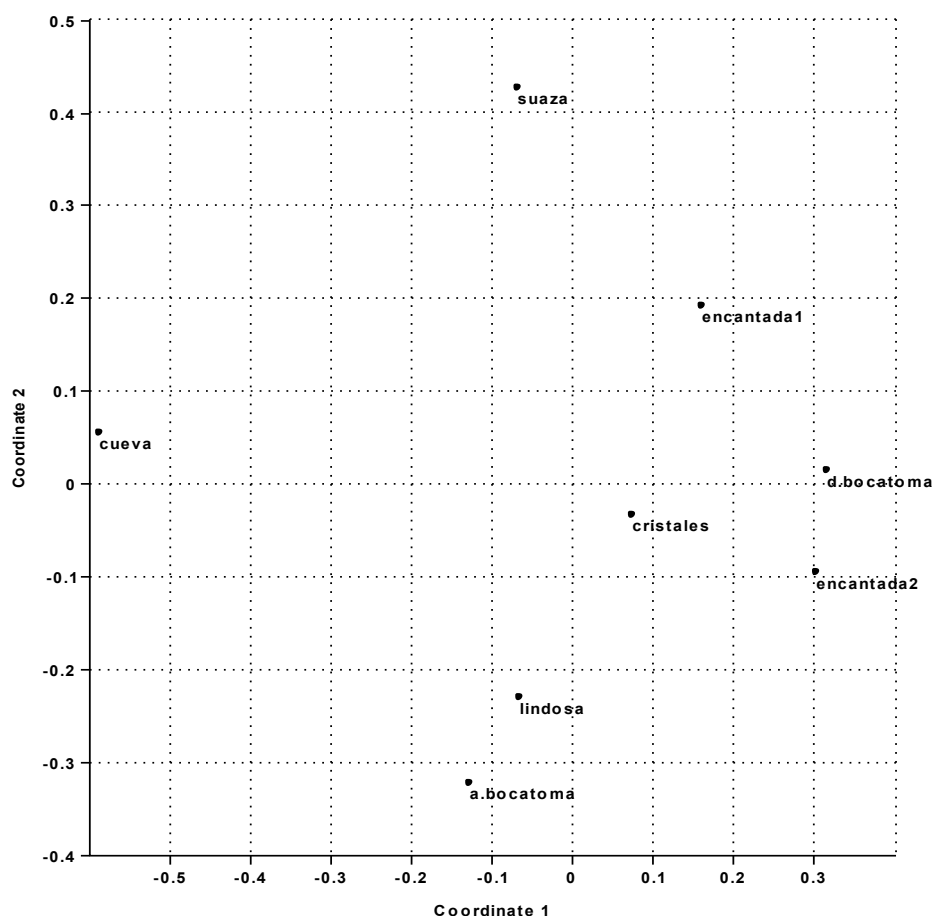
Los estudios sobre medición de la biodiversidad se han centrado en la búsqueda de parámetros para caracterizarla como una propiedad emergente de las comunidades ecológicas. Sin embargo, las comunidades no están aisladas en un entorno neutro. Uno de los aspectos que se tiene en cuenta para el análisis de los resultados de los datos obtenidos en campo es la diversidad alfa, siendo esta la riqueza de especies de una comunidad particular a la que consideramos homogénea. Para este caso se aplicó el índice de diversidad de Margalef el cual presenta un mayor valor para el segundo muestreo realizado en la Laguna Encantada, en comparación a la primera, debido probablemente a los muestreos realizados por cada grupo, aunque se usaron los mismos métodos de muestreo las metodologías usadas fueron diferentes, debido a que el grupo 1 realizó el muestreo con la red Thienneman en 5 sectores diferentes y el grupo 2 hizo 10 barridos con esta misma red cada uno de 1m (tabla 3) reportando un mayor número de taxones, no solo con respecto a estos dos lugares sino en comparación a todos los cuerpos de agua estudiados, el valor reportado para la Laguna Encantada y para la Quebrada Chanchiras está dentro del valor medio de diversidad de Margalef al ser mayor que 2, mientras que el resto de los lugares al presentar un valor menor de dos (tabla 4), se consideran de baja diversidad. Para medir la estructura de las comunidades en términos de la abundancia proporcional de cada especie se aplicaron los modelos matemáticos que describen la relación gráfica entre el valor de importancia de las especies en función de un arreglo secuencial por intervalos de las especies de la más a la menos importante. Para este caso se aplicó como índice de dominancia el Índice de Simpson el cual es mayor para la Laguna Encantada A y La Quebrada Chanchiras después de la bocatoma (tabla 4), aunque estos valores de dominancia son significativos, no son suficientes para referirse a la presencia de un taxón dominante ya que estos valores no superan el valor medio del índice que va de 0-1. Lo que sí permiten determinar es la relación inversa que se presenta entre dominancia y diversidad ya que los lugares que presentaron un mayor valor de dominancia mostraron un valor menor de diversidad, coincidiendo con los resultados obtenidos con el índice de Shannon, pero no del todo con el de Margalef ya que este índice como se mencionó anteriormente reporta la Laguna Encantada B como lugar de mayor diversidad, además de la relación que se presenta entre dominancia y diversidad, la equitatividad también desempeña un papel importante en el estudio y en esta correlación ya que una menor dominancia también representa una mayor equitatividad, aunque el mayor valor de equitatividad lo reportó la Cueva de los Guacharos, ya que a pesar de presentar un pequeño número de individuos estos estaban distribuidos de manera equitativa en un valor representativo de taxones, se dice

representativo no con respecto a los de más lugares sino con el número de individuos totales del lugar (tabla 4). De manera adicional a la dominancia el índice de Berger-Parker es una relación entre el número de individuos más abundante y el número de individuos en incremento, traduciéndose como la disminución en la equidad y un aumento en la dominancia, de acuerdo a esto se reporta la misma relación que en la dominancia de Simpson siendo mayor el índice para la Q. Chanchiras después de la bocatoma, seguido por la laguna Encantada A.

El hecho de presentar una mayor diversidad en la Q. Chanchiras antes de la bocatoma y en la Laguna Encantada B puede deberse a las buenas condiciones que presentan estos dos lugares, a nivel químico y de sustrato proveniente de la materia orgánica suministrada por la vegetación ribereña y las macrofitas para cada caso.

### Ordenación y Clasificación de la Comunidad de Macroinvertebrados:

Al realizarse las pruebas estadísticas de Non-metric multidimensional scaling (figura 11).



**Figura 11.** Análisis NMDS entre los sitios muestrados en relación con las abundancias de macroinvertebrados del PNNCG

Se obtuvieron resultados en los cuales se agrupan los lugares similares de acuerdo a la composición de las especies ordenando en una escala de mas similares a menos similares se encuentra un agrupamiento de los puntos de muestreo correspondientes a un primer grupo(I) la quebrada Chánchiras antes de la bocatoma y la Lindosa un segundo grupo se conforma por (II) el río Suaza en la cascada Cristales, la laguna Encantada B y la quebrada Chanchiras después de la bocatoma. Los sitios restantes se encuentran fuera de estos rangos (III) agrupando al río Suaza en el puente, el río Suaza en la cueva de los guacharos y la laguna Encantada.

El río Suaza en el puente y en la cueva de los guacharos no muestran relación con ningún grupo siendo los mas disimilares con respecto a los de más lugares muestreados.

La agrupación de los sitios de acuerdo a la abundancia de los diferentes taxones de macroinvertebrados se debe a una clara relación entre los componentes físico-químicos de las aguas y los organismos que las habitan. De esta manera, la ordenación permite detectar los grupos que tienen una composición biótica similar y que por tanto pueden tener condiciones fisicoquímicas (conductividad, temperatura y oxígeno disuelto) parecidas, al igual que profundidad y caudal semejantes.

Los sitios con condiciones más óptimas o intermedias, que permiten la alta abundancia de especies de macroinvertebrados, son los que conforman el grupo (I) y parte del grupo (II). Estos incluyen sistemas lénticos o semi-lénticos (Laguna Encantada B), con predominio de grupos como Díptera, Odonata y Gastropoda.

Se observa el impacto que ejerce la bocatoma sobre la quebrada Chánchiras, ya que al modificarse algunas de sus variables físico-químicas e hidrológicas, la composición biótica se modifica y esto provoca que dicha estación se separe del muestreo antes de la bocatoma agrupándose con lugares que poseen variables más difíciles. No obstante hay que considerar, como se menciona anteriormente, que las variaciones en las técnicas de muestreo pudieron influir en los resultados, por lo cual se debe tener cuidado al dar conclusiones.

La composición de macroinvertebrados en las dos estaciones del río Suaza que forman el grupo (III) es diferente en cada sitio. Esto muestra que las condiciones fisicoquímicas e hidrológicas son totalmente diferentes en cada lugar, lo que provoca cambios evidentes en las comunidades bentónicas. Solo se forma un grupo con cierta similitud en su composición biótica, constituido por la quebrada Chánchiras antes de la bocatoma, el río Suaza en la Cascada Cristales y la quebrada La Lindosa. Como ya se ha señalado atrás, estos son los sitios de mejores condiciones para el desarrollo de las comunidades de invertebrados bentónicos del PNNCG.

pero como se ha mencionado antes la diferencia entre sitios no es considerablemente marca .

#### **Bioindicación de la calidad del agua BMWP/Col:**

Con el fin de evaluar la calidad de agua de cada lugar se aplico el método BMWP/Col y PPT, para los seis sitios muestreados (tabla 5)

Familia	Puntaje	Total	BMWP/Col	Calidad	PPT
<b>Quebrada Chanchiras</b>					
Chironomidae	2	2	107	Buena	7,13

Noteridae	4	4					
Planorbidae	5	5					
Libellulidae	6	6					
Heteroceridae	7	21					
Hydroptilidae	7						
Planariidae	7						
Simullidae	8	40					
Vellidae	8						
Gerridae	8						
Saldidae	8						
Leptoceridae	8						
Leptophlebiidae	9	9					
Heptageniidae	10	20					
Perlidae	10						
<b>Laguna Encantada</b>							
Chironomidae	2	2					
Ceratopogonidae	3	3					
Dolichopodidae	4	16					
Empididae	4						
Notonectidae	4						
Stratiomyidae	4						
Planorbidae	5	10					
Tabanidae	5						
Corydalidae	6	24					
Elmidae	6						
Libellulidae	6						
Mycetopodidae	6						
Baetidae	7	35					
Coenagrionidae	7						
Dixidae	7						
Ephemerellidae	7						
Psychodidae	7						
Orthocladinae	8	16					
Simullidae	8						
Leptophlebiidae	9	9					
Oligoreuriidae	10	20					
Psephenidae	10						
<b>Rio Suaza</b>							
Chironomidae	2	2	50	Dudosa	7,14		
Noteridae	4	4					
Ephemerellidae	7	7					
Orthocladinae	8	8					

Leptophlebiidae	9	9			
Oligoreuriidae	10	20			
Perlidae	10				
<b>Cascada Cristales</b>					
Chironomidae	2	2	41	Dudosa	6,8
Coenagrionidae	7	14			
Hydropsychidae	7				
Simuliidae	8	16			
Leptoceridae	8				
Leptophlebiidae	9	9			
<b>La Lindosa</b>					
Chironomidae	2	2	31	Critica	7,75
Libellulidae	6	6			
Hydroptilidae	7	7			
Simuliidae	8	16			
<b>Cueva de los Guacharos</b>					
Noteridae	2	2	12	Muy Critica	6
Perlidae	10	10			

**Tabla 5.** Bioindicación de calidad del agua mediante el uso de BMWP y PPT

A partir de los puntajes obtenidos para cada lugar, la calidad del agua esta variando en los seis sitios muestreados. La Quebrada Chanchiras y Laguna Encantada, tienen los mayores puntajes y por ende poseen una –buena” calidad de agua. En orden le siguen el Rio Suaza y la Cristalina con una calidad –dudosa”, la Lindosa con un estado –Critico” y finalmente, el puntaje mas bajo para la Cueva de los Guacharos refleja un estado –muy critico” del agua.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que para utilizar el método BMWP se excluyeron aquellos individuos que no pudieron ser identificados hasta el nivel de familia, eliminando parte de la información de maroinvertebrados presentes; esto ocasiona que el estado de la calidad de agua asignado para La Lindosa, Cueva de los Guacharos, Rio Suaza y Cascada Cristales, sea mas bajo que para La Quebrada Chanchiras y la Laguna Encantada. A parte de esto, el número de individuos y las condiciones fisico químicas de cada lugar es diferente, factores que influyen en esta evaluación ecológica; por ejemplo, para la Cueva de los Guacharos, el método indica que la calidad del agua esta en un estado –muy critico”, sin embargo, el número de individuos obtenidos para este sitio fue menor a todos los demas y las condiciones ambientales características de este lugar estan influyendo en la predicción de la calidad del agua.

Al complementar el puntaje BMWP con el Puntaje Promedio por Taxón (PPT), se puede observar que las predicciones acerca de la calidad del agua cambian para todos los lugares, asignando una calidad aceptable, ya que todos los puntajes están dentro del rango 6 – 8, lo que significa que son cuerpos de agua ligeramente contaminados.

Según los datos obtenidos se recomienda que al aplicar este tipo de métodos, se realice en zonas cuyas familias hayan sido plenamente identificadas hasta el nivel de familia y que al realizar conclusiones acerca de la calidad de determiando cuerpo de agua se



tengan en cuenta variables como el esfuerzo de muestreo, la cantidad de individuos obtenidos y las condiciones fisicoquímicas del lugar.

## CONCLUSIONES

La Laguna Encantada y la Quebrada Chanchiras presentan una mayor diversidad, siendo muy cercana al valor óptimo esperado en el Índice de Shannon, esto se puede relacionar con la importancia de la vegetación riparia al liberar MO en el cuerpo de agua que representa un sustrato y alimento para los macroinvertebrados.

El esfuerzo de muestro no fue suficiente para lograr caracterizar toda la macrofauna de invertebrados acuáticos en el PNNCG, ya que se hubiesen podido usar otros métodos de muestreo.

La dificultad en la identificación de las familias de macroinvertebrados afecta de manera directa los índices de diversidad, y la bioindicación de los sitios muestreados

Se plantea comparar el estudio realizado con otros hechos en regiones circundantes y alturas similares.

## BIBLIOGRAFIA

Castellanos, P. M. & C. Serrat. 2008. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en un nacimiento de río en el Páramo de Santurbán, Norte de Santander. Rev. Académica Colombiana de Ciencias. 32(122): 79-86. ISSN 0370-3908.

Lieváno, A & Ospina, R. 2007. Guía ilustrada de los macroinvertebrados acuáticos del río Bahamón. Primera edición. Universidad el Bosque e Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá D.C., Colombia. 130 p.

[Roldán, G. 1996. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Fondo FEN Colombia. COLCIENCIAS. Universidad de Antioquia. Medellín.](#)

[Roldán, G. 2003. Bioindicación de la Calidad del Agua en Colombia. Uso del Método BMWP/Col. Ed Universidad de Antioquia. 170 pp. Medellín, Colombia.](#)

Tercedor, A. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. Departamento de Biología Animal y Ecología. Universidad de Granada. IV Simposio del agua en Andalucía (SIAGA), Almería, vol II.

## ANEXOS

Lugar	Quebrada Chanchiras		Rio Suaza	Laguna Encantada A	La Lindosa	Cueva de los Guacharos	Cascada Cristales	Laguna Encantada B
	Antes de la bocatoma	Despues de la bocatoma						
Fecha	06/09/2010	06/09/2010	07/09/2010	08/09/2010	10/09/2010	11/09/2010	12/09/2010	13/09/2010
localización: latitud	1,61545367	1,61545367	1,61859931	1,61559775	1,59152183	1,61041455	1,62726838	1,61559214
Longitud	-	-	-	-	-	-	-76,098776	-
Altitud	76,10240766	76,10240766	76,1026116	76,1062672	76,10918091	76,10449811	1645	76,1062195
	1934	1934	1869	1888	2029	1850		1836

**Tabla 1.** Datos geográficos de cada sitio de muestreo

LUGAR DE MUESTREO		RED SURBER	RED THIENEMAN	CORAZONADOR	MANUAL	OBSERVACIÓN
QUEBRADA CHANCHIRAS	ANTES DE LA BOCATOMA	3 SECTORES				
	DESPUES DE LA BOCATOMA	1 SECTOR	2 SECTORES*		1 SECTOR*	
RIO SUAZA - PUENTE		3 SECTORES		5 SECTORES		
LAGUNA ENCANTADA	GRUPO A		5 SECTORES	3 SECTORES		
	GRUPO B		10 BARRIDOS DE 1m	2 SECTORES*		
CUEVA DEL INDIO	QUEBRADA LA VIRGINIDAD					X
QUEBRADA LA LINDOSA		3 SECTORES				
RÍO SUAZA-CUEVA DE LOS GUACHAROS	RIO SUAZA	5 SECTORES				
RÍO SUAZA-CASCADA CRISTALES	RIO SUAZA	3 SECTORES		3 SECTORES*		
		* 5 MUESTRAS				

**Tabla 3.** Muestreos realizados en cada sitio muestreado en el PNN Cueva de los Guacharos.

### 3. ESTUDIO DE ESTRUCTURA Y ARQUITECTURA DE UN BOSQUE SUBANDINO UBICADO EN EL PARQUE NACIONAL NATURAL CUEVA DE LOS GUACHAROS (ACEVEDO, HUILA)

Natalia Elizabeth Moreno Buitrago<sup>1</sup>, María Isabel Gutiérrez Guataquira<sup>1</sup>, Adriana Amado Holguín<sup>1</sup>, Juan Camilo Bueno Castellanos<sup>1</sup>, Camilo Ernesto Álvarez Correa<sup>1</sup>, Angela Tibusay Mayorga Bermudez<sup>1</sup>, Sandra Patricia Reinales Ladino<sup>1</sup>, Javier Enrique García Villalba<sup>1</sup>, Maria Fernanda Patiño Guío<sup>1</sup>, Ana María Martínez Vergara<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología. Estudiante.

#### RESUMEN

La composición florística y la estructura de un bosque subandino fueron estudiadas en el Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos; dos parcelas fueron establecidas, una de 25 X 40 m y la segunda de 25 X 20 m, se realizaron mediciones del DAP, altura del fuste y altura total, cobertura de la copa, se estimó el porcentaje de epifitismo y se identificaron todos los árboles con un DAP superior a 5cm, adicionalmente se escogió un cuadrante al azar para realizar un sub-cuadrante de 5 X 5 m en el cual se realizaron mediciones de DAP y la identificación de cada uno de los arbolitos y se determinó la abundancia de plántulas y hiervas. Se determinó la densidad y abundancia relativa de individuos (árboles y arbolitos), el área basal relativa y la frecuencia relativa, se halló el coeficiente de similitud, índice de valor de importancia (IVI) y el índice de Morisita para determinar el patrón de distribución. Se determinaron los conjuntos estructurales para las dos parcelas. El índice de Jaccard y el de Sorensen cualitativo muestran que los morfotipos compartidos son muy pocos entre los dos sitios de estudio. Se encontró que árboles arbolitos y arbustos tienen un patrón de distribución agregado. Ocho clases diamétricas fueron identificadas, estas presentan una distribución en forma de J invertida. El modelo que mejor se ajusta para las variables analizadas en el conjunto del presente es Altura del Tronco vs Área de la Copa mientras que para el del futuro el que mejor se ajusta es DAP vs Área de la Copa, además que no existe correlación entre el DAP y la altura total en el bosque y todos los árboles muestreados crecen siguiendo una relación alométrica. Las familias dominantes en el estrato arbóreo fueron la Euforbiaceae y Lauraceae, a su vez estas presentaron los valores más altos de V.I.F; una de las especies dominantes es el *C. excelsa* la familia a la que pertenece ésta especie, Fagaceae, con solo dos individuos, presenta un alto V.I.F. Los árboles del conjunto del presente incrementan el diámetro mayor y el diámetro menor de la copa en relación a la altura total y el área de la copa en relación a la altura del tronco, Los arboles emergentes, se ajustan a modelos donde se establecen márgenes de seguridad. Encontramos un alto porcentaje de epifitismo que evidencia una alta humedad atmosférica y claramente un reservorio natural importante de agua, por lo tanto, el uso de estos resultados como línea base serán de gran ayuda para comenzar un monitoreo a largo plazo de la estructura y composición de este ecosistema reducido y fragmentado.

**Palabras clave:** Estructura, Composición, Arquitectura, Análisis dimensional, Bosque subandino, Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos

## ABSTRACT

The floristic composition and structure of a sub-Andean forest were studied in the National Natural Park –*Cueva de los Guacharos*”. Two plots were established, one of 25 X 40 m and the second of 25 X 20 m, where the DAP was measured as well as the total tree height, the treetop coverage and the epiphytes percentage was estimated and the trees with a DAP greater than 5cm were identified. In addition a quadrant was chosen randomly for a sub-quadrant of 5 x 5 m in which the DAP was measured and the identification of each of the saplings and the abundance of seedlings and herbs were determined.

We determined the density and relative abundance of individuals (trees and saplings), relative basal area and relative frequency, we found the coefficient of similarity, the importance value index (IVI) and the Morisita index to determine the distribution pattern.

We determined the structural components for the two plots. The Jaccard and qualitative Sorensen indexes shown that the shared morphotypes are very few between the two study sites. It was found that saplings and shrubs have a aggregate distribution pattern. Eight size classes were identified; these have a reversed J-shaped distribution. The model that best fits the variables analyzed is Trunk Height vs Treetop Area for the present component, while for the future the model that fits the best is DAP vs Treetop Area, besides there is no correlation between DAP and total height in the forest and all sampled trees grow according to an allometric relationship.

The dominant families in the tree stratum were Euforbiaceae and Lauraceae and these showed the highest VIF values; one of the dominant species is the *C. excels*, the family of which this species belongs to, Fagaceae, with only two individuals, has a high VIF.

The trees of the present increase the higher diameter and the smaller diameter of the treetop in relation to the total height, and the treetop area in relation to the trunk height. Emergent trees are consistent with models where security margins are established. We found a high percentage of epiphytes that show a high humidity and, clearly, an important natural reservoir of water, therefore, the use of these results as a baseline will be helpful to begin a long-term monitoring of the structure and composition of this reduced and fragmented the ecosystem.

**Key words:** Structure, Composition, Architecture, Dimensional analysis, Sub-Andean forest, Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos

## INTRODUCCIÓN

Los bosques andinos han sido reconocidos como centros principales de diversidad y especiación mundial, debido a que en los últimos años se ha estudiado intensivamente su flora y fauna (Churchill et al. 1995, Brown & Kappelle 2001, Hamilton 2001, Kappelle & Brown, 2001). Sin embargo, las fuertes presiones antrópicas continúan, principalmente por la ampliación de la frontera agrícola, solo en Colombia se estima que queda menos del 10% de los bosques andinos originales (Henderson et al. 1991).

Estos bosques son de gran importancia debido a que su ciclo hidrológico a diferencia del que exponen los bosques de tierras bajas, presenta niebla que realiza un aporte adicional de agua al sistema (González, 2000), y que además se constituye en un filtro que reduce la radiación solar incidente, aumentando así la humedad relativa. Estas condiciones atmosféricas normalmente conducen a bajas tasas de evapotranspiración, debido a que la vegetación se encuentra permanentemente humedecida. La alta pluviosidad -en algunos casos-, las pendientes desde fuertes hasta escarpadas, la presencia de suelos orgánicos de gran espesor (especialmente en los bosques altoandinos) y el gran epifitismo, actúan como esponjas reteniendo el agua. Junto a las áreas de páramo, estos bosques se constituyen como los principales reservorios de agua en el país; además, si consideramos que la desaparición de estos bosques reduciría la precipitación oculta, que se incrementa por características de la vegetación (como la altura del dosel, su estructura y la de sotobosque, entre otras) que proporcionan mayor área de intercepción, lógicamente la precipitación neta se vería reducida.

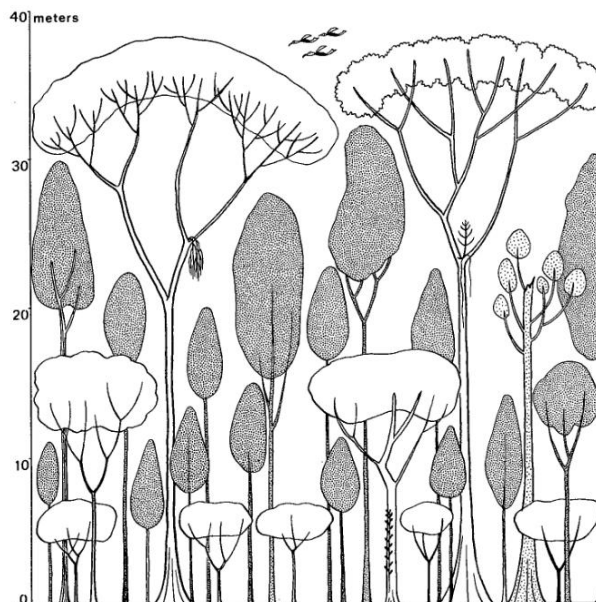
La zona estudiada corresponde según la clasificación de vegetación de Cuatrecasas (1958) a selva sub andina, o según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1987) a bosque muy húmedo premontano.

En los bosques andinos y sub andinos se encuentran los robledales, que se caracterizan por la dominancia de alguna o algunas especies de la familia de los robles (Fagaceae), ya sea por sus alta área basal, su abundancia, o sus características alelopáticas (Souto et al, 1993) haciendo parte así de bosques heterogéneos, en los que es una especie poco abundante pero dominante, o bosques homogéneos o monoespecíficos, en los que es dominante y abundante. Entre las fabáceas, las especies más dominantes son *Quercus humboldtii* y *Colombobalanus excelsa*, el primero de ellos se ha observado en mayor abundancia en las laderas secas, especialmente en la ladera occidental de la Cordillera Oriental, donde las características biofísicas favorecen su crecimiento y regeneración (León et al 2009); y *Colombobalanus excelsa* (endémico de Colombia), que se ha reportado en cuatro zonas: PNN Los Farallones de Cali, en el Valle; PNN Cueva de Los Guácharos en el Huila; en el corregimiento de Virolín del municipio de Charalá, en Santander y en Antioquia (Ariza et al, 2009; Cárdenas et al., 2006).

Entender la dinámica de los bosques requiere evaluar su arquitectura, ya que esta expresa morfológicamente el programa genético de la planta en un momento dado, como resultado del equilibrio entre los procesos de crecimiento y las restricciones ejercidas por el medio. Para poder identificar los procesos que controlan el crecimiento y la forma de toda la planta, se emplea el análisis arquitectónico, que maneja tres conceptos fundamentales: el modelo, la unidad y la reiteración. Estos conceptos juegan un papel importante en la asignación de recursos a todas las partes de la planta, la captura de luz, el transporte de agua, la estabilidad mecánica y la resistencia a los vientos.

Los esquemas de perfil representan la arquitectura del bosque, permitiendo distinguir entre árboles que determinan la arquitectura total, denominados conjunto de árboles del presente, y que modulan el gradiente vertical de entrada de luz; árboles en desarrollo, que aun no pueden modificar la arquitectura del bosque, por lo que pertenecen al conjunto de los árboles del futuro; y por último los árboles muertos que provocan irregularidades antiguas en el patrón arquitectural y que pertenecen por lo tanto al conjunto del pasado (Halle et al, 1978).

Los árboles que pertenecen al conjunto del presente se encuentran dominando el sistema, y compitiendo entre ellos (Tanto por luz como por nutrientes); mientras tanto, los árboles del conjunto del Futuro están esperando el espacio que podría liberar un árbol del presente al morir, por lo que aun no están empleando toda su energía en expandir su copa, sino que la está utilizando para crecer en altura.

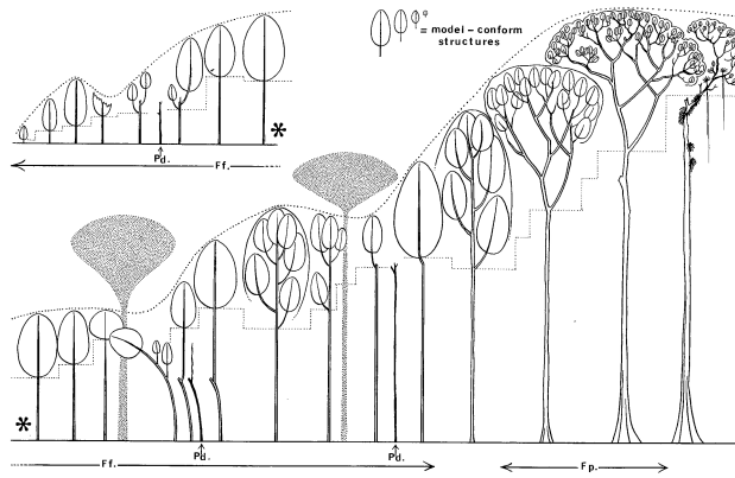


**Imagen 1.** Esquemas de perfil. Figuras en gris pertenecen al conjunto del futuro, figuras en blanco pertenecen al conjunto del presente (Halle et al, 1978).

Durante el desarrollo de los análisis arquitecturales del bosque, se evidencian diferentes relaciones entre las dimensiones de los árboles, como por ejemplo las que se presentan entre las dimensiones de las copas (Diámetro mayor, diámetro menor y área de la copa), la altura del árbol, la altura del tallo y el diámetro a la altura del pecho (DAP). Estas diferentes relaciones indican que tipo de crecimiento presenta el árbol.

Si el crecimiento es proporcionado, se presenta isometría o similitud geométrica, en este tipo de crecimiento, la forma permanece constante pero el tamaño cambia, por lo que las relaciones entre la longitud, la superficie, el volumen y la masa también cambiarán. Mientras tanto, cuando el crecimiento es alométrico, las proporciones entre las distintas partes del cuerpo cambian con el tamaño. Fundamentalmente, para poder discernir entre estos dos tipos de crecimiento se emplea el modelo de Thompson (1917) y Huxley (1932), que se resume en la forma  $Y=aX^b$ , donde la variable biológica Y depende de la masa del cuerpo X a través del exponente de escalamiento b y de una constante a que es característica de la clase de organismo. Lo que determina si hay isometría o alometría, y, en su caso, si la alometría es positiva o negativa, es el exponente b, cuando  $b = 1$ , la forma se mantiene (isometría), cuando  $b > 1$  la variable dependiente crece más deprisa que la estructura de referencia (alometría positiva), y cuando  $b < 1$  la variable dependiente crece más despacio que la estructura de referencia (alometría negativa) (Pérez et al 2009).

En la imagen 2 se observa el esquema de la relación entre las proporciones de la altura de la copa y la altura del tronco. En los primeros estadios del crecimiento, los árboles presentan una proporción isométrica entre la altura de la copa y la altura del tronco; mientras que los árboles más desarrollados, presentan una proporción alométrica, ya que la copa tiene menor altura en relación al tronco.



**Imagen 2.** Representación esquemática de las fases de la vida de un árbol modelo. (Halle et al, 1978).

Para realizar este análisis de isometría, deben graficarse las variables esquematizadas anteriormente (Altura total vs Altura del tronco) y para determinar en qué fase de la vida se encontraba cada árbol se determinaron tres líneas: La línea 2HF, que es una línea de referencia que indica que la altura total es el doble de la altura del tronco, esto ocurre generalmente cuando los árboles se encuentran en estado de crecimiento y no han alcanzado su mayor altura, por lo que la relación de la altura del tronco y la altura de la copa es igual, y por consiguiente los valores anteriores más cercanos a la línea se definen como conjunto del futuro ya que todavía no han proyectado su mayor potencial; la línea Hf, que es el máximo que puede alcanzar un árbol, pues indica que la altura total es igual a la altura del tronco, los valores cercanos a esta línea definen los árboles que se encuentran en el conjunto del presente, pues ya han mostrado su máximo potencial; y una línea adicional entre Hf y 2Hf para delimitar los conjuntos.

Dentro de cada uno de los conjuntos, se desarrollan patrones de crecimiento de tipo alométrico; para ello, McMahon en 1973, realizó una modificación del modelo de similitud geométrica, en este, el exponente de escalamiento  $b$  es igual a 1,5 e indica

que estructuras de diferente tamaño tienen el mismo margen de seguridad contra una falla mecánica; por ejemplo, en árboles, este modelo explica como la altura cambia en proporción de 2/3 respecto al diámetro:  $H: \alpha D^{2/3}$ ; donde D es el diámetro del tallo, H es la altura, y  $\alpha$  es una constante. Lo que implica que existe una distribución uniforme de la fuerza y densidad, a pesar del cambio en las proporciones de la estructura. (McMahon y Bonner, 1983)

El objetivo de este estudio fue establecer la composición del bosque sub andino en el PNN Cueva de los Guácharos y su estructura, a partir de los diferentes análisis estructurales y dimensionales realizados.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **ÁREA DE ESTUDIO**

El estudio de la estructura y composición de bosque se realizó en dos zonas: en un área de bosque Subandino localizado en el sendero Picos de la Fragua a unos 2045 msnm y 2060 msnm, y en El Robledal localizado en el sendero que va de La Cascajosa al campamento base a 1960 msnm.

### **MÉTODOS**

El muestreo se realizó durante ocho días, entre el 6 y el 13 de septiembre de 2010; los primeros 6 días se realizó en el área localizada en el sendero Picos de la Fragua y los dos últimos días en El Robledal. En cada zona se estableció una parcela de 25 X 40 m, dividida en cuatro cuadrantes de 12.5 X 20 m, con excepción de los días 5 y 6 en los que las parcelas fueron de 25 X 20 m divididas en cuatro cuadrantes de 12.5 X 10 m. En cada uno de los cuadrantes se realizaron mediciones de altura hasta la primera rama y altura total empleando un clinómetro, diámetro a la altura del pecho (DAP), cobertura de la copa midiendo la proyección de ésta en el suelo, estimación del porcentaje de epifitismo así como la identificación de cada uno de los árboles (con un diámetro de tronco a la altura del pecho mayor a 5 cm) presentes. Adicionalmente se escogió un cuadrante al azar para realizar un sub-cuadrante de 5 X 5 m en el cual se realizaron mediciones de DAP y la identificación de cada uno de los arbolitos (con un diámetro de tronco a la altura del pecho menor a 5 cm), y en el que también se determinó la abundancia de plántulas y de hierbas. De forma paralela, con los datos de cobertura de la copa y estableciendo las coordenadas de cada uno de los árboles dentro de la parcela se realizó un mapa de coberturas.

### **ANÁLISIS DE DATOS**

Con respecto a la vegetación, se determinó la densidad y abundancia relativa de individuos (árboles y arbolitos) y se estableció la presencia, ausencia y frecuencia relativa en cada uno de los cuadrantes. Se halló el índice de valor de importancia (IVI) para cada especie, a partir de la sumatoria de los resultados de las siguientes variables:

- Densidad relativa que depende del número de individuos de una especie con respecto al total de la muestra multiplicado por cien, es decir, (número de individuos X 100)/totalidad de individuos de la muestra.



□ Área basal relativo o dominancia relativa corresponde al total de área basal de una especie con respecto al área basal total que haya en el área de estudio multiplicado por cien, es decir, área (basal de la especie X 100)/área basal del área de estudio. Es necesario aclarar que el área basal corresponde a la sumatoria de las áreas del tronco tomadas a la altura del pecho.

□ La frecuencia relativa: expresa el porcentaje de aparición con respecto al total de replicas que aparecieron en el área de estudio.

Para determinar el patrón de distribución espacial que poseen las diferentes formas de vida encontradas en el sitio de estudio se utilizó el índice basado en la discretización del espacio ocupado por los árboles el cual utiliza la varianza media (el coeficiente de variación) de los valores de densidad de los organismos, para determinar si el tipo de distribución es agregada (si da mayor a la unidad), aleatoria (si da igual a la unidad) o regular (si da menor a 1) (Condes y Martínez-Millan, 1998; Ramírez, 2006). Este índice permite calcular la distribución espacial sabiendo únicamente la cantidad de árboles que existen en un área conocida y se calcula de la siguiente forma:

$$I_F = \frac{s_x^2}{\bar{x}} = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n - 1) \sum_{i=1}^n x_i}$$

Para el análisis de cobertura se realizaron gráficas entre DAP, Altura del tronco y Altura total vs Diámetro Mayor, Diámetro Menor y Área de la copa, en las que se determinó la línea de tendencia mediante regresión lineal y el análisis de varianza para confirmar las variables relacionadas según el R<sup>2</sup> proporcionado por la regresión lineal.

## RESULTADOS

### ANÁLISIS DE ESTRATO ARBOLITOS

En la primera parcela, se encontraron 14 morfotipos en los cuales los denominados Rubiaceae, Chloranthaceae (género Hedyosmum) y Arecaceae (género Socratea) completan casi el 53% de la abundancia en el área de estudio. Es sobresaliente la gran cantidad de Rubiaceae que se encuentra en el cuadrante, contando con 10 individuos que son el 27.7% del total de individuos presentes, mientras que los otros dos morfotipos más abundantes cuentan solo cinco y cuatro individuos, que aunque es el 13 y 11% respectivamente, no se encuentran muy alejados del restos de morfos que cuentan con uno, dos o tres individuos. Esta poca dominancia de alguna especie se encuentra mucho más marcada en la segunda parcela, en la cual, las diferencias en la cantidad de individuos varia de uno a cuatro, distribuidas en los doce morfotipos que fueron encontrados allí y como se evidencia en las abundancias relativas, no se encuentra alguna especie que sobresalga en la cantidad de individuos (Tablas 1 y 2)

CUADRANTES						
	1	2	3	4	TOTAL	Abundancia relativa
Especies	DENSIDAD					
Annonaceae	0	0	1	0	1	2,78
Lauraceae	0	0	1	0	1	2,78
Melastomatacea	0	0	0	1	1	2,78
Myrsinaceae	0	1	0	0	1	2,78
NN 2	0	0	1	0	1	2,78
NN 6	0	0	0	1	1	2,78
Cyatheaceae, género <i>Cyathea</i>	0	0	2	0	2	5,56
Melastomataceae, género <i>Miconia</i>	0	1	0	1	2	5,56
Myristicaceae	0	0	0	2	2	5,56
NN 5	0	0	0	2	2	5,56
Meliaceae	0	3	0	0	3	8,33
Chloranthaceae, género <i>Hedyosmum</i>	0	1	3	0	4	11,11
Arecaceae, género <i>Socratea</i>	0	5	0	0	5	13,89
Rubiaceae	10	0	0	0	10	27,78
<b>TOTAL</b>					<b>36</b>	<b>100</b>

**Tabla 1.** Densidad y abundancia relativa arbolitos en la parcela en el sitio a 2045 msnm (Sendero Picos de la Fragua, a 500 m del campamento y a 300 m de la Bocatoma)

CUADRANTES						
	1	2	3	4	TOTAL	Abundancia relativa
Especies	DENSIDAD					
Cyatheaceae, género <i>Cyathea</i>	1	0	0	0	1	4,76
Myristicaceae	0	1	0	0	1	4,76
NN1	1	0	0	0	1	4,76
NN2	1	0	0	0	1	4,76
NN3	1	0	0	0	1	4,76
NN4	1	0	0	0	1	4,76
Rubiaceae	1	0	0	0	1	4,76
Moraceae	1	0	0	1	2	9,52
Tiliaceae	0	0	2	0	2	9,52
Lauraceae	1	1	1	0	3	14,29
Myrsinaceae	0	0	0	3	3	14,29
Hippocastanaceae, <i>Billia</i>	2	2	0	0	4	19,05

<b>TOTAL</b>	21	100
--------------	----	-----

**Tabla 2.** Densidad y abundancia relativa arbolitos en la parcela en el sitio a 2060 msnm (Sendero Picos de la Fragua)

En relación a la frecuencia de los morfotipos, ninguno se encuentra en los cuatro cuadrantes de las parcelas. Lauraceae se encuentra en la segunda parcela, en tres de los cuatro cuadrantes, mientras que Moraceae se encuentra en dos de los cuatro y el resto de morfoespecies se encuentran en uno solo. En la primera parcela, se encuentra de nuevo a Lauraceae, como una de las más frecuentes, acompaña esta vez de Chloranthaceae (género *Hedyosmum*) y de Melastomataceae (género *Miconia*) encontrándose las tres en dos de los cuatro cuadrantes de la primera parcela (Tablas 3 y 4).

Especies	CUADRANTES				TOTAL	Frecuencia relativa
	1	2	3	4		
Annonaceae	0	0	1	0	1	25
Arecaceae, género <i>Socratea</i>	0	1	0	0	1	25
Cyatheaceae, género <i>Cyathea</i>	0	0	1	0	1	25
Melastomatacea	0	0	0	1	1	25
Meliaceae	0	1	0	0	1	25
Myristicaceae	0	0	0	1	1	25
Myrsinaceae	0	1	0	0	1	25
NN 2	0	0	1	0	1	25
NN 5	0	0	0	1	1	25
NN 6	0	0	0	1	1	25
Rubiaceae	1	0	0	0	1	25
Chloranthaceae, género <i>Hedyosmum</i>	0	1	1	0	2	50
Lauraceae	0	0	1	1	2	50
Melastomataceae, género <i>Miconia</i>	0	1	0	1	2	50
<b>TOTAL</b>					17	

**Tabla 3.** Presencia ausencia y frecuencia relativa de arbolitos en la parcela en el sitio a 2045 msnm (Sendero Picos de la Fragua, a 500 m del campamento y a 300 m de la Bocatoma)

Especies	CUADRANTES				TOTAL	Frecuencia relativa
	1	2	3	4		
Cyatheaceae, género <i>Cyathea</i>	1	0	0	0	1	25

Hippocastanaceae, <i>Billia</i>	1	1	0	0	2	50
Myristicaceae	0	1	0	0	1	25
Myrsinaceae	0	0	0	1	1	25
NN1	1	0	0	0	1	25
NN2	1	0	0	0	1	25
NN3	1	0	0	0	1	25
NN4	1	0	0	0	1	25
Rubiaceae	1	0	0	0	1	25
Tiliaceae	0	0	1	0	1	25
Moraceae	1	0	0	1	2	50
Lauraceae	1	1	1	0	3	75
<b>TOTAL</b>					16	

**Tabla 4.** Presencia ausencia y frecuencia relativa de arbolitos en la parcela en el sitio a 2060 msnm (Sendero Picos de la Fragua)

Según el índice basado en la discretización del espacio ocupado por los árboles para encontrar el tipo de distribución espacial en Árboles, arbolitos y arbustos, se encontró que tienen un patrón de distribución agregado debido a que tienen un coeficiente de variación de 9,19, 1,16 y 3,4. Aunque es de resaltar la cercanía que la varianza media de los arbolitos tienen de la unidad por lo cual se esperaría que tuvieran una distribución en cierta forma aleatoria.

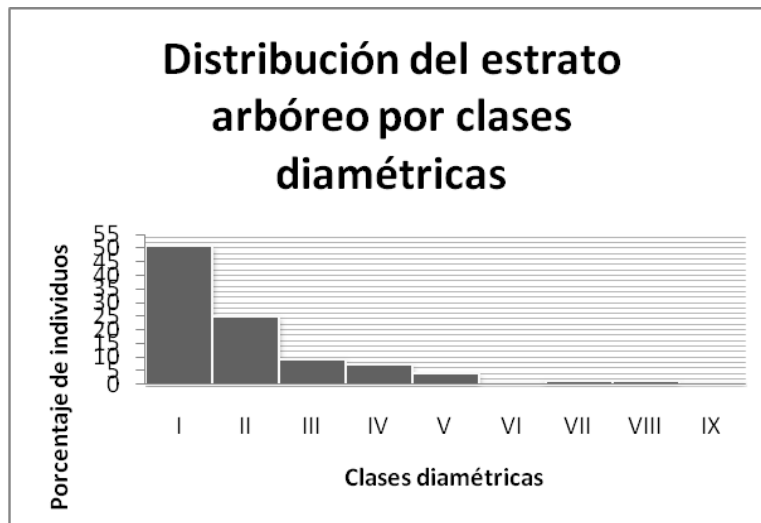
#### **ANÁLISIS DEL ESTRATO ARBÓREO**

Con DAP =10 cm y altura mayor a 3 metros se presentan 152 individuos en 0,2 Ha (62 en la parcela en el sitio a 2045 msnm y 90 en la parcela en el sitio a 2060 msnm), 49,5% del total de individuos registrados (Árboles arbolitos y arbustos), 76 individuos en 0,1 Ha a 1960 msnm.

Se registraron 29 familias, la más abundante es la Euphorbiaceae, con 28 individuos, seguida de Lauraceae con 26 individuos. Las familias con menor número de individuos son Ericaceae, Lecythidaceae, Meliaceae, Sapotaceae, Solanaceae y Theaceae, con solo un individuo. Hay 33 individuos que no se pudieron identificar. Se consideraron como diferentes morfotipos. Es de resaltar que se registró además un individuo de Cecropiaceae con DAP de y altura de 39 m.

#### **Estructura horizontal**

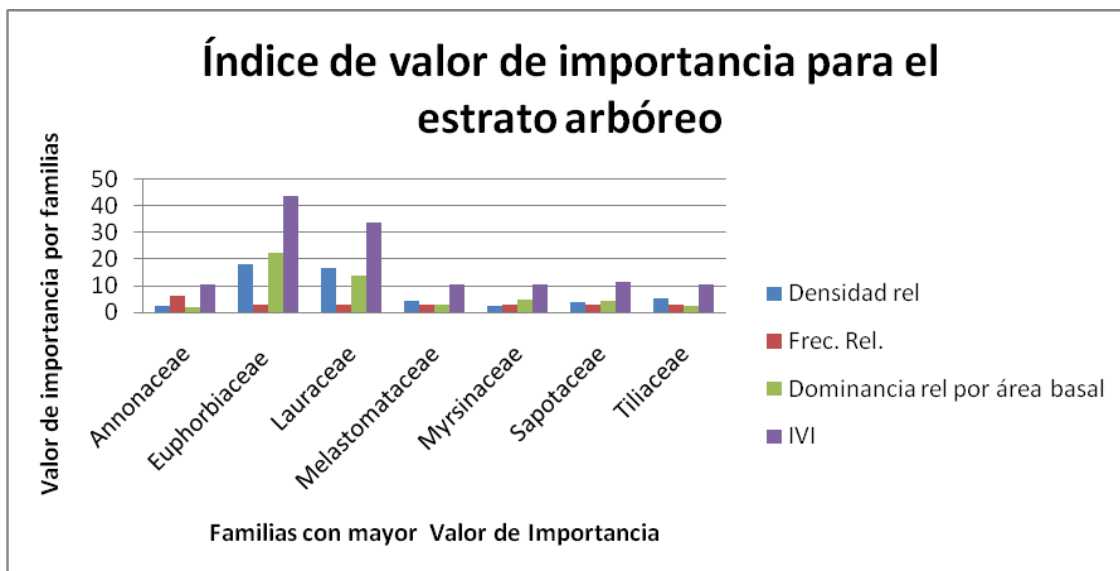
Se encontraron 8 clases diamétricas. La clase I con diámetros entre 10 y 19,9 cm y un 50,66% de los individuos, similar a lo encontrado por Gonzales et al en la misma zona, con un valor de 62% para la clase I (Gonzales et al 2009). (Figura. 1)



**Figura 1.** Distribución del estrato arbóreo por clases diamétricas

Área basal por clases diamétricas: La mayor área basal se dio en la clase IV, con 1,73 m<sup>2</sup>, sin embargo el promedio para las 5 primeras clases es de 1,48 m<sup>2</sup>, sin que se presente gran diferencia entre éstas, como si se pueden ver al comparar con las otras clases. El área basal promedio para 0,1 Ha es de 5,32 m<sup>2</sup>.

En la figura 2 se muestra el valor de importancia por familias (V.I.F.) para aquellas con una importancia mayor a 10, considerando a éstas las más representativas de la estructura del bosque por su mayor proporción, tanto en dominancia como frecuencia y densidad relativas (Tabla 5)



**Figura 2.** Índice de valor de importancia (IVI) para el estrato arbóreo

<b>Familia</b>	<b>Densidad rel.</b>	<b>Frec. Rel.</b>	<b>Dominancia rel. por área basal</b>	<b>IVI</b>
<i>Annonaceae</i>	2,5974025 97	6,060606 06	1,86659025	10,524 5989
<i>Areaceae</i>	3,2467532 47	1,515151 52	1,09098647	5,8528 9123
<i>Cecropiaceae</i>	1,2987012 99	1,515151 52	1,40194247	4,2157 9528
<i>Chlorantaceae</i>	3,2467532 47	3,030303 03	2,06268513	8,3397 414
<i>Cyatheaceae</i>	5,1948051 95	1,515151 52	0,99988972	7,7098 4643
<i>Ericaceae</i>	0,6493506 49	1,515151 52	0,19415334	2,3586 5551
<i>Euphorbiaceae</i>	18,181818 18	3,030303 03	22,3885987	43,600 7199
<i>Fagaceae</i>	1,2987012 99	1,515151 52	6,50592323	9,3197 7604
<i>Hippocastanaceae</i>	0,6493506 49	1,515151 52	2,35127466	4,5157 7682
<i>Lauraceae</i>	16,883116 88	3,030303 03	13,8278341	33,741 254
<i>Meliaceae</i>	3,2467532 47	3,030303 03	3,70421282	9,9812 6909
NN3	0,6493506 49	1,515151 52	0,15035235	2,3148 5451
NN5	0,6493506 49	1,515151 52	0,11812289	2,2826 2506
NN6	0,6493506 49	1,515151 52	0,85621625	3,0207 1841
NN7	0,6493506	1,515151	0,83998503	3,0044

	49	52		8719
NN8	0,6493506 49	1,515151 52	1,74738009	3,9118 8226
NN9	0,6493506 49	1,515151 52	0,14359581	2,3080 9798
NN10	0,6493506 49	1,515151 52	0	2,1645 0216
NN11	0,6493506 49	1,515151 52	0,35910602	2,5236 0819
NN12	0,6493506 49	1,515151 52	1,02707119	3,1915 7335
NN13	0,6493506 49	1,515151 52	0,41385727	2,5783 5943
NN14	0,6493506 49	1,515151 52	0,12425814	2,2887 603
NN15	0,6493506 49	1,515151 52	1,02707119	3,1915 7335
NN16	0,6493506 49	1,515151 52	0,10631837	2,2708 2054
NN17	0,6493506 49	1,515151 52	4,97102455	7,1355 2672
NN18	0,6493506 49	1,515151 52	2,08877933	4,2532 815
NN19	0,6493506 49	1,515151 52	0,5479784	2,7124 8056
NN20	0,6493506 49	1,515151 52	0,17155389	2,3360 5606
NN21	0,6493506 49	1,515151 52	0,30823785	2,4727 4001
NN22	0,6493506 49	1,515151 52	0,58781866	2,7523 2083

NN23	0,6493506 49	1,515151 52	0,23492555	2,3994 2771
NN24	0,6493506 49	1,515151 52	0,27958082	2,4440 8298
NN25	0,6493506 49	1,515151 52	1,3737514	3,5382 5356
NN26	0,6493506 49	1,515151 52	0,10064909	2,2651 5126
NN27	0,6493506 49	1,515151 52	0,13054871	2,2950 5087
NN28	0,6493506 49	1,515151 52	0,43684502	2,6013 4719
NN29	0,6493506 49	1,515151 52	0,17155389	2,3360 5606
NN30	0,6493506 49	1,515151 52	0,14359581	2,3080 9798
NN31	0,6493506 49	1,515151 52	0,62905683	2,7935 59
NN32	0,6493506 49	1,515151 52	0,48468441	2,6491 8657
NN33	0,6493506 49	1,515151 52	0,09513514	2,2596 373
<i>Rubiaceae</i>	1,9480519 48	3,030303 03	0,58991552	5,5682 705
<i>Sapotaceae</i>	3,8961038 96	3,030303 03	4,48797104	11,414 378
<i>Solanaceae</i>	0,6493506 49	1,515151 52	0,13054871	2,2950 5087
<i>Theaceae</i>	0,6493506 49	1,515151 52	0,32811915	2,4926 2132
<i>Tiliaceae</i>	5,1948051 95	3,030303 03	2,3005618	10,525 67



Total	100	100	100	300
-------	-----	-----	-----	-----

**Tabla 5.** Índice de valor de importancia por familias (V.I.F.) para el estrato arbóreo.

Los individuos con mayor área basal son *Hyeronimasp*, el candelo de las Euphorbiaceae y *Colombobalanus excelsa*.

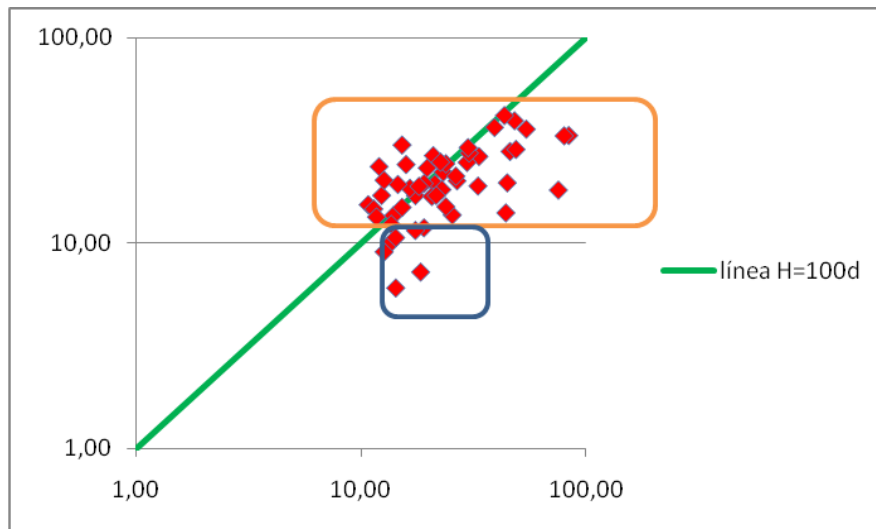
### La estructura vertical

Se caracteriza por una gran cantidad de individuos de la clase II de altura (clases definidas por cuartiles), que van desde 10,39 metros hasta los 20,79 m, con un 48,68% dentro de esta clase; la clase de alturas que le sigue en importancia es la III, que va desde 20,80 m hasta 31,19 m, seguida a su vez por la clase I con menos de 10,39 y más de 3 m, que corresponde al 19,73% de los individuos. La clase de alturas con menos individuos es la clase IV, de los individuos más altos, entre 31,20 m y hasta 41,58 m, con solo 9 individuos, el 5,92%. Los individuos de la clase de altura IV (los más altos) son *Sapium* sp, (de las Euphorbiaceae) el más alto encontrado en todo el muestreo con 41 metros, otra Euphorbiaceae, *Hyeronima* sp, una de las especies representativas del parque, así como los dos individuos que se registraron de *Colombobalanus excelsa*, el roble negro o morado, también representativo del parque; un individuo de las Meliaceae y otro de las Cecropiaceae.

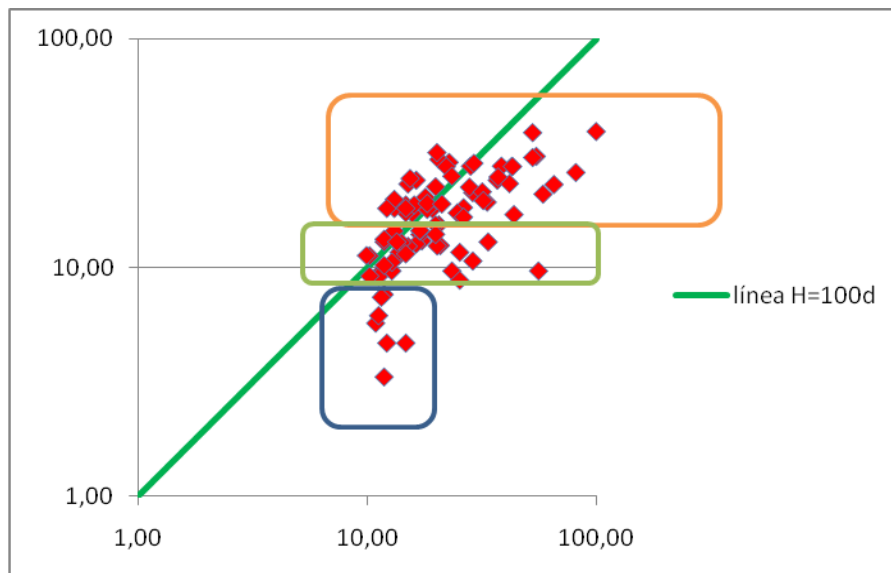
En cuanto a epífitas, los promedios para las dos parcelas son 45,2% presencia de criptógamas, bromelias 11,16% y aráceas 2,18%, El mayor porcentaje se presenta en individuos con un CAP promedio de 77,9 cm.

### Análisis Arquitectural del Bosque

Se realizó un análisis Arquitectural para cada una de las parcelas trazadas en el bosque Subandino, con el fin de determinar los conjuntos estructurales presentes en cada bosque de acuerdo al crecimiento diferencial en cuanto al tronco y la copa, que presentan los árboles a lo largo de los estadios de vida. Para la parcela uno se encontraron dos conjuntos estructurales que se delimitan usando rectángulos de colores (Figura. 3), mientras para la parcela dos se encontraron tres conjuntos estructurales, delimitados de la misma manera (Figura. 4). Adicionalmente los árboles del pasado, árboles que se encontraron muertos en las parcelas, no se usaron en las gráficas.



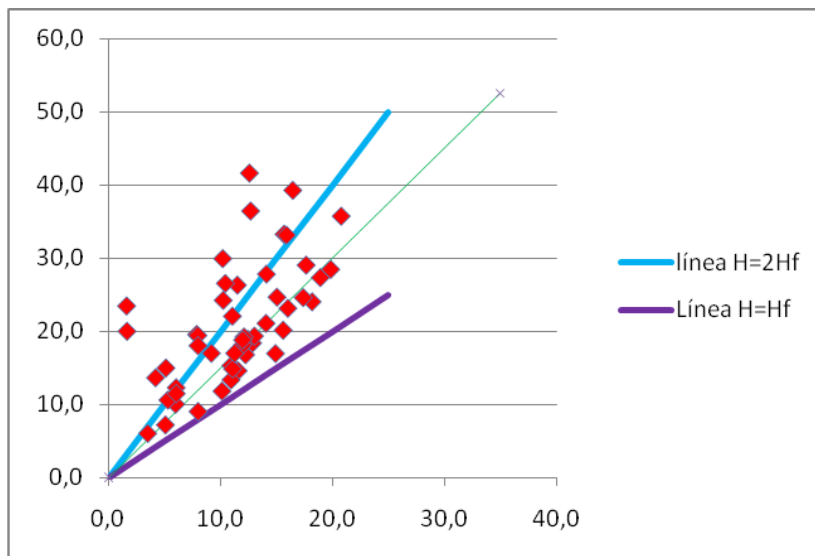
**Figura 3.** Gráfica a escala logarítmica del DAP vs altura del árbol en la parcela ubicada en el Sendero Picos de la Fragua a 2045 msnm. La línea indica la relación isométrica entre estas variables. Los cuadrados muestran los dos conjuntos estructurales encontrados.



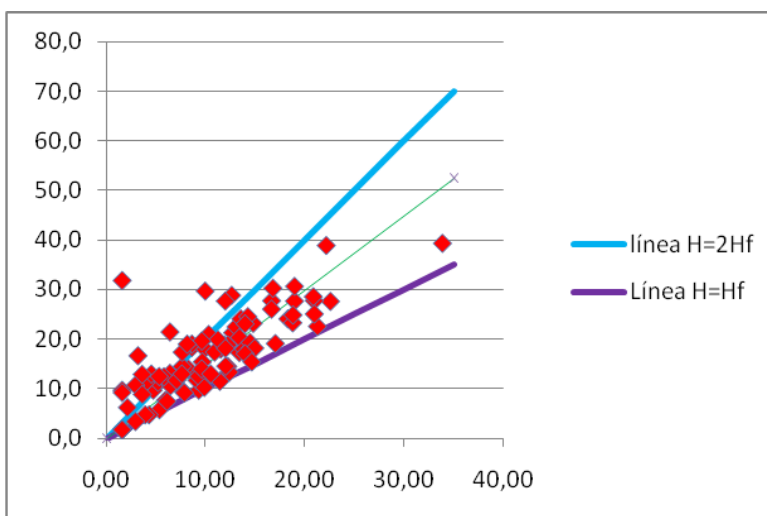
**Figura 4.** Gráfica a escala logarítmica del DAP vs altura del árbol en la parcela ubicada en el Sendero Picos de la Fragua a 2060 msnm. La línea indica la relación isométrica entre estas variables. Los cuadrados muestran los tres conjuntos estructurales encontrados.

Analizar las relaciones isométricas, se realizó una gráfica de altura del tronco vs. Altura total, dichas gráficas permitieron la determinación de los conjuntos del pasado y del presente (Figuras. 5 y 6). En estas gráficas se observan tres líneas de referencia para

definir los conjuntos: La línea 2Hf, la línea HF y la línea media.



**Figura 5.** Gráfica de altura del tronco vs. Altura total del árbol en la parcela ubicada en el Sendero Picos de la Fragua a 2045 msnm. La línea superior indica la línea 2Hf y la línea inferior indica la línea Hf y la línea fina muestra la mitad entre las dos para definir los conjuntos.



**Figura 6.** Gráfica de altura del tronco vs. Altura total del árbol en la parcela ubicada en el Sendero Picos de la Fragua a 2060 msnm. La línea superior indica la línea 2Hf y la línea inferior indica la línea Hf y la línea fina muestra la mitad entre las dos para definir los conjuntos.

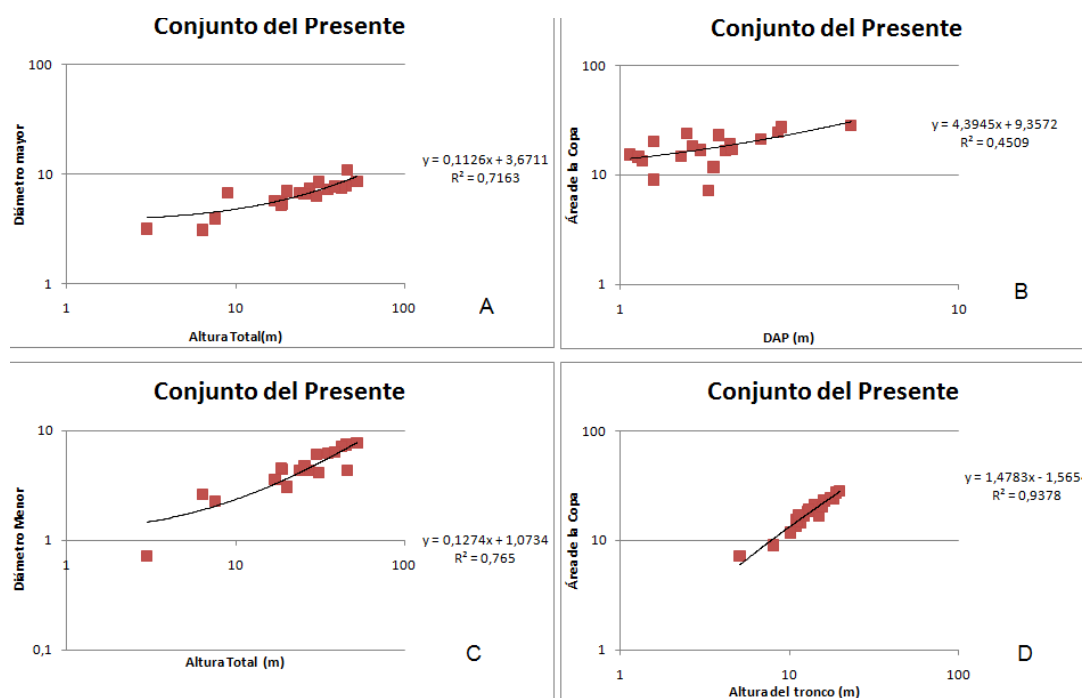
## ANÁLISIS DIMENSIONAL

### Análisis de cobertura

Las figura 7 y 8 muestran las relaciones entre la altura total, la altura del Tronco y el DAP, y las variables relacionadas con el tamaño de la copa (Diámetro Mayor, Diámetro menor, Área de la Copa), en los individuos pertenecientes al conjunto del presente y del futuro del cuadrante ubicado a 2045 msnm sobre el Sendero picos de la Fragua. El modelo que mejor se ajusta para las variables analizadas en el conjunto del presente es Altura del Tronco vs Área de la Copa (Figura. 7D), con un  $R^2$  de 0,9378. Las variables no mostradas como Altura total vs Área de la Copa fueron descartadas por medio del análisis estadístico; los ANOVA calculados para las variables aceptadas se muestran en la tabla 6.

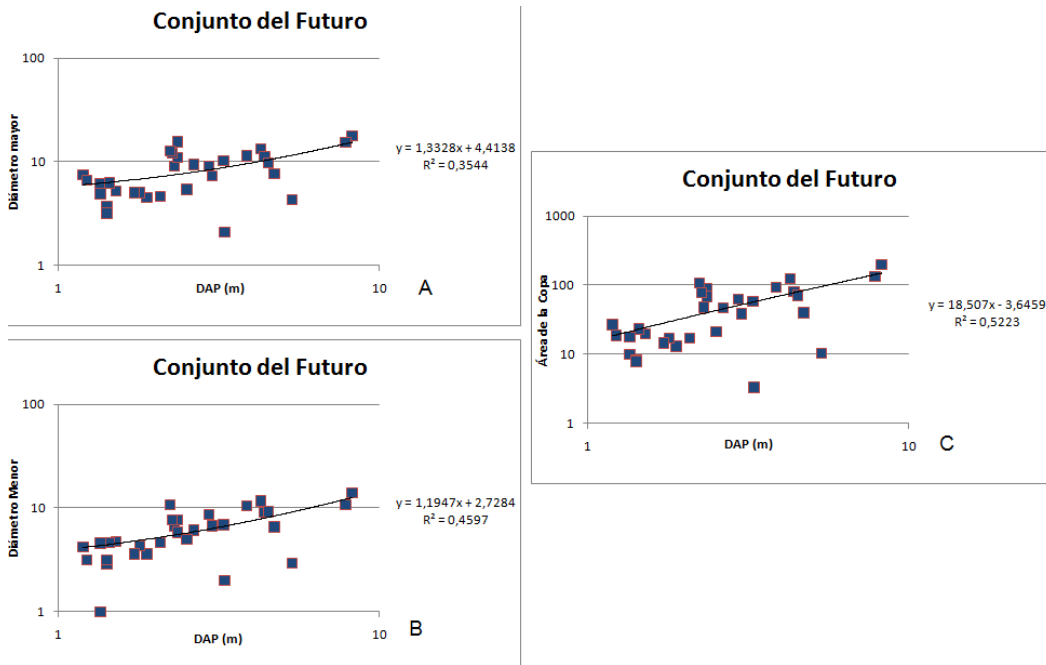
Mientras tanto, los resultados concernientes al conjunto del futuro indican que el modelo que mejor se ajusta es DAP vs Área de la Copa (Figura. 8C), con un  $R^2$  de 0,5223. Las variables relacionadas con la Altura del tronco y la Altura total, fueron descartadas mediante análisis estadístico. Los ANOVA calculados para las variables aceptadas se muestran en la tabla 6.

La figura 9 muestra las relaciones entre el DAP y las variables relacionadas con el tamaño de la copa (Diámetro Mayor, Diámetro menor, Área de la Copa), en los individuos pertenecientes tanto al conjunto del presente como del futuro de la parcela ubicada a 2060 msnm sobre el Sendero picos de la Fragua. Las figuras 9A, 9B y 9C muestran que existe una relación entre el DAP y las variables relacionadas al tamaño de la copa, para el conjunto del presente. Por el contrario los resultados del conjunto del futuro muestran que no existe una relación entre las variables relacionadas con el tamaño de la copa (Diámetro Mayor, Diámetro Menor y Área de la Copa) y el DAP (Figuras 9A, 9B y 9C).

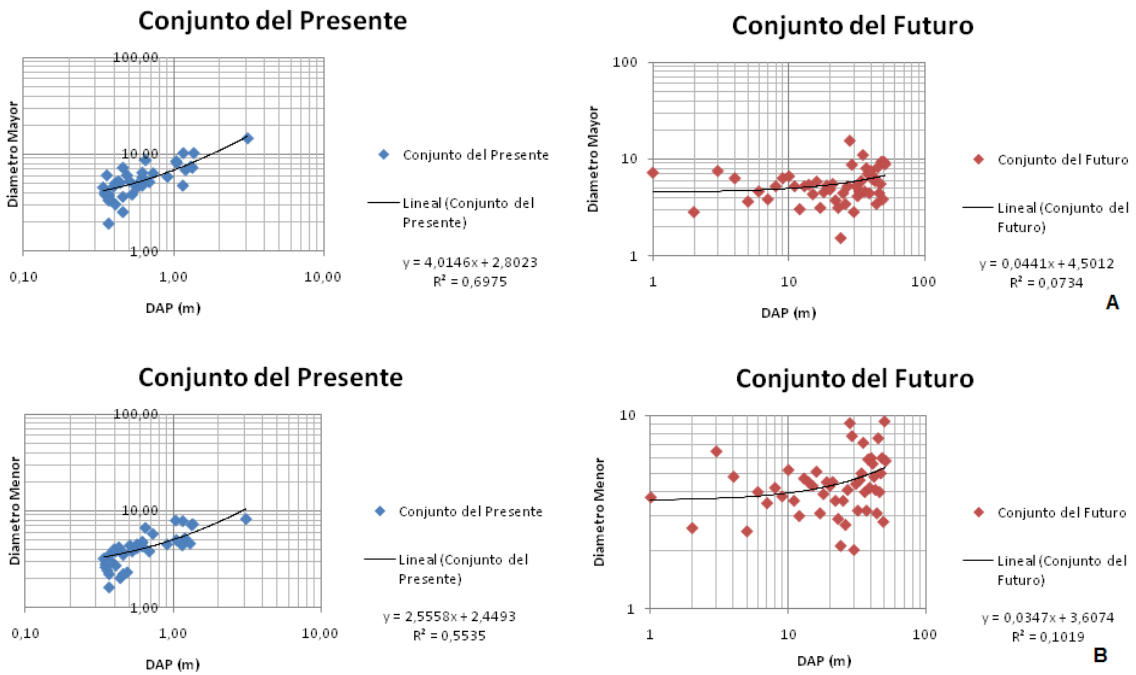


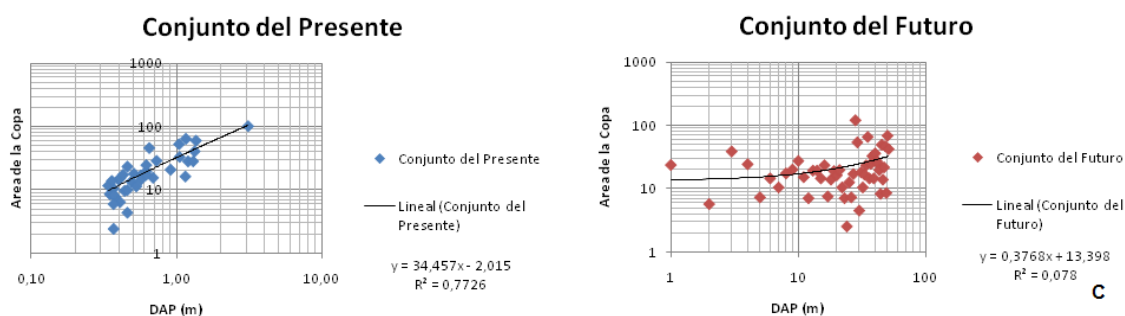
**Figura 7.** Relaciones Dimensionales del Conjunto del Presente en la parcela ubicada a 2045 msnm sobre el Sendero picos de la Fragua. **A.** Altura Total Vs Diámetro Mayor. **B.** DAP Vs Área de la Copa. **C.** Altura Total Vs Diámetro Menor. **D.** Altura del Tronco vs Área

de la Copa.



**Figura 8.** Relaciones Dimensionales del Conjunto del Futuro en la parcela ubicada a 2045 msnm sobre el Sendero picos de la Fragua. **A.** DAP vs Diámetro Mayor. **B.** DAP vs Diámetro Menor **C.** DAP vs Área de la Cop





**Figura 9.** Relaciones Dimensionales de los conjuntos del Presente y el Futuro, en la parcela ubicada a 2060 msnm sobre el Sendero picos de la Fragua. **A.** DAP vs Diámetro Mayor. **B.** DAP vs Diámetro Menor. **C.** DAP vs Área de la Copa.

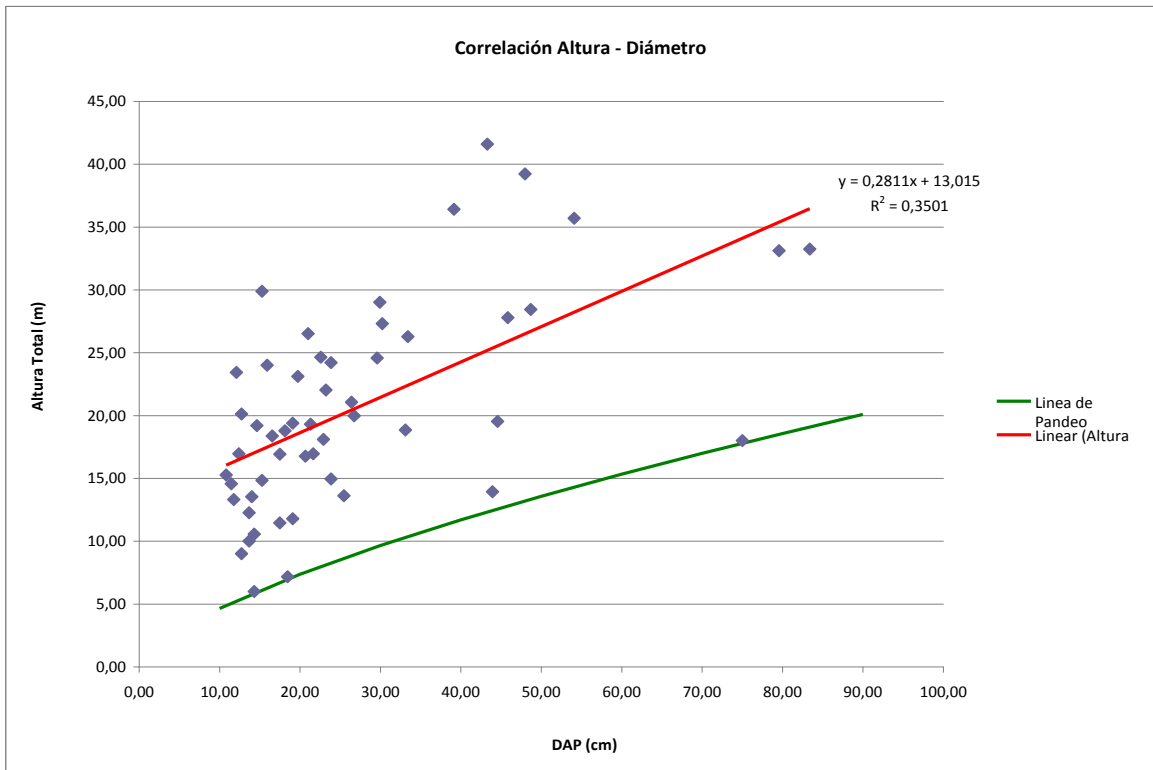
<b>Análisis de Varianza</b>						
<b>Conjunto del Presente</b>						
<b>Altura Total vs Diámetro Mayor</b>	Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P Valor
	Modelo	2697,92	1	2697,92	42,93	0
	Residuo	1068,48	17	62,8518		
	Total (Corr.)	3766,4	18			
<b>Altura Total vs Diámetro Menor</b>	Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P Valor
	Modelo	61,1171	1	61,1171	55,33	0
	Residuo	18,7791	17	1,10465		
	Total (Corr.)	79,8963	18			
<b>Altura del Tronco vs Área de la Copa</b>	Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P Valor
	Modelo	570,313	1	570,313	256,37	0
	Residuo	37,8181	17	2,22459		
	Total (Corr.)	608,131	18			
<b>DAP vs Área de la Copa</b>	Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P Valor
	Modelo	274,212	1	274,212	13,96	0,0016
	Residuo	333,919	17	19,6423		
	Total (Corr.)	608,131	18			
<b>Conjunto del Futuro</b>						
<b>DAP vs Diámetro Mayor</b>	Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P Valor
	Modelo	169,676	1	169,676	15,92	0,0004

	Residuo	309,101	29	10,6587		
	Total (Corr.)	478,777	30			
<b>DAP vs Diámetro Menor</b>	Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P Valor
	Modelo	136,335	1	136,335	24,67	0
	Residuo	160,259	29	5,52618		
	Total (Corr.)	296,594	30			
<b>CAP vs Área de la Copa</b>	Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P Valor
	Modelo	32717,7	1	32717,7	31,7	0
	Residuo	29928	29	10,32		
	Total (Corr.)	62645,7	30			

**Tabla 6.** Análisis de varianza para las variables analizadas en los conjuntos del presente y el futuro en la parcela ubicada en el Sendero Picos de la Fragua a 2045 msnm.

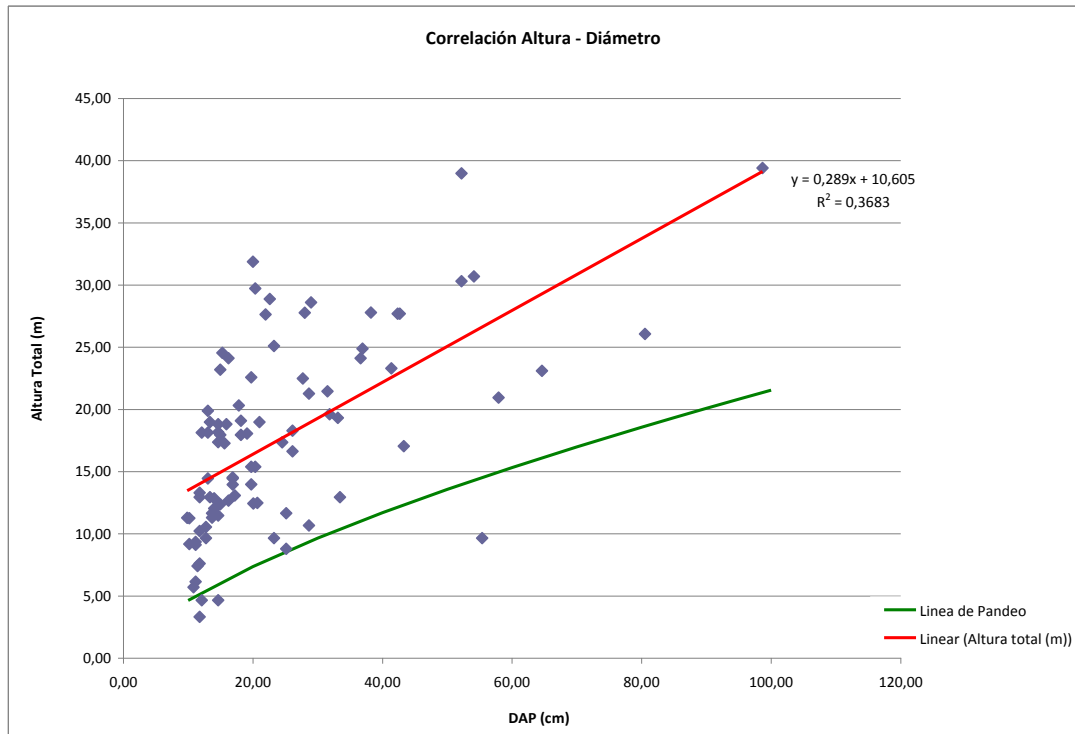
### **Correlaciones entre DAP y altura total**

Para cada una de las parcelas se realizó un análisis de correlación entre el DAP y la altura total, teniendo en cuenta el límite de pandeamiento. Para la parcela uno se encontró que no existe correlación entre el DAP y la altura total en el bosque en general, puesto que la correlación arrojó un  $R^2$  de 0,3501. En cuanto a la línea de pandeamiento se encontró que solo tres individuos de la población muestreada están sobre el límite de pandeamiento. Sin embargo ninguno de los individuos ha cruzado el límite (Figura. 10). Para la parcela dos también se encontró que no existe correlación entre el DAP y la altura total, ya que el índice de correlación  $R^2$  fue de 0,3683. En cuanto a la línea de pandeamiento se reporta una pequeña población de árboles cercanos al límite de pandeo y una población aún más pequeña que ha cruzado dicho límite (Figura. 11).



**Figura 10.** Gráfica de correlación entre DAP y altura total en la parcela ubicada en el Sendero Picos de la Fragua a 2045 msnm del bosque Subandino. La línea en rojo muestra la correlación lineal entre DAP y altura. La línea verde muestra el límite de pandeamiento, basado en la ecuación propuesta por McMahon (1973).



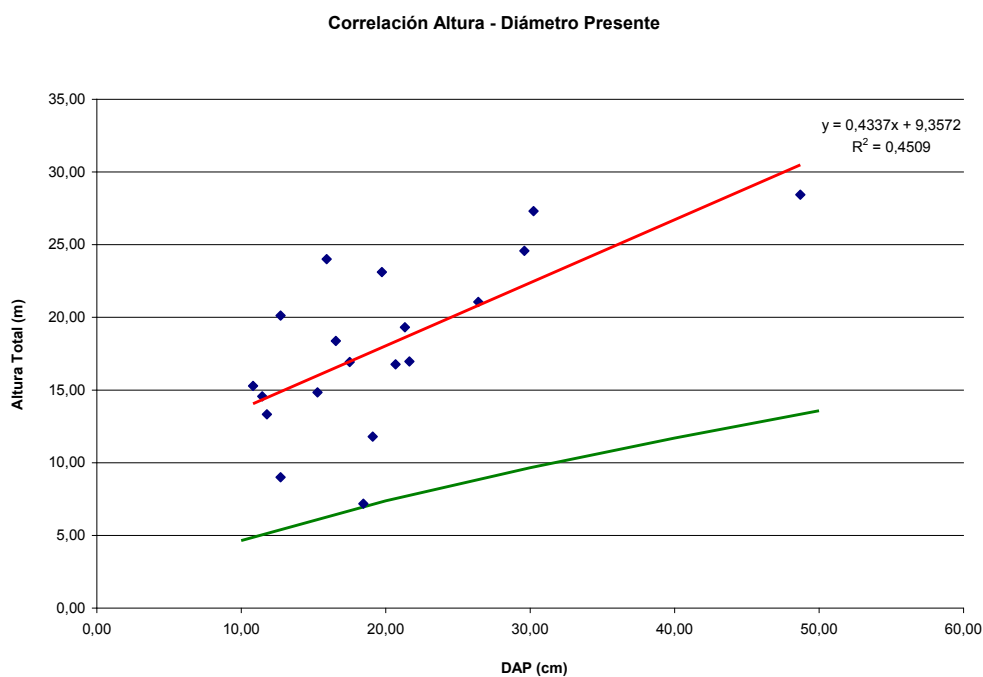


**Figura 11.** Gráfica de correlación entre DAP y altura total en la parcela ubicada en el Sendero Picos de la Fragua a 2060 msnm. La línea en rojo muestra la correlación lineal entre DAP y altura. La línea verde muestra el límite de pandeamiento, basado en la ecuación propuesta por McMahon (1973).

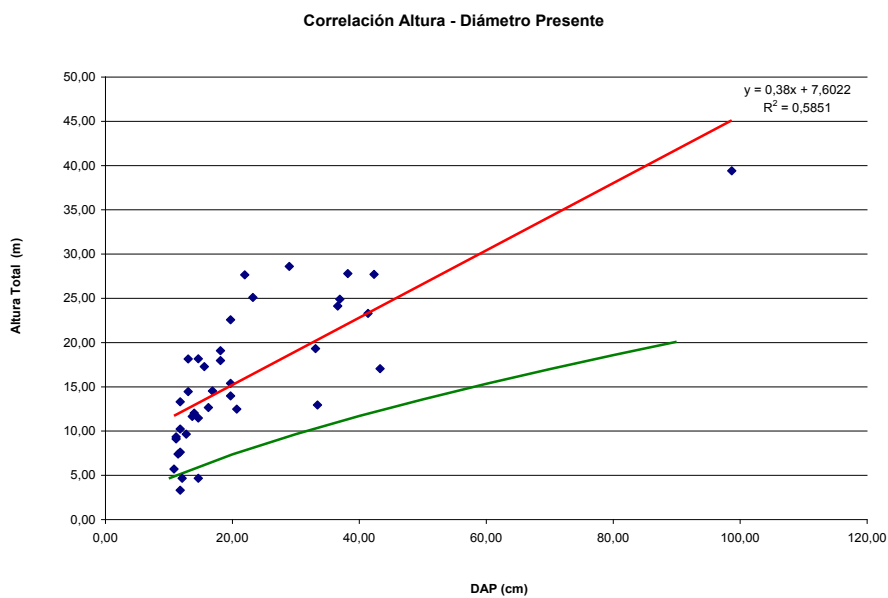
Con el fin de saber qué tan significativa es la correlación entre el DAP y la altura, se realizó una prueba t-student para cada una de las parcelas. Para la parcela uno la prueba t a dos colas con 50 grados de libertad y una probabilidad de  $p = 0,05$ , se encontró que se rechaza la hipótesis de relación isométrica significativa, lo cual significa que para esta parcela los árboles muestreados crecen siguiendo una relación alométrica en la cual el diámetro y la altura no aumentan de tamaño de forma proporcional. Para la parcela dos, la prueba t a dos colas con 87 grados de libertad y una probabilidad de  $p = 0,05$ , sugiere que no existe una relación isométrica significativa entre el DAP y la altura total de los árboles muestreados, razón por la cual la relación de crecimiento resulta alométrica.

Debido a que se encontraron poblaciones de árboles por sobre y por debajo de la línea de pandeamiento, se evaluó la correlación entre DAP y altura para cada uno de los conjuntos estructurales encontrados en el bosque. De esta manera es posible documentar qué conjunto es más susceptible a caer en el límite de pandeamiento. Para las dos parcelas se encontró un mayor índice de correlación  $R^2$  en los conjuntos del presente que en los conjuntos del futuro, sin embargo los índices de correlación no son significativos indicando que en ninguno de los casos existe una relación de isometría entre el DAP y la altura. En cuanto al límite de pandeo, para las dos parcelas se encontró que las poblaciones cercanas y que cruzan la línea de pandeo pertenecen a los dos conjuntos estructurales indistintamente. Sin embargo, para la parcela uno se encontró que ninguno de los árboles muestreados (independientemente del conjunto al que pertenece) cruza la línea de

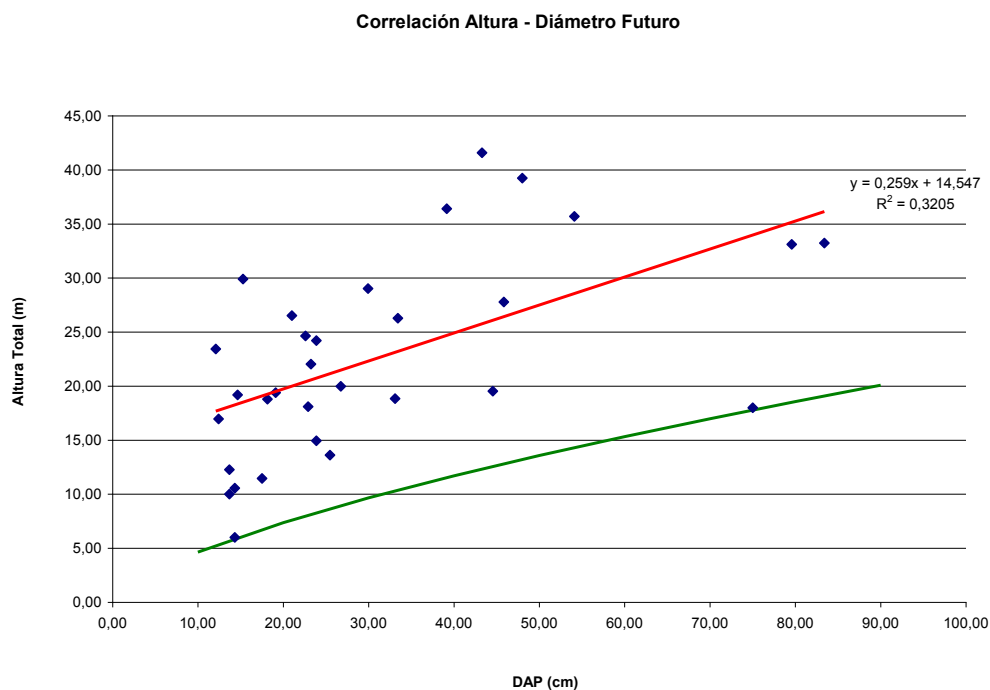
pandeo (Figuras. 12, 13, 14, 15).



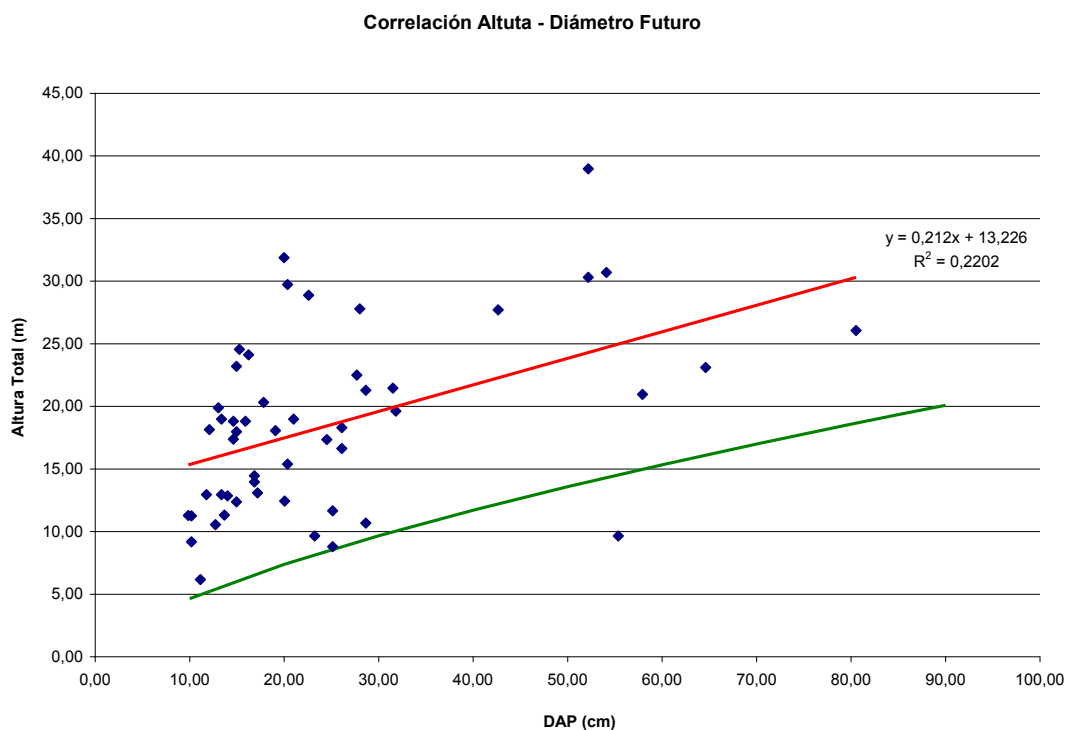
**Figura 12.** Gráfica de correlación entre DAP y altura total para el conjunto del presente en la parcela ubicada en el Sendero Picos de la Fragua a 2045 msnm. La línea en rojo muestra la correlación lineal entre DAP y altura. La línea verde muestra el límite de pandeamiento, basado en la ecuación propuesta por McMahon (1973).



**Figura 13.** Gráfica de correlación entre DAP y altura total para el conjunto del presente en la parcela ubicada en el Sendero Picos de la Fragua a 2060 msnm. La línea en rojo muestra la correlación lineal entre DAP y altura. La línea verde muestra el límite de pandeamiento, basado en la ecuación propuesta por McMahon (1973).



**Figura 14.** Gráfica de correlación entre DAP y altura total para el conjunto del futuro en la parcela ubicada en el Sendero Picos de la Fragua a 2045 msnm. La línea en rojo muestra la correlación lineal entre DAP y altura. La línea verde muestra el límite de pandeamiento, basado en la ecuación propuesta por McMahon (1973).



**Figura 15.** Gráfica de correlación entre DAP y altura total para el conjunto del futuro en la parcela ubicada en el Sendero Picos de la Fragua a 2060 msnm. La línea en rojo muestra la correlación lineal entre DAP y altura. La línea verde muestra el límite de pandeamiento, basado en la ecuación propuesta por McMahon (1973).

## DISCUSIÓN

### ANÁLISIS ESTRATO ARBÓREO

El valor de individuos registrados en 0,1 Ha., 76, a 1960 msnm contrasta con los de otros estudios, para la misma área, como el de 50 individuos en Talamanca, Costa Rica a 2650 msnm (Kappelle et al, 1992) y 63,4 a una altura de 2800 a 3000 msnm para otro sitio en la misma zona (Kappelle et al, 1996). Ésta diferencias se explicarían teniendo en cuenta que –en los bosques tropicales andinos generalmente se observa una disminución progresiva en el número de individuos a medida que aumenta la altura de los árboles” (Ariza et al, 2009) aunque Costa Rica no se encuentra en los Andes, la relación parece satisfactoria y podría ampliarse.

En cuanto a la presencia de un individuo de *Cecropia* spp, de nombre común yarumos, con medidas de DAP y altura altas, y teniendo en cuenta que éstos son organismos pioneros en la sucesión del bosque, dada su condición de heliófilos (Forero & Finegan, 2002), además que –pendientes pronunciadas favorecen la dinámica de claros” (Ariza et al, 2009), estas especies con individuos de semejantes tallas se encuentran allí debido a pequeños disturbios, como los claros, frecuentes en este tipo de bosque, teniendo en cuenta las altas pendientes de la zona de estudio.

El roble solo presentó valores de área basal y abundancia similares a los reportados por otros estudios (León et al, 2009; Kappelle 1992) en una tercera parcela, realizada en un sector conocido como el robledal, un bosque monoespecífico, con un valor aún más alto si interpolamos los datos de la literatura para adaptarlo al tamaño de la parcela levantada en el presente estudio:

Las clases diamétricas presentan una distribución en forma de J invertida (Fig. 1), coincidiendo con otros estudios en bosques andinos (Ariza et al, 2009; León et al, 2009; Gonzales et al, 2007), con muchos individuos de los primeros estadios de desarrollo y pocos individuos en los estadios más avanzados. Ésta distribución representa la mejor garantía para que una población se mantenga equilibrada, ya que los individuos de clases altas, eliminados ocasionalmente, son reemplazados por los existentes en las clases inferiores” (León et al, 2009)

Área basal por clases diamétricas: que los menores valores de área basal por clase diamétrica se den en las últimas clases, 6 a 8, se debe a la escasa cantidad de individuos presentes en éstas últimas. El área basal se compensa entonces por la relación inversa entre DAP por individuo y cantidad de individuos en cada clase. Y esto muestra que existe un respaldo generacional, cuando alguno de los individuos climácicos muera, existen suficientes candidatos entre los individuos del conjunto del futuro, para competir por el espacio-función dejado libre.

El área basal promedio para 0,1 Ha es de 5,32 m<sup>2</sup>, no muy similar al de los bosques de roble de Talamanca, donde para la misma área se encontró, para un bosque maduro, un área basal de 6,47 m<sup>2</sup>. Pero si interpolamos este valor para compararlo con la tercera parcela levantada en el presente estudio, en un monoespecífico de 0,05 Ha, con un valor de área basal de 3,4 m<sup>2</sup>, sería levemente mayor el área basal del bosque estudiado aquí, con un valor de 3,24 m<sup>2</sup>. Estos últimos resultados son más parecidos probablemente porque los bosques estudiados por Kappelle (1992, 1996) tienen también, tal como ocurre en el bosque de robles del Parque Natural, altísima dominancia que desemboca en mayores proporciones de abundancia.

En cuanto a la dominancia de la familia Lauraceae, (Tabla 5), tal como en el estudio de Galindo (Galindo et al, 2006), ésta se debe a estrategias de desarrollo más exitosas que las de otras familias. La Lauraceae es una de las familias que define la estructura del bosque en el PNN Cueva de los Guácharos.

Euphorbiaceae y Lauraceae presentan los valores más altos de V.I.F. A partir de la comparación de los datos para individuos con DAP =10 cm y con DAP <10 la familia Lauraceae es la más representativa a través de las diferentes etapas de la sucesión vegetal presentando los mayores valores de densidad relativa para los dos estratos y el mayor valor en el estrato arbolitos, que disminuye un levemente en el estrato arbóreo. El valor de importancia por familias (V.I.F.) para las Fagaceas (Tabla 5) es muy bajo en comparación con el encontrado por Galindo et al (2006), pero esto se debe a que ellos estudiaron un bosque homogéneo, mientras nuestro estudio incluyó parcelas heterogéneas.

En el caso de la estructura vertical encontramos, como en otros estudios, un comportamiento en J invertida (Ariza et al 2009; Gonzales et al, 2007). Se encuentran

individuos representando bien las clases inferiores, con gran cantidad de individuos que están a la espera de las condiciones óptimas para alcanzar el dosel, lo que puede deberse a que es un bosque que se encuentra bien desarrollado, al presentar ésta forma, que como ya habíamos mencionado, garantiza la llegada de alguno de los tantos juveniles a ocupar el espacio que por algún disturbio ha sido despejado en el dosel, garantizando el mantenimiento de la estructura del bosque si no hay disturbios a escalas más generales.

Una de las especies dominantes es el *C. excelsa*, que aunque con pocos individuos determina la entrada de luz dadas sus dimensiones, solo superado en cobertura de la copa por otros 3 individuos, todos con valores altos de copa (entre 93 a 197 m<sup>2</sup>) éstos dos valores extremos de dominancia por cobertura de la copa corresponden justamente a *C. excelsa*, la familia a la que pertenece ésta especie, Fagaceae, con solo dos individuos, presenta un alto V.I.F. dado el alto valor de dominancia relativa, con la mayor área basal por individuo, siendo además de los individuos más altos de la comunidad, que pertenecen al estrato emergente en bosques heterogéneos. Ésta especie es dominante junto con individuos de otras especies pero que se encuentran también en las otras clases de altura. Sin embargo, al revisar el Índice de valor de importancia *C. excelsa* no figura entre las más importantes dada su baja densidad y frecuencia relativas. Por esta razón es importante observar cada uno de los elementos del Índice de valor de importancia por separado, y así poder conocer mejor las relaciones entre individuos o familias en este caso.

Las diferencias en tamaños máximos alcanzados por los árboles y las diferencias sutiles en las estructuras diamétricas entre parcelas (en este caso entre estudios) pueden ser resultado de las características particulares del sitio, especialmente la fertilidad del suelo; resultados análogos se han documentado en bosques tropicales de tierras bajas” (León et al, 2009).

Los valores de epífitas son respaldados por los valores similares encontrados por Kapelle en los bosques de Quercus en Talamanca, “gran abundancia de epífitas vasculares” (Kapelle et al, 1992), su alta presencia evidencia una alta humedad atmosférica. Que el mayor porcentaje se presente en individuos con un CAP alto debe relacionarse con la mayor edad de estos individuos que permite una mayor cantidad de epífitas establecidas a través del tiempo: otra característica que induce a pensar en el buen funcionamiento y la madurez del sistema estudiado.

### **Análisis Arquitectural Del Bosque**

A partir de las gráficas generadas (Figuras. 3, 4, 5, 6), se determinaron los conjuntos estructurales para las dos parcelas. Las líneas 2HF, Hf, y la distribución de los puntos (que relacionan la altura del tronco y la altura total de cada árbol) determinados en las figuras 5 y 6, permitieron definir los conjuntos del presente y el futuro. En las dos parcelas, la mayoría de los individuos se encontraron cerca de la línea 2HF, lo que indica que estos pertenecen al conjunto del futuro, lo que indica que el bosque analizado presenta un alto dinamismo, ya que estos árboles en desarrollo sustituirán en el mañana a los arboles del presente que se encuentran dominando.

El grupo del presente fue subdividido de acuerdo a sus niveles discretos de altura como conjuntos estructurales, que están determinados por varios factores: la altura, las

densidades de los conjuntos, la configuración de las hojas, la presencia o ausencia de lianas, y en algunos casos la presencia de animales en los niveles superiores (Halle, *et al.*, 1978). Para entender la coexistencia de los conjuntos estructurales de diferentes niveles, es necesario observar el comportamiento de sus miembros y su interacción organizada, ya que esto está dado por la absorción diferencial de luz en los diferentes niveles debido a la sombra ejercida por los conjuntos de mayor altura. Para ello se usaron las gráficas de escala logarítmica de diámetro contra altura, donde la distribución de los datos muestra los conjuntos estructurales. En el caso de la parcela ubicada en el sendero picos de la fragua a 2045 msnm (Figura. 3), se observa que existen dos conjuntos estructurales diferentes, el primero de árboles más pequeños tiene bajo número de individuos, mientras que el otro conjunto agrupa la mayoría de los árboles, que por lo general tienen una altura por encima de los 12 metros. Por otro lado en la gráfica de la parcela ubicada en el sendero picos de la fragua a 2060 msnm (Figura. 6), se encontraron tres conjuntos estructurales, el primero de árboles más bajos, es el conjunto más pequeño que va hasta los ocho metros de altura; el segundo conjunto va desde los 8 metros hasta los 16; y el siguiente conjunto el de árboles más altos, concentra la mayor cantidad de individuos de la parcela, y va desde los 16 metros de altura hasta el máximo que en este caso fue de 39 metros. Cabe aclarar que aunque en esta gráfica se agruparon todos los árboles dentro de los dos conjuntos tiene mayor relevancia hablar de conjuntos estructurales para los árboles del presente y no se habla de conjuntos estructurales para los árboles del futuro.

### **Análisis Dimensional**

El tamaño de la copa y el área que esta ocupa, afectan directamente la captura de la luz, el transporte de agua, el soporte mecánico, la reproducción, la resistencia al viento, y finalmente las ventajas de los arboles en la competencia (Alves, 2002), lo que explica que los árboles del conjunto del presente incrementen el diámetro mayor y el diámetro menor de la copa en relación a la altura total (Figuras. 7A y 7C) y el área de la copa en relación a la altura del tronco (Figura. 7D) . Ya que la intercepción de la luz es un factor determinante en la asimilación del carbono y el crecimiento de las plantas, diferencias en la disponibilidad de la luz a lo largo de los gradientes sotobosque-dosel, pueden dar origen a muchas estrategias en la ocupación del espacio y en la distribución de los recursos para las áreas fotosintéticas entre especies de árboles que difieren en el tamaño máximo alcanzado (Alves, 2002), por lo que al alcanzar la mayor altura, es lógico pensar que el incremento en las dimensiones de la copa representa una ventaja adaptativa para la mayor captación de luz.

Dentro de una selva o bosque, hay una dicotomía entre especies que invierten en crecimiento en altura para explorar mejores condiciones en el futuro y aquellas que expanden su copa para sobrevivir bajo condiciones sombreadas (Kohyama & Hotta 1990), por lo que los arboles en desarrollo (pertenecientes al conjunto del futuro), retardan el desarrollo de la copa hasta que hayan alcanzado su altura máxima, para así, asegurar un lugar entre el dosel, lo que explica que ninguna de las variables relacionadas con la copa (diámetro mayor, diámetro menor y área de la copa) se incrementen en relación a la altura, mientras estos árboles en desarrollo no alcanzan su máximo potencial.

Los arboles en crecimiento, se ajustan a modelos donde se establecen márgenes de seguridad, ya que para lograr alcanzar cierta altura, el tallo debe ser lo suficientemente

fuerte para resistir la deformación elástica y así poder evadir el pandeo bajo su propia masa, más la masa de otras cargas adicionales (Epifitas, nidos, lianas, etc.). Entre más grande sea el árbol, mas grande será la fuerza mecánica que puede alcanzarse incrementando la densidad de la madera, y ya que la variabilidad en la elasticidad y la fuerza es relativamente limitada entre los diferentes tipos de madera, el incremento en la fuerza mecánica de los arboles es consecuencia primaria del crecimiento en diámetro (representado en el DAP), a pesar de que para ello se reduzca la capacidad de crecimiento en altura (King, 1996), por lo que los árboles del futuro ajustan los diámetros de la copa y su área en relación al grosor del tronco para que la planta no sufra pandeo como resultado de un incremento insostenible de la copa (Figura. 8)

Esta no es una característica única de los árboles en proceso de crecimiento, ya que como observamos en la figura 7B y 9 en los árboles del conjunto del presente, el área que ocupa la copa también está en alguna medida relacionada con el DAP, aunque la relación no es tan alta como la existente con la altura del tronco.

Los árboles grandes no son capaces de mantener un crecimiento coherente en el área y el ancho de la copa debido a la intensa competencia para alcanzar el dosel. La expansión del área de la copa a través del incremento en la producción de ramas y la extensión horizontal, puede verse reducida por la competencia con árboles vecinos y bajos niveles de luz (Alves, 2002). Lo que podría explicar en alguna medida porque el conjunto del presente no muestra una relación clara entre el área de la copa y la altura total.

Los bosques tropicales poseen una gran complejidad estructural en comparación con otros tipos de bosque en el mundo, debido a que el bosque consiste en un mosaico de zonas disturbadas y no disturbadas acompañadas de una enorme variabilidad de condiciones ambientales (Claussen *et al.*, 1995). Por esta razón, es de esperarse encontrar en el bosque subandino muestreado, relaciones de crecimiento tipo alométrico, en donde el crecimiento del árbol y su ganancia en diámetro, no siguen una relación proporcional, debido a los fenómenos de competencia por la luz, y al aprovechamiento de los eventos de disturbio.

Cabe resaltar que a pesar del bajo coeficiente de relación encontrado para las dos parcelas, el análisis de correlación realizado para cada conjunto estructural por separado, muestra que existen mayores índices de correlación entre el DAP y la altura para los conjuntos del presente. Esta relación era de esperarse debido a que como se ha mencionado a lo largo de este documento, los árboles del futuro invierten más energía en ganar altura, por lo que se alejan de la relación isométrica de crecimiento (Delgado *et al.*, 2005). Mientras tanto, de manera similar a la relación existente con la copa, los árboles del presente ya han ganado altura y forman el dosel del bosque, por lo que la luz no es un factor limitante y pueden invertir mayor energía en ensanchar el tronco. Los diferentes patrones alométricos pueden interpretarse como adaptaciones del crecimiento para ganar altura y así poder acceder al recurso limitante en el sotobosque que es la luz y resulta de suma importancia para la asimilación de carbono y por ende el crecimiento de las plantas (Hilbert *et al.*, 1996).

## BIBLIOGRAFÍA

Alves L. F., Santos F.A. 2002. Tree Allometry and Crown Shape of Four Tree Species in



Atlantic Rain Forest, South-East Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 18(2): 245-260

Ariza C. W., Toro M. J. Y Lores M. A. 2009. Análisis florístico y estructural de los bosques premontanos en el municipio de Amalfi (Antioquia, Colombia). *Revista Colombia Forestal*, volumen 12. Bogotá.

Brown, A. D. & Kappelle M. 2001. Introducción a los bosques nublados del neotrópico: una síntesis regional. Páginas 25-40. En: M. Kappelle & A. D. Brown (eds), *Bosques Nublados del Neotrópico*. Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio), Santo Domingo de Heredia.

Cárdenas. D. et al. 2006. *Colombobalanus excelsa* (Lozano, Hern. Cam., J. E. Henao S.) Nixon & Crepet. Disponible en:  
URL:<http://www.siac.net.co/sib/catalogoespecies/especie.do?idBuscar=252&method=displayAAT>

Churchill, S. P., Balslev H., Forero E., Luteyn J. L.. 1995. Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests. The New York Botanical Garden, Nueva York.

Claussen, J., Maycock, C. 1995. Stem Allometry in a North Queensland Tropical Rainforest. *Biotropica* 27 (4): 421 – 426.

Colonnello G. y Rodríguez L. 2009. Caracterización florística de ambientes de la cuenca baja del Río Cucurital, afluente del Río Caroní, Estado Bolívar, Guayana Venezolana. *Acta Amazonica* 39(1), 35-52.

Condes S. Y Martínez-Millán J. 1998. Comparación entre los índices de distribución espacial de arboles más usados en el ámbito forestal. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.* Vol. 7 (1 y 2).

Delgado, L., Acevedo, M., Castellanos, H., Ramirez, h., Serrano, J. 2005. Relaciones alométricas y patrones de crecimiento para especies de árboles de la reserva forestal Imataca, Venezuela. *Interciencia* 30: 005.

Forero M. A., Finnegan, B. 2002. Efectos de borde en la vegetación de remanentes de bosque muy húmedo tropical en el norte de Costa Rica, y sus implicaciones para el manejo y la conservación. *Revista forestal centroamericana*, Costa Rica, N38 abr-jun pp. 39-43.

Galindo-T, R., Betacur, J. Y Mendoza-C, H. 2006. Estructura y composición florística de los bosques de roble en dos parques nacionales naturales de la cordillera Oriental colombiana. En SOLANO, C. y VARGAS, N. (editoras). *Memorias del I Simposio Internacional de Robles y Ecosistemas Asociados*. Bogotá: Fundación Natura- Pontificia Universidad Javeriana.

Givnish, T. J. 1986. *On the economy of plant form and function*. Cambridge University Press, Cambridge. 717 pp.

Gonzalez, J. 2000. Monitoring cloud interception in a tropical montane cloud forest of the

South western Colombian Andes. *Advances in Environmental Monitoring and Modelling*1(1): 97-117.

González, Y., Coca, A. Y., Cantillo, E. 2007. Estructura y composición florística de la vegetación del corredor biológico entre los parques nacionales naturales Puracé y Cueva de lo Guácharos. *Revista Colombia forestal* 10(20), diciembre.

Hallé F., Oldeman R. A. A., Tomlinson P. B., 1978. *TROPICAL TREES AND FORESTS. An architectural Analysis.* Springer-Verlag. Berlin Heidelberg New York.

Hamilton, L. S. 2001. Una campaña por los bosques nublados: ecosistemas únicos y valiosos en peligro. Páginas 41-49. En: M. Kappelle & A. D. Brown (eds), *Bosques Nublados del Neotrópico*. Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio), Santo Domingo de Heredia.

Henderson, A., Churchill S. P., Luteyn J. L. 1991. Neotropical plant diversity. *Nature* 351: 21-22.

Hilbert, D., Messier, C. 1996. Physical simulation of trees used to study effects of light environment branch characteristics and branch spacing on light interception by maple sugar. *Funct. Ecol.* 10:777-783.

Kappelle, M., Geuze, T., Leal, M. Y Cleef, A. 1996. Successional age and forest structure in a Costa Rican upper montane *Quercus* forest., *Journal of tropical ecology*, 12(5) Cambridge University Press.

Kappelle, M; Cleef, A Y Chaverri, A., 1992. Phytogeography of Talamanca montane *Quercus* forest, Costa Rica. *Journal of biogeography*, 19(3) Mayo, pp. 299-315

Kappelle, M. & A. D. Brown (eds). 2001. *Bosques Nublados del Neotrópico*. Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio), Santo Domingo de Heredia.

King, D. A. 1996. Allometry and life history of tropical trees. *Journal of Tropical Ecology* 12:25-44.

Kohyama, T. & Hotta, M. 1990. Significance of allometry in tropical saplings. *Functional Ecology* 4:515-521.

Leon, Velez J.D, Gladys Y Yepes, Adriana P. 2009. Estructura y composición florística de tres robledales en la región norte de la cordillera central de Colombia. *Rev. biología tropical*, diciembre, 57(4), p.1165-1182

Marín-Corba C. A., J Betancur. 1997. Estudio florístico en un robledal del santuario de flora y fauna de iguaque (boyaca, colombia). *Rev. acad. colomb. cienc.*, 21 (80): 249-259, issn 0370-3908

McMahon, T. A. 1973. Size and shape in biology. *Science* 179:1201-1204.

McMahon T. A. & Bonner J. T. 1983. *On size and life.* Sci. Am. Books, New York.

Molano, J. 2000. La región en el contexto ambiental, Cuadernos de geografía, Universidad nacional de Colombia, Bogotá.

Pérez Z. J., Díaz J. A., García M. A. 2009. Modelos adaptativos en Zoología (Manual de prácticas) 2. Tamaño, forma y alometría. Reduca (Biología). Serie Zoología. 2 (2): 20-30.

Ramírez A. Ecología. 2006. Métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades. Editorial Pontificia Universidad Javeriana, Colección Biblioteca del profesional. Bogotá.

Souto X. C, Gonzalez, L Y Reigosa M.J. 1993. Estudio de los efectos alelopáticos producidos por partes aéreas de distintas especies arbóreas (*Eucalyptus globulus*, *Acacia melanoxylon*, *Quercus robur*, *Pinus radiata*) en descomposición en el suelo. Congreso forestal español. Laurizán.

#### 4. PROYECTOS LIBRES REALIZADOS EN EL PARQUE NACIONAL NATURAL CUEVA DE LOS GUÁCHAROS

##### VARIACIÓN DE ALGUNAS VARIABLES QUÍMICAS DEL RÍO SUAZA AL PASAR POR LA CUEVA DE LOS GUACHAROS (Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos) POR POSIBLE INFLUENCIA DE LA ESPECIE *Steatornis caripensis*

Alejandro Abril Torres <sup>1</sup>, Miguel Ángel Medrano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología. Estudiante.

---

#### RESUMEN

Dentro de la Cueva de los Guácharos nosotros observamos que la comunidad de “guácharos” (*Steatornis caripensis*) realiza un aporte de nutrientes a la caverna, provenientes del exterior, mediante sus eses fecales, las semillas regurgitadas de los frutos de los cuales se alimentan y las plumas que se les caen. Se presume que estos materiales son descompuestos y acumulados en su mayor parte en el suelo de la cueva. De acuerdo a lo anterior, desarrollamos la hipótesis de que estos nutrientes son transportados por las aguas infiltradas en las paredes y cuevas secundarias hacia el río Suaza que al pasar dentro de la cueva arrastra consigo nutrientes a su paso y recoge al mismo tiempo las aguas de las infiltraciones internas de la caverna con los nutrientes que estas llevan.

De acuerdo con nuestra hipótesis en la Cueva de los Guácharos, este trabajo se realizó con el objetivo de comprobar si la concentración de nutrientes y materia orgánica en el río Suaza aumenta gradualmente dentro de la caverna y si alcanza un valor máximo a la salida. Para ello se realizaron mediciones de las concentraciones de 4 nutrientes (sulfatos, fosfatos, amonio y nitritos) en cuatro puntos del Río Suaza (entrada de la caverna, dentro de la caverna, a la salida y 200 metros más adelante), dando como resultado que la comunidad de estas aves realiza un aporte notable de nutrientes al río.

**Palabras clave:** Cueva de los Guácharos, materia orgánica, nutrientes, río Suaza, *Steatornis Caripensis*.

#### ABSTRACT

Inside of the Guácharos Cave we observe that the “Guácharos” bird (*Steatornis caripensis*) community makes a contribution of nutrients to the cave (which are from outside of cave), by his guano, the seeds that they spit, and the feathers that fall from his body. It is supposed that these organic elements are decomposed and then are accumulated mostly in the floor of the cave. Accordingly we develop the hypothesis that the infiltrated waters of the walls and the secondary caves transporting these nutrients to the Suaza river, where the river passes through the cave dragging the nutrients from the floor at the same time that collect the infiltrated waters with the nutrients that these waters carry.

According whit our hypothesis in the Guácharos Cave, this work was carried out in order to check if the concentration of nutrients and organic matter in the Suaza River gradually increases as it is passes through the cave and therefore the concentration should reach a peak at the output. We made measurements of concentration for four nutrients (sulfates, phosphates, ammonium and nitrite) in four points of the Suaza River (entrance to the cave, inside the cave, in the cave's exit and at 200 meters of the cave's exit), and our analysis showed that the community of these birds makes a notorious contribution of nutrients to the Suaza River.

**Key words:** Cueva de los Guácharos, nutrients, organic matter, Suaza River, *Steatornis caripensis*.

## INTRODUCCIÓN

Las cuevas son ecosistemas que poseen una composición faunística excepcional debido a las adaptaciones que los organismos han tenido que desarrollar para habituarse a la vida exclusiva o temporal en estos ambientes. Por tanto se puede hablar de un flujo de materia dentro de las cuevas debido a la acción de la fauna habitante o visitante y por las corrientes de agua que transiten por su interior. La fauna de las cuevas es variada y diversa, con poblaciones numerosas de vertebrados e invertebrados, incluyendo especies troglóbias (adaptadas a la vida en cuevas). En algunas cuevas se localizan colonias de guácharos y quirópteros, de gran biomasa y diversidad (Galán, 2005).

La distancia a la entrada de la cueva es el principal factor que estructura la comunidad. Cerca de la entrada, donde aún hay luz, aparecen muchos animales del exterior que se refugian en las cuevas o penetran ocasionalmente para alimentarse. A una distancia un poco mayor, aparecen animales que pasan mucho tiempo en las cuevas o viven exclusivamente en ellas, pero no presentan apenas adaptaciones específicas para este medio (es el caso de los murciélagos y varias arañas, por ejemplo): son los llamados troglófilos.

En las cuevas no hay luz, las condiciones de temperatura y humedad son muy estables durante todo el año y los aportes de materia del exterior son muy pequeños. Sin embargo, en las cuevas con grandes poblaciones de vertebrados (murciélagos o guácharos) la vida cavernícola puede ser exuberante, gracias a la materia orgánica de sus excrementos.

Los guácharos, parientes de los chotacabras, viven en América tropical y pueden llegar a pesar cuando adultos entre 350 y 485g. Son capaces de [volar](#) en la oscuridad, sorteando obstáculos, gracias a un sistema de ecolocación similar al de los murciélagos. Se cree que también tiene un olfato muy desarrollado; esta característica le permite la localización de su alimento en la oscuridad. Son seres frugívoros, nocturnos, gregarios y troglófilos, es decir, que viven y se reproducen en cuevas, pero que también pueden vivir en el exterior siempre y cuando el [ambiente](#) sea oscuro, protegido y húmedo (Prías *et al.*, 2006). Sus hábitos alimenticios son de suma importancia para el ecosistema encontrado en las cuevas, ya que recolectan frutas y semillas en la noche para digerirlos en las cuevas y en ocasiones regurgitar parte de ellos, sumando así la concentración y disponibilidad de materia orgánica en la cueva. Entonces, además de ser la únicas aves que se orienta por ecolocación, también es la única ave nocturna que se alimenta de frutas (Prías *et al.*, 2006).

Existen numerosas especies químicas en las aguas continentales y a menudo pueden presentarse en una combinación de ellas; las tasas de intercambio entre dichas formas químicas dependen del equilibrio químico y la absorción y liberación por partículas y organismos biológicos. (Peralta y León, 2006). Las concentraciones son muy variables bien sea por la influencia ejercida por la naturaleza del sustrato o por efectos de la contaminación doméstica e industrial producida por el hombre (Roldán y Ramírez, 2008). Este último factor se descarta en el Parque Natural Nacional Cueva de los Guácharos debido a su aislamiento de las actividades humanas.

Los nutrientes (nitratos y fosfatos, principalmente) son responsables de la productividad primaria. Su fuente natural es la descomposición de la materia orgánica, la cual al mineralizarse pone de nuevo estos iones a disposición de las plantas y las algas. (Roldán y Ramírez, 2008). Hay diversos factores físicos y químicos que afectan, de manera directa o indirecta, las propiedades de los ecosistemas acuáticos y sus implicaciones en la biota existente. Sin embargo, hay algunos factores que se muestran como mejores indicadores para propósitos de determinación de grado de eutrofización y viabilidad de comunidades biológicas (Roldán y Ramírez, 2008).

Mediante el presente estudio se pretende determinar si la población de los guácharos en la Cueva de los Guácharos (Acevedo, Huila) realizan aportes de materia orgánica y nutrientes a las aguas del río Suaza cuando este pasa por su interior.

## **METODOLOGÍA**

Se eligieron cuatro puntos de muestreo: debajo del puente natural (entrada del río Suaza a la Cueva de los Guácharos), dentro de la cueva (punto intermedio del recorrido del río dentro de la caverna), la salida del río de la cueva y 200 metros después de la salida del río vía al Lapiaz.

En cada punto de muestreo se realizaron tres sub muestreos, con intervalos de 15 minutos entre cada sub muestreo para obtener muestras integradas en el tiempo, de la siguiente manera: en cada sub muestreo se tomaron diez muestras de agua con un recipiente plástico de 400 ml (previamente lavado con ácido HCl diluido y agua destilada), las cuales se vertieron en un balde plástico; después obtener las 30 muestras de agua en el balde, correspondientes al total de los sub muestreos, el agua se homogenizó y se llenaron dos recipientes plásticos de 400 ml con el agua obtenida.

Posteriormente cada recipiente se rotuló y se le agregó ácido sulfúrico hasta un pH 2, con el fin de preservar las muestras. De esta manera se obtuvieron dos recipientes de 400 ml por cada punto de muestreo, para un total de ocho recipientes, los cuales se llevaron al Laboratorio de Ecología del Departamento de Biología de la Universidad Nacional, donde se neutralizaron y se realizaron las siguientes pruebas gravimétricas y espectrofotométricas, estas últimas en un equipo HACH DR2000:

- Sólidos suspendidos (orgánicos e inorgánicos): Se filtraron 325 ml en una bomba de vacío a través de papel de fibra de vidrio (previamente pesado). Las membranas con el material retenido se secaron en una estufa durante 24 horas a 80° C, se enfriaron en un desecador y se pesaron en una balanza de precisión.

Posteriormente los filtros se colocaron en una mufla a 600 °C durante dos horas, se dejaron enfriar en un desecador y se pesaron nuevamente. La materia orgánica particulada se halló por diferencia de pesos entre los filtros secados e incinerados. Este proceso se realizó en las dos muestras de cada estación, obteniendo de esta manera dos filtros por punto de muestreo, para los cuales se promediaron sus resultados de concentración de sólidos y se reportó un solo valor por punto de muestreo.

- Fosfatos disueltos: Se tomaron 25 ml del agua filtrada, a los cuales se les aplicó el método del ácido ascórbico-Phso Ver 3, para realizar las lecturas espectrofotométricas.
- Sulfatos disueltos: Se les aplicó el método Sulfa Ver 4, para realizar las lecturas espectrofotométricas.
- Amonio disuelto: Se tomaron 25 ml del agua filtrada, a los cuales se les aplicó el método del reactivo de Nessler, para realizar las lecturas espectrofotométrica.
- Nitritos disueltos: Se tomaron 25 ml del agua filtrada, a los cuales se les aplicó el método del rango bajo Nitri Ver 6, para realizar las lecturas espectrofotométricas.

## ANÁLISIS NUMÉRICOS

El tratamiento general de los datos se realizó en tablas de Excel (estadística descriptiva). También se realizó un Análisis de Componentes Principales (APC) de las variables fisicoquímicas del conjunto de sitios muestreados y un análisis de clúster, para lo cual se empleó el programa Past.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ubicación	Sólidos suspendidos totales (mg/l)	Materia inorgánica (mg/l)	Materia orgánica (mg/l)
Puente Natural	18,67	0,00	18,67
Dentro de la cueva	21,33	4,00	17,33
Salida de la cueva	20,00	1,33	18,67
200m después de la salida	-97,33	28,00	-125,33

**Tabla 1.** Resultados de concentraciones para sólidos suspendidos de los sitios muestreados

En la tabla 1, se observa un aumento en el total de sólidos suspendidos desde el puente natural hacia el interior de la cueva. Sin embargo en la muestra que se tomó inmediatamente al salir de la cueva se ve una disminución de esta concentración. De la misma forma se observan muchas inconsistencias en los resultados esperados y que no concuerdan con las medidas fisicoquímicas. Lo anterior es atribuido principalmente a la no

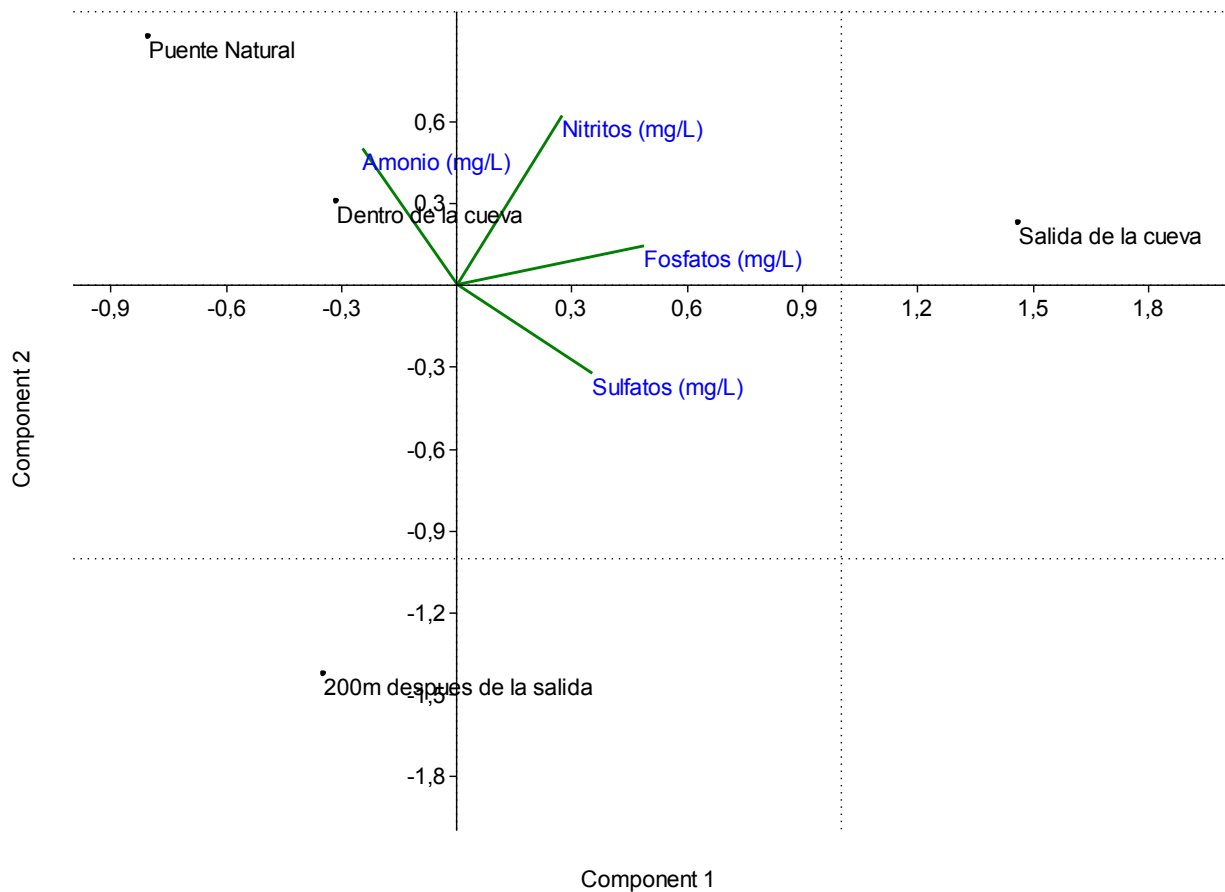
disposición de una balanza calibrada y a las condiciones inadecuadas de medición (la balanza no está aislada), obteniendo así medidas que finalmente llevaron a inconsistencias como los valores negativos reportados en la tabla 1, que se deben atribuir a errores técnicos.

Ubicación	Nitritos (mg/L)	Amonio (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)
Puente Natural	0,0235	1,18	570	0,17
Dentro de la cueva	0,0188	1,39	730	0,21
Salida de la cueva	0,0282	0,81	760	0,45
200m después de la salida	0,0094	0,74	710	0,17

**Tabla 2.** Resultados medidos de variables químicas de los sitios muestreados

En la tabla 2 se registran las concentraciones de nutrientes medidas. Se observa que todos los parámetros aumentan al interior y a la salida de la cueva pero luego se reducen al alejarse de ella aguas abajo. Se deduce de esto que hay un enriquecimiento con nutrientes en el río cuando éste pasa por la caverna, pero la capacidad de retención del ecosistemas y la espiral de nutrientes del río parecen ser muy dinámicos, por lo que en muy poca distancia esos nutrientes son incorporados al metabolismo del río y no se detectan. En otras palabras, el efecto de enriquecimiento ocurre, pero su magnitud no es lo suficientemente grande como para provocar incrementos sustanciales en los nutrientes por un largo trecho.





**Figura 1.** Análisis de Componentes Principales (APC)

La figura 1, muestra Análisis de Componentes Principales (ACP) para los puntos de muestreo dentro y fuera de la Cueva de los Guácharos. Es notable que el punto que representa la muestra tomada 200 m después de la salida está relativa y considerablemente distanciada de los otros puntos. Esto se atribuye a los efectos de dilución que provocaron las de fuertes lluvias locales, las cuales aumentan el caudal y hacen que en pocos minutos se reduzcan las concentraciones de los componentes químicos estudiados. Por tal motivo se puede observar que la influencia de las variables químicas sobre este punto (200 m aguas debajo de la salida de la cueva) es mínima, ubicándose en el cuadrante más alejado de las líneas representativas de fosfatos, nitritos, sulfatos y amonio.

Los otros tres puntos de muestreo exponen un comportamiento en el que a medida que se está más adelante en el trayecto del río Suaza (desde el puente natural hasta la salida), los nitritos, sulfatos y fosfatos van tomando más relevancia. Es decir, las aguas se ven más afectadas por estos nutrientes debido al aumento de su concentración al atravesar la cueva. El punto que representa el interior de la cueva es el más cercano al

eje central, lo que indica que allí las concentraciones de los nutrientes tienen una misma influencia.

Como producto de su alimentación (hábitos frugívoros) a base sobre todo de lauráceas, burseráceas y palmas, el guácharo regurgita en el interior de las cuevas las cáscaras y semillas de los frutos de los que se alimenta, generando abundantes depósitos de restos vegetales, principalmente durante el período de alimentación de los pichones (Galán y Herrera, 2006)



**Figura 2.** Semillas regurgitadas de los frutos que sirven de alimento a *Steatornis caripensis* (Foto: Jhonson K. Vizcarra). Fuente: Vizcarra (2010)

Por lo anterior, las poblaciones de guácharos introducen un componente trófico que incrementa considerablemente los recursos disponibles para invertebrados troglófilos y troglobios, dando lugar a ecosistemas subterráneos de gran biomasa y diversidad (Galán y Herrera, 2006). Por tanto es de esperarse, por ejemplo, que también se considere un incremento de amonio debido a la actividad bacteriana. Tal afirmación es correcta si se observa la figura 1, en donde el punto del interior de la cueva está más cerca de la línea que representa el componente de amonio, teniendo más relevancia dentro de la cueva. Muchas semillas (de más de 60 especies vegetales) llegan a germinar en oscuridad total dando origen a praderas subterráneas de plántulas depigmentadas. Este “guano” (en su mayor parte residuos vegetales) sostiene numerosas poblaciones de vertebrados e invertebrados fitófagos y detritívoros, los que a su vez sirven de alimento a formas depredadoras (Galán y Herrera, 2006)

La fecha de toma de las muestras fue muy cercana a los meses de postura de huevos por parte de *Steatrnis caripensis*, la cual se da de mayo a junio. Ponen de dos a cuatro huevos, blancos con tinte [café](#), con un período de incubación de 33 días. Los pichones nacen con poco plumaje y pueden llegar a pesar una vez y media más que un ave adulto. A medida que van naciendo sus plumas definitivas, pierden peso y se preparan para los vuelos nocturnos. Construyen sus nidos en bordes y cornisas en las cuevas con desperdicios de su alimento regurgitado (Prías *et al.*, 2006). Por tal motivo es de esperarse que esta pérdida de peso de los polluelos se corresponda con la ganancia de materia orgánica y nutrientes por parte de la cueva durante la visita al parque (septiembre), cuando ya habían pasado los 33 días de incubación de los huevos. Además, se conoce que esta especie puede volar 240 km en una sola noche de una cueva a otra, siendo el “nomadismo” un caso particular en los juveniles (Roca 1994,

Thomas, 1999, citados por Vizcarra, 2010), por lo que el aporte de nutrientes puede no concentrarse necesariamente en el sitio de anidamiento.



**Figura 3.** Anidamiento en las cornizas de la cueva. Fuente: <http://www.losmedanos.com/postales/postcard5.htm>

Los sulfatos son uno de los elementos más abundantes en las cuevas, en conjunto con el yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), siendo, por mucho, el sulfato de cueva más común y el tercer mineral en cuevas después de la calcita y del aragonito (se estima que el yeso representa cerca del 2-3% de todos los depósitos de cueva) (Forti y Hill, 2004). Varios minerales de sulfato (yeso, basanita, mirabilita y cesanita) se precipitan junto con los fosfatos, fortaleciendo las condiciones fisicoquímicas del ambiente de depósito. Los parámetros principales que controlan los entornos en que se depositan estas asociaciones minerales son: pH, humedad relativa, contenido de álcali, y la relación Ca / P (Onac y Veres, 2003).

En la tabla 2 se observa un aumento progresivo en la concentración de sulfatos debidos al paso del río Suaza por el interior de la cueva, erosionando constantemente las rocas y arrastrando consigo dichas especies químicas. La gráfica del ACP (Fig. 1) muestra también este comportamiento, encontrándose una vez más a la lluvia cómo factor más probable para la reducción de la concentración de sulfatos 200 m después de la salida.

Los fosfatos son el grupo de minerales de caverna más grande. En la actualidad 56 especies químicas de fósforo se han hallado en diferentes configuraciones de cuevas (Onac, 2003, citado por Onac y Veres, 2003). Esto ocurre cuando una cueva contiene guano fresco o fósil (como el caso de la Cueva de los Guácharos) o acumulaciones significativas de huesos (Onac y Veres, 2003). Los guácharos no se encontraron lejos del río Suaza, por el contrario se les veía cerca la entrada de la caverna donde todavía entraba un poco de luz y sus excrementos eran notorios en el suelo (Fig. 4) por lo cual no es extraño un incremento en la concentración de fosfatos en el recorrido del río por la cueva, como se reporta en la tabla 2 y en la figura 1. McHaffie & Buckley (1995) en NSW

Department of primary industries, sf., afirman que las acumulaciones de excrementos de aves y mamíferos proveen importantes fuentes de fosfatos en las cuevas.



**Figura 4.** Excremento de guácharo en el pico de la cueva. Foto: Miguel Medrano

La presencia de nitritos en el agua es indicativo de contaminación de carácter fecal reciente (Metcalf y Eddy, 1998). En aguas superficiales bien oxigenadas, el nivel del nitrito no suele superar 0.1 mg/l (Stumm y Morgan, 1981). Asimismo, cabe resaltar que el nitrito se halla en un estado de oxidación intermedio entre el amoníaco y el nitrato. Niveles superiores a 0,75 ppm en el agua pueden provocar stress en peces y mayores de 5 ppm pueden ser tóxicos. Niveles de [nitrato](#) de entre 0 y 40 ppm son generalmente seguros para los peces. Cualquier valor superior a 80 puede ser tóxico. Los valores inferiores a 0.03 mg/l en todas las muestras obtenidas del río Suaza muestran un estado de contaminación muy bajo, teniendo en cuenta que se trata de un río de orden inferior y que por la altura a la que se encuentra (1850 m.s.n.m) tiene buena captación de oxígeno.

En conclusión, se pudo evidenciar que el paso del río Suaza por el interior de la cueva de los Guacharos tiene un efecto positivo con respecto al aporte nutrientes, atribuido principalmente a la actividad de la especie *Steatornis caripensis*. Dadas las particularidades de las cuevas con respecto a sus cualidades kársticas y ecológicas, es necesaria la toma de medidas para el manejo adecuado de estas regiones que permitan la conservación de su fauna, que en muchos casos es única en el mundo y por tanto de gran relevancia para biodiversidad global del planeta. Hay todavía necesidad de continuar e incrementar el conocimiento científico acerca de ecosistemas peculiares y regiones limnológicas inexploradas como la considera en este trabajo (Gopal & Wetzel, 1995; Wetzel & Gopal, 1999 citados por Schmitter *et al.*, 2002)

#### **BIBLIOGRAFÍA**

Alberic, P., Lepiller, M. 1998. Oxydation de la matière organique dans un système hydrologique karstique alimenté par des pertes fluviales (Loiret, France). Elsevier Science. Vol. 32, Nº 7, pp. 2051-2064.

Forti, P., Hil, C.. Speleothems: Evaporite. De Encyclopedia of Caves and Karst Science. ISBN: 0-203-48385-5 2004. Disponible el 15 de Noviembre del 2010 en: <http://www.bookrags.com/tandf/speleothems-evaporite-tf/>

Galán, C. 2005. Notas de campo sobre Hidrogeología y fauna cavernícola del Sistema Mara (Sierra de Perija, Estado Zulia, Venezuela). Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología V. 39. Caracas

Galán, C., Herrera, F. 2006. Fauna cavernícola de Venezuela: una revisión. Bol. Soc. Venezolana Espeleol. 40: 39-57.

Margalef, R. 1983. Limnología. Ediciones Omega S.A., Barcelona, España.

Metcalf, E. 1998. Tratamiento, vertido y reutilización. Vol. I, Mc Graw-Hill. México.

NSW Department of primary industries. Phosphates rock. Disponible el 15 de Noviembre del 2010 en: [http://www.dpi.nsw.gov.au/\\_data/assets/pdf\\_file/0004/238198/Phosphate.pdf](http://www.dpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0004/238198/Phosphate.pdf)

Onac, B., Veres, D. 2003. Sequence of secondary phosphates deposition in a karst environment: evidence from Magurici Cave (Romania). E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.

Peralta, P., León, J. 2006. Estudios de caracterización limnológica de los embalses de la provincia de Mendoza. Componente de calidad de agua y suelo. Programa de riego y drenaje de la provincia de Mendoza prosap – dgi – oei. Departamento general de irrigación, gobierno de Mendoza, provincia de Mendoza. Argentina.

Prias, C., Lozano, L., Morales, M., Guayara, M., Luna, V. 2006. Acción de los guácharos (*Steatornis caripensis*). Disponible el 22 de Noviembre del 2010 en: <http://www.monografias.com/trabajos30/guacharos/guacharos.shtml>

Roldán, G., Ramírez, J. 2008. Fundamentos de limnología neotropical. Segunda edición. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

Schmitter, J., Comin, F., Escobar, E., Herrera, J., Alcocer, J., Suárez, E., Elias, M., Díaz, V., Marin, L., Steinich, B. 2002. Hydrogeochemical and biological characteristics of cenotes in the Yucatan Peninsula (SE Mexico). Hydrobiologia 467: 215–228

Stumm, W. , Morgan. J. 1983. Aquatic Chemistry. New York, 1981. 2nd Edition. 780 pp. Water Research, Volume 17, Issue 7, 1983, Page 837. J.D. Gardine,

Vizcarra, J. 2010. Anidamiento de "guácharos" (*Steatornis caripensis*) en Putina Punco, sureste de Perú. Biologist (Lima). Vol. 8, N°1.

Wetzel, R. 1981. Limnología. Ediciones Omega S.A., Barcelona, España.

Las cuevas: ecosistemas singulares y frágiles. Disponible el 15 de Noviembre del 2010 en: <http://mundobiologia.portalmundos.com/las-cuevas-ecosistemas-singulares-y-fragiles/>

Los nitritos. Disponible el 09 de Noviembre del 2010 en:  
[http://www.tdr.cesca.es/TESIS\\_UPC/AVAILABLE/TDX-0712101-075103/04ComponentesAguas05.pdf](http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0712101-075103/04ComponentesAguas05.pdf)

Nitratos y nitritos. Disponible el 09 de Noviembre del 2010 en:  
<http://www.lennotech.es/nitratos-y-nitritos.htm>

Nitrito: presencia en las aguas. Disponible el 09 de Noviembre del 2010 en:  
<http://www.xtec.cat/~gjimene2/licencia/students/03aguas.html>

# EFFECTO DEL pH Y LA CONDUCTIVIDAD SOBRE LAS COMUNIDADES DE PERIFITON DE DOS SISTEMAS LÓTICOS DEL P.N.N. CUEVA DE LOS GUACHAROS

Claudia Angélica Bonilla<sup>1</sup>, Oscar Giovanni Urrego<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología. Estudiante.

---

## RESUMEN

Se determinó el efecto de la interacción de un pH ácido con una baja conductividad sobre el perifiton de una quebrada y se contrastó con el efecto de la interacción de un pH básico con una conductividad alta, en otra quebrada del PNN Cueva de los Guacharos. Con las condiciones abióticas relativamente constantes en ambas quebradas, se encontraron diferencias en abundancia, riqueza y diversidad de organismos que componen el perifiton. Géneros como *Synedra* y *Eunotia* presentaron un alto grado de especificidad ambiental, mientras que el género *Botryococcus* se encontró en ambas quebradas. Las diferencias entre las comunidades perifíticas de ambas quebradas podrían atribuirse a las diferencias en las condiciones de conductividad y pH, pero se requieren estudios más detallados para comprobar estas primeras evidencias.

**Palabras claves:** Conductividad, Panque Nacional Natural Cueva de los Guácharos Perifiton, pH.

## ABSTRACT

It was established the effect of the interaction of an acid pH with a low conductivity on the periphyton of a stream and was compared with the effect of the interaction of a basic pH with a high conductivity, in other stream of PNNCG. With relatively constant abiotic conditions in both streams, differences were found in abundance, richness and diversity of organisms that take part of the periphyton. Genus *Eunotia* and *Synedra* have shown a high degree of environmental specificity, while the genus *Botryococcus* was found in both streams. The differences between periphytic communities in both streams could be attributed to differences in conductivity and pH conditions, but more detailed studies are needed to verify these initial evidence.

**Keywords:** Conductivity, Panque Nacional Natural Cueva de los Guácharos, Periphyton, pH.

## INTRODUCCIÓN

Los análisis limnológicos se orientan a determinar características fisicoquímicas del agua y de las comunidades asociadas. Se parte del principio de que a cada tipo de ecosistema acuático está asociada una comunidad particular de organismos (Roldán, 1992; Roldán, 1996; Lampert y Sommer, 1997; Wetzel y Likens, 2000). El perifiton es una comunidad acuática que ha sido definida por Wetzel y Likens (2000) como una asociación compleja de microbita (algas, bacterias, hongos, animales, detritos orgánicos e inorgánicos)

adheridas a un sustrato que puede ser orgánico o inorgánico (Wetzel, 1983). Además cumple un rol importante como productor primario, aportando un 70 u 80% de la productividad total, es base de la cadena trófica y sirve como indicador biológico de las características físicas y químicas del agua en los sistemas lóticos (Roldán, 1992). Su crecimiento está regulado por la interacción de varios factores como la luz, la disponibilidad de sustrato, la concentración de nutrientes, las propiedades químicas del agua (concentración de oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica), la hidrodinámica del sistema (corrientes, caudal) y la herbivoría (Díaz-Quirós y Rivera-Rondón, 2004).

El pH representa el potencial de hidrogeniones ( $H^+$ ) e indica la concentración de estos iones en el agua (Cole, 1983). El agua a su vez, es un electrolito débil por lo que se espera que sólo una fracción de ella se disocie en iones ( $H^+$ ) y ( $OH^-$ ); una concentración alta de iones ( $H^+$ ) en comparación a los  $OH^-$  disminuye el pH haciendo el agua más ácida, y una concentración alta de ( $OH^-$ ) frente a los ( $H^+$ ) ocasiona que el pH aumente y el agua sea básica. Un ecosistema con un pH menor a tres indica aumento de la concentración de ácidos orgánicos disueltos ( $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ ) y ácido oxálico, además del  $H_2CO_3$  que se forma por acción de los microorganismos acuáticos. Cuando estos ácidos se disocian, aumenta la concentración de ( $H^+$ ) y disminuye el pH (Cole, 1983).

Algunos de los factores que modifican el pH son el origen geológico de las aguas, ya que lagos y lagunas cerca a regiones volcánicas tienen pH bajo; el balance hídrico, porque ecosistemas con pH mayor a nueve se hallan en regiones con balance hídrico negativo donde la precipitación es menor a la evaporación; y la presencia de sulfatos, ya que el azufre puede formar ácido sulfhídrico en medios anaeróbicos, principalmente en el fondo de los lagos acidificando considerablemente el agua (Roldán, 1992).

El pH también está regulado por el sistema tampón del ión bicarbonato. Este sistema se ve afectado por la actividad biológica y por el intercambio del  $CO_2$  con el aire; las algas remueven el  $CO_2$  en su actividad fotosintética y como consecuencia el pH aumenta; igual efecto sucede cuando se remueve el  $CO_2$  por aireación. Un pH entre ocho y nueve da aguas de alcalinidad moderada (Sawyer y Mc Carty, 1978).

Entre los efectos del pH en los ríos se destaca la disminución de la productividad primaria cuando hay una creciente acidez, ya que producen cambios fatales en la mayoría de las especies. Bajo condiciones ácidas desaparecen la mayoría de los invertebrados acuáticos y se produce un cambio de bacterias a poblaciones de hongos, disminuyéndose la descomposición de la celulosa y la concentración de oxígeno (Carmouze *et al.*, 1994).

La conductividad es otra de las variables químicas que tiene una fuerte influencia sobre el tipo de comunidad que se establece en un determinado ecosistema acuático. Está definida por la presencia de sales en el agua, la cual genera iones positivos y negativos capaces de transportar la energía eléctrica. Las sales en los cuerpos de agua continentales están dadas por la composición química del sustrato y son un reflejo de la naturaleza química del terreno por el que transcurren las aguas (Clarke, 1924). Los aniones más importantes en las aguas naturales son carbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos; estos se encuentran en combinación con cationes tales como calcio, sodio, potasio, magnesio y el hierro formando sales ionizables (Roldán, 1992). La conductividad dada por estos iones se ve afectada por la temperatura, por lo que se aconsejan temperaturas de medición de 18 a 20°C. También existe una relación entre la



conductividad y el pH, ya que a valores bajos, por ejemplo pH <5.0, los iones H<sup>+</sup> se convierten en los principales responsables de la conductividad; de igual forma lo hacen los iones OH<sup>-</sup> a pH > 9.0 (Roldán, 1992). Se ha observado que en las quebradas tropicales la conductividad aumenta a medida que estas descienden de la cabecera debido a la erosión en el cauce, el arrastre de sedimentos y la escorrentía. Otros factores como la estacionalidad, la hidrología, la actividad agrícola y la contaminación de origen doméstico también alteran el contenido de iones, de materiales disueltos, y de nutrientes, afectando la conductividad (Wetzel, 1983). Se sabe que una alta conductividad debido a las elevadas concentraciones de iones disueltos provocan estrés osmótico en el fitoplancton (Agrawal, 1999), lo que implica baja diversidad de especies para ríos con conductividades altas y mayor diversidad de especies en ríos con bajas conductividades (Roldán, 1992).

Gran parte del comportamiento de la conductividad se debe a los sulfatos. El sulfato se encuentra en el agua como SO<sub>4</sub> procedente de lluvias y por disolución de rocas que tengan compuestos como CaSO<sub>4</sub> y FeS<sub>2</sub>, también conocida como la pirita. Los sulfatos son los aniones más importantes en el agua después de los carbonatos ya que constituyen algunos aminoácidos como cistina, cisteína, y metionina y están fuertemente relacionados con el pH del agua; a pH superior a 8.0 el azufre es reducido y existe en solución como HS<sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y el H<sub>2</sub>S se encuentra en pequeñas cantidades. A pH inferiores a 8.0 se empieza a formar H<sub>2</sub>S alcanzando su máxima concentración a pH de 5.0 donde causa graves problemas de corrosión en tuberías y toxicidad en los organismos (Wetzel y Likens, 2000).

Debido a las fuertes diferencias en el pH y la conductividad presentes entre las quebradas La Encantada y Chánchiras, ubicadas dentro del Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos (PNNCG), se planteó la hipótesis de que estas condiciones podrían estar ejerciendo una fuerte presión sobre los componentes de la comunidad de perifiton en cada uno de los dos sitios. En la quebrada La Encantada, el pH es de 7.49 y la conductividad de 367 µS/cm<sup>-1</sup>; esta alta conductividad está dada por la cercanía a la laguna La Encantada, de donde se origina, y siendo esta última un sistema léntico, aumenta la conductividad de la quebrada por la cantidad de aniones y cationes que se vierten. En la quebrada Chánchiras, el pH es de 4.13 y la conductividad de 6.4 µS/cm<sup>-1</sup>. Las quebradas y lugares de muestreo estudiados fueron elegidos por su similitud en otros factores como la temperatura, la luz y caudal, esto con el fin de disminuir los efectos diferenciales producidos por estos otros factores en el establecimiento y funcionamiento ecológico de la comunidad de perifiton.

## **METODOLOGIA**

### **MUESTREO**

Los dos ecosistemas lénticos (Chánchiras (1934 msnm) y La Encantada (1836 msnm)) se ubican en las coordenadas (1.61559214 N; 76.1062195 O) y (1.61545367 N; 76.1024077 O), respectivamente. El día 15 de septiembre de 2010 se realizaron tres muestreos en cada quebrada en diferentes puntos, buscando que tuvieran la misma luminosidad, el mismo sustrato y temperatura y caudal similares. El muestreo se realizó por medio de diez raspados con cepillos de dientes dentro de un área de 86.4 cm<sup>2</sup>, lo que corresponde a 10 veces el área de un marco de diapositiva de 3.6 x 2.4 cm. Las muestras se almacenaron

en frascos de 50ml con solución transeu cuyas proporciones fueron 6:3:1 de agua, alcohol y formol.

Los sitios con igual luminosidad se estandarizaron con histogramas de distribución de brillo de imagen reportados al tomar fotos del lugar de muestreo con una cámara canon A510. Los lugares de muestreo se caracterizaron por tener los mismos histogramas de luminosidad (baja luminosidad), la misma vegetación en los alrededores (tipo rastrojo), la misma pendiente suave y un cauce lento con poca turbulencia. Todas las muestras recolectadas provienen del mismo sustrato tipo roca totalmente sumergidas.

## ANÁLISIS DE MUESTRAS

La caracterización del perifiton se estimó a través de la sedimentación durante al menos un día, de 5 ml de muestra en cámaras de sedimentación, posterior a lo cual se realizó el conteo e identificación de los microorganismos con la ayuda de un microscopio invertido. La identificación se realizó con ayuda de libros guía (Heinz, 1985 y Ramirez, 2000).

Para la determinación de nutrientes se tomaron 250 ml de agua de cada una de las quebradas e inmediatamente se fijaron (acidificación) con 10 gotas de ácido sulfúrico. En el Laboratorio de Ecología del Departamento de Biología de la Universidad Nacional se neutralizaron las muestras con hidróxido de sodio hasta obtener un pH neutro. Se tomaron muestras de 25 ml del agua neutralizada de cada una de las quebradas y se les aplicó los métodos de ácido ascórbico- Phos Ver 3 (fosfatos), Sulfa Ver 4 (Sulfatos) y reactivo de Nessler (Amonio), para la cuantificación de estos elementos en un espectrofotómetro HACH DR2000.

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

Los resultados se sometieron a los siguientes estadísticos: Prueba de Shapiro Wilk para determinar la normalidad de las muestras, curvas de colector y estimadores no paramétricos Chao1 y Jack1 para determinar el esfuerzo de muestreo. Estos estadísticos se calcularon con el programa EstimatesWin800 8.20 (Cowell, 2006). También se calcularon los índices de dominancia, riqueza, abundancia y diversidad de Shanon y Simpson y se hizo un análisis de similitud Bray-Curtis. Para estos análisis se utilizó el programa PAST 1.74 (Hammer *et al.*, 2007). Además se realizó un análisis de varianza de dos factores para las abundancias totales de 11 géneros encontrados en las muestras con el programa Excel 2007.

## RESULTADOS

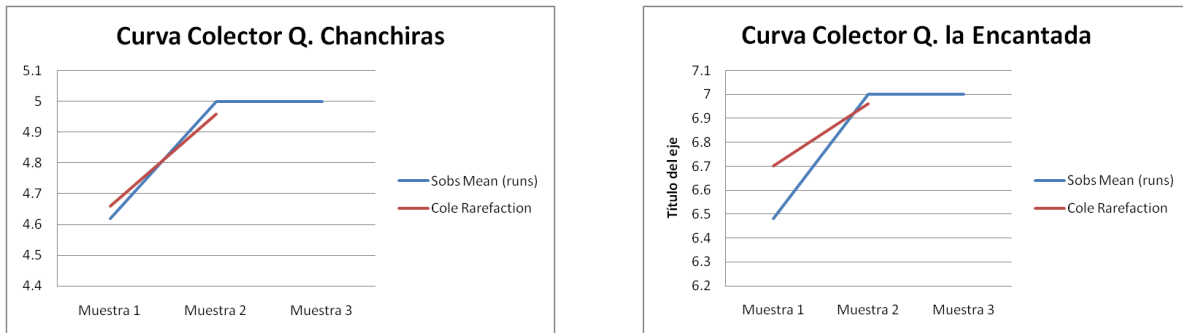
Quebrada	pH	Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$	Sulfatos (mg/L)	Amonio (mg/L)	Fosfatos (mg/L)
Chánchiras	4.13	6.4	1400	12.0625	0
La Encantada	7.49	367	725	25.375	0.23

**Tabla 1.** Concentración de nutrientes, pH y conductividad para las quebradas Chánchiras y La Encantada.

Debido que la quebrada La encantada presenta una mayor conductividad que la quebrada Chánchiras, las concentraciones de iones presentes en las quebradas deben ser diferentes, siendo mayor en la primera quebrada que en la segunda. Las concentraciones de amonio y fosfatos son más altos en Chánchiras que en La Encantada, sin embargo, la quebrada Chánchiras presenta aproximadamente el doble de concentración de sulfatos que La Encantada (Tabla 1).

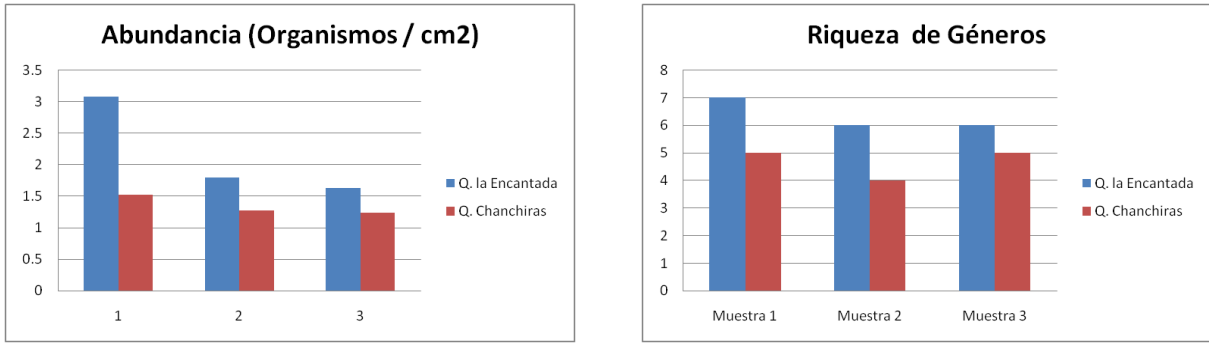
		Q. La Encantada	Q. Chánchiras
Estimadores No paramétricos	Géneros Observados (Sob)	7	5
	Chao1	7	5
	% diferencia entre Chao1 y Sob	0	0
	Jack1	7.6	5.38
	% diferencia entre Jack1 y Sob	7.89	7.06
Prueba de Shapiro Wilk P(normal)		>0.05421*	>0.3275*

**Tabla 2.** Estimadores de esfuerzo de colecta Chao 1 y Jack1 y Prueba de Shapiro Wilk (normalidad) de la comunidad de perifiton en el PNNCG.  $\alpha= 0.05$ ; \*: Muestras con distribución normal.

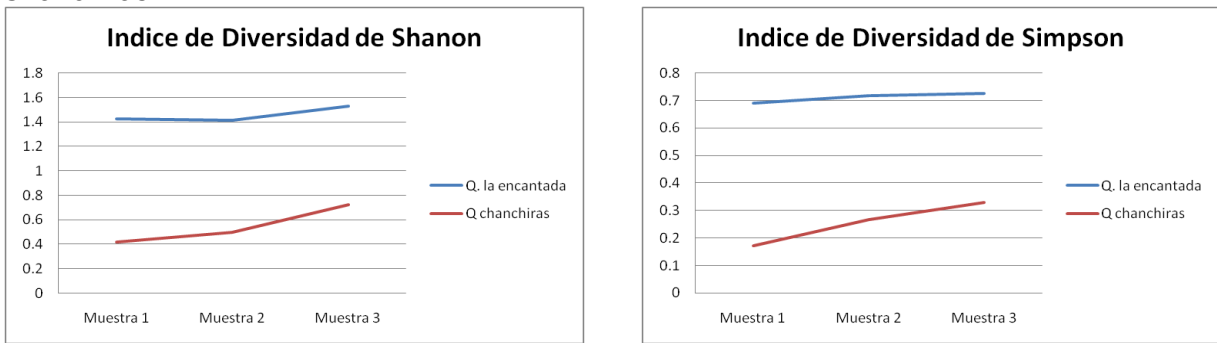


**Figura 1.** Curvas de esfuerzo de colecta en los sitios de muestreo Quebrada Chánchiras y Quebrada La Encantada.

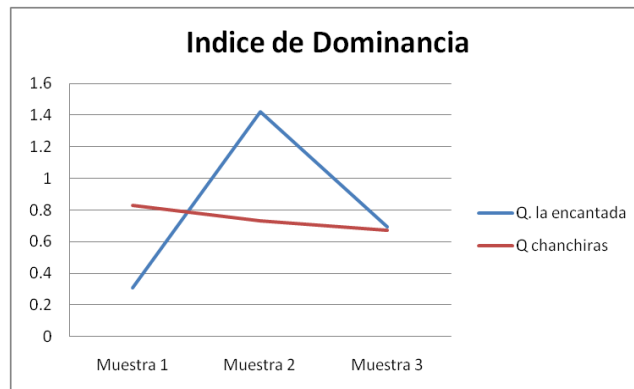
El número de géneros esperados es igual al número de géneros encontrados en ambas quebradas con el estimador paramétrico Chao1, mientras que Jack1 estima un 7.89% de déficit en los géneros esperado para la quebrada La Encantada y 7.06% para Chánchiras (Tabla 2). Estos resultados, junto con las curvas colector para las dos quebradas (Fig. 1) indican un alto nivel de representatividad de las muestra. La prueba de normalidad (Shapiro Wilk) revela la distribución normal de las muestras en cada una de las dos quebradas (Tabla 2).



**Figura 2.** Abundancia de organismos y riqueza de géneros de la comunidad de perifiton en las tres réplicas de los sitios de muestreo de la Quebrada La Encantada y la Quebrada Chanchiras.



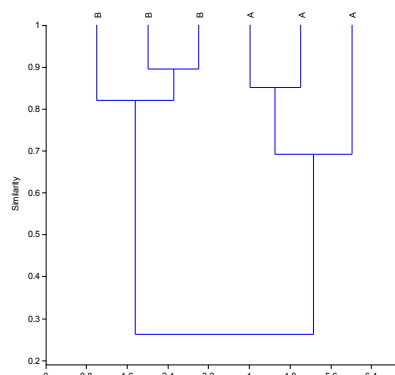
**Figura 3.** Índices de diversidad (Shanon y Simpson) de la comunidad de perifiton en la Quebrada La Encantada y la Quebrada Chanchiras.



**Figura 4.** Índice de dominancia en la comunidad de perifiton en las quebradas La Encantada y Chanchiras.

La abundancia y riqueza de géneros, así como los índices de diversidad Shanon y Simpson son relativamente más altos para la quebrada La Encantada que para la quebrada Chanchiras (Figs. 2 y 3); por otro lado, el índice de dominancia es similar entre ambas quebradas (Fig. 4). El dendrograma de similaridad Bray-Curtis refleja altos niveles de similaridad entre las réplicas de cada quebrada, pero la disimilaridad entre Chanchiras y La Encantada es muy baja ( $< 0.3$ ) (Fig. 5). Por otro lado, el análisis de varianza para los

abundancias totales de los 11 géneros colectados, muestra diferencias entre las dos quebradas, lo cual implica que las comunidades perifíticas entre ambas son diferentes (Tabla 3).



**Figura 5.** Dendrograma de similaridad Bray-Curtis con base en la comunidad perifítica. A: Quebrada La Encantada. B: Quebrada Chánchiras.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	687.4090909	1	687.409091	6.97662617	0.011389242	4.06170634855983*
Columnas	30211.27273	10	3021.12727	30.6619099	1.32486E-16	2.053901003
Interacción	17298.42424	10	1729.84242	17.5564509	2.79794E-12	2.053901003
Dentro del grupo	4335.333333	44	98.530303			
Total	52532.43939	65				

**Tabla 3.** Análisis de varianza de dos factores de la abundancia para 11 géneros de la comunidad de perifiton en las quebradas La Encantada y Chánchiras.  $\alpha = 0.05$ ; \* =diferencias estadísticamente significativas.

## DISCUSIÓN

La determinación de nutrientes (Tabla 1) muestra una alta concentración de sulfatos en la quebrada Chánchiras, lo cual no es consecuente con la baja conductividad registrada. Es posible que otros iones no medidos (cloruro, nitritos, magnesio, calcio, potasio, hierro) sean los que determinan las diferencias de conductividad entre las dos quebradas.

El análisis de esfuerzo de colecta de las muestras de perifiton reflejan una alta representatividad de la comunidad en el sitio de muestreo, manifestado principalmente en los índices Chao1 y Jack1 (Tabla 2). La curva colector (Fig. 1) no es exacta y determinante del esfuerzo de colecta, puesto que solo se hicieron tres réplicas de muestreo por quebrada. Dada la calidad de la colecta, las muestras de las dos quebradas se distribuyen de forma normal (Tabla 2).

La abundancia de organismos por  $\text{cm}^2$  fue en promedio más alta para la quebrada La Encantada (promedio  $2.17 \text{ org/cm}^2$ ) que para la quebrada Chánchiras ( $1.34 \text{ org/cm}^2$ ). Otro tanto mostraron la riqueza de géneros (Fig. 2) y los índices de diversidad de Shanon y

Simpson (Fig. 3). Por otro lado, el índice de dominancia para la quebrada La Encantada es de 0.8 y para la quebrada Chánchiras de 0.74 (Fig. 4). Estos elevados índices de dominancia (que se complementan con las bajas diversidades) están dados por la predominancia de *Closterium* en La Encantada y de *Botryococcus* en Chánchiras. El dominio de las clorofíceas en la composición general del perifiton de estas quebradas es reflejo de la dominancia de *Botryococcus* en ambas quebradas, por lo que al parecer, las condiciones de luminosidad no parecen haberlo afectado (Anexo 1, 2 y 3).

El dendrograma de similaridad Bray-Curtis (Fig. 5) refleja un alto grado de similitud dentro de las réplicas de cada quebrada (lo que indica una homogeneidad en las réplicas), pero al mismo tiempo, muestra grandes diferencias entre las dos quebradas. De igual manera, el análisis de varianza (Tabla 3) deja ver diferencias significativas entre las abundancias totales para los 11 taxones (Anexo 4a y 4b) de las dos quebradas con un nivel de confianza del 95%, lo que quiere decir que las comunidades de perifiton de los dos sistemas lóticos son diferentes.

La quebrada Chánchiras presenta una baja conductividad, lo que la hace sensible a procesos de acidificación (Niederhauser y Schanz, 1994), y esto se observa en su bajo pH. La quebrada La Encantada presenta una alta conductividad y un pH básico (Tabla 1). El efecto de las dos variables no se dá por separado, sino que la interacción conjunta de ellas provocan los efectos sobre el perifiton. Agrawal (1999) indica que una conductividad alta conlleva a estrés osmótico en el fitoplancton, lo que conduce a una reducción de la diversidad de especies en cuerpos de agua con alta conductividad; sin embargo, a bajos pH, la conductividad es consecuencia de la cantidad de iones H<sup>+</sup>. Además, en soluciones de bajo pH los sulfatos, fosfatos y carbonatos no se solubilizan de manera significativa (Roldán, 1992). Todo esto parece indicar que la conductividad en la quebrada Chánchiras está siendo determinada por la alta concentración de hidrogeniones, más que por la cantidad de nutrientes y otros iones (Tabla 1). Esto conlleva a una reducción en la abundancia, riqueza y diversidad de la biota (Roldán, 1992), puesto que no se presentan condiciones de nutrientes óptimas para el desarrollo de la comunidad perifítica.

Potapova y Charles (2003) describieron las especies de diatomeas encontradas en un gradiente de conductividad en ríos norteamericanos. Reportan a *Eunotia* como un género preferentemente encontrado en condiciones de bajo pH (acidófilo) y baja conductividad (48-66  $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ ); el género *Synedra* por su parte se desarrolla mejor en condiciones de conductividad alta (196-386  $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ ) (Potapova y Charles, 2003). Estos reportes son congruentes con la presencia de *Eunotia* en la quebrada Chánchiras y su ausencia en la quebrada La Encantada, así como la presencia de *Synedra* en La Encantada y su ausencia en Chánchiras.

Dada la abundancia de *Botryococcus* (Anexos 2, 3, 4a y 4b) tanto en la quebrada Chánchiras como en La Encantada, se puede inferir que la distribución de este género en los gradientes de pH y conductividad es amplia. El género *Botryococcus* se ha descrito como eurioico (de amplia distribución) por varios autores (Ramírez, 2000; Pinilla 1998). Al pertenecer al orden de los Chlorococcales, presenta características (mucílago) que aumentan su adaptación a diferentes condiciones ambientales, pero siempre en cuerpos de agua relativamente claros, como es el caso de las quebradas estudiadas. Como consecuencia de estas adaptaciones, los taxones pertenecientes al orden Chlorococcales se encuentra en cuerpos de agua oligotróficos y eutróficos (Reynolds, 1997).

Por otro lado, los niveles comparativamente más altos de riqueza, diversidad y abundancia de la comunidad de perifiton en la quebrada La Encantada (Figs. 2, 3 y 4) pueden atribuirse a las mayores concentraciones de amonio y fosfatos presentes en esta quebrada (Tabla 1). Si bien esto podría generar estrés osmótico en los organismos (Agrawal, 1999), las concentraciones reportadas para la quebrada La Encantada no superan los valores críticos registrados en otros trabajos (Potapova y Charles, 2003). En consecuencia, el pH más alto y las altas concentraciones de nutrientes provocarían una mayor abundancia perifítica.

A pesar de haber una diferencia en la conductividad entre las dos quebradas, esta diferencia no parece ser lo suficientemente amplia para generar un efecto significativo sobre la comunidad de perifiton de los dos ecosistemas (Potapova y Charles, 2003). El pH, íntimamente relacionado con la conductividad, por el contrario puede estar generando una presión selectiva sobre la comunidad perifítica, puesto que cambios de 0,3 unidades en la escala de pH generan variaciones significativas sobre las diatomeas (Niederhauser y Schanz, 1994) y posiblemente sobre otros componentes del perifiton. Será necesario realizar estudios más amplios y detallados del perifiton en estos sistemas lóticos a fin de validar las primeras evidencias que arroja el presente estudio.

## BIBLIOGRAFIA

- Agrawal, S. 1999. *Limnology*. New Delhi: APH Publishing Corporation.
- Blinn, D. 2001. Diatom community structure along physicochemical gradients in Saline lakes. *Ecology* 74: 1246-1263. 2001
- Carmouze, J., Farias, P., Domingos, P. 1994. Évolution Du Métabolisme D'une Lagune Tropicale (Brésil) Au Cours D'une Période Marquée Par Une Mortalité De Poissons. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 27.
- Clarke, F. 1924. *The Composition Of River And Lake Waters Of The United States*. U.S. Geol. Survey Profess. N°135.
- Cole, G. 1983. *Textbook Of Limnology*. The C.V Mosby Co. St. Louis.
- Colwell, R. 2006. *Estimates 8.0*. Department of Ecology & Evolutionary Biology, University of Connecticut, Storrs, CT 06869-3043, USA. <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>.
- Díaz, C., Rivera, C. 2004. Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadores de condiciones ambientales. *Caldasia*. 26(2): 381-394.
- Hammer, O., Harper, D., Ryan, P. 2007. *PAST - Palaeontological STatistics*, ver. 1.73. <http://folk.uio.no/ohammer/past>.
- Heinz, S., Strebels, H. 1985. *Atlas de los microorganismos de agua dulce: La vida en una gota de agua*. Ed. Omega, Barcelona. 377 p.
- Lampert, W., Sommer, U. 1997. *Limnoecology: The Ecology Of Lakes And Streams*. Nueva York: Oxford University Press.

Niederhauser, P., Schanz, F. 1994. Comparison of diatom communities in remote high-mountain lakes using index B and cluster analysis. *Hydrobiologia* 274: 115-120.

Pinilla, G. 1998. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. compilación bibliográfica Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.

Potapova, M., Charles, D. 2003. Distribution of benthic diatoms in U.S. rivers in relation to conductivity and ionic composition. *Freshwater Biology* 48, 1311–1328.

Ramírez, J. 2000. Fitoplancton de agua dulce. Aspectos taxonómicos, ecológicos y sanitarios. Editorial Universidad de Antioquia.

Reynols, C. 1997. *Vegetation Processes in the Pelagic: A model for Ecosystem Theory*. Ecology Institute. Germany.

Rodríguez, M., Rodríguez, C. 2007. Diatomeas y calidad del agua de los ríos del Macizo Central Gallego (Ourense, N.O. España) mediante la aplicación de índices diatomológicos *Limnetica*, 26 (2).

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

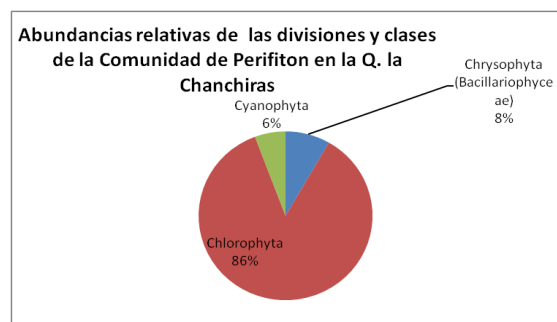
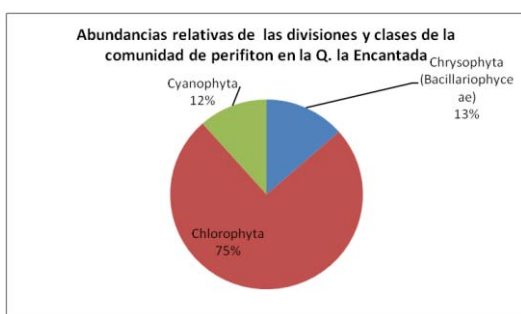
Roldán, G. 1996. *Guía Para el Estudio de los Macroinvertebrados Acuáticos del Departamento de Antioquia*. FEN-Colciencias, Bogotá.

Sawyer, C., Carty, M. 1978. *Chemistry For Environmental Engineering*. 3th. Edition. Mc. Graw- Hill Book Company.

Wetzel, R. 1983. *Periphyton Of Aquatic Ecosystem*. B.V. Junk, The Hague, Holanda.

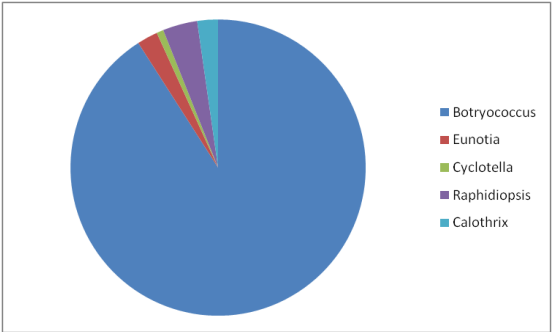
Wetzel, R., Likens, G. 2000. *Limnological Analyses*, 3 Ed. Nueva York: Springer Verlag.

## ANEXOS

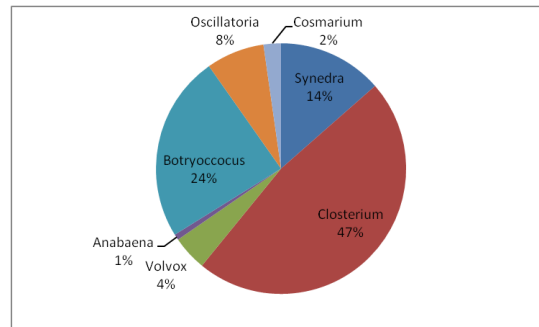


**Anexo 1.** Abundancia relativa de la comunidad de perifiton en las Quebradas Chanchiras y la Encantada.





**Anexo 2.** Abundancia relativa de géneros de la comunidad de perifiton en la Quebrada Chánchiras.



**Anexo 3.** Abundancia relativa de géneros pertenecientes a la comunidad de perifiton en la Quebrada La Encantada.

	Botryococcus	Eunotia	Cyclotella	Raphidiopsis	Calothrix
Muestra 1	1.388888889	0.034722222	0.011574074	0.05787037	0
Muestra 2	1.076388889	0.173611111	0	0.011574074	0.011574074
Muestra 3	1.006944444	0.092592593	0	0.081018519	0.011574074

**Anexo 4a.** Abundancia (org/cm<sup>2</sup>) para la quebrada Chánchiras.

	Synedra	Closterium	Volvox	Anabaena	Botryococcus	Oscillatoria	Cosmarium
Muestra 1	0.4166667	1.458333	0.138889	0.023148	0.740740	0.231481	0.069444
Muestra 2	0.2777778	0.7638889	0.04629	0.011574	0.393518	0.300925	0
Muestra 3	0.185185	0.7407407	0.104166	0	0.300925	0.185185	0.115740

**Anexo 4b.** Abundancia (org/cm<sup>2</sup>) en la quebrada La Encantada.

# EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA CHÁNCHIRAS (PARQUE NACIONAL CUEVA DE LOS GUÁCHAROS) CON BASE EN LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS

Ángela Viviana Rojas Rojas<sup>1</sup>, Adriana Amado Holguín<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología. Estudiante.

---

## RESUMEN

Con el objetivo de estimar la calidad del agua y el estado de conservación de la quebrada Chanchiras en el Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos (PNNCG), se realizó un estudio acerca de la comunidad de macroinvertebrados. La estructura de la comunidad se evaluó mediante índices de riqueza, abundancia, equitatividad, diversidad y similaridad; la estimación de la calidad del agua se realizó mediante el índice BMWP/Col y ASPT, índice biótico de familias de Hilsenhoff (IBF) y el índice de integridad biótica (IIB). En general, todos los índices usados muestran que la quebrada presenta buena calidad de agua y un buen estado de conservación. Se evidenció una riqueza intermedia, diversidad y equitatividad considerable, y pocas familias dominantes que en su mayoría corresponden a los órdenes Tricotera, Ephemeroptera, Plecoptera, Díptera, Coleóptera y Acari.

**Palabras clave:** Bioindicación, índices de diversidad, macroinvertebrados, Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos, quebrada Chánciras.

## ABSTRACT

In order to estimate the water quality and the conservation status of the Quebrada Chanchiras National Park Natural Cueva de los Guácharos (PNNCG), we conducted a study about the macroinvertebrate community. The community structure was assessed using indices of richness, abundance, evenness, diversity and similarity; the estimation of water quality was realized through BMWP / Col and ASPT, index of Family Biotic of Hilsenhoff (IBF) and the index Biotic Integrity (IBI). In general, all index used show that the creek has good water quality and good condition. It showed an intermediate richness, considerable diversity and evenness, and few dominant families that mainly relate to orders Tricotera, Ephemeroptera, Plecoptera, Diptera, Coleoptera and Acari.

**Keywords:** Bioindication, diversity index, macroinvertebrates, Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos, quebrada Chánciras.

## INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas lóticos y lénticos, son típicamente complejos y envuelven muchos fenómenos físicos, químicos y biológicos dentro de una compleja dinámica espacial y temporal. El agua posee características físicas y químicas que la hacen fundamental y única para el desarrollo de la vida. Por lo tanto cualquier alteración que sufra, causa cambios en la estructura de las comunidades que la habitan. (Roldán, 2003; Rivera *et al.*, 2008). Para evaluar la calidad ambiental o calidad ecológica de los cuerpos de agua naturales se aplican criterios que definen un ecosistema sano como aquel que posee un alto nivel de biodiversidad, productividad y habitabilidad. Los aspectos biológicos han adquirido una creciente importancia en el estudio de los sistemas acuáticos, debido a que las variables físicas y químicas no determinan con precisión la calidad de las aguas y sólo dan una idea específica sobre ella. Peces, algas, protozoos y otros grupos de organismos se han recomendado para valorar la calidad del agua, pero los macroinvertebrados son el grupo

más usado como indicador del estado ambiental de las quebradas y ríos por ser muy sensibles a los cambios de su ambiente y vulnerables a las perturbaciones antropogénicas, al vivir en hábitats de pequeña escala. (Álvarez, 2006).

Las comunidades de macroinvertebrados se utilizan como testigos biológicos del nivel de deterioro ambiental de las corrientes superficiales, ya que reflejan las condiciones y los cambios ecológicos que ocurren en el sistema. La integridad de las comunidades de invertebrados depende mucho de la integridad estructural de la corriente y de los procesos asociados con el hábitat físico. La degradación del hábitat impacta negativamente a estas comunidades, lo que a su turno da lugar al decrecimiento del ciclo de nutrientes y de la producción de peces, como los salmónidos, que tienen a los macroinvertebrados como eslabón de su cadena trófica. (Álvarez, 2006).

La preocupación por el deterioro de la biodiversidad ha generado interés en el estudio de aquellos grupos dominantes y poco estudiados como son los macroinvertebrados acuáticos, los cuales son uno de los componentes más diversos en los ecosistemas acuáticos, que ocupan una gran variedad de nichos funcionales. Además tienen importancia en la dinámica metabólica de los ecosistemas acuáticos, constituyendo un componente de producción secundaria fundamental y por lo tanto una vía de flujo energético considerable para otros niveles tróficos. (Rivera *et al.*, 2008).

Se considera que un organismo es un buen indicador de calidad del agua cuando este se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y cuando su población es porcentualmente superior, o ligeramente similar, al resto de los organismos con los que comparte el mismo hábitat. Por ejemplo, en ríos de montaña de aguas frías, transparentes, oligotróficas y bien oxigenadas, se espera encontrar poblaciones dominantes de efemerópteros, tricopteros y plecópteros, odonatos, coleópteros, hemípteros, dípteros, neurópteros, ácaros, crustáceos y otros grupos menores. En ríos y quebradas que están siendo contaminadas con materia orgánica, de aguas turbias, con poco oxígeno y eutróficas, se espera encontrar poblaciones dominantes de oligoquetos, quironomidos y ciertos moluscos; y en aquellos cuerpos de agua que comienzan a mostrar síntomas de contaminación, o que están en proceso de recuperación es común encontrar poblaciones dominantes de turbelarios, hirudíneos, algunas especies de moluscos, quironomidos, oligoquetos y ciertos grupos de efemerópteros y tricopteros. (Roldán, 1992).

Mediante un sistema de bioindicación la información taxonómica se traduce en un índice, valor o clase de calidad de agua, lo que facilita la interpretación de un gran número de datos que resultan de los llamados "monitoreos biológicos" y hace los resultados más accesibles para aquellas personas que deben tomar decisiones acerca del manejo de los cuerpos de agua. Sobre la importancia y los problemas generales relacionados con el establecimiento de índices biológicos se encuentran en la literatura gran cantidad de trabajos teóricos, así como métodos publicados. (Riss *et al.*, 2003).

Los índices biológicos se utilizan en forma complementaria a los análisis físicos y químicos; aunque con su aplicación es imposible identificar los agentes contaminantes existentes, sus ventajas no se limitan al momento de toma de la muestra. Esto se debe a que los organismos presentan adaptaciones evolutivas a unas determinadas condiciones ambientales y tienen unos límites de tolerancia a las diferentes alteraciones, lo que permite tener una cierta visión histórica de los acontecimientos ocurridos en un período, en función de la dinámica de las comunidades biológicas presentes. (Álvarez, 2006).

Entre los índices más comunes para determinar la calidad del agua están los de biodiversidad, que consideran el número de especies (morfoespecies) y el número de individuos por especie; otros índices comunes son los de medida de tolerancia/intolerancia, por ejemplo, el de puntuación BMWP (Biological Monitoring Working Party) y la puntuación

ASPT (Average Score per Taxon). Estas medidas dependen de la asignación de valores de tolerancia/intolerancia de los taxa (familias) e incluyen la riqueza. El índice BMWP se fundamenta en la presencia de familias sensibles o tolerantes a la contaminación del agua. Para calcularlo se suman los puntos asignados a cada familia según su tolerancia. Las puntuaciones altas significan alta sensibilidad a perturbaciones en la calidad del agua, y bajas, lo contrario. El índice de ASPT es un índice valioso para la evaluación de la calidad del agua, especialmente cuando hay alta diversidad; se calcula dividiendo la puntuación total BMWP por el número de los taxones calificados en la muestra, lo cual expresa el promedio de indicación de calidad del agua que tienen las familias de macroinvertebrados encontradas en un sitio determinado. Un valor bajo de ASPT asociado a una puntuación baja de BMWP indicará condiciones graves de contaminación. Para Colombia no se han establecido los límites del valor ASPT, y la biodiversidad para las diferentes calidades del agua y el BMWP todavía están en experimentación. (Arango *et al.*, 2008).

El propósito de este estudio fue evaluar el grado de conservación de la quebrada Chánchiras antes y después de la bocatoma, construida sobre su cauce para derivar agua, para el consumo potable en el centro de visitantes del Parque Nacional Cueva de los Guacharos (PNNCG). De esta manera se quiso determinar la estructura y composición de macroinvertebrados en cuatro microhábitats y ver los efectos de dicha obra sobre la quebrada.

## **METODOLOGÍA**

### **ÁREA DE ESTUDIO**

El estudio se llevó a cabo en la quebrada Chánchiras a 1934 msnm. Las coordenadas geográficas del sitio son 1,61545367 Latitud y -76,10240766 Longitud. Esta quebrada es la que supe de agua potable del centro de visitantes del PNNCG, para lo cual se construyó una bocatoma. Se establecieron cuatro microhábitats en la quebrada para el muestreo de los macroinvertebrados: corriente lenta, corriente rápida, salpicadura y pozo. Antes de la bocatoma se muestreó en todos los microhábitats y después de la bocatoma se muestreó sólo en pozo, ya que por el mínimo caudal los otros microhábitats no estaban disponibles.

### **MUESTREO DE CAMPO**

El muestreo se realizó durante un día, el 15 de septiembre de 2010, entre las 8 am y las 12 pm. Para la recolección de las muestras de agua se emplearon tres métodos: recolección con red Surber, con red Thieneman y colecta manual. La red Surber consiste en un marco metálico de 0,08 m<sup>2</sup> al cual está sujeta una red de nylon; este marco se colocó sobre el fondo y con las manos se removió el material del fondo dentro de su área y se lavaron las piedras allí presentes, quedando así atrapados los individuos dentro de la red. La red Thieneman es una red con un área de muestreo de 0,052 m<sup>2</sup>, que consiste de dos redes, una externa de nylon que está sujeta a un mango de aluminio, y una metálica interna que se acopla a la externa. Con ésta red se realizó un barrido a lo largo de las orillas con vegetación, luego de coleccionar los organismos, se procedió a separarlos del resto del material depositando la muestra en una bandeja blanca y retirando los individuos mediante pinces o pinzas de punta fina. Por último, la colecta manual consistió en sacar piedras del fondo, colocarlas dentro de una bandeja blanca y con una pinza de punta fina ir retirando los organismos de la piedra directamente o de la bandeja. En todos los casos, los organismos se almacenaron en tarros plásticos que contenían alcohol al 70 %.

### **TRABAJO DE LABORATORIO**





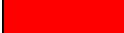
La identificación de los individuos se llevó a cabo en el Laboratorio de Ecología del Departamento de Biología de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. En todos los casos los organismos fueron identificados hasta el nivel taxonómico de familia, utilizando guías específicas, para la caracterización de macroinvertebrados acuáticos: Pennak, 1978; Needham & Needham, 1978; Lopretto & Tell, 1995; Roldán, 1996; Fernández & Domínguez, 2001.

## INDICES DE DIVERSIDAD Y VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

Para determinar la calidad del agua se utilizaron el índice de diversidad de Shannon-Weaver (cuyos valores esperados van entre 0 y 5), el índice biótico de familias (IBF) de Hilsenhoff, el índice BMWP modificado para Colombia, el índice ASPT y el índice de integridad biótica (IIB). El índice biótico de familias (IBF) se calculó multiplicando la abundancia de las familias de los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera por el puntaje de tolerancia correspondiente y dividiendo la sumatoria de estos productos en el número total de individuos colectados, siendo los valores más bajos indicativos de aguas de mayor calidad (Tabla 1). Para el cálculo del índice BMWP se hizo la suma de las puntuaciones ecológicas de las familias según su grado de tolerancia a la eutrofización. El ASPT se calculó dividiendo el puntaje BMWP obtenido, por el número de familias. Los valores ASPT se encuentran en un rango entre 0 y 10 y expresan el promedio de indicación de calidad del agua que tienen las familias de macroinvertebrados encontradas. Los valores del BMWP y el ASPT se correlacionan con cinco grados de contaminación y con cinco colores que los representan en la cartografía de calidad de las aguas (Tabla 2). El índice de integridad biótica (IIB) se estableció en base a los criterios y las puntuaciones descritas en la tabla 3 y 4. Las diferencias en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados se evaluaron mediante la aplicación del índice de similitud de Bray-Curtis, del índice de riqueza de Margalef y mediante la equitatividad. Adicionalmente se realizó una prueba de Kruskal-Wallis para determinar si existían diferencias entre los diferentes microambientes y entre el área de la quebrada antes y después de la bocatoma

Clase de Calidad	Rangos del índice	Calidad del agua
I	< 3,75	Excelente
II	3,76 - 4,25	Muy buena
III	4,26 - 5,00	Buena
IV	5,01 - 5,75	Regular
V	5,76 - 6,50	Relativamente mala
VI	6,51-7,25	Mala
VII	> 7,26	Muy mala

**Tabla 1.** Sistema de clasificación de calidad de agua según el Índice Biótico de Familias (IBF).

CLASE	CALIDAD	BMWP	ASPT	SIGNIFICADO	COLOR
I	Buena	<15	0 - 10	Aguas muy limpias	
II	Aceptable	101 - 120	<8 - 9	Aguas no contaminadas	
III	Dudosa	36 - 60	<4,5 - 6,5	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Crítica	16 - 35	<3 - 4,5	Aguas muy contaminadas	
V	Muy Crítica	<15	1 - 3	Aguas fuertemente contaminadas	

**Tabla 2.** Clases de calidad de agua, valores BMWP/Col., significado y colores para representaciones cartográficas (Modificado de Arango, *et al.*, 2008).

Criterio	Puntaje		
	1	3	5
Número total de taxones	0-10	10-30	30-40
Número de taxones E	0-1	2-3	3-4
Número de taxones T	0-2	3-4	5-6
Número de taxones P	0-1	2	<2
Número de taxones Turbellaria	<1	1	0
Índice Shannon-Weaver	0-1	1-2	2-3

**Tabla 3.** Puntajes de los criterios utilizados en la construcción del IIB.

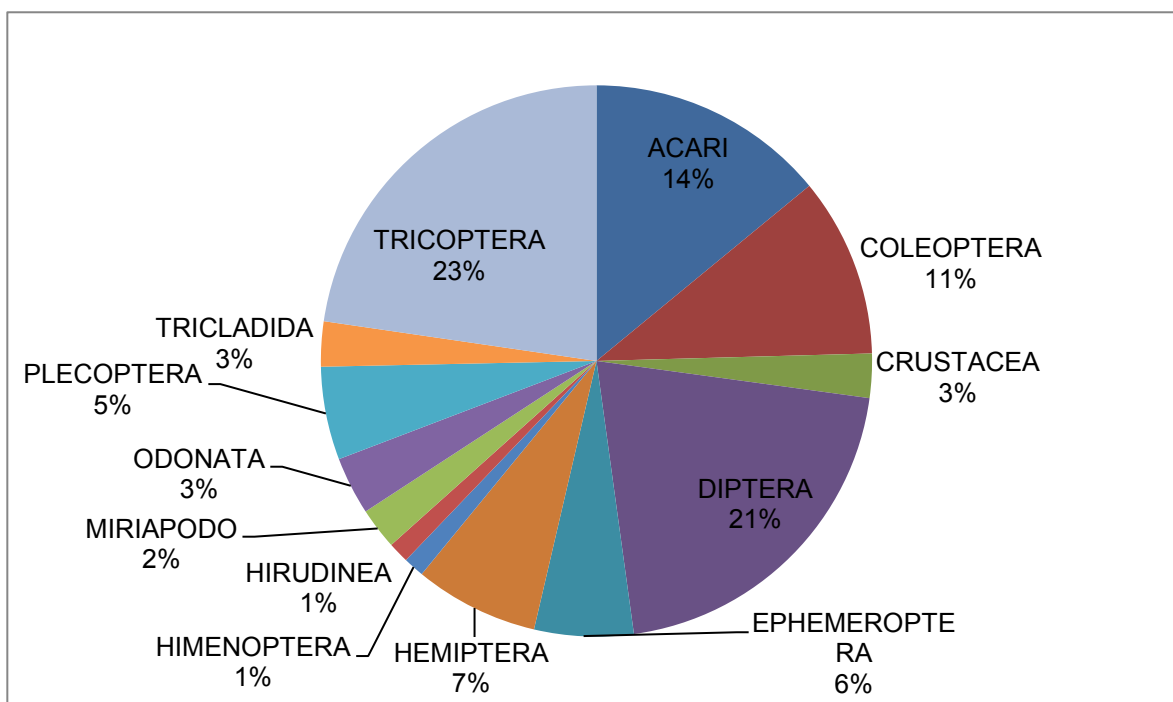
Puntaje	Clase	Interpretación
35 - 45	Buena a excelente	Alta integridad biótica
15 - 35	Moderada	Moderada integridad biótica
0 - 15	Muy pobre - a pobre	Baja integridad biótica

**Tabla 4.** Puntajes totales del IIB de macroinvertebrados (IIB<sub>Macroinv.</sub>) para la quebrada Chánchiras.

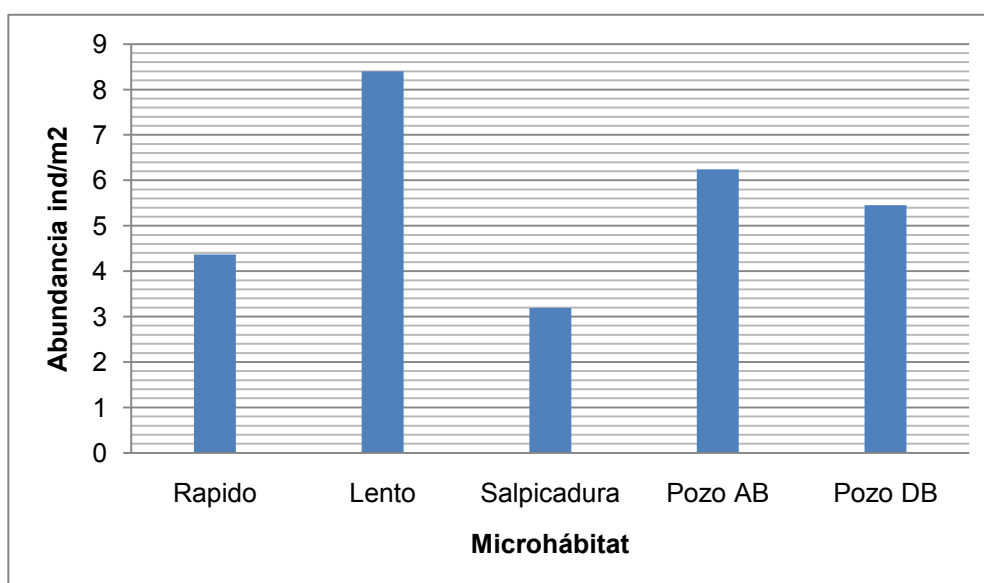
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### COMPOSICIÓN DE MACROINVERTEBRADOS EN LA QUEBRADA CHANCHIRA

Para la quebrada Chánchiras, se encontraron en total 37 familias de macroinvertebrados distribuidas en 13 órdenes, siendo los órdenes Diptera y Tricoptera los que presentan el mayor número de familias y mayor abundancia (Fig.1). Dentro de los microambientes, el Lento es el que presenta la mayor abundancia promedio y el mayor número de familias (Fig. 2, Anexos A y B), sin embargo el análisis de varianza no paramétrico muestra que no existen diferencias significativas entre los microhábitats (Anexo C).



**Figura 1.** Abundancia por órdenes de macroinvertebrados para la quebrada Chanchiras



**Figura 2.** Abundancia Total para los cuatro microhabitats.

## ÍNDICES DE DIVERSIDAD

Los índices de Margalef y Shannon varían ligeramente entre los microhábitats siendo mayor en el Lento y en Salpicadura respectivamente. Los valores de equitatividad en los microhábitats son intermedios (entre 0.4 y 0.7), alcanzando un valor mayor en Salpicadura, sin embargo no existen diferencias y por ende no hay dominancia de alguna familia. Este resultado se complementa con el análisis de varianza no paramétrico (Kruskal-Wallis) en el cual no hay diferencia entre los microhábitats para los índices ni para la equitatividad (Anexo D). De forma similar el análisis entre pozo antes y después de la bocatoma muestra que no existe diferencia significativa lo que indicaría que esta construcción no está

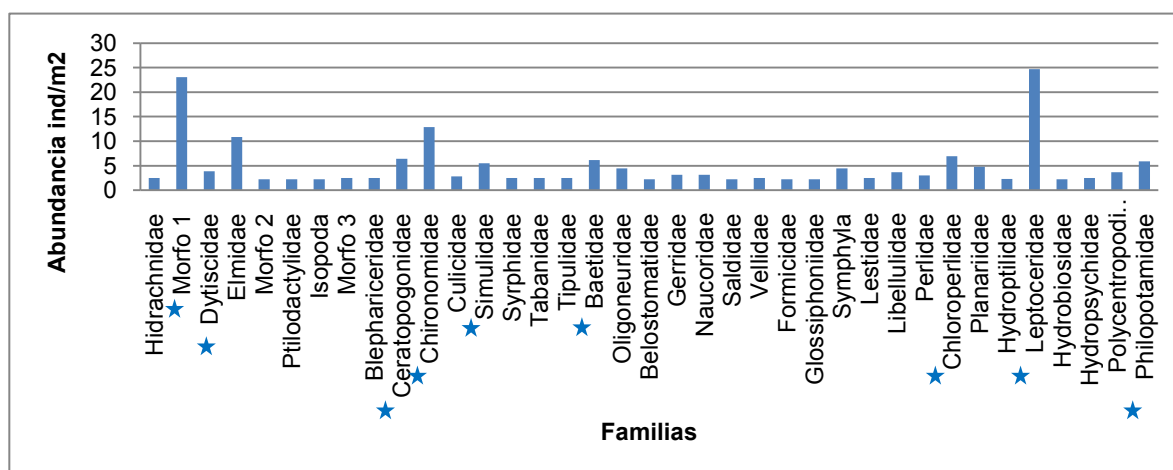


afectando drásticamente la composición de las comunidades de macroinvertebrados y probablemente no altere las características físicas químicas y biológicas de la quebrada (Anexo E). En la quebrada en general se obtiene un índice de Margalef de 15.5, con una riqueza intermedia respecto a las 37 familias presentes. El índice de Shannon de 2.96 y la Equitatividad de 0.57, reflejando una diversidad considerable respecto a la baja dominancia de familias. Sin embargo estos valores pueden estar afectados por el bajo esfuerzo de muestreo (Tabla 5),

Índice	Rápido	Lento	Salpicadura	Pozo AB	Pozo DB	Quebrada
Margalef (S-1)/Log <sub>10</sub> (N)	10,06	13,51	9,14	7,69	8,94	15.5
Shannon	2,01	2,24	2,43	1,92	2,28	2,96
Shannon <sup>2</sup>	4,0	5,0	5,9	3,7	5,2	8,8
Equitatividad	0,49	0,46	0,68	0,55	0,64	0,57

**Tabla 5.** Índices de Margalef, Shannon y Equitatividad en cada uno de los microhábitats y en la quebrada en general.

El valor del índice de Shannon elevado al cuadrado, que en la quebrada es 8.8, indica que aproximadamente nueve de las 37 familias presentes son más dominantes: Morfo 1 (acari), Elmidae (Coleoptera), Ceratopogonidae, Chironomidae y Simuliidae (Diptera), Baetidae (Ephemeroptera), Chloroperlidae (Plecoptera), Leptoceridae y Philopotamidae (Tricoptera) (Fig. 3). Las poblaciones abundantes de efemerópteros, tricópteros y plecópteros, odonatos, coleópteros, hemípteros, dípteros, neurópteros, ácaros, crustáceos y otros grupos menores están asociadas a ríos de montaña con aguas frías, muy transparentes, oligotróficas y muy bien oxigenadas, en contraste poblaciones abundantes de oligoquetos, chironómidos y ciertos moluscos son características de ríos y quebradas que están siendo contaminadas por materia orgánica y que presentan aguas turbias, eutróficas y con muy poco oxígeno. (Roldán *et al.*, 2001.) Lo anterior indica que en la quebrada en general el agua es limpia y de buena calidad, pero también sugeriría que se está incorporando materia orgánica, dada la abundancia significativa de dípteros en general; aspecto que se evidencia en el estudio físico-químico realizado para ocho cuerpos de agua en el PNNCG.

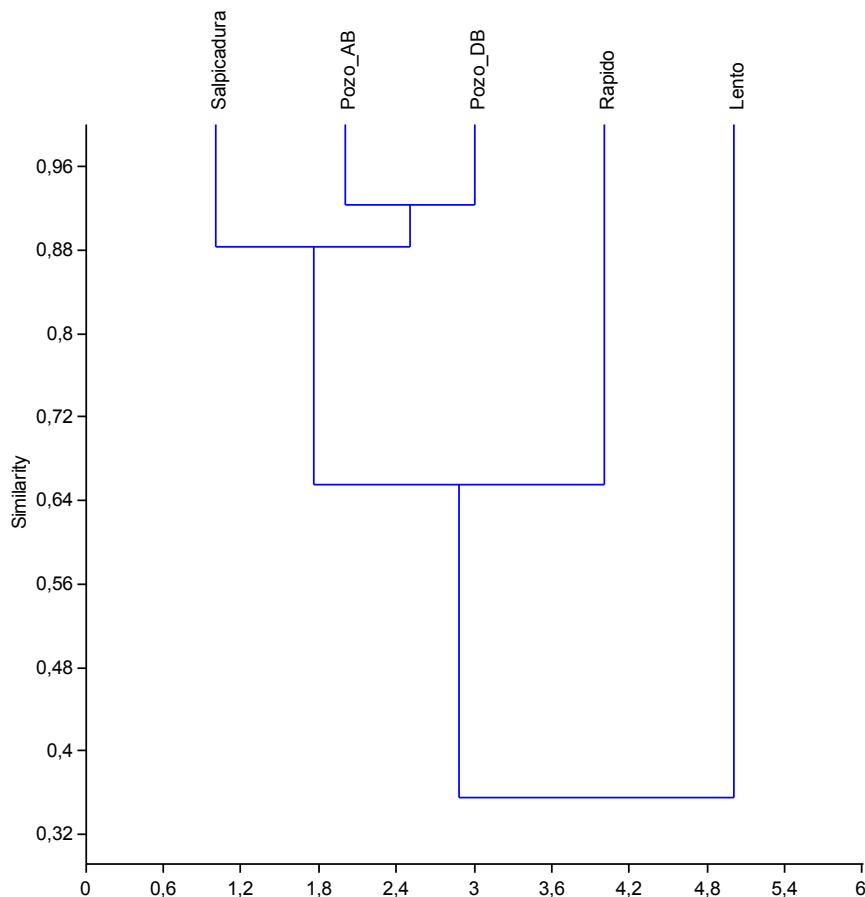


**Figura 3.** Abundancia por familias para la quebrada Chanchiras

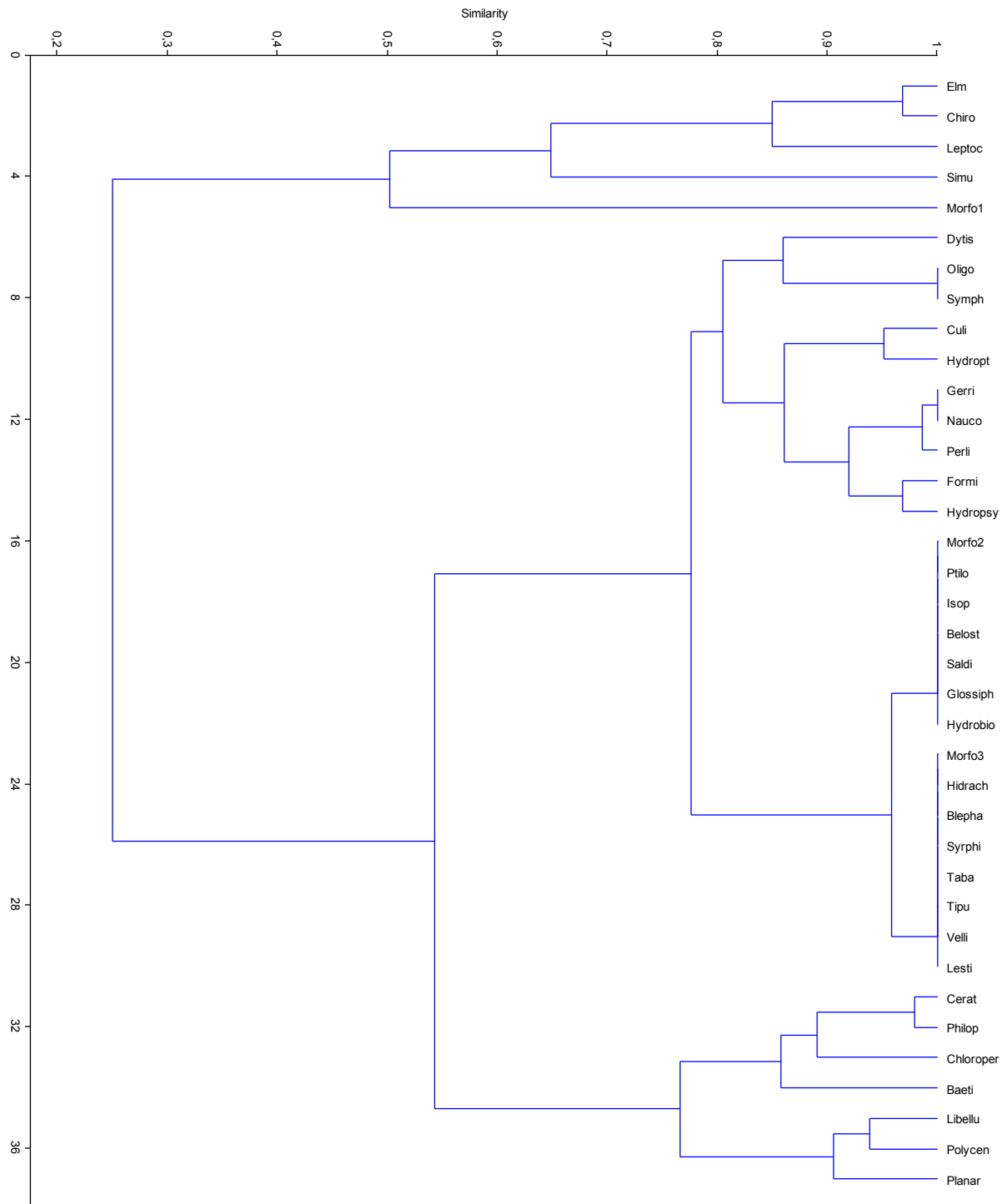
## ÍNDICES DE SIMILARIDAD

El índice de similitud para microhábitats presenta un valor mayor a 0.88 entre los pozos antes y después de bocatoma (Fig. 4), lo que podría reflejar, para este caso, que más que una condición de diferenciación de las comunidades debido a la separación de estos sectores por la bocatoma, se presenta similitud entre las comunidades que podrían responder a características propias del microhábitat. Al comparar con los demás microhábitats se encuentra que entre la salpicadura y los pozos existe una similitud de 0.88, entre el rápido, la salpicadura y los pozos existe una similitud cercana a 0.64 y finalmente el valor más bajo de similitud (cerca a 0.4) se evidencia entre el lento y los demás microhábitats. Estas relaciones de similitud entre los microhábitats podrían responder a variación en condiciones hidráulicas, en estructura y composición del sustrato, recursos tróficos, variables fisicoquímicas que influyen sobre la distribución de macroinvertebrados (Álvarez, 2009)

El índice de similitud Bray-Curtis para familias no muestra una relación de similitud definida entre las familias de un mismo orden con familias de un orden en particular. A pesar de esto, cabe resaltar que en varios casos se encuentra similitud entre familias de tricópteros y familias de dípteros alcanzando valores hasta de 0.9 (Fig. 5). Esto parece contradictorio al considerar que estas familias son indicadores de características muy diferentes, sin embargo de acuerdo con Roldán *et al.*, (2001) existen situaciones intermedias en las que el sistema está empezando a experimentar síntomas de contaminación o en sistemas que empiezan a recuperarse, y pueden encontrarse poblaciones dominantes de turbelarios, hirudíneos, ciertos moluscos, Chironomidae y oligoquetos y en menor medida poblaciones dominantes de efemerópteros y tricópteros.



**Figura 4.** Índice de similitud Bray-Curtis para microhábitats



**Figura 5.** Índice de similaridad Bray-Curtis para familias

## ÍNDICES DE VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

### Índice biótico de familias (IBF)

El índice biótico de familias de Hilsenhoff para la quebrada es de 0.85 (tabla 6) lo que ubica a la quebrada en la clase I (Tabla 1), correspondiente a ambientes con agua de excelente calidad.

Orden	Familia	Tolerancia	Abundancia	Tolerancia X Abundancia
EPHEMEROPTER A	Baetidae	4	6,15	24,62
	Oligoneuridae	2	4,44	8,88
PLECOPTERA	Perlidae	1	3,03	3,03
TRICOPTERA	Hydroptilidae	4	2,31	9,26
	Leptoceridae	4	24,72	98,89
	Hydrobiosidae	0	2,22	0,00
	Hydropsychidae	4	2,50	10,00
	Polycentropodidae	3	3,68	11,04
	Philopotamidae	2	5,91	11,82
	IBF=( $\sum$ abundancia*tolerancia)/Número total de individuos			0,85

**Tabla 6.** Cálculo del índice biótico de familias de Hilsenhoff (IBF)

### BMWP/Col y ASPT

Según los valores asignados a las familias evaluadas con el índice BMWP, se obtuvo un puntaje de 266. Este valor corresponde a la clase I, de aguas muy limpias a limpias.

Con el índice ASPT, la calidad del agua se clasifica en II (aceptable), lo que quiere decir que son aguas no contaminadas (tabla 7).

FAMILIA	BMWP/Col	Puntaje
Chironomidae	2	6
Culicidae	2	
Syrphidae	2	
Ceratopogonidae	3	9
Tipulidae	3	
Glossiphoniidae	3	
Dolichopodidae	4	16
Empididae	4	
Stratiomyidae	4	
Belostomatidae	4	
Tabanidae	5	5
Mycetopodidae	6	18
Elmidae	6	
Libellulidae	6	
Heteroceridae	7	63
Noteridae	7	
Dixidae	7	
Baetidae	7	
Notonectidae	7	
Coenagrionidae	7	
Planariidae	7	
Hydroptilidae	7	
Hydropsychidae	7	

Dytiscidae	8	72
Orthocladinae	8	
Simulidae	8	
Gerridae	8	
Naucoridae	8	
Saldidae	8	
Vellidae	8	
Lestidae	8	
Leptoceridae	8	
Hydrobiosidae	9	
Polycentropodidae	9	27
Philopotamidae	9	
Ptilodactylidae	10	
Blephariceridae	10	40
Oligoneuridae	10	
Chloroperlidae	10	
Perlidae	10	
<b>Índice BMWP/Col</b>	<b>266</b>	
<b>Índice ASPT</b>	<b>7.19</b>	

**Tabla 7.** Evaluación BMWP/Col e índice ASPT para las familias encontradas en la Quebrada Chánchiras

Al comparar el índice de BMWP y ASPT, se observa que aunque son cercanos, no son totalmente determinantes para concluir cual es el estado definitivo de la quebrada. Comparando estos resultados con el estudio realizado por Arango *et al.*, 2008, se observa el mismo fenómeno, en el cual el índice BMWP no mostro un patrón definido que pudiera indicar con claridad la calidad del agua. De esta forma es importante tener en cuenta los datos arrojados por otros índices como el ASPT, el cual indica una mejor tendencia para definir en qué clase se puede clasificar la quebrada Chánchiras, ya que este índice evalúa la puntuación promedio por taxón e incluye en su cálculo la riqueza de familias.

### Índice de Integridad Biótica de los Macroinvertebrados (IIB)

El valor obtenido para el IIB nos permite clasificar la calidad del agua, en la clase moderada, esto significa que ésta quebrada está empezando a presentar signos de deterioro, ocasionando una reducción en el número de taxones propios de ambientes conservados (tabla 8)

Taxones	Número	Puntaje
Número total de taxones	37	5
Número de taxones E	2	3
Número de taxones T	2	1
Número de taxones P	6	5
Número de taxones Tricladida	1	3
Índice Shannon-Weaver	2,96	5
Total		22

**Tabla 8.** IIB obtenido para la quebrada Chánchiras

En este trabajo se observó que el IIB es una buena aproximación para evaluar el estado de conservación de determinado cuerpo de agua, ya que, relaciona diferentes variables como la riqueza, abundancia y grupos tróficos. Sin embargo como lo recomienda Martínez, 2009., Resultaría de gran interés y mayor solidez si se tuviera en cuenta la tolerancia de los taxones, la cual deberá establecerse según sean los gradientes de disturbio humano en un grupo amplio de cuerpos de agua; el índice propuesto carece de dicha información, por lo que puede mejorarse y complementarse.

Para todos los casos de índices de calidad de agua, se debe tener presente que el esfuerzo de muestreo fue bajo y que sería apropiado trabajar este índice con un mayor número de datos que permitan evidenciar los cambios en la composición de macroinvertebrados a una escala de tiempo mayor, con el fin de poder relacionar los datos biológicos con los fisicoquímicos. Además, se debe tener en cuenta que para determinar estos índices, se suprimieron individuos que no fueron plenamente identificados hasta el nivel de familia, es decir que los puntajes podrían aumentar o mantenerse dependiendo de los valores asignados a esas nuevas familias.

En general se puede concluir que la quebrada Chánchiras está es un buen grado de conservación y reflejo de esto, también se puede observar en la presencia de los ordenes abundantes como Tricoptera, Diptera, Coleoptera y Acari, los cuales son indicadores de aguas transparentes, oligotróficas y bien oxigenadas en zonas frías.

Por último se recomienda trabajar estos índices en conjunto, con muestras que estén totalmente identificadas hasta el nivel de familia y que sean comparados con las variables físico-químicas ya que son el último las que están determinando la presencia y ausencia de los ambientes estudiados.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Álvarez, L. 2006. Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia.

Álvarez, M.C. 2009. Estudio de la variabilidad espacio-temporal de las comunidades de Macroinvertebrados Bentónicos en los ecosistemas fluviales de Cantabria. Repercusiones para la aplicación de la directiva marco del agua. Tesis Doctoral. Universidad de Cantabria. Santander, España.

Arango, M., Álvarez, L., Arango, O., *et al.*, 2008. Calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda, San Luis, Antioquia. Revista EIA, Número 9, p. 121-141. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia).

Fernández, H., Domínguez, E. 2001. Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos. Facultad de Ciencias e Instituto M. Lillo. Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán, Argentina.

Lopretto, E., Tell, G. 1995. Ecosistemas de aguas continentales, metodologías para su estudio. Ediciones Sur. Primera Edición. La Plata, Argentina.

Martínez, M.A. 2009. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua en tres ciénagas del departamento de Cesar, Colombia. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

Needham, J., Needham, P. 1978. Guía para el estudio de los seres vivos de las aguas dulces. Editorial Reverté, S.A.

Pennak, R. 1978. Fresh – water invertebrates of the United States. John Wiley & Sons, Inc. Second edition. United States of America.

Riss, W., Ospina, R., Gutierrez, J. 2002. Establecimiento de valores de bioindicación para macroinvertebrados acuáticos de la sabana de Bogotá. *Caldasia* 24(1): 135-156

Rivera, J., Camacho, D., Botero, A. 2008. Estructura numérica de la entomofauna acuática en ocho quebradas del departamento del Quindío-Colombia. *Acta Biológica Colombiana.*, Vol. 13 No.2, 133 – 146.

Roldán, G. 1992. Fundamentos de limnología tropical. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. 529 p.

Roldán G. 1996. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Editorial Presencia Ltda. Bogotá, Colombia.

Roldán. G., Posada. A., Gutiérrez, J. 2001. Estudio limnológico de los recursos hídricos del parque de Piedras Blancas. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Jorge Álcarez Lleras NO. 18. Editorial Guadalupe LTDA. Bogotá, Colombia.

Roldán, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia.

### ANEXOS

Orden	Familia	Rápido		Lento		Salpicadura		Pozo AB		Pozo	Abundancia familia
		M	S	M	S	M	S	M	T	T	
ACARI	Hidrachnidae						2,5				2,5
	Morfo 1							23,08			23,08
COLEOPTERA	Dytiscidae									3,85	3,85
	Elmidae	11,11	27,5	8,89	15		5	4,44	11,54	3,85	10,88
	Morfo 2							2,22			2,22
	Ptilodactylidae			2,22							2,22
CRUSTACEA	Isopoda	2,22									2,22
	Morfo 3						2,5				2,5
DIPTERA	Blephariceridae				2,5						2,5
	Ceratopogonidae			6,67	5					7,69	6,45
	Chironomidae	4,44	10	24,44	37,5				7,69	3,85	12,85
	Culicidae			2,22	2,5					3,85	2,86
	Simulidae	2,22	10	6,67	17,5		2,5	2,22	3,85	3,85	5,5
	Syrphidae		2,5								2,5
	Tabanidae		2,5								2,5
	Tipulidae						2,5				2,5
EPHEMEROPTERA	Baetidae		2,5		5		2,5		3,85	19,23	6,15
	Oligoneuridae					4,44					4,44
HEMIPTERA	Belostomatidae			2,22							2,22

	Gerridae						2,5		3,85		3,17
	Naucoridae				2,5					3,85	3,17
	Saldidae	2,22									2,22
	Vellidae				2,5						2,5
HIMENOPTERA	Formicidae			2,22					2,22		2,22
HIRUDINEA	Glossiphoniidae								2,22		2,22
MIRIAPODO	Symphyla						4,44				4,44
	Lestidae							2,5			2,5
ODONATA	Libellulidae			2,22	5					3,85	3,69
	Perlidae	2,22								3,85	3,03
PLECOPTERA	Chloroperlidae				10					3,85	6,92
TRICLADIDA	Planariidae				5	4,44					4,81
	Hydroptilidae	2,22		2,22	2,5						2,31
	Leptoceridae		5	8,89	80						24,72
	Hydrobiosidae	2,22									2,22
	Hydropsychidae		2,5					2,5			2,5
	Polycentropodidae		2,5	2,22	7,5						3,68
TRICOPTERA	Philopotamidae			8,89	5					3,85	5,91
Total individuos		39		118		16		20		17	
S (Número de familias)		17		29		12		11		12	
Abundancia		4,37		8,4		3,19		6,24		5,45	

**ANEXO A.** Abundancia de individuos por metro cuadrado, para cada familia en los cuatro microhábitats de la Quebrada Chanchita. AB (Antes de la bocatoma), DB (Después de la bocatoma), M (Manual), S (Red Surber), T (Red Thieneman)

Microhábitat	Abundancia(ind/m2)	No individuos
Rápido	4,37	39
Lento	8,4	118
Salpicadura	3,19	16
Pozo AB	6,24	20
Pozo DB	5,45	17

**ANEXO B.** Abundancia y número de individuos por cada microhábitat

H= 0.5516  
Hc=0.5519  
P= 0.9683

**ANEXO C.** Prueba Kruskal-Wallis para abundancia y número de familias entre microhábitats.

	Rapido	Lento	Salpicadura	PozoAB	PozoDB
Rapido		0,8102	0,8102	0,9362	1
Lento	1		0,6889	0,4712	0,6889



Salpicadura	1	1		0,9362	1
PozoAB	1	1	1		0,9362
PozoDB	1	1	1	1	

Comparaciones Mann Whitney

H= 0.4374

Hc=0.4375

P= 0.9793

**ANEXO D.** Prueba Kruskal-Wallis para índices de Margalef, y de Shannon, Equitatividad y abundancia entre microhábitats.

	Rápido	Lento	Salpicadura	PozoAB	PozoDB
Rapido		0,7015	0,8983	0,8983	0,9491
Lento	1		0,7015	0,5229	0,7983
Salpicadura	1	1		1	0,9491
PozoAB	1	1	1		0,8983
PozoDB	1	1	1	1	

Comparaciones Mann Whitney

H= 0.02564

Hc=0.02564

P= 0.8728

**ANEXO E.** Prueba Kruskal-Wallis para índices de Margalef, y de Shannon, Equitatividad y abundancia entre pozo antes y después de bocatoma.

	Antes Bocatoma	Después Bocatoma
Antes Bocatoma		0,9362
Después Bocatoma	0,9362	

Comparaciones Mann Whitney

# CARACTERIZACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE ARTRÓPODOS QUE TIENEN COMO HÁBITAT BROMELIAS, EN EL BOSQUE ANDINO DEL PARQUE NACIONAL NATURAL CUEVA DE LOS GUÁCHAROS

Andrea Patricia Guzmán<sup>1</sup>, Ana María Martínez Vergara<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología. Estudiante.

---

## RESUMEN

En el bosque andino del Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos se estudió la diversidad de los artrópodos que utilizan como hábitat temporal o permanente las brómeliads, con humedades relativas entre 65 a 75% y entre 75 a 85%, muestreando siete plantas de cada rango de humedad. Se comparó la riqueza, abundancia y diversidad de artrópodos presentes en las bromelias. Se encontró que el rango de mayor humedad es la que presenta mayor diversidad y equitabilidad en las especies, mientras que en las bromelias con menor humedad se presenta una ligera dominancia.

**Palabras clave:** Artrópodos, bromelias, humedad relativa, diversidad, Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos.

## ABSTRACT

In the Andean forest of National Natural Park Cueva de los Guácharos. we studied the diversity of arthropods that used bromeliads as temporary or permanent habitat, with relative humidity between 65 to 75% and 75 to 85%, sampling seven plants in each rank. We compared the richness, abundance and diversity of arthropods living in the bromeliads and found higher diversity and equitability in species in the rank of higher humidity, whereas in the rank of least humidity there was a slight dominance.

**Key words:** arthropods, bromeliads, relative humidity, diversity, Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos.

## INTRODUCCIÓN

Las Bromelias conforman un grupo natural de plantas monocotiledóneas que se han agrupado dentro de la familia botánica de las Bromeliáceas (Bromeliaceae) (Fig. 1). Estas plantas son muy frecuentes y abundantes en los bosques lluviosos andinos del norte de Suramérica, bosques que caracterizan la franja tropical de montaña de la región neotropical. La familia contiene aproximadamente 55 géneros y 2900 especies que habitan en el trópico y subtrópico americano, incluyendo la Islas del Caribe (Betancur y García, 2006).

Las Bromelias son hierbas terrestres o epifitas, algunas veces facultativas, hemiepifitas o escandentes. Las raíces son adventicias y generalmente muy reducidas, ya que la mayor parte de las especies no dependen de ellas para nutrirse. Especialmente en las especies epifitas y en las que viven sobre rocas, las raíces son muy resistentes y le sirve a la planta solo como órganos de agarre para sujetarse al sustrato (Betancur y García, 2006).

Los tallos son generalmente muy reducidos y sobre ellos se disponen las hojas de forma arrosada. Las hojas tienen una parte basal ensanchada (vaina), que abraza el tallo, y la lámina propiamente dicha. La disposición apretada de las hojas y el solapamiento de sus

bases ensanchadas hacen que las rosetas de las hojas formen un “estanque” hacia la base de la planta, lo que le da a las Bromelias su popular fisonomía. Así el agua lluvia y la hojarasca que cae sobre la planta se va acumulando entre las hojas y se forma una “charca” que cumple funciones ecológicas muy importantes como microhábitat permanente o temporal de algunas algas, hongos, bacterias y animales (lombrices, insectos, anfibios y reptiles). Entre todos estos organismos se pueden establecer relaciones de interdependencia y cooperación importantes para su supervivencia, ya que algunos animales pueden desarrollar parte de su ciclo de vida en estas charcas, como algunas larvas de mosquito o renacuajos, mientras que otros las pueden visitar ocasionalmente en búsqueda de presas (Betancur y García, 2006).

Las interacciones ecológicas de plantas y animales constituyen la base del funcionamiento de los ecosistemas. Al mismo tiempo, han sido una de las principales causas de la generación de gran parte de la diversidad biológica (Ehrlich y Raven, 1964 citado por Llorente y Monrro, 1996). Dentro de los taxa animales que interactúan con las plantas se encuentran los artrópodos, los cuales han tenido mayor éxito evolutivo sobre la tierra debido a su gran capacidad de adaptación, lo que les ha conferido ser el grupo taxonómico más diverso y numeroso (Llorente y Monroe, 1996).

Los artrópodos pueden consumir una gran variedad de alimentos y ocupar un amplio espectro de hábitats (Llorente y Monroe, 1996). Uno de los hábitats propicios se presenta en las plantas fitotelmatas, que son aquellas que debido a su morfología pueden acumular materia orgánica y agua. Estas plantas se consideran como microecosistemas, ya que dentro de ellas se produce una serie de interacciones entre los individuos y el conjunto de factores físicos. Debido a ello muchos autores señalan la importancia de estas plantas en diversos procesos ecológicos, como la dispersión, colonización e interacción entre especies y también como elementos estructurales del bosque (Frank 1983; Ambruster *et al.*, 2002; Ospina Bautista *et al.*, 2004).

El objetivo del presente estudio fue conocer la distribución de artrópodos que tienen como hábitat temporal o permanente bromelias en los dos rangos de humedad en el bosque andino del PNNCG.

## **METODOLOGÍA**

### **ÁREA DE ESTUDIO**

El presente trabajo se realizó en un sector del bosque andino conocido como El Pesebre (0,1°36'33"N Y 0,76°0,5'55,8"W), que hace parte del Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos (PNNCG), el cual está ubicado en la Cordillera Oriental al sur de Colombia, en los departamentos del Huila y Caquetá (Figura 2). El Parque se encuentra entre los 1650 y los 2840 msnm, la temperatura media anual es de 16°C y la precipitación de 3100mm (Grupo GEMA, 2002).

### **COLECTA DE MUESTRAS**

Los muestreos se hicieron el 14 de septiembre de 2010. Se tomaron dos zonas con rangos de humedad relativa diferente, medidos mediante un polímetro (higrómetro de pelo). Un rango se estableció entre 65% -75% y el otro entre 75% -85%. En cada uno se ubicaron siete bromelias sobre las que se tomaron muestras de hojarasca para ser analizadas en el laboratorio. También se registró el pH y la temperatura del agua almacenada en la planta con un potenciómetro Extech. Las muestras de hojarasca se almacenaron en bolsas plásticas resellables y se llevaron al laboratorio temporal organizado en la reserva. Allí se

separaron los organismos colectados y se preservaron en frascos con alcohol al 70%, para luego ser transportadas a Bogotá en neveras de icopor. En el Laboratorio de Ecología del Departamento de Biología de la Universidad Nacional de Colombia se realizó la identificación de los individuos hasta el nivel de familias o morfo-especies mediante un estereoscopio y claves pertinentes (Roldán, 1996; Needham j & Needham P, 1978).

## RESULTADOS

Los datos colectados en campo para los siete individuos de bromelias muestreados en cada rango de humedad, muestran que aquellas plantas ubicadas en el rango de humedad relativa entre 65-75% tuvieron el mayor valor promedio en pH, pero el menor de temperatura con respecto a las bromelias de la zona de humedad relativa de 75-85% (tabla 1).

Zona	Humedad rel. 65-75%	Humedad rel. 75-85%
Prom. pH	4.26	3.9875
Prom. temperatura	15.575	15.975

**Tabla 1.** Resultados fisicoquímicos registrados en el campo en las bromelias del bosque andino del PNNCG.

ORDEN	Familia	Humedad rel. 65-75%	Humedad rel. 75-85%
ARANAE	Morfotipo 1	0	1
	Morfotipo 2	0	1
BLATTARIA	Blaberidae	2	0
	Blattidae		
	Morfotipo 3	2	0
	Morfotipo 4	0	1
COLEOPTERA	Carabidae	0	1
	Psephenidae	6	1
	Curculionidae	1	0
	Hydroscaphidae	7	0
	Nitidulidae	1	0
	Scydmaenidae	0	1
	Staphylinidae		
	Morfotipo 5	2	0
Morfotipo 6	0	1	
DERMAPTERA	Anisilabididae	0	1
	Labiduridae	0	1
DIPTERA	Chironomidae	0	4
	Dixidae	0	1

	<b>Entomobryida</b>		
	<b>e</b>	1	0
	<b>Muscidae</b>	0	1
<b>HEMIPTERA</b>	<b>Delfascidae*</b>	0	1
	<b>Rhopalidae</b>	1	0
<b>ISOPODA</b>	<b>Oniscidea</b>	0	3
	<b>Morfotipo 7</b>	0	1
	<b>Morfotipo 8</b>	0	2
<b>OPILIONIDA</b>			
<b>E</b>	<b>Morfotipo 9</b>	0	1

\*juvenil

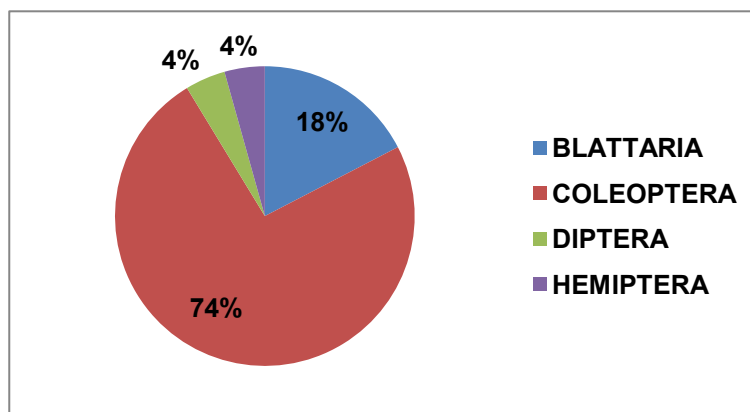
**Tabla 2.** Lista de artrópodos identificados en las bromelias del bosque andino del PNNCG.

<b>Indices</b>	<b>Humedad rel. 65-75%</b>	<b>Humedad rel. 75-85%</b>
<b>Riqueza</b>	9	17
<b>Individuos</b>	23	23
<b>Shannon</b>	1.895	2.691
<b>Dominancia de Simpson</b>	0.8091	0.9187
<b>Margalef</b>	2.551	5.103
<b>Equitabilidad</b>	0.8625	0.9497
<b>Berger-Parker</b>	0.3043	0.1739

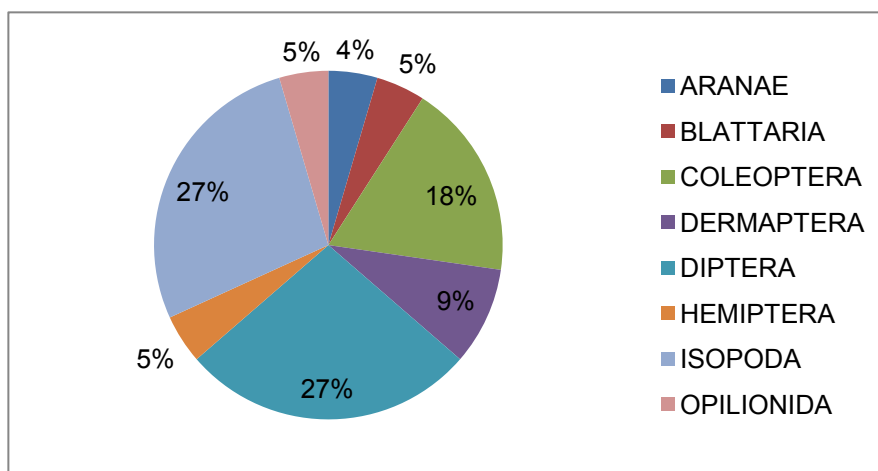
**Tabla 3.** Índices de diversidad calculados para la comunidad de artrópodos de las bromelias del bosque andino del PNNCG.

Aunque las plantas de los dos rangos presentaron el mismo número de artrópodos, la bromelias del rango de humedad más alto tuvieron un mayor número de taxones, mostrando una mayor riqueza, que fue cerca del doble a la del rango de humedad relativa más baja (Tablas 2 y 3).

Los resultados que arrojó el programa Past muestran una mayor diversidad y equitabilidad para el rango con humedad mayor, y una ligera mayor dominancia en el rango de menor humedad relativa, aunque teniendo en cuenta que este valor es menor a 0,5 se puede decir que ninguna de los dos rangos de humedad presenta dominancia (Tabla 3).



**Figura 3.** Porcentaje de taxones para cada orden de artrópodos, reportado para el rango de humedad 65-75% en el bosque andino del PNNCG.



**Figura 4.** Porcentaje de taxones para cada orden de artrópodos, para el rango de humedad 75-85% en el bosque andino del PNNCG.

La figura 3 presenta un porcentaje mayor en este rango de menor humedad para Coleópteros y menor para los órdenes Díptera y Hemíptera. Los Órdenes Aranae, Dermáptera e Isopoda no tuvieron representantes en este rango. La figura 4 muestra un porcentaje igual en los órdenes Isopoda y Díptera, seguido por Coleóptera para el rango de mayor humedad; también se presenta un porcentaje significativo, aunque no tan alto como en la figura anterior, de los órdenes Blattaria, Hemiptera y Opilionida. El orden Hemiptera se distribuyó por igual en los dos rangos de humedad.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran una mayor afinidad de los individuos de diferentes taxa por bromelias ubicadas en un ambiente más húmedo. La fisonomía de las Bromelias genera charcas debido a la forma arrosetada de sus hojas y también acumulan materia orgánica que reciben por gravedad. Al parecer estas charcas tienden a tener cantidades diferentes de agua dependiendo de la humedad relativa del sitio. Es posible que las bromelias presenten una mayor captación por precipitación horizontal en zonas de mayor humedad relativa. Las catorce bromelias muestreadas estaban en la misma área del PNNCG, llamada "El Pesebre". Esta es una zona de bosque andino, con un valor de precipitación promedio anual alto de 3100 mm. A pesar de esto, se presentaron diferencias de humedad en los rangos seleccionados, las cuales no estaban provocadas por la ubicación de la planta en una zona específica del bosque o, en determinado estrato, sino por la mayor o menor exposición de las plantas al sol. En otras palabras, había plantas con un valor de humedad más alto en niveles rasantes o arbustivos pero bajo la sombra de la vegetación, con árboles con dosel amplio que les permitía conservar dicha humedad. De igual manera, al estar bajo otras plantas la cantidad de materia orgánica que podrían recibir estas bromelias sería alta, lo que posiblemente constituye un suministro mayor de sustrato que puede ser utilizado como alimento o protección por parte de los organismos que habitan estas bromelias, ya sea de manera temporal o permanente. Por otra parte, la ligeramente mayor temperatura en las bromelias más húmedas podría favorecer la mayor riqueza de artrópodos en estas plantas.

Las arañas se consideran depredadoras, por lo que regulan la población de los artrópodos; su presencia se debe a la disponibilidad de alimento y al fácil acceso a las bromelias; los blatodea (cucarachas) prefieren las bromelias debido a que son detritívoros y pueden tomar

su alimento de ellas. Además la temperatura, flujo de aire, humedad relativa y disponibilidad de agua que regulen la cantidad de agua en su cuerpo son esenciales; los díptera se encuentran principalmente en las bromelias de mayor humedad, no solo porque encuentran más agua en ellas sino porque la temperatura es ligeramente mayor, además los representantes de este orden tienen un desarrollo larval acuático usando como hábitat temporal estas plantas, la familia más representativa, la chironomidae tiene una amplia distribución en todos los tipos de hábitats acuáticos y en todo tipo de sustratos. Así mismo su tolerancia a condiciones adversas de calidad de agua también es alta pudiendo estar en aguas con altos contenidos de materia orgánica (Liévano y Ospina, 2007). En cuanto al orden Coleoptera, conocido como el grupo más grande, abundante y variado de los insectos representando un 40% del total de estos. Se pueden encontrar fácilmente en ríos, quebradas, lagunas y charcas como las formadas en las bromelias, principalmente en lugares con alta vegetación y materia en descomposición. Estos insectos pueden ser voraces depredadores de otros insectos y larvas acuáticas o ser completamente fitófagos, requerimientos suministrados todos en este tipo de plantas (Sanabria, 1992).

Las bromelias proporcionan a los artrópodos diversos servicios, dependiendo de sus necesidades, ya sea para su desarrollo, como refugio para protegerse de sus depredadores o para resguardarse de las condiciones de clima extremo, y como un lugar donde pueden encontrar su alimento (Frank, 1983; Stunts *et al.*, 2002).

Aunque la diversidad fue menor en la zona de baja humedad, esto no quiere decir que no sea un lugar apto o exitoso para los artrópodos, ya que como se mencionó anteriormente, las dos zonas presentaron el mismo número de individuos. Lo que se puede inferir de los resultados es que hay algunas taxa que prefieren una mayor humedad, y esta condición se la brindan las bromelias menos expuestas a la radiación solar.

## BIBLIOGRAFIA

Ambruster, Hutchinson, R., Cotgreave, P. 2002. Factors influencing community structure in a South American tank bromeliad fauna. *Oikos* 96:225-234.

Betancur, J., García, N. 2006. Las Bromelias. En: García N y Galeano G, editores. Libro rojo de las plantas de Colombia. Volumen 3. Las bromelias, las labiadas y las pasifloras. Instituto Alexander Von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. ARFO Editores e Impresores Ltda. Bogotá-Colombia. P. 51-384.

Frank, J. 1983. Bromeliad phytotelmata and their biota, especially mosquitoes. In: Frank J. H. and L. P. Lounbos, eds. *Phytotelmata: terrestrial plants as hosts for aquatic insect communities*. Plexus publishing, New Jersey, 101-128 p.

García, M. 2008. Macroartropodos Asociados a la Bromelia Tillandsiaprodigiosa (Lem.) Baker en dos localidades de Santa Atarina Ixtepeji, Oaxaca. 2008

Grupo GEMA, IAVH. Caracterización Biológica del Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos, Municipio Acevedo, Departamento del Huila. 2002.p. 2. Citado 26 de noviembre de 2010. Disponible en:

[http://www.humboldt.org.co/humboldt/homeFiles/inventarios/Informe\\_Final\\_Guacharos.pdf](http://www.humboldt.org.co/humboldt/homeFiles/inventarios/Informe_Final_Guacharos.pdf)

Lieváno, A., Ospina, R. 2007. Guía ilustrada de los macroinvertebrados acuáticos del río Bahamón. Primera edición. Universidad el Bosque e Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá D.C., Colombia. 130 p.

Llorente, J., Morrone, J. 1996. Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artropodos de

Mexico: Hacia una síntesis de su conocimiento. Vol 3. UNAM, Mexico. 690 p.

Needham, J., Needham, P. 1978. Guía para el estudio de Los Seres Vivos de las Aguas Dulces. ED. Reverté, S.A. España.

Ospina, F., Estevez, J., Betancur, J., Realpe, E. 2004. Estructura y composición de la comunidad de Macro invertebrados acuáticos asociados a *Tillandsia turneri* Baker (Bromeliaceae) en un bosque alto andino Colombiano. *Acta Zoologica Mexicana*. 20: 153-166.

Roldán, G. 1996. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos Del Departamento de Antioquia. Ed. FEN Colombia. Universidad de Antioquia. Colombia.

Sanabria, M. 1992. *Ucumary Agua Y Vida*. Corporación Autonoma Regional De Risaralda. Colombia.

Stunts, S., Ziegler, C., Simon, Zotz, G. 2002. Diversity and atructure of the anthropod fauna within three canopy epiphyte species in central Panama. *Journal of Tropical Ecology* 18:161-176.

## ANEXOS



**Figura 1.** Bromelia, familia Bromeliaceae.





# ACTIVIDAD DE MACROINVERTEBRADOS EN SUELO DEL ROBLEDAL DEL PARQUE NACIONAL NATURAL CUEVA DE LOS GUACHAROS

Juan Camilo Bueno Castellanos<sup>1</sup>, Gonzalo Enrique Pinilla Buitrago<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología. Estudiante.

---

## RESUMEN

Con este estudio se pretendió encontrar una relación de la actividad de macroinvertebrados (medida por la abundancia de estos) con características del suelo como la cantidad de materia orgánica y la textura del suelo, en el sitio conocido como el Robledal del Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos (PNNCG). Para la obtención de datos se emplearon trampas pitfall para colecta, la textura de suelo se encontró por el método de Boyoucus y la cantidad de MO por el método de ignición. Posteriormente se intentó encontrar alguna relación entre estos componentes usando pruebas estadísticas de Friedman, ANOVA y Análisis de correspondencia canónica (ACC) sin encontrar algún valor significativo. El no encontrar ninguna relación se debió a la mala selección de una metodología de muestreo, al poco tiempo que se tuvo y al bajo número de características del suelo a comparar (no se tuvo en cuenta la humedad, aireación y drenaje).

**Palabras Claves:** Actividad, Macroinvertebrados, Materia Orgánica, Parque Natural Nacional Cueva de los Guacharos, Robledal, Textura del Suelo.

## ABSTRACT

This study aimed to find a relationship of macroinvertebrate activity (measured by the abundance) with the soil characteristics with quantity of organic matter and soil texture at the site known "Robledal" in the National Natural Park "Cueva de los Guacharos" (PNNCG). To obtain data pitfall traps were used for collection, the soil texture was found by the method of Boyoucus and the amount of OM by the method of ignition. Later attempts to find any relationship between these components using Friedman test statistics, ANOVA and canonical correspondence analysis (CCA) without finding any significant value. We did not find any relationship is due to the poor selection of a sampling methodology and the low number of soil characteristics to compare (not taken into account humidity, aeration and drainage).

**Keywords:** Activity, Macroinvertebrates, Organic Matter, Parque Natural Nacional Cueva de los Guacharos, Robledal, Soil Texture.

## INTRODUCCIÓN

La definición misma de suelo, ha pasado por un proceso de desarrollo muy largo en el que se han dado definiciones desde la geología, la agronomía, arquitectura, química, antropología y biología entre otras disciplinas; "El suelo es un cuerpo natural compuesto de sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurre en la superficie de la tierra, ocupa un espacio y se caracteriza o porque tiene horizontes o capas que se diferencian del material inicial como resultado de las adiciones, pérdidas, traslocaciones y transformaciones de energía y materia o porque es capaz de soportar plantas arraigadas en un ambiente natural" (Jaramillo, 2002), es una de las definiciones más completas y contemporáneas que se encuentran para este tipo de formación y en ella se manifiesta la

complejidad de estructura, compuestos, organización y formación y sobretodo flujo de entrada y salida de energía y materia que se dan el suelo.

Además de estas complejas características con las que cuenta el suelo, se encuentra su proceso de formación o pedogénesis, el cual depende de variables como el clima, la roca madre en la cual se generará y la geografía del sitio. Una variable más a tener en cuenta en este proceso de formación del suelo es la interacción que se tiene con los organismos de la zona. Estos organismos se encuentran representados por bacterias, hongos, algas, protozoarios, plantas y micro, meso y macrofauna (Jaramillo, 2002).

Dentro de la mesofauna sobresalen los artrópodos, anélidos, moluscos y nematodos, que a excepción de este último es común encontrarlos en la capa superficial del suelo. Dentro de los artrópodos los ordenes más comunes son Diptera, Coleoptera, Collémbola, Arachnida, Himenóptera, Isoptera, Diplopoda, Quikópoda. Esta fauna, realiza la trituración, transformación y traslocación de los materiales orgánicos e inorgánicos que se encuentran en el suelo; aporta gran cantidad de biomasa que se verá reflejado en la materia orgánica del suelo; también ayudan en el ciclaje de elementos, introduciendo y extrayéndolos del interior del suelo; a la aireación del mismo; mantener poblaciones principalmente de invertebrados (Jaramillo, 2002), jugando un papel clave en la fertilidad del suelo y como este afecta los nutrientes disponibles para las plantas (Lavelle *et al.*, 1994).

La estructura y abundancia de las comunidades de macroinvertebrados son muy sensibles a las diferentes prácticas de manejo del suelo (Lavelle *et al.*, 1992). Con lo cual se puede encontrar distintas abundancias y diversidad en diferentes ecosistemas donde se asegura un reciclaje de nutrientes eficiente (Spain *et al.*, 1992), que debe ser tenido en cuenta a dar manejo a áreas de suelos poco fértiles (Vohland & Schroth, 1999).

De acuerdo con Richard H. Yahner en *“Eastern Deciduous Forest: Ecology and Wildlife Conservation” (El Bosque Deciduo Oriental: Ecología y Conservación de la Vida Silvestre)*, los árboles en una hectárea de bosque templado pueden producir cada año entre 1.500 y 5.000 kg de hojas, ramitas, excrementos de insectos y otros desechos; lo que demuestra el vital papel jugado por los macroinvertebrados al tratar todo este material, junto con los hongos. Creando un nuevo ciclo de nutrientes donde puedan en un futuro volver a ser utilizados.

Los Suelos, por ejemplo, albergan comunidades complejas de invertebrados que estimulan los procesos de descomposición de la materia orgánica. Uno de los claro ejemplos del uso de invertebrados como bioindicadores son los ácaros, en algunos casos se ha utilizado para conocer el grado contaminación y antropización del suelo (Iraola, 2001).

El objetivo principal de este trabajo es evaluar si la actividad de los macro y mesoinvertebrados afecta la textura del suelo, encontrando que fauna hallamos en el suelo del Robledal. Estos invertebrados se seleccionaron por ser uno de los componentes principales del compartimiento del suelo y de la inquietud de cómo estos afectan y cambian las condiciones del suelo. Además, son sencillos de coleccionar y estudiar teniendo en cuenta el tiempo de muestreo.

## **METODOLOGÍA**

### **ÁREA DE ESTUDIO**

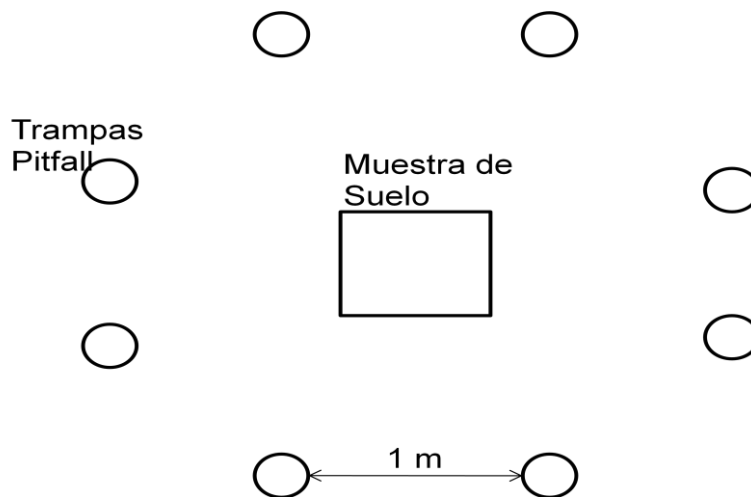
Este estudio se llevó a cabo en el Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos que se localiza entre los 1660 y 3500 m.s.n.m en el sureste del departamento del Huila sobre occidente de la cordillera oriental en el municipio de Acevedo (1°29' y 1°38' N y 76°4' y 76°13' W). El clima del parque es húmedo, con precipitaciones anuales de 3100 msnm. con

un régimen monomodal-biestacional y la temperatura de 20-22 °C con temperaturas medias de 15.6.

## TOMA DE MUESTRAS

Los sitios donde se realizaron los muestreos fueron tres sitios distintos del Robledal que se encuentra a aproximadamente una hora de distancia de las cabañas de control, saliendo del parque. Se tomaron dos muestras de suelo por sitio, para esto se realizó una excavación de aproximadamente 40 cm o lo suficientemente honda para observar el estrato A con claridad. De cada estrato se tomó una muestra en bolsas ziploc para ser caracterizada en el laboratorio.

En cada una de estas muestras se usaron ocho trampas de caída (utilizando vasos desechables de ocho onzas con alcohol al 70%) como método de estimación de la actividad de macroinvertebrados. Estas se colocaron alrededor del sitio donde se recolectó la muestra de suelo formando un octágono, cada una separada de cada una por 1 m (Fig. 1).



**Figura 6.** Trampas de caída de invertebrados por sitio.

Las muestras colectadas de cada uno de los ocho vasos de cada sitio de muestreo, fueron almacenadas en frascos plásticos y tomados los ocho como una sola unidad de muestreo y etiquetados con el número del sitio de muestreo, para la posterior determinación y cuantificación del material biológico en el laboratorio. Para esta determinación se utilizó la clave taxonómica dicotómica de Borror y Delong (2004) para determinarlos a nivel taxonómico de orden.

## ANÁLISIS DE SUELOS

Para cada muestra de suelo se hallaron los datos de textura obtenidos por medio del la metodología de textura de Bouyoucos de campo. En primer lugar se colocó a secar el suelo por 24 horas a 80° C, se le aplicó ácido clorhídrico concentrado para eliminar los carbonatos presentes. Posteriormente se colocó nuevamente a secar, para pasar por la mucula a 600° C por dos horas. Este sustrato de este proceso se maceró para ser llevado a una probeta aforada de 10 ml. La cantidad de suelo se llevó a 3 ml y lo demás se llenó con agua y se mezcló. La cantidad de partículas que sedimentaron a los 40 segundos es la proporción de arena (midiendo el volumen que este ocupa), luego se midió nuevamente a las 2 horas para medir la cantidad de limos presente y el volumen restante era la cantidad de arcillas. En

dado caso que la cantidad de limo precipitada superara el volumen inicial de suelo colocado en la probeta, se tuvo que esperar un día para ver la cantidad de arcilla precipitada.

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para determinar si existen o no diferencias significativas entre los sitios de muestreo se realizaron dos pruebas estadísticas. Se aplicó la prueba de Friedman a los datos recolectados considerando el tipo de suelo como tratamiento y el taxón como bloque. Con este método se pretende probar si el número de insectos existentes en cualquiera de los terrenos difiere de los demás. El sistema de hipótesis a probar es:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_6 \quad \text{vs.} \quad H_1 : \mu_i \neq \mu_j \quad (i, j = 1, 2, \dots, 6 \quad i \neq j)$$

donde  $\mu_i$  corresponde a la mediana del  $i$ -ésimo tipo de suelo.

Posteriormente se realizaron análisis de varianza (ANOVA) considerando el sitio de muestreo como factor y el número de individuos por taxón se consideró como la variable independiente. El objetivo es determinar si el sitio de muestreo afecta la frecuencia con que se encuentra cada taxón. En este caso la hipótesis nula para cada ANOVA consiste en la igualdad en el número de taxones encontrados en cada sitio, mientras que la hipótesis alternativa indica diferencia en el número de taxones entre al menos dos sitios de muestreo.

## RELACIÓN CARACTERÍSTICAS DEL SUELO – INVERTEBRADOS

Con el fin de determinar si existen asociaciones entre los invertebrados encontrados y las variables del suelo estudiadas (arenas, limos, arcillas) se realizó un análisis de correspondencia canónica (ACC) el cual relaciona unas variables explicativas ambientales (en este caso las variables evaluadas en el suelo) con unas variables dependientes (que en este caso son la abundancia por taxa) (Adriyanov, 2008)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sitio de muestreo uno, es el que mayor cantidad de individuos tiene de macro invertebrados (66%), en parte por la alta presencia de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) que se presentan, la cual representa el 77,5% del total de los individuos para esta muestra. Los demás sitios de muestreo, tienen similares cantidades de individuos de macroinvertebrados oscilando entre el 5 y el 8% de la artropofauna colectada.

En el sitio uno, como ya lo mencionamos el grupo con mayor representatividad son las hormigas con el 77.5% mientras que los coleópteros y dípteros se encuentran en segundo y tercer lugar con 14 y 5%, mientras que los demás grupos tienen una representación muy baja con uno o dos individuos, lo que corresponde a menos del 1% en la muestra.

Las hormigas, sin embargo, no se presentan como predominantes en ninguna otra muestra y en cambio, los coleópteros y dípteros siguen encabezando en la cantidad de individuos en todas las demás muestras.

ORDEN	M1	%	M2	%	M3	%	M4	%	M5	%	M6	%
Araneae	1	0,5	1	4,8	2	9,5	2	8,7	2	11,8	1	4,3
Blatodea	2	1,0	0	0,0	0	0,0	1	4,3	0	0,0	0	0,0
Coleoptera	29	14,2	3	14,3	10	47,6	3	13,0	3	17,6	4	17,4
Diptera	10	4,9	12	57,1	5	23,8	7	30,4	7	41,2	16	69,6
Hemiptera	1	0,5	1	4,8	1	4,8	1	4,3	0	0,0	0	0,0
Hymenoptera	1	0,5	0	0,0	0	0,0	1	4,3	1	5,9	0	0,0

Hymenoptera (formicidae)	158	77,5	1	4,8	0	0,0	1	4,3	0	0,0	0	0,0
Orthoptera	2	1,0	2	9,5	1	4,8	1	4,3	2	11,8	0	0,0
Opilion	0	0,0	1	4,8	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Acaro	0	0,0	0	0,0	1	4,8	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Protura	0	0,0	0	0,0	1	4,8	0	0,0	1	5,9	1	4,3
Dermaptera	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2	8,7	0	0,0	0	0,0
Isopoda (Suborden: Oniscidea)	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	4,3	0	0,0	0	0,0
Miriapoda	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2	8,7	0	0,0	0	0,0
Pseudoscorpionida	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	4,3	1	5,9	0	0,0
morfo 16	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	4,3
TOTAL	204		21		21		23		17		23	
PORCENTAJE TOTAL	66,0		6,8		6,8		7,4		5,5		7,4	

**Tabla 1.** Cantidad de macroinvertebrados colectados, diferenciados por orden.

La muestra cinco es la que presenta la menor cantidad de individuos de invertebrados, mientras que las demás, exceptuando la primera, se encuentran en los puestos intermedios con 21 o 23 individuos.

## DESCRIPCIÓN FAUNA CAPTURADA

La muestra en la que se encuentra la mayor cantidad de individuos corresponde a la muestra número uno en la cual se encuentra 204 individuos (66%) de los 309 que fueron encontrados en el estudio. Las demás muestras cuentan con los restantes 100 individuos distribuidos alrededor de 20 individuos por sitio (aproximadamente 6% en cada muestra). Con respecto a la diversidad, la muestra cuatro contiene la mayor cantidad de ordenes (12 ordenes) mientras la muestra seis es la que menor cantidad tiene (cinco ordenes); las demás muestras cuentan con valores intermedios de diversidad encontrándose en valores entre siete y ocho ordenes por muestra (Tabla 1).

Es de resaltar que si bien es cierto que la gran cantidad de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) encontradas en la muestra uno es responsable de que esta muestra contenga la mayor cantidad de individuos, no es menos notable que es la que tiene la mayor cantidad de coleópteros y una de las que se encuentra con los valores más altos de dípteros. Estos tres órdenes albergan el 86.8% del total de individuos capturados en el estudio, lo que quiere decir que en los restantes 13 ordenes se encuentra el restante 13,4%.

## DESCRIPCIÓN SUELOS

Con respecto a las características del suelo estudiadas los resultados se presentan en la tabla 2.

Muestra	Arena	Limo	Arcilla
1	30,0	50,0	20,0
2	55,6	41,7	2,8
3	57,1	37,1	5,7
4	50,0	43,3	6,7
5	50,0	50,0	0,0
6	64,1	61,5	0,0

**Tabla 2:** Porcentaje de textura del suelo

Como se observa en la tabla 2 el sitio uno es el que cuenta con menor cantidad de Arenas, mientras que es el que cuenta con mayor cantidad de Arcillas y uno de los que tiene mayor porcentaje de Limo.

El sitio cinco y seis son los que cuentan con la menor cantidad de arcilla mientras que el mismo 6 es el que cuenta con la mayor cantidad de arenas y limo y cuenta con 100% de materia orgánica.

### COMPARACIÓN ENTRE SITIOS DE MUESTRO

El p-valor obtenido luego de la aplicación de la prueba Friedman es 0.4326, indicando que, para un nivel de significancia del 5%, no se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto no es posible afirmar que el tipo de suelo afecte el número de insectos encontrados.

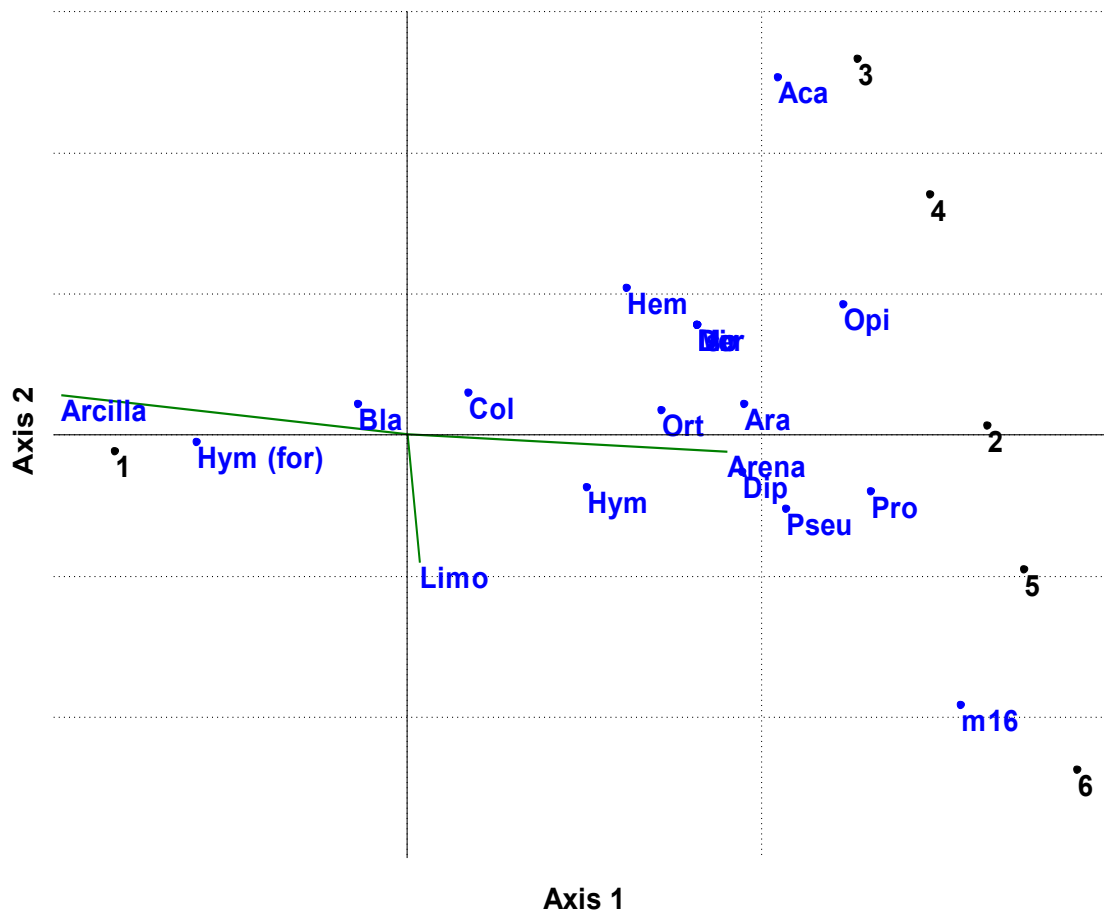
En todas las ANOVAS aplicadas se observó que, bajo un nivel de significancia del 5%, la hipótesis nula no se rechaza, esto significa que no es posible afirmar que existen diferencias en el número de taxones según el sitio de muestreo (Tabla 3).

<b>Grupo Relacionado</b>	<b>F</b>	<b>P valor</b>
Total taxones	0,89	0,3978
<i>Aranae</i>	3	0,1924
<i>Blatodea</i>	0,6	0,6037
<i>Coleoptera</i>	0,7	0,5615
<i>Diptera</i>	1,25	0,4035
<i>Hemiptera</i>	Nada	Nada
<i>Hymenoptera</i>	0	1
<i>Hymenoptera (Formicidae)</i>	1,02	0,4595
<i>Orthoptera</i>	1	0,4648
<i>Opilion</i>	1	0,4648
<i>Acaro</i>	1	0,4648
<i>Protura</i>	3	0,1924
<i>Dermaptera</i>	1	0,4648
<i>Isopoda (Suborden: Oniscidea)</i>	1	0,4648
<i>Miriapoda</i>	1	0,4648
<i>Pseudoscorpionida</i>	0,5	0,6495
<i>Morfotipo 16</i>	1	0,4648

**Tabla 3:** ANOVAS entre los tres sitios de muestreo y los taxones

### COMPARACIÓN VARIABLES DEL SUELO CON TAXAS

El resultado del ACC es un grafico formado por un sistema de ejes donde se muestran los sitios (marcados con números), las especies (Con sus tres primeras letras) y variables ambientales (Arcilla, limo y Arena)



**Figura 2:** Análisis de correspondencia canónica. Ara=Araneae; Bla=Blatodea; Col=Coleoptera; Dip=Diptera; Hem=Hemiptera; Hym=Hymenoptera; Hym (for)=Hymenoptera (formicidae); Ort=Orthoptera; Opi=Opilion; Aca=Acaro; Pro=Protura; Der=Dermaptera; Iso=Isopoda (Suborden: Oniscidea); Mir=Miriapoda; Pseu=Pseudoscorpionida; m16=morfo 16.

En el análisis de correspondencia (Fig. 2), los valores explicativos permiten ver que los dos primeros ejes explican el 99.9%, estando el primer eje explicando el 82.58% y por tanto es el más importante en el momento de realizar el análisis. Este eje muestra una correlación importante entre los ejes marcados por arcillas y arenas aunque estos dos son inversamente proporcionales; mientras que arenas se encuentra en la parte positiva del eje, arcillas se encuentra hacia la parte negativa del mismo eje. Por su parte, la variable Limo se encuentra correlacionada con el segundo eje asociándose con la parte negativa de este.

Recordando que sobre el primer eje se encuentran las variables arena y arcilla de manera inversamente proporcional se da que los sitios que tienen mayor cantidad de arcilla y menor cantidad de arena, se encuentran situados hacia la parte negativa del primer eje (sitio uno), mientras que en un caso contrario, esto es, valores de arcillas bajos y de arenas altos, se encuentran en el lado positivo del mismo eje (sitios dos al seis).

Aunque el eje dos solamente explica el 17,42% de las correlaciones es importante mencionar que los sitios que tengan los valores más altos de limos se encontrarán en la parte negativa del segundo eje, mientras que los que tengan la menor cantidad de limo se



encontrarán en el extremo opuesto. Cabe recordar que la distribución de los sitios (y de los órdenes que se describirán más adelante) se encuentra fuertemente influenciada por los valores de arena y arcilla debido a que estos son los que se encuentran correlacionados con el eje uno que es el que tiene el mayor porcentaje de explicación, mientras que la variable Limo poco influirá en la distribución de los puntos.

Con respecto a la diversidad de la artropofauna, se encuentra que la mayor diversidad de órdenes se encuentra correlacionada con el lado positivo del eje uno mientras que parece que el eje dos no afecta mucho esta distribución debido a que se encuentran en proporciones parecidas a un lado y al otro de este eje.

En otras palabras, la mayor diversidad parece estar fuertemente influenciada con valores medios de arena y con valores bajos de arcillas. Con valores muy altos de arena se disminuye la cantidad de órdenes que se encuentran, quedando solamente morfo 16. Por el otro lado, con valores muy altos de arcilla se encuentran relacionadas únicamente las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) mientras que con valores medios de arcillas se encuentran Coleoptera y Blattodea.

Con respecto al segundo eje, solo se observan dos órdenes que al parecer se encuentran relacionados con la variable limo que se encuentra sobre este eje. Según este resultado el morfo 16 parece ser más abundantes con niveles altos de limo mientras que los ácaros se encuentran inversamente relacionados con esta variable.

Aunque ninguno de los sitios de tuvo alguna correlación con la fauna encontrada en cada uno de estos (por pruebas estadísticas) es importante anotar que en el sitio 1 que es el que tiene mayor cantidad de arcillas y menor cantidad de arena es el que tiene mayor abundancia de hormigas y de macroinvertebrados, aunque se puede ser producto del poco tiempo de muestreo empleado.

Otra observación es que el sitio seis presenta un menor número de individuos y de morfotipos-orden presenta una mayor cantidad de arenas y limos, sin ninguna presencia de arcillas. Esta última lectura se puede deber a una mala lectura en la metodología de textura del suelo, además del poco tiempo de colecta.

El que no se haya encontrado ninguna relación existente entre la fauna y las variables del suelo con las pruebas estadísticas (Friedman y ANOVAS) pudo estar relacionado con el poco tiempo de muestro, las pocas replicas y por la metodología empleada, la cual se limitaba a los invertebrados de la hojarasca y el colchón de raíces, sin tener en cuenta otro tipo de invertebrados que se encuentran en el suelo propiamente dicho.

Referente al análisis de componentes no se encontró ninguna relación significativa entre la abundancia y la presencia de un macroinvertebrados con la textura o materia orgánica del suelo. Aunque si se observo claramente que la cantidad de arena y de MO están directamente relacionadas entre sí, siendo extraño ya que no tiene ninguna razón aparente a que esto ocurra.

Al parecer existe una relación entre la cantidad de arcillas y la diversidad de macroinvertebrados con valores bajos y altos la diversidad es pobre (sitio seis) y en términos medios es la mayor (sitio cuatro) aunque el sitio uno también debería dar bajo. Sin embargo, con ninguna de las dos pruebas usadas se pudo relacionar algún tipo de textura de suelo con la diversidad de los organismos.

Ya para finalizar es importante resaltar que además de la falta de tiempo de muestreo y de la mala implementación de la metodología de colecta, hay que tener en cuenta la humedad y la aireación del suelo. Estudios realizados por el IGAC (1986) en los llanos orientales

muestran que la presencia de lombrices se debe a la buena humedad y aireación. Y en general la diversidad de macroinvertebrados del suelo aumenta al tener un buen drenaje. Además exponen que las hormigas prefieren suelos con mayor contenido de arena lo que no concuerda con lo encontrado en este estudio (Jaramillo, 2002).

Y aunque no se pudo encontrar ninguna relación a partir de las pruebas estadísticas es importante tener en cuenta para futuros estudios los puntos de metodología y las variables a medir, para que así se obtengan datos significativos y no se vuelvan a presentar los mismos problemas que se presentaron en este estudio.

## BIBLIOGRAFIA

Adriyanov, B. 2008. Aportación del análisis canónico de correspondencias al análisis textual. Universitat Politècnica de Catalunya. 68 p.

Iraola, V. 2001. Introducción a los ácaros (II): Hábitats e importancia para el hombre. *Bol. S.E.A.*, nº 28: 141—146.

Jaramillo, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín.

Lavelle, P., Dangerfield, M., Fragoso, C. 1994. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. In: Swift, M.J.; Wooper, P. (Eds). *Tropical Soil Biology and Fertility*. Jhon Wiley Sayce. New York. pp. 137-169.

Spain, A., Lavelle, P., Mariotti, A. 1992. Stimulation of plant growth by tropical earthworms. *Soil Biology and Biochemistry*, 24:1629-1633.

Volhland, K., Schroth, G. 1999. Distribution patterns of the litter macrofauna in agroforestry and monoculture plantations in Central Amazonia as affected by plant species and management. *Applied Soil Ecology*, 13: 57-68.

# EFFECTO DE LA HOJARASCA EN EL NÚMERO Y DIVERSIDAD DE PLÁNTULAS EN BOSQUE ANDINO Y BOSQUE DE ROBLES DEL PARQUE NACIONAL NATURAL CUEVA DE LOS GUACHAROS

Ángela Mayorga<sup>1</sup>, Sandra Reinales<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología. Estudiante.

---

## RESUMEN

Los bosques de robles en Colombia definidos por la dominancia de dos especies de la familia Fagaceae *Querus humboldtii* y *Colombobalanus excelsa*, presentan características particulares debido a su distribución altitudinal y a la poca estratificación que presentan dada por el dosel denso y de gran altura que dificulta el paso de luz al sotobosque. En comparación con otras formaciones boscosas presentes en el país, los bosques de robles suelen tener una menor diversidad debida a la dominancia de unas pocas familias como Fagaceae, Lauraceae, Rubiaceae, entre otras. Las observaciones en campo sugieren que existen diferencias en la densidad y diversidad de plántulas entre el bosque de robles y el bosque andino en el Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos. Este trabajo pretende evaluar la relación existente entre las variables cobertura y profundidad de la hojarasca y el número y diversidad de plántulas para el bosque de robles y el bosque andino comparativamente. Los resultados muestran que no existe una correlación significativa entre las variables de la hojarasca y la población de plántulas para ninguno de los tipos de bosque, sin embargo se encontraron diferencias significativas en el número de familias encontradas para cada una de las formaciones boscosas estudiadas. Por tal motivo se sugiere que variables como la calidad del suelo y la susceptibilidad a los disturbios de cada tipo de bosque, pueden ser las causantes de las diferencias encontradas en la densidad y diversidad de plántulas.

**Palabras claves:** Bosque andino, hojarasca, plántulas, Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos, robleal.

## ABSTRACT

Colombian oak forests defined by the dominance of two species of the family Fagaceae *Querus humboldtii* and *Colombobalanus excelsa*, have specific characteristics due to its altitudinal distribution and little stratification given by the dense canopy and high altitude makes it hard the understory light. Compared with other types of forests in this country, the forests of oaks tend to have lower diversity due to the dominance of a few families such as Fagaceae, Lauraceae, Rubiaceae. The field observations suggest that differences in density and diversity of seedlings from the oak forest and Andean forest in the Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos. This study aims to evaluate the relationship between coverage and depth variables of litter and the number and diversity of seedlings for the forest of oaks and comparatively Andean forest. The results show no significant correlation between the variables of litter and seedling population for any of the types of forest, yet significant differences in the number of families found for each of the studied forest formations. For this reason it is suggested that variables such as soil quality and susceptibility to disturbance of each forest type, can be the cause of the differences in the density and diversity of seedlings.

**Key words:** Andean forest, litter, oak forest, Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos, seedlings.

## INTRODUCCIÓN

Los bosques de robles generalmente dominados por *Querus humboldtii* y *Colombobalanus excelsa* dos especies de la familia Fagaceae, en Colombia se encuentran distribuidos principalmente en los departamentos de Nariño, Boyacá, Huila, Santander, Antioquia, Caldas, Cauca, Caquetá, Cundinamarca, Risaralda y Tolima. Estas especies crecen formando asociaciones bastante homogéneas que se encuentran generalmente desde los 1100 m hasta altitudes de 3400 m, con algunas variaciones (Cavelier *et al.*, 1994). La temperatura en estos bosques oscila entre 10 y 17 ° C, y la precipitación va de 1300 a 3000 mm/año. Son bosques con dosel denso y altura variable (10 – 15 m hasta 40 m). Existe una estratificación poco notoria (dos - tres estratos) debido principalmente a la dominancia de unas pocas especies, aunque puede existir un estrato emergente compuesto por palmas del género *Ceroxylon*, presencia de hemiparásitas epífitas, fanerogamas epífitas, escasa cantidad de trepadoras leñosas, presencia de helechos arbóreos y numerosos líquenes. El follaje en estos bosques es persistente o brevemente caduco, las hojas generalmete leptófila hasta megáfila con máxima proporción de mesófilas (León *et al.*, 2009). La presencia del robledal favorece el desarrollo de especies de menor porte (sotobosque), creando así un microclima propicio. Además su continua defoliación contribuye a la formación de materia orgánica indispensable para el autosostenimiento del bosque.

En Colombia el bosque andino esta ubicado entre los 1000 m y 3000 o 4000 m de altitud aproximadamente y se encuentran distribuidos a lo largo de las tres cordilleras, la Sierra Nevada de Santa Marta, la Serranía de la Macarena y la Serranía del Darién. A pesar de su distribución debido a la fuerte presión antrópica ocupan apenas un 8% del área del país. Incluye al bosque subandino de clima templado y al bosque altoandino ubicado entre los 2900 y 3800 m de altitud (IDEAM, 1999). Cleef *et al.* (1983) a partir de Cuatrecasas (1934), define los bosques andinos como aquellos que presentan un estrato arbóreo superior de árboles de 20 a 35 m de altura, pertenecientes a familias del orden Rosales (Cunnoniaceae, Brunelliaceae y Rosaceae). Sin embargo debido al clima generalmente templado de estos bosques y a la moderada humedad y precipitación, el dosel arbóreo es variado, localmente puede alcanzar 25 m de altura, pero en general sitúa entre 10 m y 20 m. A nivel florístico dominan las especies de *Ocotea* (aguacatillo), *Weinmannia* (encenillos), *Clethra*, *Brunellia* (Cedrillo), *Cedrela*, *Hesperomeles* (mortiños), *Prunus* (cerezo), *Myrsine* (cucharo), *Podocarpus* (pino chaquiro o romerón) y varias especies de la familia Lauraceae.

La productividad en un bosque es definida como la cantidad de material vegetal producido por unidad de tiempo (Stiling, 1996) y la tasa a la cual dicha materia orgánica se crea por fotosíntesis (Smith y Smith, 2001). Una de las formas más sencillas y económicas de medirla en los ecosistemas terrestres es la producción de hojarasca (Bray y Gorham, 1964; UNESCO, 1980). Además, la hojarasca es importante en el funcionamiento del ecosistema, ya que al acumularse en el suelo como un mantillo sirve de hábitat y alimento a muchos organismos y microorganismos que conforman una red trófica compleja (Campbell, 1987; Smith y Smith, 2001).

La productividad está influenciada principalmente por factores climáticos como precipitación, temperatura y humedad y en general, es menor cuando la precipitación es escasa, la radiación solar y temperatura del aire son bajas, hay frecuente presencia de nubes y de otras masas de vapor atmosféricas (Sarmiento, 1984; Bruijnzeel y Veneklaas, 1998). Por tanto, los bosques montanos en especial los bosques de niebla son los que presentan menores valores de productividad al año. Otros factores que pueden inhibir la productividad son los suelos saturados que impiden la respiración de las raíces, la mayor inversión de carbono para el crecimiento del sistema radicular y no el de la parte aérea y factores biológicos como índice del área foliar (IAF) bajo, debido a la baja disponibilidad de luz, la arquitectura de las hojas (gruesas, pequeñas y duras), y a una mayor longevidad de las hojas (Bruijnzeel y Veneklaas, 1998). De hecho, la mayor o menor producción de hojarasca

en un bosque puede ser explicada por la interacción de todos los factores anteriormente mencionados.

## METODOLOGÍA

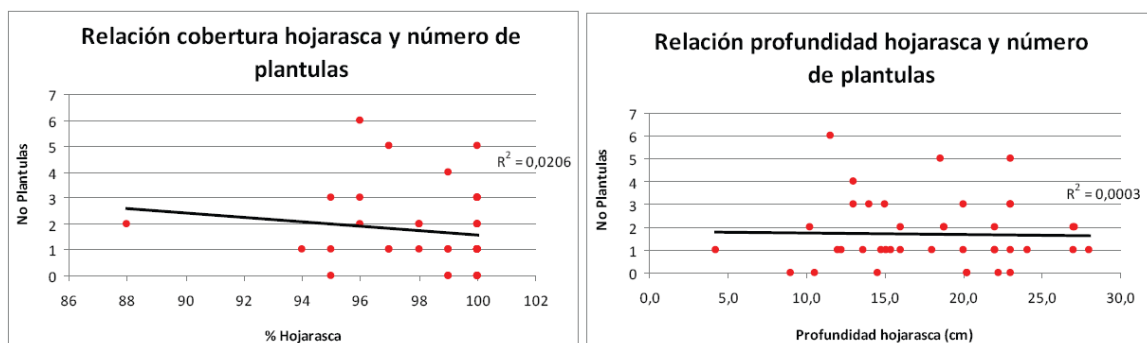
Se trazaron dos parcelas de 7 m x 15 m en dos tipos de bosques diferentes (Robledal y bosque andino) presentes en el Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos ubicado en el municipio de Acevedo (Huila). En cada una de las parcelas muestreadas se usó un cuadrante de 50 x 50 cm, área en la cual se midió porcentaje de cobertura de la hojarasca sobre el suelo, profundidad de la hojarasca y número de plántulas. Para cada parcela se realizaron 40 replicas. Las plántulas fueron identificadas en campo a nivel genérico. Aquellas que no pudieron ser identificadas, fueron reportadas como morfotipos con el fin de poder comparar las dos zonas de estudio.

Los datos fueron analizados realizando gráficas de correlación. Para estimar las diferencias significativas entre el número de familias por cuadrante en las dos parcelas comparadas se realizó una prueba t-student a dos colas usando el programa estadístico SPSS 1993 – 2007.

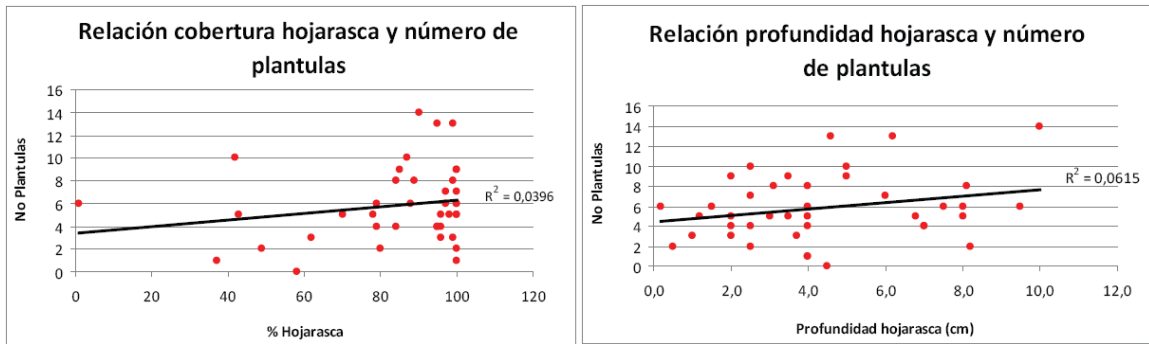
## RESULTADOS

Los gráficos de correlación entre número de plántulas y cobertura de la hojarasca, así como los gráficos de correlación entre número de plántulas y profundidad de la hojarasca no mostraron un índice de correlación significativo (Figs. 1 y 2).

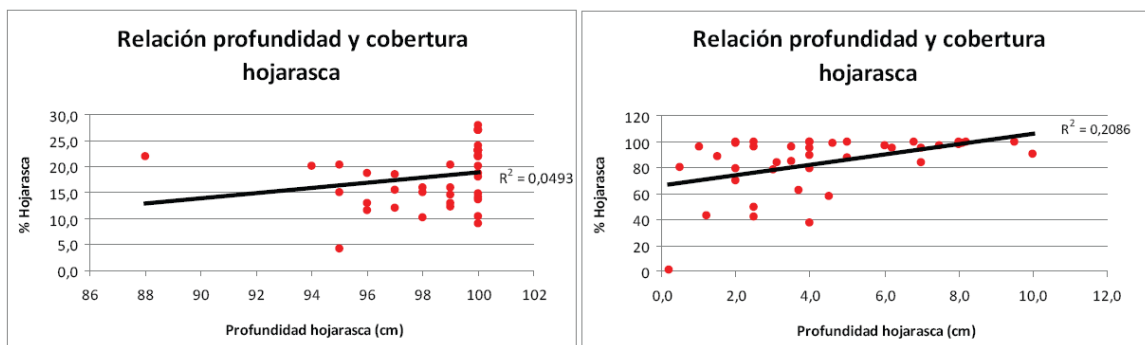
Debido a que no se encontró correlación significativa entre las variables medidas de la hojarasca y el número de plántulas para cada parcela muestreada, se realizó una gráfica de correlación entre cobertura y profundidad de la hojarasca. La gráfica muestra que no existe correlación significativa entre las variables de la hojarasca para cada una de las parcelas muestreadas (Fig. 3).



**Figura 1.** Gráficas de correlación entre el número de plántulas y las variables cobertura y profundidad de la hojarasca para la parcela del bosque de robles.



**Figura 2.** Gráficas de correlación entre el número de plántulas y las variables cobertura y profundidad de la hojarasca para la parcela del bosque andino.



**A.**

**B.**

**Figura 3.** Gráficas de correlación entre las variables medidas en la hojarasca. **A.** Parcela bosque de robles. **B.** Parcela bosque andino.

Los resultados obtenidos de las gráficas de correlación sugieren que las variables profundidad y cobertura de la hojarasca no están relacionadas con el número de plántulas presentes en cada uno de los cuadrantes examinados para las dos parcelas en comparación. Por tal motivo la variable hojarasca no explica las diferencias observadas en la distribución de las plántulas en ninguno de los dos tipos de bosques evaluados.

En cuanto a la diversidad de plántulas encontradas en los dos tipos de bosque evaluados, se examinaron las diferencias significativas entre el número de familias por cuadrante en cada una de las parcelas muestreadas, usando una prueba t-student a dos colas. La prueba evaluada con una probabilidad de  $p = 0,05$ , sugiere que existen diferencias significativas entre el número de familias presentes por cada uno de los cuadrantes evaluados para las dos parcelas de estudio (Tabla 1).

**Independent Samples Test**

	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means
--	---	------------------------------

		F	Sig.	T	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Familias	Equal variances assumed	,844	,361	-6,553	78	,000	-1,525	,233	-1,988	-1,062
	Equal variances not assumed			-6,553	76,065	,000	-1,525	,233	-1,988	-1,062

**Tabla 1.** Prueba t-student a dos colas. Se evalúa la hipótesis nula: no existen diferencias significativas en el número de familias por cuadrante para las dos parcelas de estudio. Dado que la probabilidad calculada es menor a  $p = 0,05$ , la hipótesis nula se rechaza.

Los datos de la prueba t-student concuerdan con las observaciones realizadas en campo y con los índices poblacionales media y moda. La media y moda para la parcela trazada en el bosque de robles fue de  $\bar{X} = 1$ , mientras para el bosque andino fue de  $\bar{X} = 3$ . También se encontraron diferencias en el número total de familias para cada parcela, encontrando 12 familias en la parcela del bosque de robles y 18 familias en el bosque andino.

## DISCUSIÓN

A pesar de que las observaciones en campo sugieren que las diferencias encontradas en la estructura del sotobosque de las dos parcelas de estudio, dada por la profundidad y cobertura de la hojarasca (Tablas 2 y 3 Anexos), influyen en el número y diversidad de plántulas, los resultados muestran que no existe una relación significativa entre dichas variables (Figs. 1 y 2). Debido a que se ha reportado que el número de especies por unidad de área aumenta en proporción inversa a la calidad del suelo (IDEADE, 1996), es posible que las diferencias encontradas en el número plántulas y número de familias por cuadrante para las dos parcelas estudiadas, no se deban directamente a la profundidad y/o cobertura de la hojarasca sino a la calidad del suelo presente en cada uno de los bosques, que en últimas puede estar también influenciada por la cantidad y tipo de hojarasca que se deposita en el suelo.

Teniendo en cuenta que en general los bosques de robles han sido definidos como ecosistemas complejos dispuestos en zonas montañosas a gran elevación, de largas y fuertes pendientes, sobre suelos ácidos y desaturados y sometidos a una alta precipitación (León et al., 2009), es de esperarse que los suelos de este tipo de bosque sean ricos en materia orgánica, y propensos a acumular grandes contenidos de carbono (Agudelo, 2009). Así, si la relación entre densidad de especies y área es inversa, los resultados obtenidos en este trabajo están de acuerdo a dicha hipótesis puesto que la densidad de especies, en este caso de familias es menor en el bosque de robles que en el bosque andino que puede tener suelos mucho más pobres.

Los resultados obtenidos en cuanto número de plántulas por cuadrante por parcela estudiada, están de acuerdo con lo reportado en la literatura para bosques, ya que se considera que en este tipo de bosques, el número de plántulas es reducido con respecto a otras formaciones boscosas, debido a que en el robledal domina la forma de vida arbórea con alturas por encima de los 15 m (Marín y Betancur, 1997), el dosel es denso y la baja disponibilidad de luz dificulta el establecimiento de un gran número de plántulas de diversas especies.

Por otra parte, la dinámica de los arbustos y las hierbas, y en general del sotobosque depende directamente de la disponibilidad de luz. De esta manera la biomasa y densidad de los arbustos y hierbas incrementa cuando hay mayor disponibilidad de luz en el bosque (Davison & Forman, 1982). En un bosque maduro como el bosque de robles, el fenómeno de mayor disponibilidad de luz en el sotobosque se da cuando ocurre un disturbio. Por esta razón otra de las variables que pueden explicar las diferencias encontradas en la cantidad de familias por cuadrante en los dos bosques estudiados es la susceptibilidad o probabilidad de ocurrencia de un disturbio que facilite la entrada de luz al sotobosque y por ende es establecimiento de un mayor número de plántulas de diversas especies.

## REFERENCIAS

- Agudelo, M. 2009. Biomasa aérea y contenido de carbono en bosques de *Quercus humboldtii* y *Colombobalanus excelsa*: Corredor de conservación de robles Guantiva – La Rusia – Iguaque (Santander – Boyacá. Tesis de grado, Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ciencias Básicas, Programa de Administración del medio ambiente y de los recursos naturales, Santiago de Cali.
- Bray, J., Gorham, E. 1964. Litter production in forest of the world. In: Advances in ecological research. The Nature Conservancy Merlewood Research Station. Cragg, J. (ed.). First edition. Academic Press. Grangeover-sands, Lancashire, England: 7, 101-157.
- Bruijnzeel, L., Veneklaas, E. 1998. Climatic conditions and tropical montane forest productivity: the fog has not lifted yet. *Ecology* 79 (1): 3-9.
- Campbell, R. 1987. Ecología microbiana. Primera edición. México, D.F., México, Editorial Limusa. 268 págs.
- Cavelier, J., Pulido, M., Porras, M., Lozano, G. 1994. Variaciones morfológicas en las poblaciones de *Quercus* en Colombia: implicaciones taxonómicas y ecológicas. Pág. 28. En: Cavelier, J., Uribe, A. (eds), Resúmenes del Simposio Nacional "Diversidad Biológica, Conservación y Manejo de los Ecosistemas de Montaña en Colombia", Universidad de los Andes, Bogotá.
- Cleef, A., Rangel, O., Salamanca V. 1983. Reconocimiento de la vegetación de la parte alta del transecto Parque Los Nevados. En: La Cordillera Central Colombiana Transecto Parque Los Nevados (Introducción y datos iniciales). (T.van der Hammen et al., eds.). *Stud.Trop.Andean Ecosystems* 1: 150-174. J. Cramer, Vaduz.
- Davison, S., Forman, R. 1982. Herb and Shrub Dynamics in a Mature Oak Forest: A Thirty-Year Study. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 109: 1.
- IDEADE. 1996. Evaluación de estatus ecosistémico y manejo de los bosques de Fagaceas (*Quercus humboldtii* Bonpl. y *Trigonobalanus excelsus*) en el norte de la cordillera oriental (Cundinamarca, Santander y Boyacá). Informe Final. Universidad Pontificia Bolivariana, Bogotá, Colombia.
- León, J., Vélez, G., Yepes, A. 2009. Estructura y composición florística de tres robledales en la región norte de la cordillera central de Colombia. *Revista de Biología Tropical* 57:4, 1165-1182.
- Marín, C., Betancur, J. 1997. Estudio florístico en un robledal del Santuario de Flora y Fauna de Iguaque (Boyacá, Colombia). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias* 21:80, 249-259.



Sarmiento, G. 1984. Los ecosistemas y la ecósfera. Primera edición, Barcelona, España, Editorial Blume. 85-95.

Smith, R., Smith, T. 2001. Ecología. Cuarta edición. Madrid, España. Pearson Educación, S.A. 642 pp.

Stiling, P. 1996. Ecology: theories and application. Second edition. Prentice Hall. New Jersey, USA. 539 pp.

UNESCO/PNUMA/FAO. 1980. Producción primaria bruta y neta, parámetros de crecimiento. En: Ecosistemas de los bosques tropicales. UNESCO-CIFCA. Madrid, España, 265-282.

## ANEXOS

### PARQUE NACIONAL NATURAL CUEVA DE LOS GUACHAROS

Sector Robledal 1800 msnm							
Cuadrante	% Hojarasca	Profundidad H. (cm)	# Plantulas	Identificación	Familias	# Familias x cuadrante	Total de plantulas
1	95	4,2	1	Elaphoglossum	Dryopteridaceae	1	1
2	98	15,1	1	Araceae mp1	Araceae	1	1
3	100	22,0	1	Lauraceae mp1	Lauraceae	1	1
4	100	23,0	1	Colombobalanus	Fagaceae	1	1
5	100	23,0	0	-		0	0
6	99	20,2	0	-		0	0
7	100	27,1	1	Araceae mp4	Araceae	2	2
			1	Quercus	Fagaceae		
8	96	18,8	1	Araceae mp4	Araceae	2	2
			1	Quercus	Fagaceae		
9	100	23,0	1	Elaphoglossum	Dryopteridaceae	4	5
			2	Quercus	Fagaceae		
			1	Peperomia	Piperaceae		
			1	Cyathea	Cyatheaceae		
10	100	28,0	1	Araceae mp2	Araceae	1	1
11	100	13,6	1	Quercus	Fagaceae	1	1
12	100	10,5	0	-		0	0
13	100	20,0	2	Melastomataceae	Melastomataceae	2	3
			1	Elaphoglossum	Dryopteridaceae		
14	100	24,1	1	Ophioglossum	Ophioglossaceae	1	1
15	100	23,0	1	Rubiaceae mp1	Rubiaceae	3	3
			1	Quercus	Fagaceae		
			1	Elaphoglossum	Dryopteridaceae		
16	100	22,2	0	-		0	0
17	100	27,0	1	Elaphoglossum	Dryopteridaceae	1	1
18	100	23,0	1	Elaphoglossum	Dryopteridaceae	3	3
			1	Quercus	Fagaceae		
			1	Rubiaceae mp1	Rubiaceae		
19	100	22,0	1	Quercus	Fagaceae	1	1

20	100	27,0	1	Elaphoglossum	Dryopteridaceae	2	2
			1	Rubiaceae mp1	Rubiaceae		
21	94	20,0	1	Arecaceae mp1	Arecaceae	1	1
22	96	13,0	3	Hedyosmum	Chloranthaceae	1	3
23	97	12,0	1	Clusia	Clusiaceae	1	1
24	88	22,0	1	Arecaceae mp2	Arecaceae	2	2
			1	Aracea mp3	Araceae		
25	95	15,0	1	Arecaceae mp2	Arecaceae	3	3
			1	Aracea mp3	Araceae		
			1	Lauraceae mp2	Lauraceae		
26	97	18,5	2	Quercus	Fagaceae	2	5
			1	Quercus	Fagaceae		
			1	Lauraceae mp1	Lauraceae		
			1	NN5			
27	99	12,2	1	Quercus	Fagaceae	1	1
28	99	16,0	1	Quercus	Fagaceae	1	1
29	99	14,5	0	-		0	0
30	100	18,8	2	Quercus	Fagaceae	1	2
31	96	11,5	5	Araceae mp4	Araceae	1	6
			1	Araceae mp2	Araceae		
32	95	20,2	0	-		0	0
33	100	14,8	1	Quercus	Fagaceae	1	1
34	99	13,0	1	Elaphoglossum	Dryopteridaceae	2	4
			1	Araceae 2	Araceae		
			2	Araceae 4	Araceae		
35	100	9,0	0	-		0	0
36	98	10,2	1	Peperomia	Piperaceae	2	2
			1	Araceae 4	Araceae		
37	100	14,0	1	Araceae mp5	Araceae	2	3
			1	Rubiaceae mp1	Rubiaceae		
			1	Araceae mp1	Araceae		
38	98	16,0	2	Arecaceae mp1	Arecaceae	1	2
39	100	18,0	1	NN6		0	1
40	97	15,4	1	Elaphoglossum	Dryopteridaceae	1	1

**Tabla 2.** Datos de hojarasca, número de plántulas y familias encontradas para la parcela del bosque de robles.

## PARQUE NACIONAL NATURAL CUEVA DE LOS GUACHAROS

Sector Bosque Andino							
Cuadrante	% Hojarasca	Profundidad H. (cm)	# Plantulas	Identificación	Familia	# Familias x cuadrante	total plantulas
1	100	4,0	1	Chusquea	Poaceae	1	1
2	100	4,0	2	Hedyosmum	Chloranthaceae	3	5
			2	Araceae mp1	Araceae		
			1	Meliaceae	Meliaceae		
3	80	0,5	1	Campyloneurum	Polipodiaceae	2	2
			1	Hedyosmum	Chloranthaceae		

4	96	1,0	1	Lauraceae mp1	Lauraceae	3	3
			1	Quercus	Fagaceae		
			1	Hedyosmum	Chloranthaceae		
5	1	0,2	1	Rubiaceae mp1	Rubiaceae	4	6
			1	Hedyosmum	Chloranthaceae		
			2	Peperomia	Piperaceae		
			2	Araceae mp1	Araceae		
6	100	8,2	1	Chusquea	Poaceae	2	2
			1	Araceae mp2	Araceae		
7	97	6,0	1	Lauraceae mp1	Lauraceae	3	7
			5	Peperomia	Piperaceae		
			1	Rubiaceae mp1	Rubiaceae		
8	89	4,0	3	Peperomia	Piperaceae	2	8
			3	Araceae mp2	Araceae		
			2	NN1			
9	79	2,0	1	Araceae	Araceae	4	4
			1	Quercus	Fagaceae		
			1	Arecaceae mp1	Arecaceae		
			1	Peperomia	Piperaceae		
10	95	7,0	2	Peperomia	Piperaceae	3	4
			1	Rubiaceae mp2	Rubiaceae		
			1	Elaphoglossum	Dryopteridaceae		
11	97	7,5	4	Peperomia	Piperaceae	2	6
			1	Araceae mp1	Araceae		
			1	Araceae mp2	Araceae		
12	100	8,0	1	Melastomataceae	Melastomataceae	4	6
			2	Peperomia	Piperaceae		
			1	Arecaceae mp1	Arecaceae		
			1	Araceae mp1	Araceae		
			1	Araceae mp2	Araceae		
13	98	8,0	3	Araceae mp1	Araceae	2	5
			2	Lauraceae mp1	Lauraceae		
14	96	3,5	3	Araceae mp2	Araceae	3	5
			1	Poaceae	Poaceae		
			1	Peperomia	Piperaceae		
15	100	2,0	2	Araceae mp2	Araceae	5	9
			1	Poaceae	Poaceae		
			1	Peperomia	Piperaceae		
			3	Quercus	Fagaceae		
			2	Arecaceae mp1	Arecaceae		
16	96	2,5	1	Peperomia	Piperaceae	3	4
			2	Elaphoglossum	Dryopteridaceae		
			1	Melastomataceae	Melastomataceae		
17	99	4,6	13	Urticaceae	Urticaceae	3	13
				Rubiaceae mp1	Rubiaceae		
				Peperomia	Piperaceae		
18	70	2,0	1	Lauraceae mp1	Lauraceae	4	5
			1	Rubiaceae mp1	Rubiaceae		
			2	Peperomia	Piperaceae		
			1	Urticaceae	Urticaceae		
19	95	4,0	2	Annonaceae	Annonaceae	2	4
			2	Rubiaceae mp1	Rubiaceae		

20	78	3,0	1	Campyloneurum	Polipodiaceae	4	5
			2	Poaceae	Poaceae		
			1	Melastomataceae	Melastomataceae		
			1	Urticaceae	Urticaceae		
21	58	4,5	0	-		0	0
22	37	4	1	Rubiaceae mp1	Rubiaceae	1	1
23	49	2,5	1	Helecho Arboreo		2	2
			1	Palma mp3	Arecaceae		
24	62	3,7	1	Palma mp1	Arecaceae	2	3
			1	Quercus	Fagaceae		
			1	NN7			
25	85	3,5	9	peperomia	Piperaceae	1	9
26	95	6,2	12	peperomia	Piperaceae	2	13
			1	Lauracea mp1	Lauraceae		
27	43	1,2	1	Cyathea	Cyatheaceae	3	5
			2	Peperomia	Piperaceae		
			2	Araceae 4	Araceae		
28	100	9,5	3	peperomia	Piperaceae	3	6
			2	Araceae mp5	Araceae		
			1	Lauraceae mp1	Lauraceae		
			4	Araceae mp5	Arecaceae		
29	87	5	2	Quercus	Fagaceae	5	10
			2	Peperomia	Piperaceae		
			1	Helecho Arboreo			
			1	Palma mp2	Arecaceae		
			1	Palma mp1	Arecaceae		
30	88	1,5	1	Lauraceae mp1	Lauraceae	4	6
			3	Peperomia	Piperaceae		
			1	Araceae mp5	Araceae		
			13	Peperomia	Piperaceae		
31	90	10	1	Cyathea	Cyatheaceae	2	14
			4	Peperomia	Piperaceae		
32	100	6,8	1	Campyloneurum	Polipodiaceae	2	5
			5	Quercus	Fagaceae		
33	100	5	1	NN7		2	9
			3	Urticaceae	Urticaceae		
			1	Campyloneurum	Polipodiaceae		
34	99	8,1	2	Quercus	Fagaceae	3	8
			5	Peperomia	Piperaceae		
			1	Quercus	Fagaceae		
35	84	7	1	Palma mp1	Arecaceae	3	4
			2	Poaceae	Poaceae		
			3	Quercus	Fagaceae		
36	100	2,5	3	Araceae mp5	Araceae	3	7
			1	Poaceae	Poaceae		
			3	Campyloneurum	Polipodiaceae		
37	84	3,1	1	Peperomia	Piperaceae	5	8
			1	Lauracea mp1	Lauraceae		
			2	Geraniaceae	Geraniaceae		
			1	Ophioglossum	Ophioglossaceae		
			1	Araceae mp1	Arecaceae		
38	99	2	1	Poaceae	Poaceae	3	3

			1	Ophioglossum	Ophioglossaceae		
39	79	4	4	Poaceae	Poaceae	3	6
			1	Cyathea	Cyatheaceae		
			1	Peperomia	Piperaceae		
40	42	2,5	1	Helecho Arboreo		3	10
			2	Melastomataceae	Melastomataceae		
			2	Cyathea	Cyatheaceae		
			1	Poaceae	Poaceae		
			4	NN8			

**Tabla 3.** Datos de hojarasca, número de plántulas y familias encontradas para la parcela del bosque andino.

# PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DE LAS PLANTULAS DE *Quercus humboldtii* y *Colombobalanus excelsa* EN UN ROBLEDAL DEL PARQUE NACIONAL NATURAL CUEVA DE LOS GUACHAROS

Camilo Alvarez<sup>1</sup>, Javier García<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología. Estudiante.

---

## RESUMEN

Dentro de un área de 500 m<sup>2</sup> dividida en 30 cuadrantes al azar, se realizaron 30 cuadrantes de 0,25 m<sup>2</sup> definidos aleatoriamente para medir el grado de dispersión de los árboles y plántulas de *Quercus humboldtii* y *Colombobalanus excelsa* en un robledal del Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos. El índice de Morisita muestra que a pesar de que el patrón de distribución de los robledales es agregado, su patrón dentro del robledal, para los árboles y las plántulas es regular.

**Palabras Clave:** árboles, *Colombobalanus excelsa*, distribución, plántulas, *Quercus humboldtii*.

## ABSTRACT

Within an area of 500m<sup>2</sup> divided into 30 quadrants were randomly performed 30 quadrants of 0.25m<sup>2</sup> randomly defined to measure the dispersion degree of trees and seedlings of *Quercus excelsa* and *Colombobalanus humboldtii* in Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos. Morisita's index shows that although the distribution pattern of the oak is added, the pattern within the oak forest for the trees and seedlings is regular.

**Key words:** *Colombobalanus excelsa*, distribution, *Quercus humboldtii*, seedling, trees.

## PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el patrón de dispersión del bosque de roble (*Quercus humboldtii* y *Colombobalanus excelsa*)?

## INTRODUCCIÓN

El patrón de distribución de especies de bosques húmedos es el resultado de muchos factores que interactúan, entre ellos, el clima, suelo, relieve, geología, el viento, animales y agua en la dispersión de semillas. Esta heterogeneidad ambiental presente en el mosaico de regeneración afecta la densidad y la distribución espacial de las poblaciones (Hubbell y Foster, 1987).

La dispersión de semillas es la fase demográfica más importante para el movimiento de las plantas en el espacio (Harper, 1977), esta delimita el área potencial de reclutamiento y afecta los procesos de predación y competencia resultando eventualmente en un nuevo patrón espacial de individuos reproductivos (Nathan *et al.*, 2001) así mismo, este proceso es clave en la determinación de la estructura espacial y la dinámica de las poblaciones de plantas (Nathan y Muller-Landau, 2000). El reclutamiento puede además ser afectado por agentes de mortalidad que actúan de manera dependiente de la distancia con respecto a los individuos reproductivos (Peters, 2003; Russo, 2005). Este modelo es denominado como efecto Janzen-Connell, el cual predice que las semillas y plántulas que se encuentran cerca

de los árboles adultos de la misma especie han de experimentar altos niveles de daño y mortalidad.

Mientras los árboles pioneros muestran una gran afinidad hacia los claros, los árboles no pioneros del bosque maduro, muestran diversos niveles de tolerancia a la luz, que pueden crecer bajo el dosel del bosque (Uhl, 1989; Lieberman *et al.*, 1985).

El patrón agregado ha sido descrito como un patrón común para la mayoría de las especies de árboles en bosques tropicales y subtropicales (Hubbell, 1979; Sakai y Oden, 1983), esta forma de distribución es la causa de la sobrevivencia de pocas plántulas, probablemente debido a la cantidad de material acumulado (frutos, plántulas) que atraen hongos patógenos e insectos en las proximidades (Janzen, 1970). Según el mismo autor, la composición de una comunidad de árboles adultos es en primer lugar una función de la habilidad competitiva de las plántulas y brinzales. Por otro lado, las especies vegetales que regeneran en manchas o agregados, poseen un reclutamiento de plántulas aparentemente adaptables a la intensa competencia junto a los individuos progenitores (Howe, 1989). La agregación se define como la probabilidad de encontrar un segundo individuo en la misma cuadrícula con respecto a lo que se puede esperar solo por azar, o también, como el grado de hacinamiento de individuos en una cuadrícula con relación a lo esperado en caso de que la disposición fuese aleatoria (Marquez, 2000).

La ausencia de dispersión a distancia puede ser una estrategia para no alejar las futuras plantas de un sitio donde ya se comprobó en un tiempo determinado la posibilidad de germinar y sobrevivir hasta la reproducción. El vecindario de una planta madre constituye una "área segura". El caso más extremo de sitios seguros en ambientes donde la competencia planta-planta no supera los beneficios obtenidos es el efecto nodriza.

—El índice varianza/media para definir el grado de agregación de individuos presenta algunos defectos que han sido puntualizados por Hurlbert (1990)" (Marquez, 2000), razón por la que se han desarrollado índices que contienen suposiciones ecológicas sobre la agregación y no suposiciones teóricas sobre la distribución, algunos de los índices desarrollados a partir del concepto de agregación son el índice de agregación de Lloyd y el de dispersión de Morisita, entre otros.

En base a esto, nosotros queremos identificar el tipo de distribución espacial que se da en bosques de roble (árboles y plántulas de *Quercus humboldtii* y *Colombobalanus excelsa*) especies pertenecientes a la familia Fagaceae con amplia distribución mundial (Manos & Stanford, 2001).

## METODOLOGÍA

Se mapearon todos los individuos adultos en un área de 500 m<sup>2</sup> en el robledal del PNN Cueva de los Guácharos. El área se dividió en 30 cuadrantes. Posteriormente se numeraron aleatoriamente. Para el muestreo de plántulas se definieron 30 cuadrantes al azar, de 0,25 m<sup>2</sup> dentro del área de 500 m<sup>2</sup>. Únicamente se observaron las dos especies dominantes, *Quercus humboldtii* y *Colombobalanus excelsa*.

Se registró el número de individuos por cuadrante. Se aplicó el índice de dispersión de Morisita para encontrar el patrón de agregación para plántulas y adultos según la siguiente ecuación

$$I_s = Q \text{ —————}$$

Donde

Q = Número de muestras

N = Número total de individuos

$X_i$  = Número de individuos de la muestra

Y donde  $I_s = 1$  corresponde a una distribución al azar,  $I_s < 1$  a una distribución regular y un valor  $I_s > 1$  a una agregada.

## RESULTADOS

Cuadrante	Plántulas	Árboles
1	0	1
2	0	0
3	1	0
4	0	1
5	0	1
6	1	1
7	0	0
8	0	0
9	0	1
10	0	0
11	0	0
12	1	1
13	0	0
14	0	0
15	0	1
16	0	1
17	0	0
18	0	0
19	0	0
20	0	0
21	0	2
22	1	0
23	0	1
24	0	0
25	1	0
26	0	1
27	0	0
28	1	0
29	0	1
30	0	1

**Tabla1.** Número de plántulas y árboles por cuadrante

Los cuadrantes de plántulas se definieron

Al aplicar el  $I_s$  para plántulas y para árboles se encontró

$I_s$  (plántulas) = 0 y  $I_s$  (árboles) = 0,32967033

## DISCUSIÓN

Se encontró que a pesar de que la distribución de los robledales es agregada a través de toda su área de distribución, dentro de estos, la distribución de plántulas y adultos es regular. Esto se puede relacionar con las necesidades de las plantas de espacio suficiente para desarrollarse, o de la poca competencia que pueden ejercer las plántulas con respecto



a los adultos lo que hace que la mortalidad de los juveniles cercanos al árbol parental sea muy alta, sobreviviendo únicamente los que son dispersados en forma regular, suficientemente alejados de otros individuos. Así mismo, la abundancia de las plántulas, según la especie, depende de ciertas condiciones para su sobrevivencia (Putz, 1993), las plántulas y los juveniles de *Colombobalanus excelsa* son fuertemente heliófilos (Cardenas y Salinas, 2006) por lo tanto estas prefieren áreas con mayor luminosidad. Los claros naturales o producto de la corta de árboles maderables, los caminos de aprovechamiento y los rodeos son lugares aptos para el desarrollo de esta especie (Fredericksen *et al.*, 1998; Poorter y Hayashida-Oliver, 2000).

Este patrón de distribución regular facilitaría la dispersión de las plántulas y estaría relacionado con la colonización de sitios propicios para el establecimiento de nuevos robledales, si tenemos en cuenta el posible efecto alelopático de la familia Fagaceae sobre otras especies. Esta información es valiosa para entender las relaciones evolutivas entre la familia así como para planear estrategias de recuperación y restauración de espacios sub andinos degradados por intervención antrópica.

## BIBLIOGRAFIA

Cárdenas, D., Salinas, N. 2006 Libro rojo de plantas de Colombia Plantas maderables parte I. Instituto Amazonico de Investigaciones (SINCHI). Pp169.

Fredericksen, T., Mostacedo, B., Kennard, D. 1998. La vegetación competitiva inhibe la regeneración de los bosques bolivianos? *Boletín BOLFOR*, # 13. Santa Cruz, Bolivia.

Harper, J. 1977. *Population biology of plants*. Academic press. London, United Kingdom.

Howe, H. 1989. Seed dispersal by birds and mammals: implications for seedling demography.

Howe, H., Smallwood, J. 1982. Ecology of seed dispersal. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 13:201-228.

Hubbell, S., Foster, R. 1987. La estructura espacial a gran escala de un bosque neotropical. *Rev. Biol. Trop.* 35 (supl. 1): 7-22.

Janzen, D. 1970. Herbivores and the number of tree species in tropical forests. – *Am. Nat.* 104: 501–528.

Lieberman, D., Lieberman, M., Hartshorn, G., Peralta, R. 1985. Growth rates and age-size relationships of tropical wet forest trees in Costa Rica. In: *Journal of Tropical Ecology*, 1: 97-109.

Manos, P., Stanford, A. 2001. The Historical biogeography of Fagaceae: Tracking the Tertiary History of Temperate and Subtropical Forest of the Northern Hemisphere. *International Journal of Plant Science.* 162 (6):s77-s99.

Marquez, E. 2000. Disposición espacial. Extraído el 22 de noviembre del 2010 del sitio <http://prof.usb.ve/ejmarque/cursos/ea2181/core/desp01.html#top>.

Nathan, R., Muller-Landau, H. 2000. Spatial patterns of seed dispersal, their determinants and consequences for recruitment. *Trends Ecol. Evol.* 15: 278-284.

Nathan, R., Safriel, U., Noy-Meir, I. 2001. Field validation and sensitivity analysis of a mechanistic model for tree seed dispersal by wind. *Ecology* 82:374-388.

Poorter, L., Hayasida-O., J. 2000. Effects of seasonal drought on gap and understorey seedlings in a Bolivian moist forest. *Journal of Tropical Ecology* 16: 481-498.

Putz, F. 1993. Considerations of the ecological foundation of natural forest management in the American Tropics. Center for Tropical Conservation. 28 pp.

Sakai, A., Oden, N. 1983. Spatial pattern of sex expression in silver maple (*Acer saccharum* L.): Morisita's index and spatial autocorrelation. *Am Nat* 122, 489-508.

Uhl, C. 1989. Ecological Impacts of Selective Logging in the Brazilian Amazon: A Case Study from the Paragominas Region of the State of Pará. *Biotropica* 21: 98-106.

# INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE LUZ Y MATERIA ORGÁNICA SOBRE LA COMUNIDAD DE PLÁNTULAS DE CLARO Y SOTOBOSQUE EN EL PARQUE NACIONAL NATURAL CUEVA DE LOS GUACHAROS

Maria Isabel Gutiérrez Guataquira<sup>1</sup>, Natalia Elizabeth Moreno Buitrago<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología. Estudiante.

---

## RESUMEN

Se trabajó en una zona de claro y sotobosque dentro de un bosque Subandino, Sendero Picos de la Fragua, para determinar si existe una influencia en la densidad de plántulas por factores físicos como la luz y el contenido de materia orgánica. Para ello, se instalaron aleatoriamente 10 cuadrantes en cada zona, donde se contabilizó el número de plántulas, se midió la intensidad lumínica y se determinó el contenido de materia orgánica. Los resultados indicaron que las plántulas presentan una relación con el contenido de materia orgánica y no con la intensidad lumínica tanto en el sotobosque y la zona de claro.

**PALABRAS CLAVE:** intensidad lumínica, materia orgánica, plántulas, sotobosque, zona de claro.

## INTRODUCCIÓN

Los bosques tropicales se caracterizan por tener regímenes lumínicos que van desde condiciones extremas de sombra en el sotobosque hasta radiaciones intensas en los claros y en el dosel. La cantidad y la calidad de la luz varían espacialmente y temporalmente dentro del bosque a diferentes escalas. Por ejemplo, en el sotobosque bajo un dosel cerrado, las intensidades de luz son extremadamente bajas en la mayor parte del día, lo que hace que la capacidad fotosintética y las tasas de crecimiento de las plantas sean bajas (Artavia *et al.*, 2004). Por otro lado, en condiciones de alta intensidad lumínica (claro de bosque y dosel) se incrementa la proporción del espectro rojo/rojo lejano que es el factor que más afecta el crecimiento y supervivencia de las plántulas (Ixcot, 2002; Reátegui, 2005), a su vez, se eleva la tasa de crecimiento y la capacidad fotosintética, permitiéndoles competir por el espacio en el claro. Características importantes como el ángulo de inclinación, el área foliar, la succulencia y dureza de las hojas, varían en respuesta de la magnitud del aumento o disminución de la luz directa y de su intensidad (Artavia *et al.*, 2004).

Otra característica de los bosques tropicales, es que suministran al suelo mayor cantidad de materia orgánica que la proporcionada por los bosques templados, y la velocidad de descomposición de la materia también es mayor (Arias, 2007); además, la materia orgánica de los suelos tropicales contribuye al crecimiento de las plantas, pues constituye una reserva de nutrientes, también aumenta la resistencia a la erosión y la capacidad de intercambio de cationes (Wadsworth, 2000).

El objetivo del estudio fue identificar si existe una relación entre la densidad de plántulas y factores físicos como la luz y el contenido de materia orgánica del suelo en una zona de claro y sotobosque dentro de un bosque Subandino.

## METODOLOGÍA

Se evaluó la comunidad de plántulas en zona de claro y sotobosque ubicadas al interior del bosque Subandino, sendero Picos de la Fragua, en el Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos; mediante el uso de cuadrantes de 1m x 1m, se evaluó la composición

florística de estas zonas, realizando 10 replicas aleatorias en cada una. Para llevar a cabo el análisis de materia orgánica, se extrajeron los primeros 10 cm de la capa de suelo en cada cuadrante delimitado; igualmente, para la determinación de la intensidad lumínica, se fotografió cada cuadrante delimitado para obtener histogramas que proporcionan el valor de intensidad media.

El contenido de materia orgánica se determinó mediante el método de ignición, que se basa en determinar la pérdida de peso de una muestra de 5-7 g de suelo seco, al someterla a una temperatura de 600°C en horno-mufla durante 2 h y media (Lezama, 2005).

El análisis de las fotografías con el programa Adobe Photoshop CS5, permitió la obtención de histogramas que proporcionaron los valores de intensidad media.

Los datos obtenidos fueron tabulados en Excel, y para evaluar si existe una relación entre cada variable y el número de plántulas en cada zona de estudio, se realizaron regresiones simples por medio del programa STATGRAPHICS Plus.

## **RESULTADOS**

### **COMPOSICIÓN DE PLANTULAS**

Se encontraron ocho familias y 20 morfotipos de plántulas entre el sotobosque y la zona de claro como se muestra en la Tabla 1, de las cuales se comparten entre zonas 10 morfotipos y cinco morfotipos son exclusivas en cada zona.

### **DISTRIBUCIÓN DE LA ABUNDANCIA DE PLANTULAS EN EL SOTOBOSQUE Y ZONA DE CLARO**

Hay un mayor número de individuos en la zona de claro, lo que nos indica que en esta zona hay una mayor abundancia de plántulas respecto al sotobosque. Además, la familia Melastomataceae es dominante frente a otras familias presentes tanto en la zona de claro como en el sotobosque, aunque en la zona de claro está en mayor proporción (Tabla 1).

### **INTENSIDAD LUMÍNICA**

La zona de claro posee una mayor densidad poblacional que el sotobosque (entre 25 y 16 individuos) alrededor de una intensidad lumínica de 122,19; mientras que en el sotobosque la densidad de plántulas, se encuentra entre 6 y 17 individuos, donde la mayor cantidad de plántulas se ubica a 110,82 A pesar de lo esperado, el rango del valor de intensidad media del sotobosque es más amplio que el de la zona de claro, alcanzando los 133,61, que supera a los 131,47 que es el límite superior de intensidad media de la zona de claro. (Tablas. 2 y 3). Respecto a las regresiones simples tanto en el sotobosque y la zona de claro, el número de individuos de plántulas no presenta una relación con la intensidad lumínica, como se puede observar en las figuras 1 y 2.

<b>Familia</b>	<b>Morfotipos</b>	<b>Sotobosque</b>	<b>Zona claro</b>
NN1	1	27	4
NN2	2	4	25
Araceae	3	20	13

Melastomataceae	4	36	116
Telecteridaceae	5	3	11
Lauraceae	6	1	4
NN3	7	3	0
NN4	8	1	0
Poaceae	9	12	24
NN5	10	1	1
Araliaceae	11	1	0
Araceae	12	1	0
NN6	13	1	0
Smilacaceae	14	1	1
NN7	15	1	3
NN8	16	0	1
NN9	17	0	1
NN10	18	0	1
NN11	19	0	2
NN12	20	0	1
<b>N</b>		113	208
<b>S</b>		15	15

**Tabla 1.** Composición de morfotipos de plántulas encontradas en sotobosque y zona de claro, donde N: número de individuos por zona, S: número de morfotipos por zona.

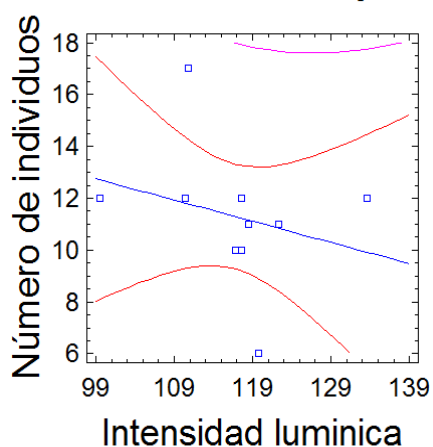
<b>Cuadrantes</b>	<b>Número de plántulas</b>	<b>Valor de intensidad media</b>	<b>Porcentaje de Materia Orgánica</b>
1	11	122,37	94,41
2	12	117,65	98,8
3	12	133,61	99,01
4	10	117,54	99,2
5	10	116,88	72,48
6	11	118,54	98
7	17	110,82	99
8	12	99,52	70,03
9	12	110,45	55,98
10	6	119,81	60,97

**Tabla 2.** Número de plántulas, valor de intensidad media y contenido de materia orgánica en los cuadrantes del sotobosque.

<b>Cuadrantes</b>	<b>Número de plántulas</b>	<b>Valor de intensidad media</b>	<b>Porcentaje de Materia Orgánica</b>
1	16	124,28	73,7
2	19	122,84	68,66
3	21	131,47	55,09
4	21	123,95	54,13
5	25	122,19	95,76

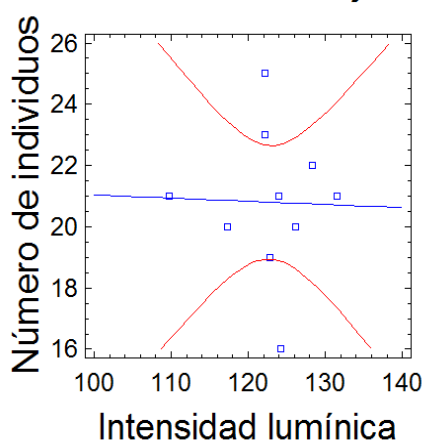
6	23	122,15	88,48
7	20	117,26	96,15
8	20	126,11	95,18
9	21	109,7	84,92
10	22	128,34	93,55

**Tabla 3.** Número de plántulas, valor de intensidad media y contenido de materia orgánica en los cuadrantes de la zona de claro.



Coefficiente de correlación = -0,266904  
R cuadrado = 7,12375 porcentaje

**Figura 1.** Regresión entre número de individuos e intensidad lumínica en sotobosque.

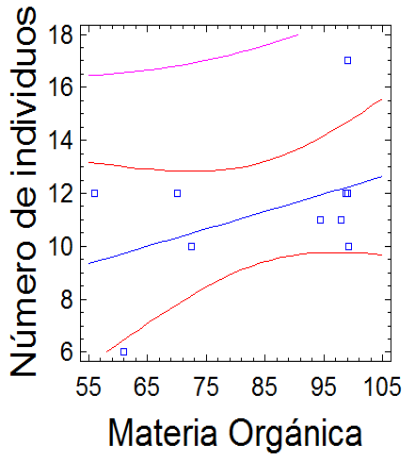


Coefficiente de correlación = -0,0262572  
R cuadrado = 0,068944 porcentaje

**Figura 2.** Regresión entre número de individuos e intensidad lumínica en claro.

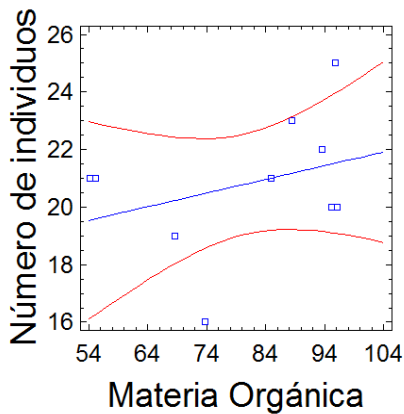
### CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA

Como se había notado anteriormente la zona de claro posee una mayor abundancia que el sotobosque, en la tabla 3 se puede notar que la mayor cantidad de individuos se ubican en un porcentaje de materia orgánica de 95,76, mientras que en el sotobosque, las plántulas son más abundantes cerca del 99% de materia orgánica (Tabla 2). Es de notar que los contenidos de materia orgánica obtenidos son más altos en el sotobosque, donde alcanzan el 99,20%, que en la zona de claro, donde llegan al 96,15% (Tablas. 2 y 3). Respecto a los análisis de regresión simple tanto en el sotobosque y la zona de claro, el número de individuos de plántulas presenta una relación con el contenido de materia orgánica, como se puede observar en las figuras 3 y 4.



Coefficiente de correlación = 0,431284  
R cuadrado = 18,6006 porcentaje

**Figura 3.** Regresión entre número de individuos y materia orgánica en sotobosque



Coefficiente de correlación = 0,328913  
R cuadrado = 10,8183 porcentaje

**Figura 4.** Regresión entre número de individuos y materia orgánica en claro

## DISCUSIÓN

La heterogeneidad en la disponibilidad de recursos es responsable del mantenimiento de la diversidad vegetal, ya que previene la exclusión competitiva, promoviendo la riqueza de especies. Esta heterogeneidad, se asocia principalmente al régimen de perturbaciones, de escala espacial o temporal. Sin embargo, las especies arbóreas dominantes en un bosque generan microhábitats heterogéneos, al generar variación espacial en la disponibilidad de los recursos, lo que puede dirigir en mayor o menor medida la dinámica de la comunidad. (Saldaña & Lusk, 2003).

Lo anterior asociado a las diferencias intraespecíficas en los requerimientos de luz y nutrientes de cada especie conduce a cambios en la composición del bosque. El éxito en el establecimiento y crecimiento de las especies en un ambiente determinado, está estrechamente relacionado con los caracteres fisiológicos y morfológicos asociados a la captura de recursos como luz y nutrientes (Latham, 1992).

Dentro del Oroboma Subandino de la Cordillera Oriental, el elemento florístico característico son las lauráceas (Unidad Administrativa Especial Del Sistema De Parques Nacionales Naturales, 2005), que estuvo presente en el muestreo, pero en una baja proporción, siendo las melastomatáceas el elemento florístico dominante (Tabla 1).

Se encontró que las plántulas ubicadas tanto en el sotobosque y la zona de claro no presentan una relación con la intensidad lumínica (Figs. 1 y 2), ya que los rangos de valor de intensidad media entre zonas no diferían significativamente (Tablas. 2 y 3), lo que nos indica que el sotobosque cuenta con la misma disponibilidad de luz que la zona de claro, a pesar de que esto no es característico del sotobosque donde las intensidades de luz son generalmente bajas en el transcurso del día (Artavia *et al.*, 2004). Pero esto pudo deberse a que en los días en los que se realizó el estudio, se presentaron fuertes precipitaciones y nubosidad que afectaron los valores de intensidad lumínica medidos.

Las especies dominantes del dosel, influyen al igual que en la disponibilidad de luz, en la disponibilidad de materia orgánica en el suelo bajo sus copas, ya que la caída de hojarasca contribuye directamente al contenido de materia orgánica con su descomposición (Saldaña & Lusk, 2003). El contenido de materia orgánica de las zonas de muestreo, mostró valores similares entre sotobosque y zona de claro, aunque ligeramente superiores en la zona del sotobosque (Tablas. 2 y 3), probablemente debido a una mayor cantidad de hojarasca en descomposición proveniente del gran dosel bajo el cual se encontraba. Además en los análisis de regresión simple, el contenido de materia orgánica presenta una relación con el número de plántulas, lo que indica que las plántulas son influenciadas por el contenido de materia orgánica.

## BIBLIOGRAFÍA

Arias, J. 2007. Suelos Tropicales. Editorial Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica. p. 76.

Artavia, G., Eckhardt, K., Araujo, J. 2004. Efecto De La Luz Sobre La Densidad Y Morfología De Las Plantas En Un Claro Dominado Por *Duroia Hirsuta*, Estación Biológica Madre Selva. Río Osora, Iquitos, Perú. *Rev. Reflexiones* 83 (1), 131-135.

Ixcot, Y., Hernández, F., García, A., Valásquez, J. 2002. Efecto de las condiciones en los claros y bajo el dosel sobre la germinación de las semillas de las especies nativas del bosque espinoso en el Valle del Motagua. Universidad De San Carlos De Guatemala Dirección General De Investigación Instituto De Investigaciones Químicas Y Biológicas.

Latham, R. 1992. Co-occurring tree species change rank in seedling performance with resourced varied experimentally. *Ecology* 73: 2129-2144.

Lezama, F. 2005. Evaluación y selección de siete especies de hortalizas de fruto para la tolerancia en ambiente de salinidad a nivel a plántula [tesis licenciatura]. Biología con área en Ecología. Departamento de Química y Biología, Escuela de Ciencias, Universidad de las Américas Puebla.

Reátegui, R. 2005. Efecto de la luz en el crecimiento de plántulas de *Dipteryx Micrantha* Harms "Shihuahuaco" transplantadas a sotobosque, claros y plantaciones. *Ecología Aplicada* 4 (1-2), 1-8.

Saldaña, A., Lusk, C. 2003. Influencia de las especies del dosel en la disponibilidad de recursos y regeneración avanzada en un bosque templado lluvioso del sur de Chile. *Rev. chil. hist. nat.* 76(4).



Unidad Administrativa Especial Del Sistema De Parques Nacionales Naturales. 2005. Plan De Manejo 2005-2009. Parque Nacional Natural Cueva De Los Guácharos. Ministerio De Ambiente Vivienda Y Desarrollo Territorial; 2005. p. 49.

Wadsworth, H. 2000. Capitulo 1. La América Tropical, una Región Forestal. En: Wadsworth, H. F. Producción Forestal para América Tropical. USDA.

# INFLUENCIA DE LOS FACTORES AMBIENTALES SOBRE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS EN LA CUEVA GRANDE DE LOS GUACHAROS, PARQUE NACIONAL CUEVA DE LOS GUACHAROS – HUILA, COLOMBIA.

Maria Fernanda Patiño Guio<sup>1</sup>, Ivan Dario Pinto Sarmiento<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología. Estudiante

---

## RESUMEN

El sistema kárstico del PNN Cueva de los Guacharos, presenta un suelo conservado y constantemente nutrido de guano proveniente principalmente del guácharo (*Steatornis caripensis*) y otros habitantes de estos sistemas; a la vez esta ave transporta semillas que no digiere y caen en este guano, dado que existe germinación de algunas de estas semillas, se planteo buscar cuales factores afectan en mayor medida la germinación de semillas y que especies lo hacen. Se obtuvo que semillas de *Euterpe* spp. y *Lauraceae* (posible *Actinodaphne*) presentan una fuerte conexión en cuanto al porcentaje de luminosidad y materia orgánica y la especie *Oenocarpus bataua* se relaciona con la inclinación del suelo. A su vez se observo la relación de estas especies con lugares de la cueva que presentan estas características, y afectan su germinación.

**Palabras clave:** Germinación, kárstico, Guácharo, PNN Cueva de los Guacharos.

## INTRODUCCIÓN

La cueva grande de los guacharos esta comprendida dentro de una serie de cuevas presentes en el Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos, y como su nombre lo dice se presenta ocupación de estos sistemas kársticos por el guácharo (*Steatornis caripensis*), este parque presenta un estado de conservación y recuperación de ecosistemas muy alto, lo cual permite una alta diversidad de flora y fauna a la vez que permite la conservación del guácharo y las cuevas.

En la cueva de los Guacharos, donde se produce este estudio, se formo por la erosión del rio Suaza creando numerosos túneles, ramales y una bóveda central de 30-40 m de altura, 150 m de largo y 30 m de ancho, el guácharo (*Steatornis caripensis*) habita este túnel, produciendo grandes acumulaciones de guano en las orillas que el río al crecer no alcanza a arrastrar, este guano se compone de frutas y semillas descompuestas, al igual que por materia fecal, nidos, huevos, insectos y polvo inorgánico de la cueva, del guácharo y de murciélagos habitantes. La acumulación se da en diferentes gradientes dependiendo de la pendiente y profundidades, cambiando la morfología del suelo de la cueva.

Las semillas que no son digeridas por el guácharo caen en este guano y desarrollan tallos con hojas, pero se presenta estrés por falta de luz y finalmente mueren por agotamiento, existen notas mencionando esta germinación (kyshakevych, 2009).

## MÉTODOS

La obtención de datos fue hecha por medio de dos visitas a la Cueva Grande de los Guácharos, ubicada en Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos, que sumaron aproximadamente un total de seis horas. Durante estas visitas se seleccionaron dos sitios

de muestreo, el primero ubicado en la entrada donde se encuentra el Puente Natural. En este sitio se realizaron cinco cuadrantes seguidos de 1 m x 1 m al costado derecho de la cueva y del río Suaza a 5 m de la entrada de la cueva; el segundo sitio de muestreo se ubico en la entrada principal de la cueva, al costado izquierdo con respecto a la entrada y al margen derecho con respecto al río Suaza. A 36,6 m de la entrada se ubico la primera parcela, la segunda a una distancia de 0,5 m de la primera, la tercera a 7,10 m con respecto a la segunda y la cuarta 14,5 m de la anterior, en cada cuadrante se hizo un conteo de las plántulas, se midió humedad relativa, temperatura ambiente, se determino la inclinación del terreno, se tomaron fotografías de cada cuadrante, y adicionalmente identificaron las plántulas hasta donde fue posible y se tomo una muestra de suelo para su posterior determinación del porcentaje de materia orgánica mediante el método de ignición a 300 grados centígrados.

Para el análisis estadístico se uso el programa PAST, donde se realizaron pruebas con los métodos no-parametricos de Kruskal-Wallis para evaluar la similaridad de los sitios, para comprender en mayor grado las relaciones entre sitios se realizo un análisis de cluster basado en la similaridad de Bray-Curtis, este por tener en cuenta las abundancias de las especies, al ser estos el motivo de nuestro análisis. Para analizar que variantes, en que grado afectan a las especies vegetales y los sitios muestreados se realiza el análisis de correspondencia canónica de (Legendre & Legendre, 1998), que se caracteriza por hacer un análisis de correspondencia la matriz de sitio/especie, donde a cada sitio se le dan valores de variables ambientales. En nuestro trabajo este análisis nos indica la correspondencia existente entre la materia orgánica, la inclinación del terreno y porcentaje de luminosidad con la presencia de cada una de las especies vegetales.

El porcentaje de luminosidad de cada una de las parcelas se realizo mediante las fotografías tomadas, cada una de estas se proceso con el programa photoshop CS5, el cual muestra un histograma de luminosidad presente al momento de tomar la fotografía, vale la aclaración que todas las fotografías fueron tomadas entre las 11:00 AM y las 11:30 AM, para reducir errores en la tasa de luminosidad, este histograma permite calcular el pico mas alto en la luminosidad en una escala de 0 a 255 y con este pico se calcula el porcentaje de luminosidad presente en determinado sitio.

## RESULTADOS

La información recolectada en campo se encuentra resumida en la tabla 1, posterior a la fase de campo se procedió a identificar los morfotipos teniendo en cuenta un estudio realizado en relación al guácharo (*Steatornis caripensis*) sobre su ecología en general (kyshakevych, 2009).

Al ordenar los datos de abundancias de las especies vegetales *Euterpe* spp., *Oenocarpus bataua*, *Ocotea* spp., Lauraceae (posible *Actinodaphne*) y una herbácea no identificada, se procedió a realizar los tratamientos estadísticos obteniendo datos para cada objetivo.

# muestra	Cuadrante	T°	Humedad relativa	% M.O.	%Luminosidad	Inclinación terreno	Morfotipo					Características
							1	2	3	4	5	
10	Blanco	16	82%	87,17	0,00	10° 28' 32"	0	0	0	0	0	No luz, no caminos, no agua.
1	1° cuadrante entrada ppal	16	82%	84,17	0,78	44° 11' 35"	1	19	18	0	0	Plántulas largas, 2 hojas máximo, presenta clorosis
2	2° cuadrante	16	82%	87,00	0,39	6° 28' 40"	2	86	4	2	2	No germina bien el

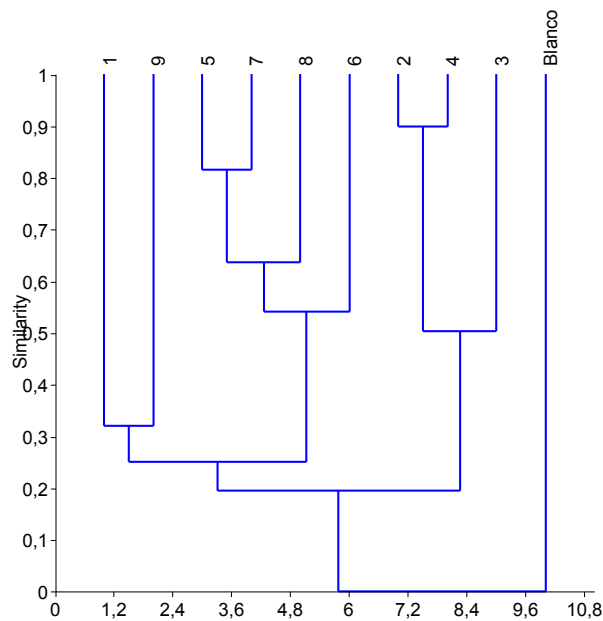
	entrada ppal																morfotipo 1, presenta clorosis
3	3° cuadrante entrada ppal	16	82%	94,00	1,18	24° 55' 29"	6	263	0	0	0						Hojas grandes, presenta clorosis
4	4° cuadrante entrada ppal	16	82%	75,67	2,35	5° 45' 12"	0	97	0	0	3						Alta germinación, hojas grandes (4 max), NO presenta clorosis
5	1° cuadrante entrada puente natural	16	83%	92,00	37,25	4° 58' 27"	52	16	0	0	3						Mas vegetación en capas de suelo mas gruesas, vegetación de baja altura, hojas anchas, gran numero de individuos
6	2° cuadrante entrada puente natural	16	83%	92,00	10,59	4° 58' 27"	138	36	4	0	24						
7	3° cuadrante entrada puente natural	16	83%	92,00	10,20	4° 58' 27"	60	18	3	0	22						
8	4° cuadrante entrada puente natural	16	83%	92,00	5,00	4° 58' 27"	28	6	4	0	17						
9	5° cuadrante entrada puente natural	16	83%	92,00	6,86	4° 58' 27"	2	7	0	0	3						
<b>Total</b>							289	548	33	2	74						

**Tabla 1.** Datos recolectados para cada sitio de muestreo, con observaciones de campo.

## SIMILARIDAD ENTRE SITIOS DE MUESTREO

Para el método de Kruskal-Wallis se obtuvo un P valor: 0.7347 con 4 grados de libertad y un valor comparado de  $X^2$ : 9.4877 aprobando la hipótesis nula ( $H_0$ ) la cual afirma que los sitios muestreados son similares.

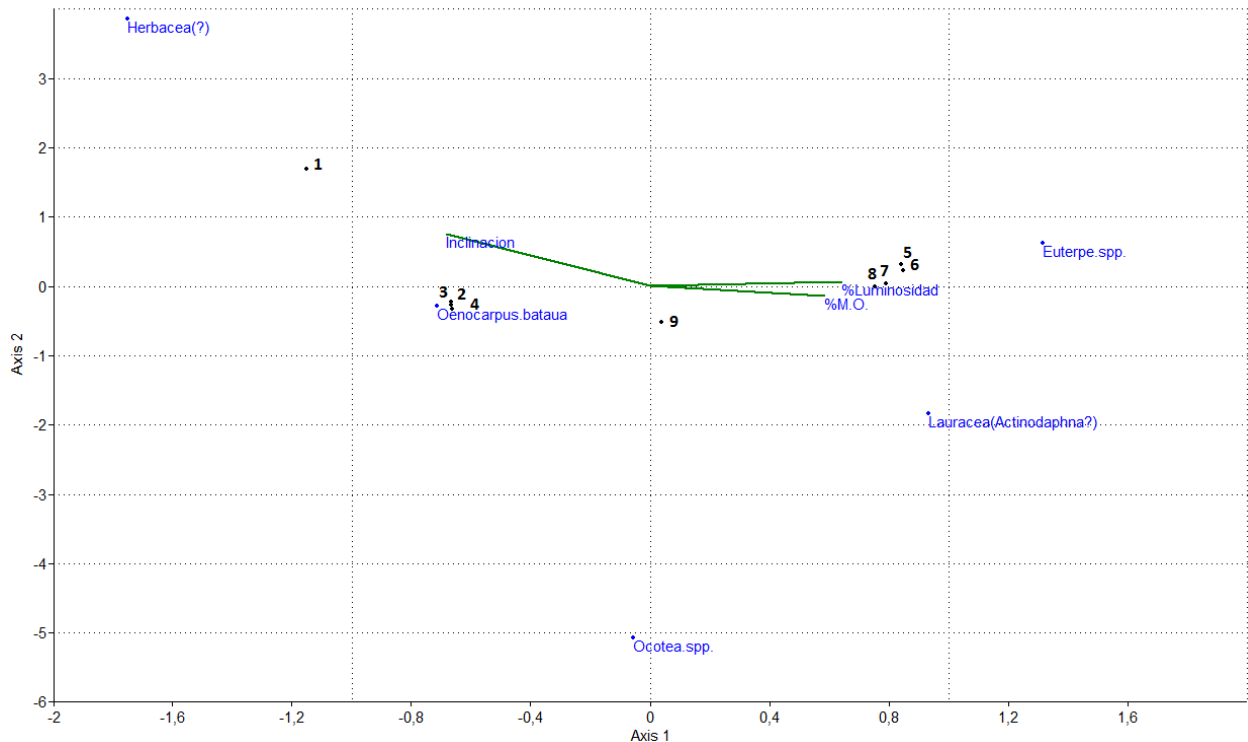
En el análisis de cluster basado en la correlación de Bray-Curtis se obtuvo la grafica 1 que indica la cercanía de los sitios de muestreo en cuanto a la abundancia de las especies vegetales ya identificadas, ello permite ver dos agrupaciones importantes de sitios: (I) agrupando 2, 4, 3 (2°, 4°, 3° cuadrante de la entrada –principal” respectivamente) siendo los dos primeros los mas relacionados entre si y estos relacionándose con el ultimo. (II) la agrupación de 5, 7, 8, 6 (1°, 3°, 4°, 2° cuadrante de la entrada –puente natural” respectivamente) concentrando primero los dos primeros y estos con el tercero y a su vez los tres agrupándose con el ultimo. Los sitios restantes se encuentran poco similares debido en parte a la baja abundancia de cada especie presente en cada sitio (es el caso de los sitios 1,9 y blanco).



**Grafica 1.** Análisis de Cluster basado en similaridad de Bray-Curtis, sobre lugares de muestreo en relación a abundancias de morfotipos germinados.

### VARIABLES QUE AFECTAN LA PRESENCIA DE ESPECIES

Al realizarse la prueba de correspondencia canónica se obtuvo la grafica 2, en la cual se observan agrupaciones de sitios relacionándolos con las variables analizadas. Se agrupan los lugares 2, 3, 4 y la especie *Oenocarpus bataua* cerca al vector inclinación, los sitios 5, 6, 7, 8 y con poca relación las especies *Euterpe* spp. y *Lauraceae* (posible *Actinodaphne*) a los vectores % de luminosidad y % de materia orgánica. El sitio 1 y las especies *Ocotea* spp. y la herbácea sin identificar se alejan demasiado y por ello no poseen vinculo con los vectores analizados.



**Grafica 2.** Análisis de correspondencia canónica de sitios muestreados y abundancia especies contra variables ambientales.

## DISCUSIÓN

El resultado obtenido en la prueba de Kruskal-Wallis aprueba la hipótesis nula ( $H_0$ ) en la cual afirmamos la similitud entre los sitios muestreados. Encontramos que la presencia de *Oenocarpus bataua* es constante en todos los sitios de muestreo, al igual que la presencia de *Euterpe* spp. con excepción de el primer cuadrante ubicado en la entrada del puente natural. Lauraceae (posible *Actinodaphne*) se presenta en la mayoría de sitios muestreados con excepción de dos cuadrantes de la entrada principal a la cueva. La herbácea no identificada y la *Ocotea* spp. se presentan raramente, la ultima solo presentándose en un sitio de muestreo y en una abundancia muy baja.

Se atribuye la alta presencia de *Oenocarpus bataua* y *Euterpe* spp. a su importancia en la dieta del guácharo (*Steatornis caripensis*) siendo semillas ricas en aceites naturales (Galeano, 1999). Se presume que su alta germinación esta relacionada con su alta abundancia.

Según el análisis de correspondencia canónica (Grafica 2) *Oenocarpus bataua* se encuentra posiblemente relacionado con el grado de inclinación del terreno y por ende se influenciado por la materia orgánica, para *Euterpe* spp. se encuentra una relación con el porcentaje de luminosidad y en segunda variable con el porcentaje de materia orgánica, para Lauraceae (posible *Actinodaphne*) se plantea una muy ligera relación en cuanto al porcentaje de materia orgánica, y en segundo punto al porcentaje de luminosidad, las demás especies no se encuentran correlacionadas con estas variables. En *Ocotea* spp. y la herbácea desconocida, su baja abundancia impide un correcto análisis de correspondencia por ello no se observa ningún grado de relación con las variables ambientales.

Los sitios muestreados se agrupan de acuerdo a su grado de relación con determinadas variables, la agrupación de los sitios 5, 6, 7, 8 (1°, 2°, 3°, 4° cuadrante de la entrada puente

natural” respectivamente) se encuentran influenciados de por las variables de porcentaje de luminosidad y porcentaje de materia orgánica, ello permite ver una relación clara de estos sitios y la dominancia de *Euterpe* spp. en estos sitios, de igual manera en se encuentra una ligera relación con Lauraceae (posible *Actinodaphne*) mas no es estrecha (Graficas 1 y 2).

Para la agrupación de sitios 2, 3, 4 (2°, 3°, 4° cuadrante de la entrada “principal” respectivamente) se plantea una influencia de la inclinación del terreno, a la vez se relaciona con la dominancia en cuanto a abundancia de *Oenocarpus bataua* siendo esta de igual forma influenciada por la inclinación del terreno (Graficas 1 y 2).

Encontramos un dato atípico en el cual su lejanía confirma su poca relación a los factores ambientales determinados para el estudio, este es el caso del sitio 1 (1° cuadrante de la entrada “principal”). De igual forma el sitio 9 no posee relaciones con ningún tipo de variables.

Esta correspondencia canónica es muy acorde con el análisis de cluster basado en similaridad de Bray-Curtis, confirmando la buena interpretación y relación obtenida entre las variables-especies-sitio (Graficas 1 y 2).

Las variables de porcentaje de materia orgánica y porcentaje de luminosidad están relacionadas entre si, pues en lugares donde hay mayor luminosidad la tasa de fotosíntesis es mas alta, y por ende aumenta la acumulación de materia orgánica en el suelo.

Resumimos entonces que los sitios que demuestran una estrecha relación con materia orgánica y porcentaje de luminosidad presentan a su vez una fuerte conexión con especies vegetales influenciadas por estas mismas variables (sitios 5, 6, 7,8 - *Euterpe* spp. y Lauraceae (posible *Actinodaphne*). Los sitios influenciados por la inclinación del terreno con las especies vegetales influenciadas por esta misma variable (sitios 2, 3, 4 – *Oenocarpus bataua*).

## CONCLUSIONES

Los factores ambientales afectan en distintos modos diferentes lugares de la cueva, esto se encuentra relacionado con la ecología de las especies ingresadas por el guacharo que dependiendo del lugar donde se depositen y las condiciones que lo rodean, germinan las plántulas.

Las relaciones que planteamos son una base para estudios más profundos donde se tenga en cuenta la calidad de las plántulas germinadas y la composición del guano.

## BIBLIOGRAFÍA

Borchsenius, F., Borgtoft, H., Balslev, H. 1998. Manual to the palms of Ecuador. AAU Report 37: 1-240. Department of Systematic Botany, University of Aarhus, Denmark.

Cogua, J., Gonzáles, T., De Granada, E., Orozco, M. Ecología de ecosistemas. Disponible en:  
[http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000024/lecciones/cap04/04\\_02\\_01.htm](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000024/lecciones/cap04/04_02_01.htm)

Galeano, G., Bernal, R. 2010. Palmas de Colombia. Guía de campo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Instituto de Ciencias Naturales. Bogotá – Colombia.

Galeano, G. 1991. Las palmas de la región del Araracuara. Bogotá: TOPEMBOS - Universidad Nacional de Colombia. Bogotá-Colombia.

Kyshakevych, R. 2009. El guácharo (*Steatornis caripensis*), Parque Nacional Cueva de los Guacharos – Huila, Colombia. Disponible en:  
<http://alleghenygeoquest.com/Guacharo.htm>

Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales. Plan de manejo 2005-2009. Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial; 2005.

Vallejo, R. 2002. "Oenocarpus bataua, seje"; Colombia Amazónica, separata especies promisorias. Corporación Colombiana para la Amazonia –Araracuara- COA.



## 5. SINTESIS

Los estudios realizados durante el tiempo en el que se realizó la salida de campo de la materia campo continental del 3 al 17 de septiembre permitieron determinar ciertas características y estados de calidad en los sistemas acuáticos y vegetales (bosque subandino) del PNNCG. Durante estos días para realizar el análisis de cada área el número de estudiantes se dividió en dos grupos.

En el estudio limnológico realizado en el PNNCG se realizaron muestreos en 9 ecosistemas acuáticos entre estos: La Laguna Encantada, La Quebrada Chanchiras antes y después de la bocatoma, La Quebrada La Lindosa, La Cascada Cristales, el Río Suaza, Cueva de los Guacharos y la Cueva del Indio. En los que se tomaron muestras a nivel fisicoquímico y biológico (perifiton, plancton, macroinvertebrados).

En el análisis fisicoquímico los resultados obtenidos permitieron determinar la probabilidad que haya una fuente de rocas sulfatadas localizada en el trayecto que recorre la Quebrada de la Laguna Encantada, debido a las altas concentraciones de sulfatos y la elevada conductividad a sus aguas.

Las aguas de la región son de temperaturas medias y se mineralizan al pasar por el sistema de cuevas; son ligeramente alcalinas y bajas en nutrientes (oligotróficas) y transportan bajas a moderadas cantidades de sólidos suspendidos.

Los datos fisicoquímicos que caracterizan a los ecosistemas acuáticos del PNNCG corresponden a sistemas típicos neotropicales, con baja intervención humana y condiciones propias de ambientes cársticos. Estas características fisicoquímicas son relevantes en el momento de determinar los componentes biológicos en los sistemas acuáticos ya que depende de ellas que un sistema sea o no apto para que allí pueda proliferar cierto grupo de organismos.

De acuerdo a esto se observa el efecto de la luz incidente y de la conductividad en fitoperifiton y adicional a lo mencionado anteriormente en fisicoquímicos el índice de palmer señala que no hay fuentes antrópicas de enriquecimiento que ocasionen cambios anómalos en las abundancias de las especies de perifiton.

La cantidad de materia orgánica que reciben estos sistemas acuáticos por parte de la vegetación riparia y las macrofitas genera sustrato y alimento para diferentes órdenes de macroinvertebrados siendo los más representativos Diptera, Ephemeroptera, Hemiptera y trichoptera.

Otro factor estudiado a nivel biológico fue el plancton pero este a diferencia de los demás solo se realizó en la Laguna Encantada por ser este un sistema léntico, presentando una mayor diversidad de organismos perteneciente a fitoplancton con respecto al zooplancton.

El bosque Subandino estudiado se encuentra en proceso de desarrollo debido a que presenta una mayor cantidad de árboles del conjunto del futuro; no obstante, el conjunto del presente, aunque en una menor proporción, se encuentra bien establecido, lo que se evidencia en la gran cantidad de árboles pertenecientes a dicho conjunto estructural. Esto también se puede observar en los mapas de cobertura vegetal del estrato arbóreo, donde el dosel es continuo y solamente se interrumpe por los disturbios ocasionados por la muerte y caída de árboles del conjunto del presente, que generan claros en el bosque, permitiendo que los árboles del conjunto del futuro desarrollen plenamente su cobertura.

La diferencia observada en el análisis arquitectural, indica un menor grado de dinamismo en la parcela ubicada a 2060 msnm con respecto a la parcela a 2045 msnm, ya que esta presenta mayor número de conjuntos estructurales.

Adicionalmente a estos dos grandes temas por parejas se trabajaron proyectos personales que dieron una caracterización a ciertos aspectos del parque como distribución de dos especies de robles, diversidad de artrópodos en Bromelias, influencia de la hojarasca en plántulas en el robledo y el bosque andino, el uso de macroinvertebrados para medir la calidad del agua de la Quebrada Chanchiras, germinación de plántulas en la Cueva de los Guacharos y el posible aumento de nutrientes en el río suaza en su paso por la Cueva de los Guacharos proporcionada posiblemente por te aves todo esto presentado dentro del trabajo general.

## ANEXOS GENERALES

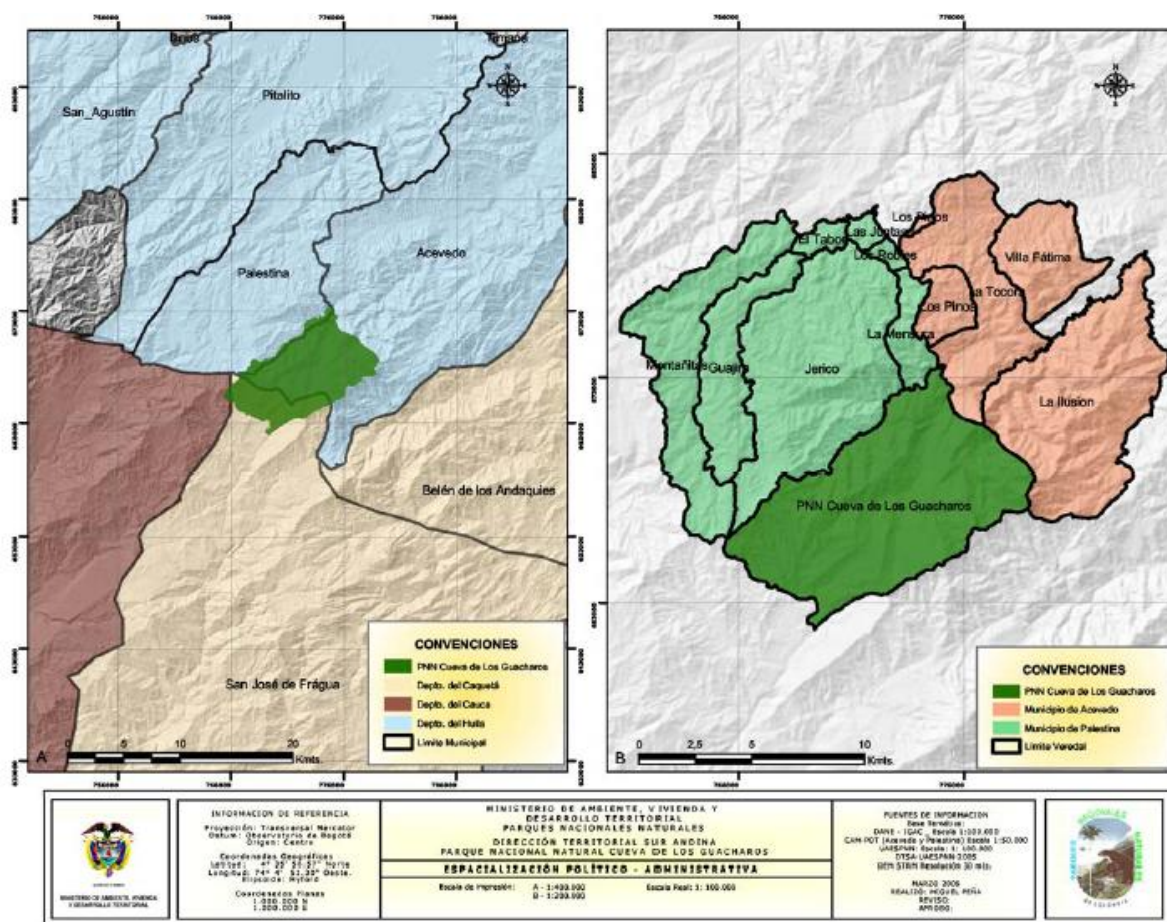
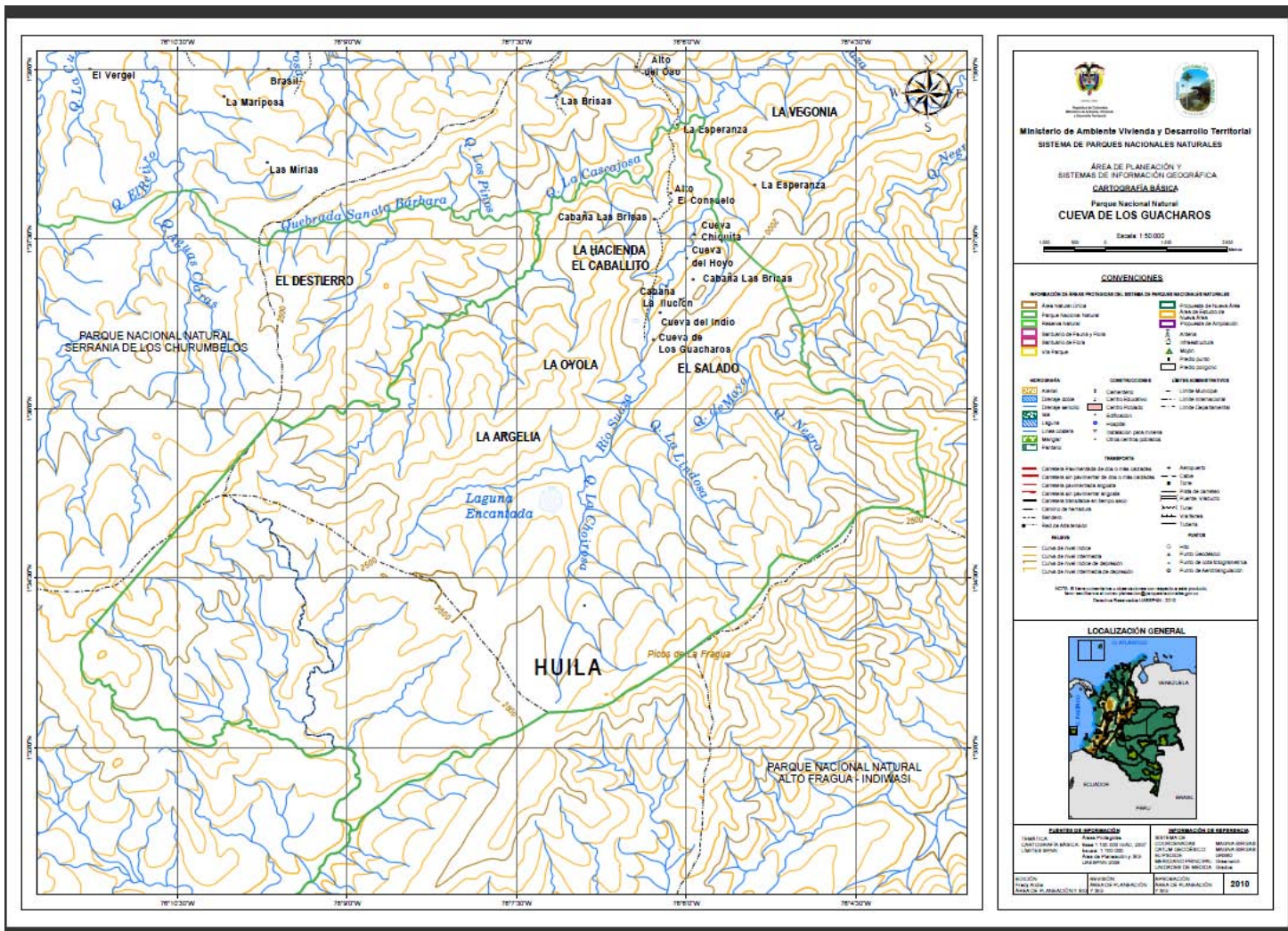


Fig. 1. Mapa de los municipios a los que pertenece el PNNCG



**Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial**  
**SISTEMA DE PARQUES NACIONALES NATURALES**  
**ÁREA DE PLANEACIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**  
**CARTOGRAFÍA BÁSICA**  
**Parque Nacional Natural CUEVA DE LOS GUACHAROS**

Escala 1:50,000

---

**CONVENCIONES**

**INFORMACIÓN DE ÁREAS INTERIORES DEL SISTEMA DE PARQUES NACIONALES NATURALES**  
 Área Natural (AN)      Parque Nacional Natural (PNN)      Sistema de Áreas Naturales Protegidas (SINAN)      Sistema de Áreas Naturales Protegidas (SINAN)

**Hidrografía**  
 Agua      Cauce de río      Cauce de río      Cauce de río      Cauce de río      Cauce de río      Cauce de río      Cauce de río      Cauce de río      Cauce de río

**COMUNICACIONES**  
 Carretera      Camino      Camino      Camino      Camino      Camino      Camino      Camino      Camino      Camino

**SERVICIOS**  
 Albergue      Casa      Casa      Casa      Casa      Casa      Casa      Casa      Casa      Casa

**TELECOMUNICACIONES**  
 Línea telefónica      Línea telefónica      Línea telefónica      Línea telefónica      Línea telefónica      Línea telefónica      Línea telefónica      Línea telefónica      Línea telefónica      Línea telefónica

**OTROS**  
 Puntos de control      Puntos de control      Puntos de control      Puntos de control      Puntos de control      Puntos de control      Puntos de control      Puntos de control      Puntos de control      Puntos de control

NOTA: Este mapa es una versión preliminar de un estudio de campo. Se han considerado los datos disponibles en el momento de la elaboración del mapa.

---

**LOCALIZACIÓN GENERAL**

---

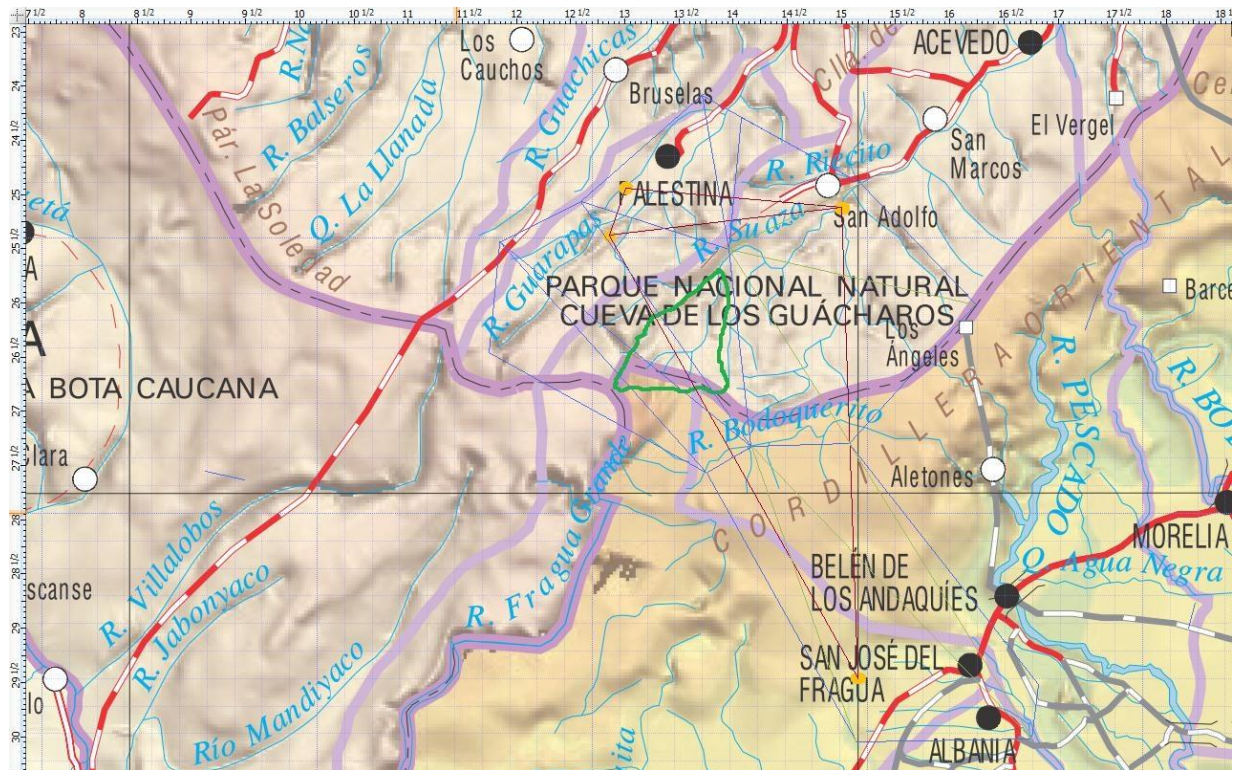
DATOS DE IDENTIFICACIÓN		FECHA DE ELABORACIÓN	
INSTITUCIÓN:	Ministerio de Ambiente y Vivienda	FECHA:	2010
PROYECTO:	Plan de Manejo del Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos	ELABORADOR:	Equipo de Trabajo
COORDINADOR:	Equipo de Trabajo	REVISOR:	Equipo de Trabajo

Figura 2. Mapa PNNCG

MES	T promedio (°C)	Precipitación promedio (mm)
Enero	12,8	126,84
Febrero	12,7	155,36
Marzo	12,3	245,57
Abril	12,3	317,68
Mayo	12,3	310,49
Junio	11,5	304,85
Julio	10,6	268,7
Agosto	11,2	239,47
Septiembre	11,4	217,04
Octubre	12,2	216,41
Noviembre	12,4	212,86
Diciembre	12,5	155,98
ANUAL	12	2718,89

**Tabla 1.** Temperatura media mensual y precipitación media mensual del PNN Cueva de los Guácharos según triangulación.





**Figura 1.** Mapa con triangulación a partir de polígonos de Thiessen.

Estaciones	Longitud	Latitud	Elevación (msnm)
San José del Fragua	76° 00' W	1° 18' N	320
El Tabor	76° 09' W	1° 41' N	1700
San Adolfo	76° 01' W	1° 42' N	1345
Palestina	76°04' W	1° 48' N	1590

**Tabla 2.** Estaciones pluviométricas utilizadas para la triangulación