

**ESTUDIO DE ECOSISTEMAS  
ACUÁTICOS Y TERRESTRES EN EL  
PNN EL COCUY**

**COMPONENTES DE  
VEGETACIÓN Y LIMNOLOGÍA**

**CORDILLERA ORIENTAL  
SECTOR OCCIDENTAL**

**PRIMERA PARTE: PROYECTOS GENERALES (CAPÍTULOS 1 A 3)**

## DIRECTORES

Gabriel Antonio Pinilla Agudelo  
*gapinillaa@unal.edu.co*  
Tel: 316 5000 ext. 11319

Silvio Zuluaga Ramírez  
*szuluagar@unal.edu.co*  
Tel: 316 500 ext. 11320

## AUTORES

### Limnología

- María Paula Barbero García<sup>1</sup>  
*mpbarberog@unal.edu.co*
- Sergio Alejandro Díaz Corredor<sup>1</sup>  
*sadiazc@unal.edu.co*
- Nicolás Molano González<sup>1, 2</sup>  
*nmolanog@unal.edu.co*
- Anamaría Morales Álvarez<sup>1</sup>  
*amoralesa@unal.edu.co*
- Carlos Fabián Morantes Ariza<sup>1</sup>  
*cfmorantesa@unal.edu.co*
- Fredy Fabiany Moreno Barragán<sup>1</sup>  
*ffmorenob@unal.edu.co*
- María Katherine Ontiveros Ospina<sup>1</sup>  
*mkontiveroso@unal.edu.co*
- Ricardo Felipe Paternina Cruz<sup>1</sup>  
*rfpaterninac@unal.edu.co*
- Daniel Ferley Ramírez Babativa<sup>1</sup>  
*dframirez@unal.edu.co*

### Vegetación

- Felipe Castiblanco Álvarez<sup>1</sup>  
*fcastiblancoa@unal.edu.co*
- Daniel José Duarte Rojas<sup>1</sup>  
*djduarter@unal.edu.co*
- Lina Marcela Fierro Rojas<sup>1</sup>  
*lmfierror@unal.edu.co*
- Paula Victoria Fontanilla Ramírez<sup>1</sup>  
*pvfontanillar@unal.edu.co*
- Laura Elizabeth Holguín Villarreal<sup>1, 4</sup>  
*leholguinv@unal.edu.co*
- Fabián Giovanni Márquez Niño<sup>1</sup>  
*fgmarquezn@unal.edu.co*
- Alejandro Pinto Gómez<sup>1</sup>  
*apintog@unal.edu.co*
- Beatriz Helena Rodríguez Vera<sup>1</sup>  
*bhrodriguezv@unal.edu.co*
- Luis Sebastián Toro Acosta<sup>1</sup>  
*lstoroa@unal.edu.co*

### Comité editorial

Castiblanco F., Díaz S.A., Duarte D.J., Ontiveros M.K., Pinto A., Rodríguez-Vera B.H.

### Comité de síntesis

Holguín L.Molano N.

---

<sup>1</sup> Estudiante pregrado Biología, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias

<sup>2</sup> Estadístico. Universidad Nacional de Colombia

## ÍNDICE GENERAL

❖ Índice General	3
❖ Agradecimientos	4
❖ Índice de Tablas	5
❖ Índice de Figuras	8
1. Introducción	12
2. Análisis Ecológico Regional del Parque Nacional Natural El Cocuy (Boyacá, Colombia)	16
Anexos Capítulo de Vegetación	73
3. Análisis Limnológico de Ecosistemas Acuáticos Del PNN El Cocuy.	82
Anexos Capítulo Limnológico	147
Síntesis Regional	150
4. Proyectos Libres	154
Índice de proyectos libres	155

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a:

El pueblo de Güicán y su gente por su buen recibimiento, especialmente a Cabañas Kanwara y su personal por su hospitalidad y guianza durante el transcurso de la salida de campo. A la familia Herrera por su atención, y a Mario Báez por facilitar el hospedaje en el municipio de Soata. A don Gustavo por facilitarnos el trabajo en el laboratorio de Ecología, a Juan David González Trujillo por su colaboración en la identificación de macroinvertebrados, a Juan Pablo Álvarez por su colaboración en la identificación de zooplancton, a Edgar Larrarte por amenizar el trabajo en campo, a don Jairo y don José, conductores de la Universidad Nacional de Colombia, y a Alejandro A.

Por último a los profesores y directores de la asignatura Ecología regional y continental, Silvio Zuluaga y Gabriel Pinilla, por su respeto, colaboración y acompañamiento durante el transcurso del desarrollo de este trabajo.

*Díos duerme en las Piedras,  
Respira en las Plantas,  
Sueña en los Animales,  
Susurra en el Agua  
Y Despierta en el Hombre*

- Proverbio Indígena

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO DE VEGETACIÓN

**Tabla 2.1.** Ubicación espacio-temporal de cada uno de los levantamientos. \*Este levantamiento se realizó específicamente sobre una zona de transición entre el bosque alto andino y el subpáramo.

**Tabla 2.2** Cobertura (%) y número de individuos de la vegetación en los estratos rasante, herbáceo, arbustivo y arbóreo para el bioma bosque altoandino (levantamientos BAA1 y BAA2, letras en mayúscula indican cada uno de los cuadrantes). Forma de vida (Cuatrecasas 1934), familia (Sklenár *et al.* 2005, Pedraza *et al.* 2004) y color descritos en la metodología.

**Tabla 2.3.** Cobertura (%) y número de individuos de la vegetación en los estratos rasante, herbáceo y arbustivo para el bioma subpáramo (levantamientos SBP1 y SBP2, letras en mayúscula indican cada uno de los cuadrantes). Forma de vida (Cuatrecasas 1934), familia (Sklenár *et al.* 2005, Pedraza *et al.* 2004) y color descritos en la metodología.

**Tabla 2.4:** Cobertura (%) y número de individuos de la vegetación en los estratos rasante, herbáceo y arbustivo para el bioma páramo (levantamientos PAR1 y PAR2, letras en mayúscula indican cada uno de los cuadrantes). Forma de vida (Cuatrecasas 1934), familia (Sklenár *et al.* 2005, Pedraza *et al.* 2004) y color descritos en la metodología.

**Tabla 2.5** Cobertura (%) y número de individuos de la vegetación en los estratos rasante, herbáceo y arbustivo para el bioma superpáramo (levantamiento SPP).

**Tabla 2.6** Especies con mayor cobertura de vegetación por estratos (rasante, herbáceo y arbustivo) y formas de vida (Cuatrecasas 1934) predominantes para los biomas bosque altoandino (BAA), subpáramo (SBP), páramo (PAR) y superpáramo (SSP) correspondientes a los levantamientos BAA1, BAA2, SBP1, SBP2, PAR1, PAR2 y SPP.

**Tabla 2.7.** Ordenamiento de los promedios para las variables foliares según los biomas estudiados: bosque altoandino (BAA), subpáramo (SBP), páramo (PAR) y superpáramo (SSP) correspondientes a los levantamientos BAA1, BAA2, SBP1, SBP2, PAR1, PAR2 y SPP.

**Tabla 2.8.** Descripción general de suelos, por levantamiento.

**Tabla 2.9.** Datos de las variables edáficas en los levantamientos BAA1, SBP1, PAR1 y SPP.

**Tabla 2.10.** Datos de las variables edáficas en los levantamientos BAA2, SBP2 y PAR. Temp., temperatura; M.O., materia orgánica; A, arenas; L, limos, Ar, arcillas; Cen., prueba de cenizas; P.S.R., peso seco de raíces; C.C., capacidad de campo; D.A., densidad aparente; Sat. A., saturación de agua.

**Tabla 2.11** Coeficiente de correlación de Spearman ( $r_s$ ) entre las variables bióticas y abióticas a nivel de paisaje. \*Sólo se reportan las correlaciones significativas

**Tabla 2.12** Índices asociados a la riqueza y la estructura de los levantamientos BAA1, SBP1, PAR1 y SPP

**Tabla 2.13** Índices asociados a la riqueza y la estructura de los levantamientos BAA2, SBP2 y PAR2

## CAPÍTULO DE LIMNOLOGÍA

**Tabla 3.1** Geo referencia de los puntos de muestreo

**Tabla 3.2** Resultados de fisicoquímicos en Campo y laboratorio

**Tabla 3.3** Datos hidrológicos de los sistemas lóticos

**Tabla 3.4** Valores propios y varianzas asociadas del análisis PCA sobre las variables fisicoquímicas.

**Tabla 3.5** Matriz de correlaciones de las variables fisicoquímicas.

**Tabla 3.6** Caracterización de las clases formadas por el método de Lebart *et al.* (1995) a partir de los datos fisicoquímicos.

**Tabla 3.7** Contribuciones y correlaciones de las variables fisicoquímicas a los 4 primeros componentes principales.

**Tabla 3.8** Valores test para el tipo de ecosistema a partir de las características fisicoquímicas.

**Tabla 3.9** Resumen estadístico de las variables fisicoquímicas de los ambientes lóticos del PNNEC.

**Tabla 3.10** Resumen estadístico de las variables fisicoquímicas de los ambientes lénticos del PNNEC.

**Tabla 3.11** Composición Biótica: Grupos de organismos perifíticos de los ecosistemas acuáticos de la Sierra Nevada del Cocuy. Los datos son resultados de los conteos de organismos /mm<sup>2</sup>.

**Tabla 3.12** Análisis de diversidad de las comunidades perifíticas de los ambientes lóticos y lénticos de la Sierra Nevada del Cocuy.

**Tabla 3.13** Valores propios “eigenvalues” de los análisis de correspondencia canónica del paisaje, para las comunidades de perifiton en la Sierra Nevada del Cocuy, correspondientes a las gráficas 1 y 2 respectivamente.

**Tabla 3.14** Valores propios “eigenvalues” del análisis de correspondencia canónica Regional, para las comunidades de perifiton en la Sierra Nevada del Cocuy.

**Tabla 3.15** Índices de diversidad para los ambientes lóticos.

**Tabla 3.16** Índices de diversidad de los ambientes lénticos.

**Tabla 3.17** Scores análisis CCA de los ambientes lénticos a partir de macro invertebrados y variables fisicoquímicas.

**Tabla 3.18** Scores análisis CCA de lo ambientes lóticos.

**Tabla 3.19** Índices de diversidad por grupos funcionales de macroinvertebrados en ambientes lóticos de los diferentes biomas.

**Tabla 3.20** Valores propios y porcentajes de varianza acumulada.

**Tabla 3.21** Índices de diversidad de los grupos funcionales de macroinvertebrados en ambientes lénticos en dos biomas del PNNEC.

**Tabla 3.22** Índices de diversidad para los cuatro ecosistemas

**Tabla 3.24** Valores propios CCA y varianza acumulada

**Tabla 3.25** Scores CCA.

**Tabla 3.26** Índices de diversidad para los grupos funcionales del fitoplancton del PNNEC

**Tabla 3.27** Clasificación de los géneros de fitoplancton en grupos funcionales (MBFG)

**Tabla 3.28** Porcentaje de distribución de los grupos funcionales para cada bioma.

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO DE VEGETACIÓN

**Figura 2.1.** Formas de vida (Cuatrecasas 1934) para cada uno de los biomas estudiados: bosque altoandino (BAA), subpáramo (SBP), páramo (PAR) y superpáramo (SSP) correspondientes a los levantamientos BAA1, BAA2, SBP1, SBP2, PAR1, PAR2 y SPP.

**Figura 2.2.** Comportamiento de los datos para las características adicionales en la descripción para cada uno de los biomas estudiados: bosque altoandino (BAA), subpáramo (SBP), páramo (PAR) y superpáramo (SSP) correspondientes a los levantamientos BAA1, BAA2, SBP1, SBP2, PAR1, PAR2 y SPP.

**Figura 2.3.** Histograma de área foliar (Raunkiaer, 1934) para cada uno de los biomas estudiados: bosque altoandino (BAA), subpáramo (SBP), páramo (PAR) y superpáramo (SSP) correspondientes a los levantamientos BAA1, BAA2, SBP1, SBP2, PAR1, PAR2 y SPP.

**Figura 2.4.** Histograma de peso seco (g) para cada uno de los biomas estudiados: bosque altoandino (BAA), subpáramo (SBP), páramo (PAR) y superpáramo (SSP) correspondientes a los levantamientos BAA1, BAA2, SBP1, SBP2, PAR1, PAR2 y SPP.

**Figura 2.5.** Histograma de frecuencias contenido hídrico (g) para cada uno de los biomas estudiados: bosque altoandino (BAA), subpáramo (SBP), páramo (PAR) y superpáramo (SSP) correspondientes a los levantamientos BAA1, BAA2, SBP1, SBP2, PAR1, PAR2 y SPP.

**Figura 2.6.** Histograma de frecuencias índice foliar específico (IFE) para cada uno de los biomas estudiados: bosque altoandino (BAA), subpáramo (SBP), páramo (PAR) y superpáramo (SSP) correspondientes a los levantamientos BAA1, BAA2, SBP1, SBP2, PAR1, PAR2 y SPP.

**Figura 2.7.** Histograma de frecuencias masa foliar específica (MFE) para cada uno de los biomas estudiados: bosque altoandino (BAA), subpáramo (SBP), páramo (PAR) y superpáramo (SSP) correspondientes a los levantamientos BAA1, BAA2, SBP1, SBP2, PAR1, PAR2 y SPP.

**Figura 2.8.** Histograma del revestimiento foliar para cada uno de los biomas estudiados: bosque altoandino (BAA), subpáramo (SBP), páramo (PAR) y superpáramo (SSP) correspondientes a los levantamientos BAA1, BAA2, SBP1, SBP2, PAR1, PAR2 y SPP.

**Figura 2.9.** Análisis de correspondencia canónico (CCA) para los cuatro ecosistemas (BAA, SBP, P, SPP), representados en los levantamientos BAA1, SBP1, PAR1 y SPP. Variables de arenas, limos, arcillas, capacidad de campo (CC), densidad aparente (Den\_aparente) y materia orgánica (MO).

**Figura 2.10.** Análisis de correspondencia canónico (CCA) para los cuatro ecosistemas (BAA, SBP, P, SPP), representados en los levantamientos BAA1, SBP1, PAR1 y SPP. Variables de



altura, temperatura (T°), pH, capacidad de campo (CC), densidad aparente (Den\_aparente) y materia orgánica (MO).

**Figura 2.11.** Análisis de correspondencia canónico (CCA) de los biomas BAA, SBP (TR) y PAR, representados en los levantamientos BAA2, SBP2 y PAR2. Variables de arenas, limos, arcillas, densidad aparente y materia orgánica (MO).

**Figura 2.12.** Análisis de correspondencia canónico (CCA) de los biomas BAA, SBP (TR) y PAR, representados en los levantamientos BAA2, SBP2 y PAR2. Variables de densidad aparente, materia orgánica (MO), pH, altura y temperatura.

**Figura 2.13.** Análisis de correspondencia sin tendencia (DCA) para los cuatro ecosistemas (BAA, SBP, P, SPP), representados en los levantamientos BAA1, SBP1, PAR1 y SPP, junto con las diez especies más representativas (*Agrostis* sp. 1, *A. muticum*, *Calamagrostis* sp., *Carex* sp., *Eleocharis* sp., *E. lopezii*, *H. sessiliflora*, *P. karstenii*, *Pentacalia* sp. 1)

**Figura 2.14.** Análisis de correspondencia sin tendencia (DCA) para los tres ecosistemas BAA, SBP (TR) y PAR, representados en los levantamientos BAA2, SBP2 y PAR2.

**Figura 2.15.** Análisis de componentes principales (PCA) de los cuatro ecosistemas (BAA, SBP, P, SPP) representados en los levantamientos BAA1, SBP1, PAR1 y SPP. Variables de arenas, limos, arcillas, capacidad de campo (CC), densidad aparente (Den\_aparente), materia orgánica (MO), altura y temperatura.

**Figura 2.16.** Análisis de componentes principales (PCA) de los ecosistemas BAA, SBP (TR) y PAR, representados en los levantamientos BAA2, SBP2 y PAR2. Variables de arenas, limos, arcillas, capacidad de campo (CC), densidad aparente y materia orgánica (MO), temperatura y altura.

**Figura 2.17.** Análisis de correspondencia canónica (CCA) para los ecosistemas de bosque alto andino (BAA), subpáramo (SUBPAR), páramo (PAR) y superpáramo (SUPERPAR), entre variables abióticas y bióticas foliares para los levantamientos BAA1, SBP1, PAR1 y SPP.

**Figura 2.18.** Análisis de componentes principales foliares (PCA) para los ecosistemas de bosque alto andino (BAA), subpáramo (SUBPAR), páramo (PAR) y superpáramo (SUPERPAR), para los levantamientos BAA1, SBP1, PAR1 y SPP. CHF:

**Figura 2.19.** Análisis de componentes principales (PCA) para los ecosistemas de bosque alto andino (BAA), subpáramo (SUBPAR), páramo (PAR) y superpáramo (SUPERPAR). Organización de las variables abióticas para los levantamientos BAA1, SBP1, PAR1 y SPP. DA:

**Figura 2.20.** Diagramas en torta de la riqueza y abundancia por levantamiento.

## CAPÍTULO DE LIMNOLOGÍA

**Figura 3.1** Clasificación automática de los ambiente por variables fisicoquimicas por el método propuesto por Lebart *et al.* (1995).

**Figura 3.2** Circulos de correlaciones en los planos formados por los componentes 1y2 y 3y4.

**Figura 3.3** Plano factorial formado por los componentes 1 y 2.

**Figura 3.4** Plano factorial formada por los componentes 2 y 3.

**Figura 3.5** Plano factorial componentes 3 y 4.

**Figura 3.6** Perfiles batimétricos.

**Figura 3.7** Composición de la comunidad perifítica: Porcentajes de abundancia de los géneros presentes en ambientes lóticos.

**Figura 3.8** Composición de la comunidad perifítica: Porcentajes de abundancia de los géneros presentes en ambientes lénticos. Porcentaje de familias de macroinvertebrados presentes en la laguna Guaicany.

**Figura 3.9** Triplot demacroinvertebrados-FQ-lénticos.

**Figura 3.10** Triplot macroinvertebrados-FQ-lóticos. BA: Bioma Altoandino, BP: Bioma Paramo, BSP: Bioma Superparamo

**Figura 3.11** Triplot del análisis de correspondencia canónica Regional, utilizando las diferentes formas de vida para las comunidades de perifiton en los ecosistemas lénticos de la Sierra Nevada del Cocuy.

**Figura 3.12** Triplot del análisis de correspondencia canónica Regional, utilizando las diferentes formas de vida para las comunidades de perifiton en los ecosistemas lóticos de la Sierra Nevada del Cocuy.

**Figura 3.13** Triplot del análisis de correspondencia canónica Regional, utilizando las diferentes formas de vida para las comunidades de perifiton en los ecosistemas lóticos (purpura), y lenticos (rojo) de la Sierra Nevada del Cocuy.

**Figura 3.14** Porcentajes de grupos funcionales de macroinvertebrados presentes en los diferentes biomas del PNNEC.

**Figura 3.15** Porcentajes de grupos funcionales de macroinvertebrados en ambientes lénticos en dos biomas del PNNEC.

**Figura 3.16** Porcentaje de géneros

**Figura 3.17** Triplotgrupos funcionales de macroinvertebrados FQ- en ambientes lenticos del PNNEC.

**Figura 3.18** Análisis de Correspondencia Canónica del fitoplancton de sistemas loticos del PNNEC

**Figura 3.19** Porcentajes de grupos funcionales de macroinvertebrados presentes en los diferentes biomas del PNNEC.

**Figura 3.20** Triplotgrupos funcionales de macroinvertebrados FQ- en ambientes lóticos del PNNEC.

**Figura 3.21** Porcentajes de grupos funcionales de macroinvertebrados en ambientes lénticos en dos biomas del PNNEC.

**Figura 3.22.** Porcentaje de géneros de fitoplancton en la Laguna el Ojito.

**Figura 3.23.** Porcentaje de géneros de fitoplacton en la Laguna San Pablín.

**Figura 3.24** Porcentaje de géneros de fitoplancton en la Laguna La Pintada.

**Figura 3.25** Porcentaje de géneros de fiplancton en la Laguna Guicany.

**Figura 3.26** Análisis de Correspondencia Canónica del fitoplancton de sistemas lénticos del PNNEC

**Figura 3.27.** Porcentaje de las formas de vida para bioma altoandino.

**Figura 3.28.** Porcentaje de las formas de vida para bioma paramo.

## **Anexos**

**Tabla 3.1** Composición de macro invertebrados de los ambientes lóticos. (individuos/m<sup>2</sup>).

**Tabla 3.2** Muestréos realizados para marcoinvertebrados en cada sitio muestréado en el PNN El Cocuy.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Parque Nacional Natural El Cocuy (PNNEC) está ubicado sobre la cordillera Oriental en tres departamentos: Boyacá, Casanare y Arauca. En Boyacá ocupa los municipios de Chita, El Cocuy, Cubará, Chiscas, El Espino, Güicán y Cubará; en Casanare, hace parte de los municipios de La Salina y Sácama, y en Arauca, comparte los municipios de Tame, Fortúl y Saravena. El centro del parque se ubica en las coordenadas 6°29'15.2" N y 72°20'2.7" W. Esta reserva presenta una gran diversidad de ecosistemas naturales y transformados, un total de cuarenta y uno, entre los que se destacan el páramo muy húmedo en montaña glaciar y los páramos de pastizal como los ecosistemas con mayor extensión. Las zonas altas y el oriente presentan el ecosistema de superpáramo, frecuentemente asociado a cuerpos de aguas y en algunos casos a zonas nivales (Morales *et al.* 2007).

Puesto que el PNNEC en su sector occidental se inicia partir de los 4000 msnm, la temperatura media multianual es de 6,4 °C. El régimen de precipitación es bimodal con 1212 dos periodos húmedos y dos secos, con valores mínimos en enero y máximos en abril. Debido a su extensión, el clima de este complejo es variable, desde húmedo (vertiente occidental) hasta pluvial (vertiente oriental).

Desde hace cinco millones de años, con el levantamiento final de la cordillera de los Andes, se dio inicio al proceso para la creación definitiva de los bosques andinos y, en la parte superior de estos, de los ecosistemas de páramo, por encima de los 3.000 metros de altura. La historia geológica, y posteriormente la geomorfología de herencia glaciar y el vulcanismo plio-pleistocénico, generaron y modelaron los ambientes paramunos. Las variaciones en altura producen gradientes altitudinales con cambios fisonómico-florísticos, climáticos y de suelos (Cuatrecasas 1958, Lauer 1979, Cleef 1981). Las unidades geomorfológicas son el principal factor de heterogeneidad ambiental, ya que en áreas relativamente pequeñas se pueden encontrar diferentes unidades de paisaje como: morrenas, cubetas, lagos, turberas y valles en U (Flórez 2000). Dentro de estas unidades se presentan pequeñas variaciones que producen gradientes topográficos con cambios en los contenidos de agua y nutrientes en el suelo (Zuluaga 2002).

La importancia de las áreas pertenecientes al complejo de los páramos del Cocuy reside en la ocurrencia, distribución y dinámica hídrica (CDMB, 2002). La producción de agua se explica principalmente por la precipitación y la retención de humedad, que se convierte en escorrentía superficial o recarga de acuíferos de los valles intermontanos, y por el aporte de la masa glacial (26,2 km<sup>2</sup>). El aporte de la masa glacial se da sobre todo en la vertiente occidental, la cual recibe el 76% del agua glacial contribuyendo a las cuencas de los ríos Lagunilla, Cóncavo y San Pablín, los cuales desembocan en el río Chicamocha.

Debido a sus condiciones hidrológicas particulares, el PNNEC se convierte en una zona de gran interés para el estudio de los organismos acuáticos. En las zonas tropicales, debido a la poca variación térmica a lo largo del año, los lagos no siguen necesariamente un ritmo anual de circulación y estratificación, tal como ocurre en zonas templadas, sino que varían de acuerdo a condiciones locales, como la altura y los cambios de temperatura entre día y noche (Casallas & Gunkel, 2001). Esto último determina que no se forme una termoclina, por lo cual las zonas del lago deberían definirse como fótica y afótica (Roldán & Ramírez, 2008).

Las formas de vida vegetal características de las zonas altas del parque son: caulirrosulas las cuales son típicas de montañas altas, representadas principalmente por especies de *Espeliinae* y alcanzan a penetrar la zona inferior del superpáramo; las macollas representadas por *Calamagrostis effusa*, reinan en el páramo propiamente dicho y suelen estar asociadas con poblaciones de *Espeletiopsis sp.* y *Espeletia sp.* en climas más húmedos; los cojines, los cuales son frecuentes en la parte superior del páramo, más que todo en turberas y sobre suelos húmedos. Presentes en el páramo y la zona inferior del superpáramo; los arbustos y arbustillos predominantes en el subpáramo, con hojas siempre verdes y pequeñas; los matorrales, presentes principalmente en el subpáramo y luego en el límite inferior del superpáramo (Mora-Osejo & Sturm 1994, Ricardi *et al.* 1997).

Dentro de las comunidades presentes se destacan: en el páramo los Chuscales, que comprende todas las zonas de vegetación graminoide con *Chusquea*; pastizales-pajonales, dominados principalmente por *Calamagrostis effusa* asociado a *Espeletia* y *Espeletiopsis*; arbustos enanos de subpáramo, caracterizados por la presencia de *Arcytophyllum nitidum*, en asociación *Sporobolus lasiophyllus* y *Achyrocline lehmanii*; en las zonas andina, Matorrales altos de *Hipericum laricifolium*, *Weinmania mycrophyla* y *Ageratina tinifolia*, también matorrales más bajos de *Polilepys* y *Bacharis* y en la zona Andina, presencia de matorrales altos de *Hipericum laricifolium*, *Weinmania mycrophyla* y *Ageratina tinifolia*. de *Polilepys*, *Bacharis sp.* (Mora-Osejo & Sturm 1994, Rangel 2000).

Los páramos de Colombia forman islas biogeográficas, distantes entre sí, por valles profundos que los separan unos de otros. Durante las glaciaciones una parte de estas “islas” podían unirse, con relación al descenso del límite bosque-páramo, lo que permitió cambio de especies, así resultaron diferentes grados de aislamiento de las áreas de páramo. La cordillera Oriental tenía un gran número de “islas” de páramo, donde se pudo desarrollar cierto endemismo y un número considerable de especies. (Morales, *et al.* 2007)

Con respecto a la fauna del PNNEC, la fauna debe tener su origen de dos fuentes, una más antigua que se adaptó rápidamente a las condiciones predominantes en el momento del levantamiento de este sistema montañoso y otra de zonas bajas, que paulatinamente fue ascendiendo y adaptándose; Este parque cuenta con 53 especies de mamíferos, de estas especies, tres son endémicas, trece se encuentran amenazadas de extinción y siete son restringidas (Muñoz *et al.*, 2000, citado en Rodríguez *et al.*, 2004). Con relación a la avifauna, el complejo del Cocuy

pertenece al orobioma de páramos de la cordillera Oriental, que presenta la mayor riqueza de especies para este grupo de los cuatro biomas de zonas altas de los Andes colombianos (IAvH, 2004), los otros grupos faunísticos no cuentan con datos suficientes, debido a las escasas investigaciones realizadas en este complejo.

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, como bentónicos (los que viven en el fondo o dentro del sedimento), nectónicos (los que nadan activamente dentro del agua) y neustónicos (los que nadan sobre la superficie).

Otra comunidad importante en los ecosistemas acuáticos es el perifiton, el cual se define como un complejo de microbiota (algas, bacterias, hongos, detritos orgánicos e inorgánicos) adherida a un sustrato, que puede ser orgánico o inorgánico (Wetzel 1983). Se designa también como un biofilm o biopelícula (Burns & Ryder 2001), que es un agregado de microorganismos fotosintéticos y sus productos extracelulares asociados a un sustrato. Esta comunidad cubre rocas, madera, partículas de sedimento y otras superficies en cuerpos de agua, tanto lénticos como lóticos. De acuerdo a la diversidad en su composición, se puede inferir aspectos funcionales de la comunidad (Margalef 1983).

La comunidad fitoplanctónica juega un rol vital en la producción primaria y en el ciclado de nutrientes, incluso, géneros como *Anabaena* y *Nostoc*, están relacionados con la fijación de nitrógeno, lo cual les da un rol importante dentro de esta comunidad, además de que aporta gran cantidad de materia orgánica.

Los biomas característicos del parque son los siguientes:

*Bosque Alto Andino*- comprende en el parque un área de 159 279.69 ha, correspondientes al 51.71 % de total del área. Posee un solo estrato de arboles pequeños y arbustos de hojas pequeñas con alturas que van de los 3 – 10 m, los musgos son muy abundantes y forman espesos colchones en el piso del bosque, muchos de ellos cubren totalmente troncos y ramas de los árboles, junto con otras epifitas y bromelias, y la capa de hojarasca por lo general es gruesa. (Salamanca *et al.* 1991).

*Subpáramo*- La degradación del bosque altoandino en la vertiente occidental ha producido en muchos sitios un tipo especial de matorral más o menos abierto, a base de elementos propios del bosque altoandino y del paramo. Esta se ha denominado frecuentemente subpáramo. En realidad y dado que en algunas partes el paso del bosque al paramo herbáceo es relativamente rápido, la formación vegetal conocida como subpáramo bien podría corresponder al bosque alto andino degradado, por lo menos parcialmente. (UAESPNN 2007). En esta franja del sector occidental de

parque prácticamente la mayor cantidad de especies arbóreas originales ha desaparecido debido a la intervención del hombre a través de las actividades agrícolas.

*Páramo*- El complejo de páramos del Cocuy que representa el 38.4 % del parque 118.336 has (áreas por encima de 3000 msnm) pertenece a la cordillera Oriental de Colombia, para la que se ha reportado el mayor número de especies de plantas vasculares con distribución restringida. El complejo juega un papel muy importante como centro de diversidad. El mayor número de endemismos se registra en estos páramos y en la Sierra Nevada de Santa Marta. El Cocuy, al igual que los páramos del Almorzadero y de Guantiva, se destaca por pertenecer a un grupo paramuno en el que se encuentran el mayor número de especies endémicas (UAESPNN 2007).

*Superpáramo*- Se ubica en alturas mayores a 4200 msnm y en el PNNEC ocupa un área de 25.259 has, correspondiente al 8.20% (UAESPNN 2007), localizadas en la franja central del parque. Su vegetación es de matorral y predomina en espacios caracterizados por tener suelos pedregosos, superficiales y de texturas franco arcillosas. El frailejónal se halla en áreas ligeramente planas y mal drenadas (Díaz-Granados *et al.* 2005).

## 2. ANÁLISIS ECOLÓGICO REGIONAL DEL PARQUE NACIONAL NATURAL EL COCUY (BOYACÁ, COLOMBIA).

FELIPE CASTIBLANCO ÁLVAREZ<sup>1</sup>, DANIEL JOSÉ DUARTE ROJAS<sup>1</sup>, LINA MARCELA FIERRO ROJAS<sup>1</sup>, PAULA VICTORIA FONTANILLA RAMÍREZ<sup>1</sup>, LAURA ELIZABETH HOLGUÍN VILLARREAL<sup>1</sup>, FABIÁN GIOVANNY MARQUEZ NIÑO<sup>1</sup>, ALEJANDRO PINTO GÓMEZ<sup>1</sup>, BEATRIZ HELENA RODRÍGUEZ VERA<sup>1</sup>, LUIS SEBASTIÁN TORO ACOSTA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Estudiante pregrado Biología, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias

### RESUMEN

La Sierra Nevada del Cocuy posee un gradiente altitudinal muy amplio que permite la existencia de varios biomas con sus respectivas características de clima, suelo y vegetación. Se estudiaron las diferentes variables de suelos, climáticas, de riqueza y estructura relacionadas con la vegetación de los cuatro biomas encontrados y sus ecosistemas: bosque altoandino, subpáramo, páramo y superpáramo. Se realizó un muestreo en campo que incluyó estudio de suelos por bioma, estudio de la composición y estructura de la vegetación y caracterización morfológica de las plantas. Luego las muestras se procesaron en el laboratorio y se obtuvo características químicas y físicas de los suelos y características morfológicas de las plantas que permitieran identificar adaptaciones y relaciones con los factores abióticos. Tras el procesamiento de los datos mediante diferentes análisis cualitativos y cuantitativos se encontraron las diferencias, similitudes y relaciones de la estructura de la vegetación a diferentes escalas, así como la relación entre los factores bióticos y abióticos.

**Palabras clave:** ecología, biomas, vegetación, suelo, páramo.

### ABSTRACT

Due to its altitude, the Sierra Nevada del Cocuy, has a very wide altitudinal gradient which allows the presence of a variety of biomes, their respective soil and vegetation components. The aim of this work was to identify the principal characteristics of vegetation found in four biomes: upper andean forest, subparamo, paramo and superparamo. Also, an analysis of soil components associated to the biome and its vegetation was carried out. Field work was done in the month of September, during which a soil survey was made, as well as an assessment of vegetation components in its different layers. Also, leaf samples were taken from the highest layer of vegetation. Afterwards, all of the samples obtained were processed in the laboratory to obtain data on adaptation and abundances from species of plants found, as well as information on soil variables such as pH, field capacity and organic matter, among others. The data was processed through a variety of qualitative and quantitative analysis that showed the differences, similarities and relations between vegetation structures at different scales, as well as relations among biotic and non biotic factors.



**Key words:** ecology, biomes, vegetation, soil, paramo.

## INTRODUCCIÓN

La ecología comprende varios niveles de organización para los cuales se utilizan distintas magnitudes de tiempo y espacio. La delimitación regional provee una base objetiva para establecer prioridades en el desarrollo y planificación del uso de recursos naturales. En el análisis regional se debe iniciar con el estudio de características físicas y de vegetación que influyen o determinan la diferenciación ecológica del área, seguido de la delimitación y caracterización de las unidades ecológicas regionales, es decir las zonas que presentan en una primera aproximación una cierta homogeneidad ecológica (Sarmiento *et al* 1971).

Las unidades ecológicas regionales aquí estudiadas presentan un grado de homogeneidad en los rasgos esenciales del ambiente y la vegetación. Para tener una visión más completa se ha trabajado a tres escalas diferentes: bioma, paisaje y ecosistema. A continuación se presentan las generalidades de la vegetación y de los suelos en el Parque Nacional Natural El Cocuy (PNNEC) a nivel de estas tres escalas.

### BIOMA

Según Hernández (1990), un bioma se define puntualmente como “*un conjunto de ecosistemas con estructura similar y características funcionales*”, consecuencia de esto los factores bióticos presentan características que pueden agruparlas dentro de una clasificación general al momento de establecerse y distribuirse en el espacio, éstas características son el resultado de un conjunto de adaptaciones morfológicas y fisiológicas como respuesta al ambiente. En el área de estudio se encuentran principalmente cuatro biomas instituidos por el modelo altitudinal descrito por Cuatrecasas (1958), gradiente que define la línea inferior del páramo a partir de los 3000 m.s.n.m constituido por subpáramo, páramo y superpáramo, distribuidos hasta los 4000 m.s.n.m.

### Bosque Alto Andino

Posee un solo estrato de árboles pequeños y arbustos de hojas pequeñas con alturas que van de los 3 – 10 m, los musgos son muy abundantes y forman espesos colchones en el piso del bosque, muchos de ellos cubren totalmente troncos y ramas de los árboles, junto con otras epifitas y bromelias, y la capa de hojarasca por lo general es gruesa (Salamanca *et al.* 1991).

### Subpáramo

La degradación del bosque alto andino en la vertiente occidental ha producido en muchos sitios un tipo especial de matorral más o menos abierto, a base de elementos propios del bosque alto andino y del páramo (UAESPNN 2005). El cual ha sido denominado frecuentemente subpáramo, en realidad y dado que en algunas partes el paso del bosque al paramo herbáceo es relativamente rápido, la formación vegetal conocida como subpáramo bien podría corresponder al bosque alto andino degradado por lo menos parcialmente (UAESPNN 2005), en esta franja del sector occidental de parque prácticamente la mayor cantidad de especies arbóreas originales han desaparecido debido a la intervención del hombre en actividades como la agricultura (Cleef 1981).

## **Páramo**

El complejo de páramos del Cocuy que representa el 38.4 % del parque (118 336 has) juega un papel muy importante en la biodiversidad y comprende áreas por encima de los 3000 msnm y pertenece a la cordillera Oriental de Colombia para la que se ha reportado el mayor número de especies de plantas vasculares con distribución restringida (Miranda *et al* 2002). El mayor número de endemismos se registra en estos páramos y en la Sierra Nevada de Santa Marta (Fernández 2002). El Cocuy, al igual que los páramos del Almorzadero y de Guantiva, se destaca por pertenecer a un grupo paramuno en el que se encuentran mayor número de especies endémicas (Miranda *et al* 2002).

Al revisar el origen de la vegetación del páramo se concluye que dada la juventud de los macizos montañosos andinos toda debe provenir de dos fuentes: una más antigua que evolucionó durante los procesos de elevación de la cordillera, que correspondería a la vegetación típica de tierras bajas que se fue adaptando paulatinamente a las alturas; y otra más moderna que migró aprovechando sus capacidades para resistir el frío (Baptiste 2011).

La región paramuna de Colombia presenta los mayores valores de diversificación a nivel de especies. Para su extensa región biogeográfica se tendrían 124 familias, 644 géneros y 4.696 especies. En espermatófitos la relación significa el 72 % de toda la región (Rangel 2000). Igualmente, la región paramuna de Colombia posee la mayor expresión de especies con área de distribución restringida, cerca del 40 % de la flora de espermatófitos exhibe esta condición ((Miranda *et al* 2002)). En el páramo colombiano, la mayor expresión de la fitodiversidad y el mayor número de especies con área de distribución restringida se presenta en los ecotonos bosque alto andino-subpáramo (3000 - 3200 msnm); seguida del páramo bajo o subpáramo (Miranda *et al* 2003).

La evapotranspiración en los páramos es baja y la capacidad de retención de agua de las plantas es alta, además de la lluvia, en los páramos la precipitación horizontal es un factor determinante en el importante rendimiento hídrico presente en estos hidrosistemas, debido a las bajas temperaturas y alta humedad relativa, la descomposición de la materia orgánica se lleva a cabo a

tasas muy bajas, por lo cual los suelos tienen altos contenidos de materia orgánica, alta porosidad y buena conductividad hidráulica (Díaz *et al* 2005).

La vegetación en el páramo ha desarrollado características fisiológicas para adaptarse y sobrevivir a las extremas condiciones del clima, topografía y suelos. Algunas de estas características son la formación de rosetas que sirve de defensa contra viento y frío, la enanificación arbustiva, el desarrollo de hojas coriáceas que reduce la pérdida de agua por transpiración, la formación de cubiertas de pelos en las hojas para captar el agua de lluvia o de rocío, la permanencia de hojas muertas sobre los tallos manteniendo la temperatura, atrapando residuos orgánicos y almacenando agua, la formación de macollas que atrapan materia orgánica y humedad junto la agrupación de plantas pequeñas en cojines, entre otros (Salamanca 1986 en Díaz *et al* 2005).

### **Superpáramo**

Esta franja se encuentra en alturas superiores a los 4200 msnm y en el Parque Nacional Natural El Cocuy ocupa un área de 25 259 has, localizadas en una franja central del parque; la vegetación de matorral predomina en los espacios caracterizados por tener suelo pedregosos, superficiales y de texturas franco arcillosas, el frailejón se halla en áreas ligeramente planas y mal drenadas (Cuatrecasas 1934).

### **PAISAJE**

La Unidad de Paisaje constituye la base conceptual para la caracterización ecosistémica regional al elaborar este estudio, el paisaje ha tendido varias concepciones que van desde el punto de vista tanto geográfico como biológico la definición que sirve de conjunción de ambas perspectivas: "*es generalmente un conjunto de ecosistemas relativamente homogéneos*" (Godron & Forman, 1983), Sarmiento *en* 1971 lo considera como un ecosistema cuya característica más importante es la compleja interrelación entre sus diferentes elementos, Por otra parte, Etter (1990), en una definición geográfica explica el paisaje como: "*Una porción del espacio geográfico, homogéneo en cuanto a su fisionomía y composición, con patrón de estabilidad temporal resultante de la interacción compleja del clima, las rocas, al agua, el suelo, la flora, la fauna y las actividades humanas, reconocible y diferenciable de otras vecinas de acuerdo con un nivel de análisis (resolución) espacio-temporal*". El mapa de unidades de paisaje del PNNEC, es resultado de sobreponer los mapas de biomas, cobertura y geoformas, arrojando 24 unidades de paisaje dentro del parque, localizadas en cuatro biomas (UAESPNN 2005).

### **ECOSISTEMA**

El concepto de ecosistema se considera a menudo como dogma central de la ecología, éste es esencialmente un sistema biológico formado por dos elementos indisolubles un conjunto de

organismos que viven juntos y el fragmento de biosfera que proporciona el medio abiótico indispensable. (Dajos 2002)

El complejo del Cocuy se caracteriza por presentar una gran diversidad de ecosistemas naturales y transformados, con un total de 41, entre los que se distinguen el páramo muy húmedo en montaña glaciárica y los pastos en páramo como los ecosistemas con mayor extensión, representando el 45% del total de este complejo de pendientes menos pronunciadas, comparadas con áreas al oriente del complejo donde se encuentran ecosistemas de páramos en su mayoría no transformados. Las zonas altas y el oriente del complejo presentan los ecosistemas de superpáramo, frecuentemente asociados a cuerpos de aguas y en algunos casos a zonas nivales (Baptiste 2011). Cabe destacar que pese a la importancia de este complejo, debida a la alta densidad de ecosistemas altoandinos que posee y a que representa uno de los mayores enclaves de páramos de la cordillera Oriental (Rodríguez *et al* 2004), presenta un considerable grado de intervención humana (IAvH 2006) asociado a cultivos, pastos, plantaciones forestales y áreas urbanas, que equivale al 28% del complejo.

El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar la zona de estudio a nivel ecológico regional, mediante el análisis a tres escalas ecológicas (paisaje, ecosistema y bioma) identificando las características principales de la vegetación y de los factores abióticos influyentes sobre el bosque alto andino, subpáramo, páramo y superpáramo.

## MÉTODOS

### Área de estudio

En el PNNEC se realizaron 7 levantamientos ubicados sobre el costado occidental de la extensa Sierra Nevada del Cocuy (Tabla 2.1), también conocida como Sierra Nevada de Güicán (Figuras A1, A2 y A3). Estos levantamientos fueron realizados en cuatro biomas: el bosque alto andino (BAA), el subpáramo (SBP), el páramo (PAR) y el superpáramo (SPP).

### Muestreo y descripción

En cada levantamiento se evaluó el siguiente número de cuadrantes: 5 en BAA1, 3 en SBP1, 6 en PAR1, 9 en SPP, 4 en BAA2, 4 en SBP2 y 8 en PAR2. Para cada caso la descripción fue realizada a diferentes estratos. El estrato más inferior es el rasante, donde se contó el número de plántulas existentes y el porcentaje de suelo desnudo, en caso de haberlo. Luego, tanto en este como en los estratos siguientes (herbáceo, arbustivo, arbóreo, epífita) se registró la cobertura de cada una de las especies presentes.

Fecha	Levantamiento	Referencia	Latitud (N)	Longitud (W)	Altitud (m.s.n.m.)
02-sep-11	BAA1	Pendiente cerca al Río Corralitos	6°26'59,5''	72°21'51,2''	3624
03-sep-11	SBP1	Alto de la Cueva	6°24'14,3''	72°21'37,1''	4024
04-sep-11	PAR1	Valle de Lagunillas	6,22'37,8''	72°20'13,9''	3930
05-sep-11	SPP	Sendero a los Ritacuba	6°29'15,2''	72°20'2,7''	4415
06-sep-11	BAA2	Vereda La Cueva (Güicán)	6°27'56,6''	72°22'14,2''	3656
07-sep-11	SBP2*	Vereda El Tabor (Güicán)	6°28'37,3''	72°20'46,2''	3943
08-sep-11	PAR2	Inmediaciones al Río Playitas	6°28'24,3''	72°20'46,3''	3900

**Tabla 2.1** Ubicación espacio-temporal de cada uno de los levantamientos. \*Este levantamiento se realizó específicamente sobre una zona de transición entre el bosque alto andino y el subpáramo.

Las familias y los géneros se registraron con base en la *Flora Genérica de Páramos* (Sklenár *et al.* 2005) y la Guía de campo *Chisacá, un recorrido por los páramos andinos* (Pedraza *et al.* 2004). Se consignaron en orden las especies de plantas no fanerógamas y luego las de fanerógamas. Para el primer caso las abreviaturas utilizadas representan: Adi, Adiantaceae; Cla, Cladoniaceae; Dry, Dryopteridaceae; Equ, Equisetaceae; Iso, Isoetaceae; Lyc, Lycopodiaceae; Pop, Polypodiaceae; Pot, Polytrichaceae; Pte, Pteridaceae y Sph, Sphagnaceae. Para el segundo caso, las abreviaturas significan: Als, Alstroemeriaceae; Api, Apiaceae; Ara, Araliaceae; Ast, Asteraceae; Ber, Berberidaceae; Bro, Bromeliaceae; Cam, Campanulaceae; Car, Caryophyllaceae; Cle, Clethraceae; Clu, Clusiaceae; Cra, Crassulaceae; Cyp, Cyperaceae; Ela, Elaeocarpaceae; Eri, Ericaceae; Ero, Eriocaulaceae; Gen, Gentianaceae; Ger, Geraniaceae; Iri, Iridaceae; Jun, Juncaceae; Mel, Melastomataceae; Myr, Myrsinaceae; Lil, Liliaceae; Orc, Orchidaceae; Oxa, Oxalidaceae; Pip, Piperaceae; Poa, Poaceae; Pol, Polygalaceae; Pog, Polygonaceae; Ran, Ranunculaceae; Ros, Rosaceae; Rub, Rubiaceae; Scr, Scrophulariaceae; Sol, Solanaceae; The, Theaceae y Urt, Urticaceae.

La forma de vida de cada especie fue consignada de acuerdo con las *Observaciones Geobotánicas de Colombia* (Cuatrecasas 1934). Las abreviaturas indican: Arb, Arbórea; Cau, Caulirósula; Ces, Cespi-gramínea, Cri, Criptofruticea; Epi, Epífita; Fru, Fruticea; Peg, Perennigramínea; Peh, Perenniherbácea; Pro, Protereta y Sub, Subfruticea.

En la descripción de los estratos arbustivo y arbóreo se mencionan también el número de individuos presentes en cada cuadrante. Para el caso del estrato arbustivo se utiliza la siguiente simbología de color:

Individuos										
	1	2	3	4	6	7	8	9	10	14

Adicionalmente se tomó una muestra de cuatro hojas de las más homogéneas para cada una de las especies del último estrato (excluyendo rasante y epífita). La consistencia de las hojas fue clasificada de acuerdo con las *Observaciones Geobotánicas de Colombia* (Cuatrecasas 1934), en: Car, Cartácea; Cor, Coriácea y Her; Herbácea. Por último se estimó la cobertura de la necromasa en el suelo y la necromasa en pie.

El procedimiento de laboratorio para el tratamiento de las muestras vegetales y de suelo, que implicó el uso de estereoscopio, mufla, balanza, tubos de ensayo, pHmetro, reactivos, entre otros, tanto para el procesamiento de muestras de vegetación como para el de muestras de suelo, fue llevado a cabo en el laboratorio de Ecología de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.

### Procesamiento de las muestras vegetales

Las muestras foliares fueron fotografiadas con una escala conocida con el fin de obtener el área de las hojas. El área de las hojas de las especies recolectadas fue calculado usando el software ImageJ 1.44 para Windows (Rasband 2011). Conocida el área, se realizó una clasificación en tamaño de la hoja, según la escala de Raunkiaer (1916, en Cuatrecasas 1934): l, leptófila (inferior a 25 mm<sup>2</sup>); n, nanófila (entre 25 y 225 mm<sup>2</sup>); m, micrófila (entre 225 y 2 025 mm<sup>2</sup>) y M, mesófila (entre 2 025 y 18 225 mm<sup>2</sup>). También se registró el revestimiento de las hojas, evaluando a través de un estereoscopio Leica S6E la presencia o no de tricomas de la siguiente manera: A, ausentes; H, presentes en el haz; E, presentes en el envés; T, presentes en el haz y en el envés.

Las muestras foliares recolectadas fueron pesadas en fresco en campo y también pesadas en seco. Con los datos de área foliar y de peso seco fueron calculados el contenido hídrico (peso fresco menos peso seco) el índice foliar específico (IFE, relación área/peso seco) y la masa foliar específica (MFE, relación peso seco/área). Estos índices, junto con el tamaño foliar, peso seco, el contenido hídrico y el revestimiento, fueron graficados en histogramas usando el programa Microsoft Excel 2007 para Windows.

### Procesamiento de las muestras de suelo

En cada levantamiento se realizó un perfil de suelo de máximo 1,5 m de profundidad. En este perfil se describió el tipo de suelo, se midieron tanto los horizontes como la profundidad de las raíces y se determinó la presencia de actividad biológica. Así mismo, por cada levantamiento,

fueron recolectadas entre 2 y 3 muestras en cilindros de PVC y 2 monolitos. Para la medición de las temperaturas se introdujo un termómetro de máximas y mínimas en una perforación de aproximadamente 0,30 m de profundidad, realizada previamente con un barreno.

El contenido de materia orgánica fue hallado tomando entre 12 y 16 g (peso inicial conocido) de suelo del monolito por levantamiento. Este contenido de suelo fue secado en la estufa a 70°C para eliminar el contenido hídrico y obtener el peso seco. Posteriormente se imbibió en peróxido de hidrógeno hasta que cesara el burbujeo y después se introdujo en una mufla a 600°C durante dos horas. Luego de incinerado se registró el nuevo peso. La diferencia entre el peso seco (después de secado en la estufa) y el peso final del suelo sometido a la incineración corresponde a la cantidad de materia orgánica.

La textura del suelo fue evaluada usando el método Bouyoucos, en la Ley de Stokes, que determina el tipo de partícula por su velocidad de sedimentación (Buol *et al* 1973). Una vez el suelo estuvo libre de materia orgánica, se colocó 3 ml de éste en un tubo de ensayo graduado que fue completado con agua destilada hasta 10 ml y se agitó el tubo durante 1 minuto. A los 40 segundos se midió el volumen ocupado por las partículas sedimentadas, correspondiente a la fracción de las arenas. Luego de 2 horas se hizo la medición de la siguiente capa de sedimentos, correspondiente a la fracción de limos y finalmente, pasadas 24 horas, se midió la última capa de sedimentos, correspondiente a la fracción de arcillas.

Para la medición del pH del suelo de cada zona estudiada se tomó un fragmento del monolito de cada bioma, de unas dimensiones aproximadas de 2,5 x 2,5 x 2,5 cm. Posteriormente, el trozo de muestra de suelo se introdujo en un vaso de vidrio de 50 ml, al cual se le agregó agua destilada hasta completar un volumen aproximado de 40 ml y se agitó hasta diluir totalmente el suelo. Con la muestra de suelo líquida se realizó la medida de pH con ayuda del pHmetro.

La presencia de cenizas en una muestra de suelo se corroboró con la ayuda de fenoftaleína y fluoruro de potasio (NaF). Para esto, se humedeció un papel filtro con el indicador fenolftaleína diluida en alcohol y encima se coloca la muestra de suelo (un terrón pequeño, de 1 x 1 x 1cm). Después de esto, se humedeció el terrón de suelo con unas gotas de NaF diluido en agua destilada. Se dejó reaccionar la muestra hasta que el NaF seicara completamente. Si el papel presentaba color fucsia significaba un valor positivo en la presencia de cenizas. Si el color del papel permanecía blanco, la prueba era negativa.

La capacidad de campo se evaluó tomando un volumen conocido de suelo fresco. Luego éste se colocó sobre un embudo ancho con papel filtro humedecido y se agregaron pequeñas cantidades de agua con una pipeta graduada hasta que se observara goteo en la base del embudo, en este punto se midió la cantidad de agua adicionada. Posteriormente el peso seco del suelo fue tomado, con un previo secado en la mufla a 72° C durante 2 horas, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Capacidad de campo (C.C.)} = \text{Volumen ocupado (mm}^3\text{)}/\text{peso de suelo seco (g)}.$$

Para obtener la densidad aparente, que es el grado de compactación del suelo, se tomó el peso en fresco de las muestras de suelo con volumen conocido y se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad aparente (D.A.)} = \text{Peso seco (g)}/\text{Volumen(ml)}$$

El porcentaje de agua en punto de saturación, que es la cantidad máxima de agua que puede retener el suelo, se calculo con la expresión:

$$\% \text{ Saturación de agua (\% Sat. A.)} = (\text{Peso saturado}-\text{Peso seco})/\text{Peso saturado} \times 100$$

Se lavaron las raíces encontradas en los monolitos de cada bioma y tras registrar su peso fresco se secaron a 70° durante 24 horas, posteriormente fueron pesadas en una balanza analítica.

*Índice de valor de importancia (IVI):* fue calculado con los porcentajes de cobertura obtenidos de la suma de las coberturas por especie con respecto a la suma de áreas de todas las parcelas, de igual manera para el porcentaje de frecuencia se obtuvo con la cantidad de veces que las especies aparecían en cada una de las parcelas y asumiendo que el total de parcelas levantadas (23 para el grupo 1 y 16 para el grupo 2) equivalen al 100%.

*Análisis a nivel de bioma:* se realizaron histogramas entre las variables foliares (tamaño, área foliar, peso seco, contenido hídrico, revestimiento, IFE y MFE) con el porcentaje de individuos respectivo. Y se realizó un histograma adicional con las formas de vida

*Análisis a nivel de ecosistema:* Con el registro de las especies, para cada uno de los levantamientos, se hallaron: índice de riqueza (S), dominancia (1/D), Shannon (H), Simpson (1-D), Margalef, equitabilidad de Shannon (J), equitabilidad de Simpson (S/D),  $e^H$  y diversidad beta de Whittaker usando el programa PAST, además de diagramas en torta para la riqueza y la abundancia usando Microsoft Excel 2007.

*Análisis a nivel de paisaje:* con las especies de los 10 mayores IVI se realizaron análisis estadísticos del conjunto de datos de vegetación y suelos mediante la ejecución de análisis de componentes principales (PCA), de correspondencia sin tendencia (DCA) y de correspondencia canónica (CCA), haciendo uso del software Past 2.12 para Windows (Hammer *et al* 2001).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Bioma

En el bosque altoandino las especies que alcanzan la mayor cobertura en el estrato rasante son en su orden *Oxalis* sp., *Vaccinium* sp., *Cladonia* sp., y *Galium* sp.(entre 5-11%); en el estrato herbáceo son *Peperomia* sp. 1, Apiaceae 1, *Bomarea* sp. y Asteraceae 1 (entre 3 y 6%); mientras



que en el estrato arbustivo son *Befaria* sp., *Diplostephium* sp., *Myrsine* sp., y *Eupatorium* sp. (entre 5-13%). Los géneros representados por 2 o más especies son *Diplostephium*, *Eupatorium* y *Peperomia*. Las familias con mayor número de especies son Apiaceae, Asteraceae, Ericaceae, Melastomataceae, Orchidaceae, Piperaceae y Rubiaceae (Tabla 2.2).

Entre los registros para el bosque altoandino cercanos y dentro del área de estudio se encuentran los de Cuatrecasas (1958) para la zona que él considera la *Selva andina* tanto en el Alto del Escobal (3400-3600 msnm) como en el sector de San Paulino en la Sierra Nevada del Cocuy (4000 msnm). Con estos registros se comparte la presencia de árboles de los géneros *Polylepis*, *Gynoxis* y *Hesperomeles*, aunque no se registraron para este estudio árboles de los géneros *Weinmannia* y *Escallonia*, que son de destacar por su amplia distribución en la cordillera Oriental (Cuatrecasas 1958). Sin embargo, la ausencia de estos géneros puede ser explicada por los lugares escogidos para los levantamientos, ya que sí fueron avistados algunos bosques de *Weinmannia* en el área de estudio. Aunque también cabe destacar que el bosque altoandino en la región ha sufrido grandes impactos que todavía se mantienen vigentes, siendo éste deforestado para la siembra de bosques de pino o el pastoreo, por lo que no se descarta que estos impactos también produzcan la ausencia no sólo de las especies dominantes arbóreas sino también la de otras especies en todos los estratos.

Estrato	Taxón		Forma de vida	Levantamiento								Cobertura Total				
	Familia	Especie		BAA1					BAA2							
				A	B	C	D	E	A	B	C		D			
Rasante	CLA	<i>Cladonia</i> sp.	Pro	30	-	28	-	-	-	-	-	-	-	-	6,44	
	POT	<i>Polytrichum</i> sp.	Pro	-	-	-	-	-	-	-	-	1	7	-	0,89	
	ERI	<i>Vaccinium</i> sp.	Cri	36	-	12	10	5	-	-	-	-	-	-	7,00	
	GER	<i>Geranium</i> sp.	Cri	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	0,22	
	OXA	<i>Oxalis</i> sp.	Peh	-	2	-	1	-	-	34	8	41	10	-	10,67	
		<i>Arcytophyllum</i>														
	RUB	<i>muticum</i>	Cri	-	-	-	13	10	-	-	-	-	-	-	2,56	
	RUB	<i>Galium</i> sp.	Peh	-	35	-	-	8	-	-	-	-	3	-	5,11	
	RUB	<i>Nertera</i> sp.	Cri	-	-	-	-	-	-	14	-	6	1	-	2,33	
	API	Apiaceae	Peh	-	-	-	-	-	-	-	-	4	7	-	1,22	
	JUN	<i>Luzula</i> sp.	Peg	-	-	-	-	-	-	3	4	2	4	-	1,44	
	PIP	<i>Peperomia</i> sp.	Epi	-	-	-	-	-	-	15	1	2	6	-	2,67	
	ROS	<i>Rubus</i> sp.	Fru	-	-	-	-	-	-	-	-	5	2	-	0,78	
	SOL	<i>Cestrum</i> sp.	Fru	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	0,22	
Herbáceo	ADI	<i>Adiantum</i> sp.	Peh	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	0,67	
	DRY	<i>Elaphoglossum</i> sp.	Pro	-	-	-	-	-	-	13	-	5	-	-	2,00	
	LYC	<i>Lycopodium complanatum</i>	Peh	1	-	2	2	4	-	-	-	-	-	-	0,94	

LYC	<i>Lycopodium</i> sp. 1	Peh	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	0,11
POP	<i>Polistichum</i> sp.	Peh	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	0,78
POP	<i>Gramitis</i> sp.	Epi	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,11
ALS	<i>Bomarea</i> sp.	Suf	-	20	-	-	-	1	3	14	5	-	-	4,78
AST	<i>Diplostephium</i> sp. 1L	Fru	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	0,22
AST	<i>Diplostephium</i> sp. 1	Fru	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,22
AST	<i>Diplostephium</i> sp. 2	Fru	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,67
AST	<i>Diplostephium</i> sp. 3	Fru	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06
AST	<i>Diplostephium</i> sp. 4	Fru	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	1,11
AST	<i>Diplostephium</i> sp. 5	Fru	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	0,56
AST	<i>Diplostephium</i> sp. 6	Fru	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	0,44
AST	<i>Diplostephium</i> sp. 7	Fru	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	0,06
AST	<i>Diplostephium</i> sp. 8	Fru	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	0,33
AST	<i>Diplostephium</i> sp. 9	Fru	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	0,22
AST	<i>Eupatorium</i> sp. 1	Suf	-	-	-	-	-	2	1	11	2	-	-	1,72
AST	<i>Eupatorium</i> sp. 2	Suf	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	0,44
AST	<i>Eupatorium</i> sp. 3	Suf	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	0,56
BRO	<i>Tillandsia</i> sp.	Epi	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	0,17
CLE	<i>Clethra fimbriata</i>	Arb	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	0,44
ELA	<i>Vallea stipularis</i>	Arb	-	-	-	-	4	-	-	1	3	-	-	0,89
ERI	<i>Bejaria "Befaria" sp.</i>	Fru	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,22
ERI	<i>Hesperomeles</i> sp.	Arb	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33
ERI	<i>Psammisia</i> sp.	Suf	4	-	-	3	11	-	-	-	-	-	-	1,97
MEL	<i>Bucquetia glutinosa</i>	Fru	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,11
MEL	<i>Miconia</i> sp.	Fru	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	1,00
ORC	<i>Altenstenia</i> sp.	Epi	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	0,67
ORC	<i>Elleanthus</i> sp.	Epi	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	0,78
ORC	<i>Odontoglossum lindenii</i>	Epi	15	5	-	-	2	-	-	-	-	-	-	2,44
PIP	<i>Peperomia</i> sp. 1	Epi	35	18	-	4	-	-	-	-	-	-	-	6,33
PIP	<i>Peperomia</i> sp. 2	Epi	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33
ROS	<i>Polylepis</i> sp.	Arb	-	-	-	-	-	-	1	1	6	-	-	0,83
ROS	<i>Rubus eriocarpus</i>	Fru	1	4	1	1	1	-	-	-	-	-	-	0,84
SCR	<i>Calceolaria</i> sp.	Suf	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	0,01
	Pterophyta 1		-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,89
	Pterophyta 2		-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33
API	Apiaceae 1	Peh	-	-	-	-	-	-	-	33	20	-	-	5,89
API	Apiaceae 2	Peh	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,11

	API	Apiaceae 3	Peh	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	0,56
	API	Apiaceae 4	Peh	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	0,78
	API	Apiaceae 5	Peh	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	0,22
	AST	Asteraceae 1		-	-	-	-	-	28	-	-	-	-	3,11
	AST	Asteraceae 2		-	-	-	-	-	-	17	-	-	-	1,89
	AST	Asteraceae 3		-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00
	CRA	Crassulaceae	Peh	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	0,33
	CYP	Cyperaceae 1		1	3	-	5	1	-	-	-	-	-	1,11
	LIL	Liliaceae	Peh	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	0,11
	ERI	Ericaceae		-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	2,22
	MEL	Melastomatacae		-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	0,11
	ORC	Orchidaceae	Epi	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,11
	POA	Poaceae L		-	-	-	-	-	-	-	24	-	-	2,67
	POA	Poaceae		-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	0,22
<b>Arbustivo</b>	ARA	<i>Oreopanax</i> sp.	Arb	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	0,33
	AST	<i>Diplostephium</i> sp.	Fru	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	0,11
	AST	<i>Diplostephium</i> sp. 1	Fru	-	70	-	-	-	-	-	-	-	-	7,78
	AST	<i>Diplostephium</i> sp. 2	Fru	-	-	-	-	40	-	-	-	-	-	4,44
	AST	<i>Eupatorium</i> sp.	Suf	-	-	-	-	-	6	-	2	40	-	5,33
	BER	<i>Berberis</i> sp.	Arb	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	0,67
	CLE	<i>Clethra</i> sp.	Arb	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	0,56
	ELA	<i>Vallea stipularis</i>	Arb	-	-	-	-	-	-	1	-	40	-	4,56
	ERI	<i>Bejaria "Befaria"</i> sp.	Fru	60	-	20	30	-	-	-	-	-	-	12,22
	ERI	<i>Hesperomeles</i> sp.	Arb	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	0,67
	ERI	<i>Psammisia</i> sp.	Suf	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	1,11
	MEL	<i>Miconia</i> sp.	Fru	-	-	-	-	2	-	-	2	-	-	0,44
	MYR	<i>Myrsine</i> sp.	Arb	-	-	-	17	45	-	-	1	-	-	7,00
	AST	Asteraceae 1		-	-	-	-	-	12	5	-	20	-	4,11
	AST	Asteraceae 2		-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	0,22
	<b>Arbóreo (no. de individuos)</b>	AST	<i>Diplostephium</i> sp.	Arb	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
AST		<i>Eupatorium</i> sp.	Suf	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
ELA		<i>Vallea stipularis</i>	Arb	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-
ERI		<i>Hesperomeles</i> sp.	Arb	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-
MEL		<i>Miconia</i> sp.	Fru	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
MYR		<i>Myrsine</i> sp.	Arb	-	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-
POL		<i>Monnina</i> sp.	Fru	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ROS		<i>Polylepis</i> sp.	Arb	-	-	-	-	-	2	1	5	-	-	-
SOL	<i>Cestrum</i> sp.	Fru	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	

AST	Asteraceae 1	-	-	-	-	-	5	-	-	-
AST	Asteraceae 2	-	-	-	-	-	2	-	-	-
THE	Theaceae	-	-	-	-	-	-	1	-	-

**Tabla 2.2** Cobertura (%) y número de individuos de la vegetación en los estratos rasante, herbáceo, arbustivo y arbóreo para el bioma bosque altoandino (levantamientos BAA1 y BAA2, letras en mayúscula indican cada uno de los cuadrantes). Forma de vida (Cuatrecasas 1934), familia (Sklenár *et al.* 2005, Pedraza *et al.* 2004) y color descritos en la metodología.

En el subpáramo las especies que alcanzan la mayor cobertura en el estrato rasante son en su orden *Cerastium* sp., *Geranium* sp., *Arcytophyllum muticum*, y *Oxalis* sp. (entre 4-7%); en el estrato herbáceo son *Acaena elongata*, *Orthrosanthus* sp., *Gynoxys* sp1. y *Cestrum* sp. (entre 5 y 18%); mientras que en el estrato arbustivo son *Diplostephium* sp. 1, *Gynoxys* sp. 1, *Cestrum* sp. , *Ageratina* sp. 1 y *Pentacalia vaccinioides* (entre 8-20%). Los géneros con 2 o más especies son *Gynoxis*, *Ageratina*, *Hypericum* y *Lachemilla*. Las familias con mayor número de especies son Apiaceae, Asteraceae, Poaceae, Rosaceae y Rubiaceae (Tabla 2.3).

El subpáramo ha sido estudiado, entre otros, por Cuatrecasas (1958) y por Cleef (1981) en la cordillera oriental donde éste último afirma que la franja aún se conserva sin intervención humana en algunos lugares poco accesibles, en especial del lado oriental de la Sierra Nevada del Cocuy.

Cuatrecasas (1958) señala la presencia de algunos arbolitos y arbustos característicos en el subpáramo que sólo son esporádicos en la *Selva andina*, y que podrían entrar en lo que Cleef (1981) denomina el subpáramo bajo o páramo arbustivo. En esta “subfranja” los autores destacan a los géneros pertenecientes principalmente a las familias Ericaceae, Asteraceae y Melastomataceae, de los cuales corresponderían principalmente al levantamiento SBP2 (un matorral de transición) *Ageratina*, *Miconia*, *Pentacalia*, *Gynoxys* y *Monnina*. Las especies de estos géneros compartidos son una buena representación de la familia Asteraceae. Sin embargo las familias Melastomataceae y Ericaceae estuvieron mucho menos representadas, lo que como en el caso del bosque altoandino pudo deberse al lugar del levantamiento y que para este caso representaba un parche con zonas muy alteradas en los alrededores.

La otra “subfranja” del subpáramo sería la considerada por Cleef (1981) como subpáramo de arbustos enanos y que coincide más con la fisonomía del levantamiento SBP1 y que a diferencia de la “subfranja” más baja incluye más especies que no son leñosas, entre las que se destacan las macollas de *Calamagrostis effusa* y arbustos de *Diplostephium* spp. En este caso las especies de las familias más destacadas coinciden en el levantamiento con la vegetación que se va tornando más abierta como en el páramo de pajonal y con familias más representadas que en la “subfranja” más baja como lo son Apiaceae, Poaceae y Rubiaceae, aunque en este caso también hay dos especies propia de zonas alteradas y que confirman la cercanía al levantamiento de extensas zonas de pastoreo; éstas son *Anthoxanthum* sp. y *Acaena elongata*.

Estrato	Taxón		Forma de vida	Levantamiento				Cobertura Total				
	Familia	Especie		SBP1			SBP2					
				A	B	C	A		B	C	D	
Rasante	CLA	<i>Cladonia</i> sp.	Pro	-	-	10	-	-	-	-	1,43	
	POT	<i>Polytrichum</i> sp.	Pro	-	1	14	-	-	-	-	2,14	
	API	<i>Hydrocotyle</i> sp.	Peh	-	-	-	-	-	-	1	0,14	
	AST	<i>Hypochaeris sessiliflora</i>	Cri	-	1	1	-	-	-	-	0,21	
	CAR	<i>Cerastium</i> sp.	Peh	-	-	-	6	10	30	3	7,00	
	ERI	<i>Pernettya</i> sp.	Cri	3	-	-	-	-	-	-	0,43	
	GER	<i>Geranium</i> sp.	Cri	1	3	4	10	16	10	1	6,43	
	OXA	<i>Oxalis</i> sp.	Peh	-	-	-	12	5	10	2	4,14	
	ROS	<i>Acaena cylindristachya</i>	Suf	-	-	9	3	6	-	-	2,57	
	ROS	<i>Lachemilla orbiculata</i>	Cri	-	-	-	2	-	5	19	3,71	
	ROS	<i>Lachemilla</i> sp.	Cri	1	1	3	-	-	-	-	0,64	
	ROS	<i>Lachemilla</i> sp. 1	Cri	-	-	-	-	-	4	-	0,57	
	ROS	<i>Lachemilla</i> sp. 2	Cri	-	-	-	-	-	10	-	1,43	
	RUB	<i>Arcytophyllum muticum</i>	Cri	4	4	17	-	-	7	-	4,57	
	RUB	<i>Galium</i> sp.	Peh	-	-	-	-	4	10	13	3,86	
	RUB	<i>Nertera</i> sp.	Cri	-	-	-	-	1	-	-	0,14	
			Bryophyta	Pro	50	-	15	-	-	-	-	9,29
		API	Apiaceae 1	Peh	-	-	6	-	-	-	-	0,86
	API	Apiaceae 2	Peh	-	-	3	-	-	-	-	0,43	
	RUB	Rubiaceae		-	-	4	-	-	-	-	0,57	
	API	<i>Niphogeton</i> sp.	Peh	-	-	-	1	-	-	-	0,14	
	AST	<i>Ageratina</i> sp.	Cri	-	-	-	15	-	15	-	4,29	
	AST	<i>Diplostephium</i> sp. 10	Fru	-	-	1	-	-	-	-	0,07	
	AST	<i>Espeletia lopezii</i>	Cau	3	-	21	-	-	-	-	3,43	
	AST	<i>Espeletiopsis</i> sp.	Cri	-	-	-	-	1	-	-	0,14	
	AST	<i>Gynoxis</i> sp. 1	Arb	-	-	-	-	16	20	10	6,57	
	AST	<i>Gynoxis</i> sp. 2	Fru	-	-	-	-	5	-	-	0,71	
	AST	<i>Pentacalia</i> sp. 1	Suf	5	-	18	-	-	-	-	3,29	
	CAM	<i>Lysipomia</i> sp.	Peh	-	-	-	-	1	-	-	0,14	
	CLU	<i>Hypericum mexicanum</i>	Fru	-	-	-	-	5	-	-	0,71	
	CLU	<i>Hypericum</i> sp.	Fru	1	2	-	-	-	-	-	0,36	
	CYP	<i>Rhyncospora</i> sp.	Cri	-	4	-	-	-	-	-	0,57	
	GEN	<i>Halenia</i> sp.	Peh	-	-	3	-	-	-	-	0,43	
	IRI	<i>Orthrosanthus</i> sp.	Peh	-	-	-	35	9	20	50	16,29	

	PIP	<i>Peperomia</i> sp.	Epi	-	-	-	-	5	-	-	0,71
	POA	<i>Anthoxanthum</i> sp.	Peg	-	3	-	-	-	-	-	0,43
	POA	<i>Calamagrostis</i> sp.	Peg	5	-	-	-	-	-	-	0,71
		<i>Paspalum</i>									
	POA	<i>bonplandianum</i>	Ces	-	2	-	-	7	-	-	1,29
	POG	<i>Rumex</i> sp.	Peh	8	-	-	14	6	6	-	4,86
	ROS	<i>Acaena elongata</i>	Suf	2	-	-	25	23	22	50	17,43
	ROS	<i>Rubus</i> sp.	Fru	-	-	-	8	-	-	-	1,14
	SOL	<i>Cestrum</i> sp.	Fru	-	-	-	13	1	27	-	5,86
	SCR	<i>Bartsia</i> sp.	Cri	2	6	-	-	-	-	-	1,14
	CYP	Cyperaceae		30	-	5	-	-	-	-	5,00
	POA	Poaceae		-	-	-	-	3	-	-	0,43
	URT	Urticaceae		-	-	-	2	2	1	-	0,71
Arbustivo	AST	<i>Ageratina</i> sp. 1	Fru	-	-	-	30	6	20	1	8,14
	AST	<i>Ageratina</i> sp. 2	Fru	-	-	-	-	-	-	1	0,14
	AST	<i>Diplostephium</i> sp. 1	Fru	85	-	57	-	-	-	-	20,29
	AST	<i>Espeletia lopezii</i>	Cau	-	17	-	-	-	-	-	2,43
	AST	<i>Gynoxis</i> sp. 1	Arb	-	-	-	-	16	80	40	19,43
	AST	<i>Gynoxis</i> sp. 2	Fru	-	-	-	-	13	-	-	1,86
		<i>Pentacalia</i>									
	AST	<i>vaccinioides</i>	Suf	5	15	25	-	-	-	-	6,43
	MEL	<i>Miconia</i> sp.	Fru	-	-	-	3	-	-	1	0,57
	POL	<i>Monnina</i> sp.	Fru	-	5	-	15	3	-	10	4,71
	SOL	<i>Cestrum</i> sp.	Fru	-	-	-	40	-	-	35	10,71
	SOL	<i>Solanum</i> sp.	Fru	-	-	-	2	-	-	-	0,29
URT	Urticaceae		-	-	-	-	-	-	1	0,14	

**Tabla 2.3** Cobertura (%) y número de individuos de la vegetación en los estratos rasante, herbáceo y arbustivo para el bioma subpáramo (levantamientos SBP1 y SBP2, letras en mayúscula indican cada uno de los cuadrantes). Forma de vida (Cuatrecasas 1934), familia (Sklenár *et al.* 2005, Pedraza *et al.* 2004) y color descritos en la metodología.

En el páramo las especies que alcanzan la mayor cobertura en el estrato rasante son en su orden *A. muticum*, *Geranium* sp., *Oritrophium limnophilum* y *Vaccinium* sp. (entre 5-10%); en el estrato herbáceo son *E. lopezii*, *Orthrosanthus* sp., *Gynoxys* sp. 1 y *Cestrum* sp. (entre 5 y 27%); mientras que en el estrato arbustivo son *E. lopezii* y *P. vaccinioides* (entre 8-35%). Los géneros con 2 o más especies son *Diplostephium*, *Pentacalia*, *Hypericum* y *Lachemilla*. Las familias con mayor número de especies son Asteraceae, Clusiaceae, Cyperaceae, Poaceae, Rosaceae y Rubiaceae (Tabla 2.4).

La franja media de páramo, también llamada por Cuatrecasas (1958) páramo propiamente dicho y por Cleef (1981) páramo de pajonal, es la franja de mayor distribución altitudinal, así como la que más estudios ha recibido (Luteyn 1999). En esta franja las especies que más sobresale fisionómicamente son las de la subtribu Espeletinae (Cuatrecasas 1934, 1958). El páramo se destaca por las gramíneas en macollas, las compuestas en caulirósulas, algunos géneros de arbustos representativos como *Vaccinium*, *Gaultheria*, *Pernettya*, *Hypericum*, *Diplostephium* y en sitios muy húmedos las rosetas en alfombras de *Plantago rigida* y de *Distichia tolimensis* (Cuatrecasas 1958). Cleef (1981) menciona al páramo de pajonal como aquél que se encuentra en las vertientes secas de las cordilleras, a diferencia del páramo de bambú que está en las vertientes húmedas. Este páramo de pajonal lo caracteriza, además de lo ya mencionado por Cuatrecasas (1958), por especies pequeñas de los géneros *Acaena*, *Paepalanthus*, *Oreobolus*, *Luzula* y *Rhynchospora*.

La comparación con lo registrado en los levantamientos en el bioma de páramo, coinciden con la fisonomía de un típico páramo de frailejonal con abundantes pastos de las familias Poaceae y Cyperaceae, las típicas caulirósulas en este caso de la dominante *E. lopezii* y con especies acompañantes en los diferentes estratos como lo son *Vaccinium* sp., *Hypericum* spp., *Lachemilla* spp., *A. muticum*, *Pentacalia* spp. y *Diplostephium* spp. Esta zona tampoco escapa a la influencia humana señalada en los dos biomas anteriores, con la presencia, además de *Anthoxanthum* sp., de *Rumex* sp.

Estrato	Taxón		Forma de vida	Levantamiento												Cobertura Total		
	Familia	Especie		PAR1						PAR2								
				A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F		G	H
Rasante	CLA	<i>Cladonia</i> sp.	Pro	-	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,57
	ISO	<i>Isoetes</i> sp.	Peh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	0,07
	POT	<i>Polytrichum</i> sp.	Pro	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,57
	SPH	<i>Sphagnum</i> sp.	Pro	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14
	AST	<i>Floscaldasia hysophila</i>	Peh	-	-	-	-	-	-	5	1	-	4	-	2	-	-	0,86
	AST	<i>Hypochaeris sessiliflora</i>	Cri	-	-	-	5	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,43
	AST	<i>Oritrophium limnophilum</i>	Peh	10	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	60	12	-	6,00
	CLU	<i>Hypericum</i> sp.	Cri	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04
	ERI	<i>Pernettya</i> sp.	Cri	-	1	1	1	5	7	-	-	-	-	-	-	-	-	1,07
	ERI	<i>Vaccinium</i> sp.	Cri	-	-	4	1	5	7	2	4	5	6	15	2	10	15	5,41
	ERO	<i>Paepalanthus karstenii</i>	Cri	-	-	3	1	-	-	3	-	1	-	-	-	-	-	0,46

	GER	<i>Geranium</i> sp.	Cri	-	-	1	1	-	-	7	20	3	4	-	1	10	40	6,14
	JUN	<i>Distichia tolimensis</i>	Cri	5	1	10	10	-	-	1	-	6	-	-	-	9	-	3,00
	RAN	<i>Ranunculus</i> sp.	Peh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	1,00
	ROS	<i>Lachemilla orbiculata</i>	Cri	-	-	-	-	-	-	1	4	1	6	2	-	10	20	3,12
	ROS	<i>Lachemilla</i> sp.	Cri	-	5	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	0,57
	ROS	<i>Lachemilla</i> sp. 1	Cri	-	-	-	-	-	-	8	-	-	2	-	-	-	-	0,68
	ROS	<i>Lachemilla</i> sp. 2	Cri	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	8	10	2,00
	RUB	<i>Arcytophyllum muticum</i>	Cri	2	-	20	-	15	-	7	40	5	4	40	-	-	-	9,50
	RUB	<i>Galium</i> sp.	Peh	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04
	RUB	<i>Nertera</i> sp.	Cri	-	15	-	-	-	1	3	-	-	-	-	-	-	-	1,36
		Bryophyta	Pro	29	-	-	-	-	70	-	-	-	-	-	-	-	-	7,07
	CYP	Cyperaceae		-	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	-	-	3,57
<b>Herbáceo</b>	LYC	<i>Lycopodium complanatum</i>	Peh	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07
	LYC	<i>Lycopodium</i> sp. 1	Peh	3	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,36
	API	<i>Niphogeton</i> sp.	Peh	-	20	-	-	-	1	2	8	-	-	16	-	8	10	4,64
	AST	<i>Baccharis</i> sp.	Fru	-	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	0,79
	AST	<i>Diplostephium</i> sp. 10	Fru	-	7	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	1,21
	AST	<i>Diplostephium rosmarinifolium</i>	Fru	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,79
	AST	<i>Espeletia lopezii</i>	Cau	-	45	25	5	10	30	38	15	58	46	30	-	60	5	26,21
	AST	<i>Espeletiopsis</i> sp.	Cri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-	1,43
	AST	<i>Pentacalia vaccinioides</i>	Suf	-	-	-	-	-	-	1	-	0	2	-	-	-	40	3,08
	AST	<i>Pentacalia</i> sp. 1	Suf	3	10	-	-	5	6	-	-	-	-	-	-	-	-	1,71
	AST	<i>Pentacalia</i> sp. 2	Suf	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29
	CLU	<i>Hypericum mexicanum</i>	Fru	-	-	-	-	-	-	1	-	2	2	8	-	20	30	4,50
	CLU	<i>Hypericum</i> sp.	Fru	-	-	1	-	10	8	-	-	-	-	-	-	-	-	1,36
	CLU	<i>Hypericum</i> sp. 1	Fru	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	0,36
	CYP	<i>Eleocharis</i> sp.	Peh	50	60	7	5	6	10	-	-	-	-	-	2	-	-	10,00
	CYP	<i>Oreobolus</i> sp.	Ces	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29
	CYP	<i>Rhynchospora</i> sp.	Cri	-	-	-	1	8	30	-	-	2	-	-	30	5	-	5,36
	ERI	<i>Disterigma</i> sp.	Fru	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,71
	GEN	<i>Halenia</i> sp.	Peh	5	25	6	-	1	3	-	-	-	-	-	-	3	-	3,07
	IRI	<i>Orthrosanthus</i> sp.	Peh	-	-	-	-	-	-	7	3	5	12	4	20	10	25	6,14
JUN	<i>Luzula</i> sp.	Peg	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	0,07	



	POA	<i>Agrostis</i> sp.	Peg	-	-	-	-	-	-	-	-	4	18	-	-	-	-	1,57
	POA	<i>Agrostis</i> sp. 1	Peg	-	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21
	POA	<i>Anthoxanthum</i> sp.	Peg	-	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25
	POA	<i>Calamagrostis</i> sp.	Peg	-	1	-	1	-	-	6	-	-	-	26	4	-	-	2,71
	POA	<i>Paspalum bonplandianum</i>	Ces	10	1	3	1	-	5	-	5	-	4	0,5	-	10	-	2,75
	POG	<i>Rumex</i> sp.	Peh	-	-	1	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	0,18
	ROS	<i>Acaena elongata</i>	Suf	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	8	-	0,64
	SCR	<i>Bartsia</i> sp.	Cri	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	0,21
Arbustivo	AST	<i>Ageratina</i> sp.	Fru	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	0,21
	AST	<i>Baccharis</i> sp.	Fru	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,5	-	-	-	0,05
	AST	<i>Diplostephium rosmarinifolium</i>	Fru	-	-	-	7	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	2,64
	AST	<i>Espeletia lopezii</i>	Cau	40	35	35	25	75	10	9	15	15	2	-	60	80	85	34,71
	AST	<i>Pentacalia vaccinioides</i>	Suf	40	-	37	-	15	-	-	1	-	4	2	-	-	15	8,14
	AST	<i>vaccinioides</i>	Suf	40	-	37	-	15	-	-	1	-	4	2	-	-	15	8,14

**Tabla 2.4** Cobertura (%) y número de individuos de la vegetación en los estratos rasante, herbáceo y arbustivo para el bioma páramo (levantamientos PAR1 y PAR2, letras en mayúscula indican cada uno de los cuadrantes). Forma de vida (Cuatrecasas 1934), familia (Sklenár *et al.* 2005, Pedraza *et al.* 2004) y color descritos en la metodología.

En el superpáramo las especies que alcanzan la mayor cobertura en el estrato rasante son en su orden *Vaccinium* sp., *Paepalanthus karstenii* e *Hypochaeris sessiliflora* (5-14%); en el estrato herbáceo son *Eleocharis* sp., *Calamagrostis* sp., *E. cleefii*, *Agrostis* sp. y *Loricaria complanata* (entre 6 y 15%); mientras que en el estrato arbustivo solo es *E. cleefii* (8%). El único género con 2 es *Agrostis*. Las familias con mayor número de especies son Asteraceae, Cyperaceae y Poaceae (Tabla 2.5).

El bioma superpáramo también está incluido en los estudios de Cuatrecasas (1958) y de Cleef (1981). Juntos autores coinciden en que este bioma posee altos endemismos a razón de encontrarse interrumpido a través de los Andes. El primero lo señala como una zona donde la flora es completamente diferente a la del páramo propiamente dicho donde logran sobrevivir especies de los géneros *Senecio*, *Cerastium* y algunas gramíneas, mientras que el segundo hace como en las demás franjas del páramo, una división en superpáramo alto y bajo. El superpáramo bajo es el que coincide con el levantamiento realizado, con características como la presencia de los arbustos de *Loricaria complanata*, así como de *Bartsia* sp. y *Agrostis* spp. Los géneros típicos mencionados por Cuatrecasas (1958) no fueron registrados, aunque si se encontraban en la zona de estudio, por lo que su ausencia está dada por el lugar del levantamiento.

Estrato	Taxón		Forma de vida	Levantamiento									Cobertura Total
	Familia	Especie		SPP									
				A	B	C	D	E	F	G	H	I	
Rasante	AST	<i>Hypochaeris sessiliflora</i>	Cri	-	1	5	1	15	20	1	5	-	5,22
	AST	<i>Oritrophium limnophilum</i>	Peh	1	-	-	5	-	-	1	-	-	0,78
	ERI	<i>Pernettya</i> sp.	Cri	-	-	-	-	-	-	5	-	-	0,56
	ERI	<i>Vaccinium</i> sp.	Cri	15	10	-	20	26	18	1	2	30	13,50
	ERO	<i>Paepalanthus karstenii</i>	Cri	0,5	1	36	1	-	2	-	1	-	4,56
	ROS	<i>Lachemilla</i> sp.	Cri	-	1	3	-	-	-	-	-	-	0,44
		Bryophyta	Pro	25	-	-	-	-	-	-	-	-	2,78
Herbáceo	LYC	<i>Lycopodium</i> sp. 1	Peh	1	-	-	-	5	-	-	-	-	0,67
	LYC	<i>Huperzia</i> sp.	Peh	1	1	-	-	6	-	-	-	-	0,89
	PTE	<i>Jamesonia</i> sp.	Cri	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06
	API	<i>Niphogeton</i> sp.	Peh	-	1	-	-	-	-	-	-	-	0,11
	AST	<i>Baccharis</i> sp.	Fru	-	-	-	-	-	-	-	1	-	0,11
	AST	<i>Espeletia cleefii</i>	Cau	10	5	15	18	30	25	-	10	-	12,56
	AST	<i>Espeletiopsis</i> sp.	Cri	-	-	-	-	-	-	-	-	10	1,11
	AST	<i>Loricaria complanata</i>	Fru	23	2	-	30	-	-	5	-	-	6,67
	AST	<i>Pentacalia</i> sp. 1	Suf	-	-	-	-	-	1	1	2	1	0,50
	BRO	<i>Puya</i> sp.	Cri	-	-	-	-	-	-	1	-	-	0,11
	CLU	<i>Hypericum</i> sp.	Fru	-	1	-	-	-	-	-	-	-	0,11
	CYP	<i>Carex</i> sp.	Cri	2	1	-	10	17	10	3	10	-	5,89
	CYP	<i>Eleocharis</i> sp.	Peh	0,5	1	26	40	50	33	1	15	-	18,44
	GEN	<i>Gentianella</i> sp.	Cri	1	1	-	1	-	5	-	-	-	0,83
	POA	<i>Agrostis</i> sp. 1	Peg	15	5	15	27	4	-	15	5	-	9,56
	POA	<i>Agrostis</i> sp. 2	Peg	1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,11
	POA	<i>Calamagrostis</i> sp.	Peg	-	10	10	-	8	10	15	50	30	14,78
	SCR	<i>Bartsia</i> sp.	Cri	-	-	-	1	2	-	1	-	-	0,33
CYP	Cyperaceae 3		-	-	3	-	-	-	-	-	-	0,33	
ARBUSCIV 0	AST	<i>Espeletia cleefii</i>	Cau	-	35	10	10	8	-	8	2	-	8,11
	AST	<i>Loricaria complanata</i>	Suf	-	-	-	-	-	-	20	-	-	2,22

**Tabla 2.5** Cobertura (%) y número de individuos de la vegetación en los estratos rasante, herbáceo y arbustivo para el bioma superpáramo (levantamiento SPP). Forma de vida (Cuatrecasas 1934), familia (Sklenár *et al.* 2005, Pedraza *et al.* 2004) y color descritos en la metodología.

A nivel de estratos para todos los biomas, las especies con mayor cobertura para el estrato rasante son *Vaccinium* sp., *Paepalanthus karstenii*, *Arcytophyllum muticum*, *Geranium* sp., *Oxalis* sp. y *Lachemilla* spp. Para el estrato herbáceo se destacan *Espeletia lopezii*, *Carex* sp., *Eleocharis* sp., *Pentacalia* sp. 1, *Agrostis* sp. 1, *Peperomia* sp. 1, *Cestrum* sp., *Acaena elongata*, *Orthrosanthus* sp. e *Hypericum mexicanum*. En el estrato arbustivo sobresalen *Espeletia lopezii*, *Pentacalia vaccinioides*, *Diplostephium* sp.1, *Bejaria* sp., *Myrsine* sp. *Ageratina* sp. 1, *Gynoxys* sp., *Eupatorium* sp. y *Vallea stipularis*. En el estrato arbóreo se destacan, mediante el conteo de individuos *Myrsine* sp. y *Polylepis* sp. (Tablas 2.2-2.5).

Bioma	Estrato			Formas de vida
	Rasante	Herbáceo	Arbustivo	
<b>BAA</b>	<i>Cladonia</i> sp., <i>Vaccinium</i> sp., <i>Oxalis</i> sp., <i>Galium</i> sp.	<i>Bomarea</i> sp., <i>Peperomia</i> sp., Apiaceae 1, Asteraceae 1	<i>Diplostephium</i> sp. 1, <i>Eupatorium</i> sp. 1, <i>Befaria</i> sp. <i>Myrsine</i> sp.	Arbórea, Fruticea, Perenniherbácea, Epífita
<b>SBP</b>	<i>Cerastium</i> sp., <i>Geranium</i> sp., <i>Oxalis</i> sp., <i>Arcytophyllum</i> <i>muticum</i>	<i>Gynoxys</i> sp. 1, <i>Othrosanthus</i> sp., <i>Acaena elongata</i> , <i>Cestrum</i> sp.	<i>Ageratina</i> sp. 1, <i>Diplostephium</i> sp. 1, <i>Gynoxys</i> sp. 1, <i>Pentacalia</i> <i>vaccinioides</i> , <i>Cestrum</i> sp.	Fruticea, Criptofruticeta- Perenniherbácea
<b>PAR</b>	<i>Oritrophium</i> <i>limnophilum</i> , <i>Vaccinium</i> sp., <i>Geranium</i> sp., <i>A.</i> <i>muticum</i>	<i>E. lopezii</i> , <i>Eleocharis</i> sp., <i>Rhynchospora</i> sp., <i>Orthrosanthus</i> sp.	<i>E. lopezii</i> , <i>P.</i> <i>vaccinioides</i>	Criptofruticea, Fruticea, Perenniherbácea
<b>SPP</b>	<i>Hypochoeris</i> <i>sessiliflora</i> , <i>Vaccinium</i> sp., <i>Paepalanthus</i> <i>karstenii</i>	<i>E. cleefii</i> , <i>Loricaria</i> <i>complanata</i> ., <i>Eleocharis</i> sp., <i>Agrostis</i> sp. 1, <i>Calamagrostis</i> sp.	<i>E. cleefii</i>	Criptofruticea, Perenniherbácea

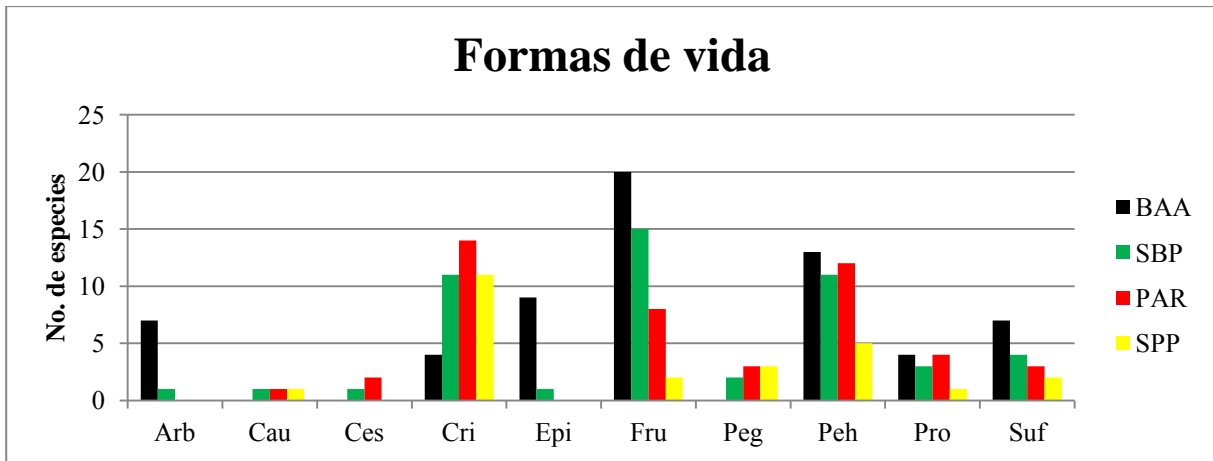
**Tabla 2.6** Especies con mayor cobertura de vegetación por estratos (rasante, herbáceo y arbustivo) y formas de vida (Cuatrecasas 1934) predominantes para los biomas bosque altoandino (BAA), subpáramo (SBP), páramo (PAR) y superpáramo (SSP) correspondientes a los levantamientos BAA1, BAA2, SBP1, SBP2, PAR1, PAR2 y SPP.

A manera de síntesis se presenta la tabla 2.6 con las especies de mayor cobertura por estrato en cada uno de los biomas estudiados, así como las formas de vida destacadas, discutidas más adelante. También hay que rescatar, algunas otras coincidencias con lo señalado por Cleef (1981), como lo son la presencia de un limitado número de especies en todas las tres franjas del páramo, entre las que están *Bartsia* sp., *Hypochoeris sessiliflora*, *Pentacalia vaccinoioides* y

*Pernettya prostrata*; además del endemismo de los géneros *Espeletia*, *Espeletiopsis*, *Bucquetia* y *Aragoa*.

Por otra parte, al comparar las formas de vida entre biomas (Figura 2.1), el bosque altoandino (BAA), alcanza los mayores valores para la mitad de las formas de vida presentes (Arb, Epi, Fru, Peh y Suf), aunque no alberga tres de las formas de vida restantes (Cau, Ces y Peg) y solamente en una forma de vida (Cri) está poco representada y ampliamente superada por los tres tipos de páramo. En el caso del subpáramo (SBP), resalta que es el único bioma con todas las posibles formas de vida presentes, aunque se destaca tan sólo en tres de éstas (Cri, Fru y Peh). Para el caso del páramo (PAR), las formas de vida presentes, en la mayoría de los casos presenta formas de vida con el mismo comportamiento de aquéllas en el subpáramo, con sólo una excepción (Fru). Por último, el superpáramo (SPP) es el bioma con más baja representación en la mayoría de formas de vida que alberga (Fru, Peh, Pro, Suf) y sólo alcanza un valor alto en la forma de vida más predominante para los tres tipos de páramo (Cri) (Anexos 2.1 y 2.2).

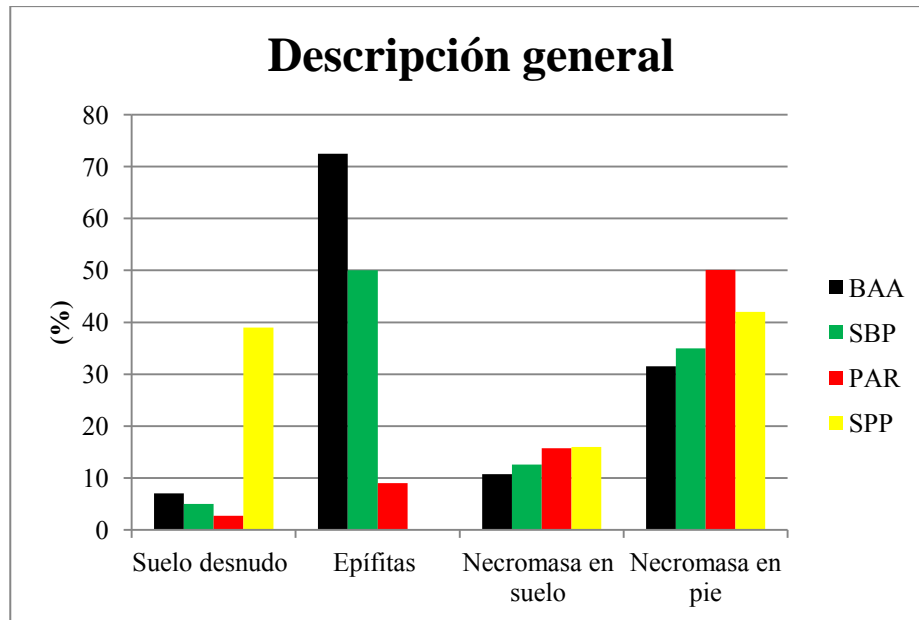
En comparación de los registros en este estudio con los resultados obtenidos por Cuatrecasas (1934) para el bosque altoandino, cuya referencia para este autor estaba sobre la cordillera central en el departamento del Tolima, si es de esperar que se destaquen las formas fruticea y arbórea que enmarcan a este bioma, así como la epífita que vive sobre las anteriores formas y de la cual hacen parte principalmente orquidáceas, bromeliáceas y líquenes, dada la ubicación sobre la vertiente seca de la cordillera. Para las tres franjas de páramo es mucho más profundo el estudio realizado por Cuatrecasas (1934, 1958) ya que agrupa varias asociaciones donde el elemento principal lo conforman especies de *Espeletia*, representantes de la forma de vida caulirósula acompañadas por otras que dadas las condiciones climáticas extremas se han convertido en criptofruticeas, es decir, “arbustos escondidos”. Esta última forma de vida ocupa casi el 50% de las especies e incluye desde especies que podrían parecer perenniherbáceas (*Bartsia* spp., *Bomarea* spp., *Halenia* spp., *Geranium* spp., *Jamesonia* spp., *Ranunculus* spp., entre otras) hasta leñosas notorias pero que han disminuido tanto su tamaño que incluso son más bajas que algunos pastos. La forma de vida criptofruticea responde, de acuerdo con Cuatrecasas (1934) a la tendencia a la protección de las yemas vegetativas, donde las ramas se tornan más apretadas y las hojas muertas bien pueden formar una masa humífera que las oculta o bien la parte leñosa de la planta crece subterránea y expone al aire únicamente hojas en roseta y/o flores. Esta forma de vida está bien representada en los resultados así como tienen sentido la ausencia de formas arbóreas y epífitas en los biomas páramo (PAR) y superpáramo (SPP) donde la ausencia de leños gruesos dificulta la presencia de las últimas; y de formas perennigramíneas en el bosque altoandino (BAA) donde el dosel genera sombra en el suelo donde solo crecen algunos musgos y algunas perenniherbáceas.



**Figura 2.1.** Formas de vida (Cuatrecasas 1934) para cada uno de los biomas estudiados: bosque altoandino (BAA), subpáramo (SBP), páramo (PAR) y superpáramo (SPP) correspondientes a los levantamientos BAA1, BAA2, SBP1, SBP2, PAR1, PAR2 y SPP.

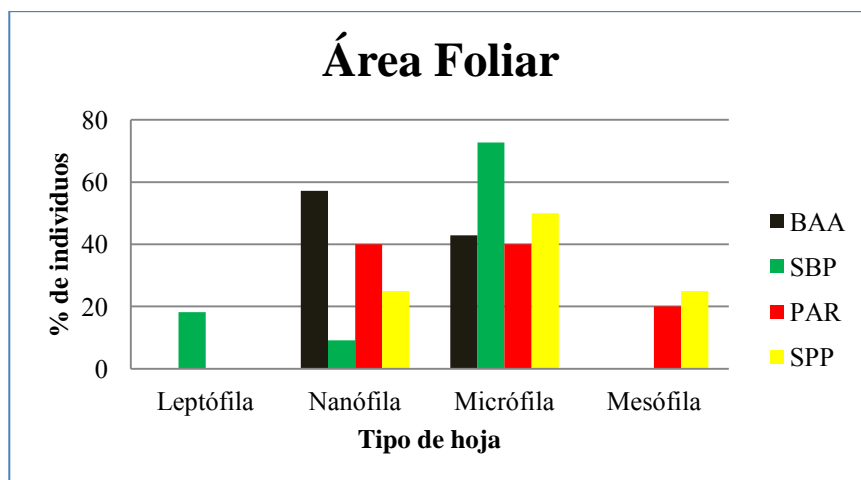
De los otros datos registrados en la descripción, cabe destacar que el bosque altoandino (BAA) también se destaca por el mayor porcentaje de epífitas, así como por los valores más bajos en términos de necromasa en el suelo y en pie (Anexo 2.1, Figura 2.3). El subpáramo (SBP) también alcanza un valor alto de epífitas y valores de necromasa un poco más altos que el bosque altoandino. El páramo propiamente dicho (PAR), es el bioma que registra el mayor porcentaje de necromasa en pie y tiene un valor muy bajo de epífitas. Para el caso del superpáramo, hay una diferencia notable en el porcentaje de suelo respecto a los otros tres biomas, no hay registro de epífitas para el levantamiento y los valores de necromasa en suelo y pie se asemejan con los del páramo (Figura 2.2).

La descripción general coincide con lo reportado y esperado ya que por un lado el suelo desnudo con enorme porcentaje en el superpáramo (SPP) incluye la escasez de sustrato sobre el cual la vegetación pueda formar suelo sumado a la gran presencia de roca expuesta. El porcentaje de epífitas confirma lo indicado en anteriormente con la forma de vida epífita (Figura 1), existente tanto en el bosque altoandino (BAA) como en el subpáramo (SBP) dadas las condiciones de grandes especies leñosas y de un buen dosel que condiciona un microclima más húmedo que en las otras franjas del páramo, protegiendo a las epífitas de la alta radiación solar y de los fuertes vientos que aumentan conforme aumenta la altitud (Rangel & Sturm 1985). Por último la necromasa en suelo y en pie responden en el páramo (PAR) y superpáramo (SPP), como es de esperar, a las caulirósulas de los frailejones, que ante las condiciones extremas mantienen nutrientes y agua en las hojas muertas de su tallo y cuando mueren ocupan una gran parte del suelo en donde su descomposición implica la existencia de muchas otras formas de vida, entre las que se destacan las de insectos, hongos y líquenes (Luteyn 1999, Rangel & Sturm 1985).



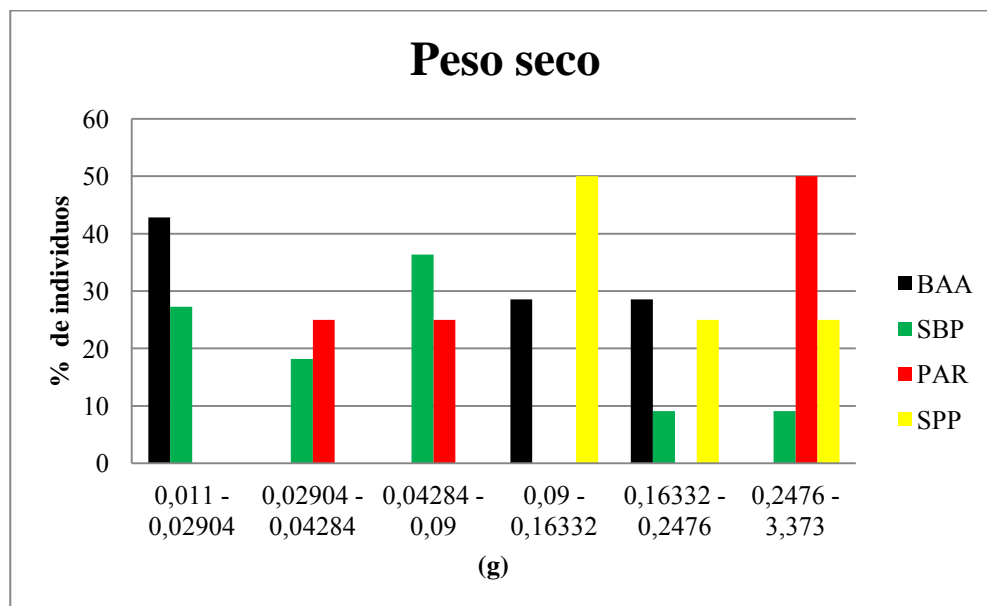
**Figura 2.2.** Comportamiento de los datos para las características adicionales en la descripción para cada uno de los biomos estudiados: bosque altoandino (BAA), subpáramo (SBP), páramo (PAR) y superpáramo (SPP) correspondientes a los levantamientos BAA1, BAA2, SBP1, SBP2, PAR1, PAR2 y SPP.

Continuando con la información tomada de la vegetación, en las variables foliares se destaca que el área foliar (Figura 2.3, Anexos 2.3 y 2.4) en el bosque altoandino (BAA) sólo se presenta hojas nanófilas y micrófilas que pertenecen en gran parte a plantas del género *Diplostephium*, mientras que en el páramo (PAR) y en el superpáramo (SPP) las hojas en su mayoría son micrófilas, presentándose en menor cantidad nanófilas y un poco menos de tipo mesófilas. El subpáramo (SBP) fue el único que tuvo hojas leptófilas aunque en general también domina la microfilia.



**Figura 2.3.** Histograma de área foliar (Raunkiaer, 1934) para cada uno de los biomos estudiados: bosque altoandino (BAA), subpáramo (SBP), páramo (PAR) y superpáramo (SPP) correspondientes a los levantamientos BAA1, BAA2, SBP1, SBP2, PAR1, PAR2 y SPP.

Por otra parte, el peso seco foliar (Figura 2.4, Anexos 2.3 y 2.4), revela que las hojas del superpáramo (SPP) tiene los mayores pesos. El subpáramo (SBP) presenta hojas con todas las clases de pesos, mientras que el bosque altoandino (BAA) presenta el mayor porcentaje en la clase de menores pesos. En el páramo (PAR) y en el superpáramo (SPP) no se presentan hojas con la menor clase de pesos.

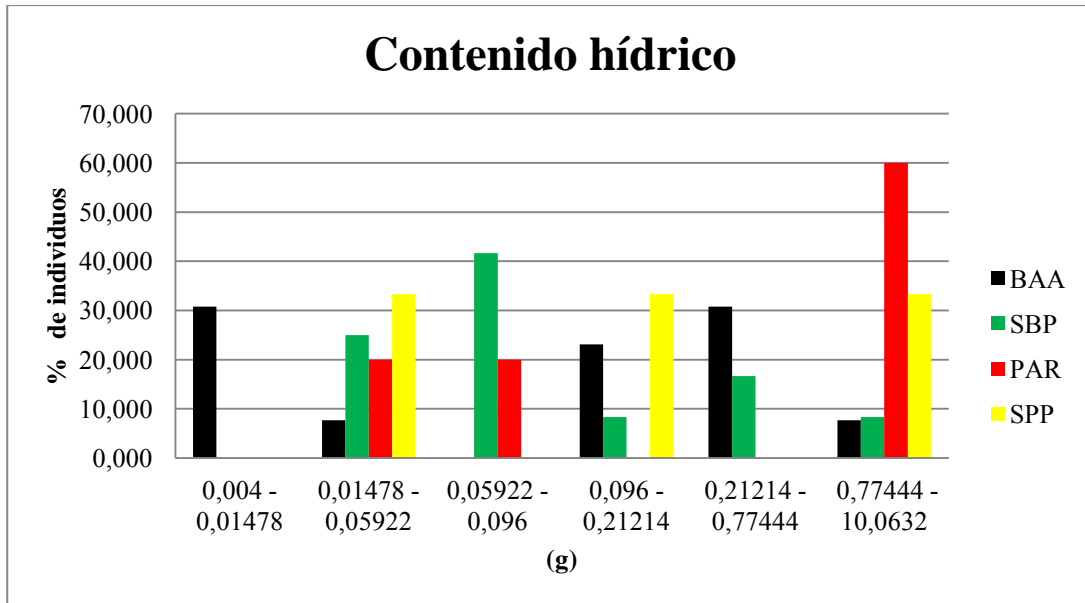


**Figura 2.4.** Histograma de peso seco (g) para cada uno de los biomas estudiados: bosque altoandino (BAA), subpáramo (SBP), páramo (PAR) y superpáramo (SPP) correspondientes a los levantamientos BAA1, BAA2, SBP1, SBP2, PAR1, PAR2 y SPP.

El contenido hídrico en el superpáramo (Figura 2.5, Anexo 2.3 y 2.4) es mayor en relación con los otros biomas, los contenidos hídricos del bosque altoandino (BAA) se encuentran en todas las clases. Las hojas tomentosas sólo se encuentran en el páramo (PAR) y el superpáramo (SPP). En el bosque altoandino (BAA) la mayoría de hojas son glabras, y hay unas pocas con tricomas en el envés. Las hojas del superpáramo (SPP) fueron las únicas con tricomas presentes solamente en el haz.

Las condiciones climáticas del páramo presuponen que la mayoría de plantas tengan modificaciones estructurales que se verán reflejadas en comportamientos fisiológicos diferentes, todo esto con el fin de soportar el ambiente extremo y cambiante. A lo largo de gradientes altitudinales se presentan condiciones abióticas altamente estresantes para las plantas (Körner 2003). Dentro de estas condiciones destacan la alta radiación, las bajas temperaturas, la corta estación de crecimiento y la inestabilidad del sustrato (Körner 2003, Cavieres *et al.* 2006). La combinación de estas condiciones repercute negativamente sobre la actividad de las plantas (Molina-Montenegro *et al.* 2005). Muchos estudios han mostrado que las plantas modifican su morfología a lo largo de estos gradientes altitudinales como estrategia para mitigar las

condiciones climáticas limitantes (Filella & Peñuelas 1999, Rundel *et al.* 1994, Körner 2003). Esto se ve reflejado en diferentes formas de vida en cada bioma estudiado, hábitos de crecimiento, contenido hídrico y relación peso/área.



**Figura 2.5.** Histograma de frecuencias contenido hídrico (g) para cada uno de los biomas estudiados: bosque altoandino (BAA), subpáramo (SBP), páramo (PAR) y superpáramo (SPP) correspondientes a los levantamientos BAA1, BAA2, SBP1, SBP2, PAR1, PAR2 y SPP.

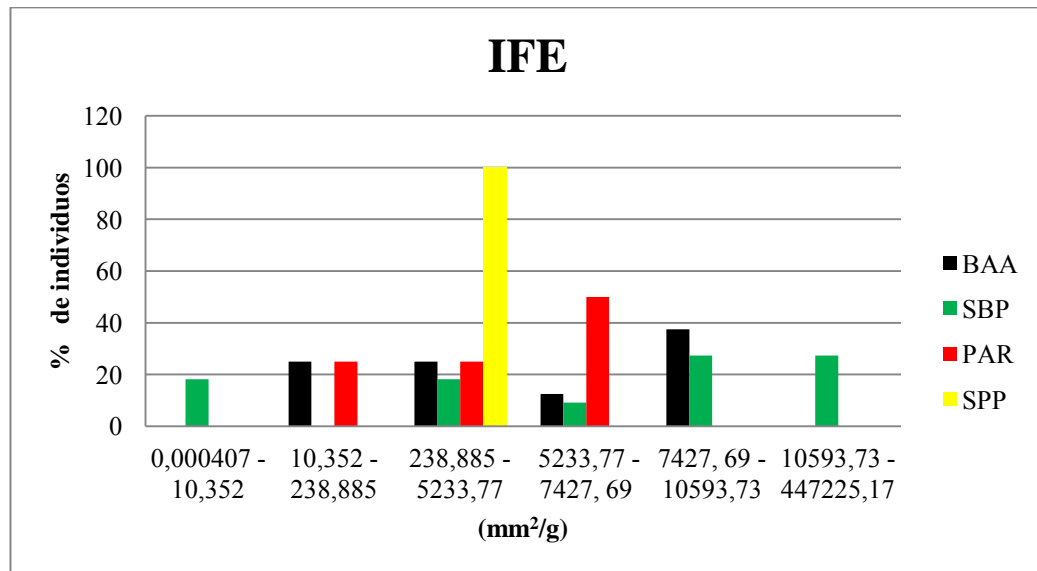
La disminución en la estatura de las plantas, tamaño de las hojas y grosor de las mismas son unas de las características más conspicuas. Por tendencia general el tamaño de las hojas disminuye (exceptuando algunos casos que serán explicados más adelante), la estatura de las plantas disminuye y el grosor aumenta, esto conforme existe un aumento en la altitud. Para el caso del páramo (PAR) y superpáramo (SPP) el resultado contrastante de encontrar hojas mesófilas. El género *Espeletia*, así como varias especies del género *Senecio* (Cleef 1981), posee hojas grandes, lo que va en contra de la tendencia general. Sin embargo posee otras estructuras como la pubescencia foliar que puede contribuir a esta resistencia al estrés, atenuando los efectos negativos de condiciones ambientales adversas sobre el estado fisiológico y el crecimiento. (Molina-Montenegro 2008). Otros rasgos de una misma especie, como el área foliar específica, pueden variar en el espacio (Körner & Cochrane 1985, Reich *et al.* 1997, Filella & Peñuelas 1999) y en el tiempo (Ehleringer 1982, Abrams *et al.* 1994, Wagner *et al.* 2004).

Con el peso seco y el contenido hídrico se puede ver que existe una correlación entre estos dos parámetros, en ambos estuvo por encima el superpáramo (SPP), las hojas al estar bajo condiciones de sequía fisiológica, dependen del agua que puedan almacenar de a pocos para su supervivencia (Larcher, 1995). Cuando el agua alcanza la temperatura a la cual la planta la puede

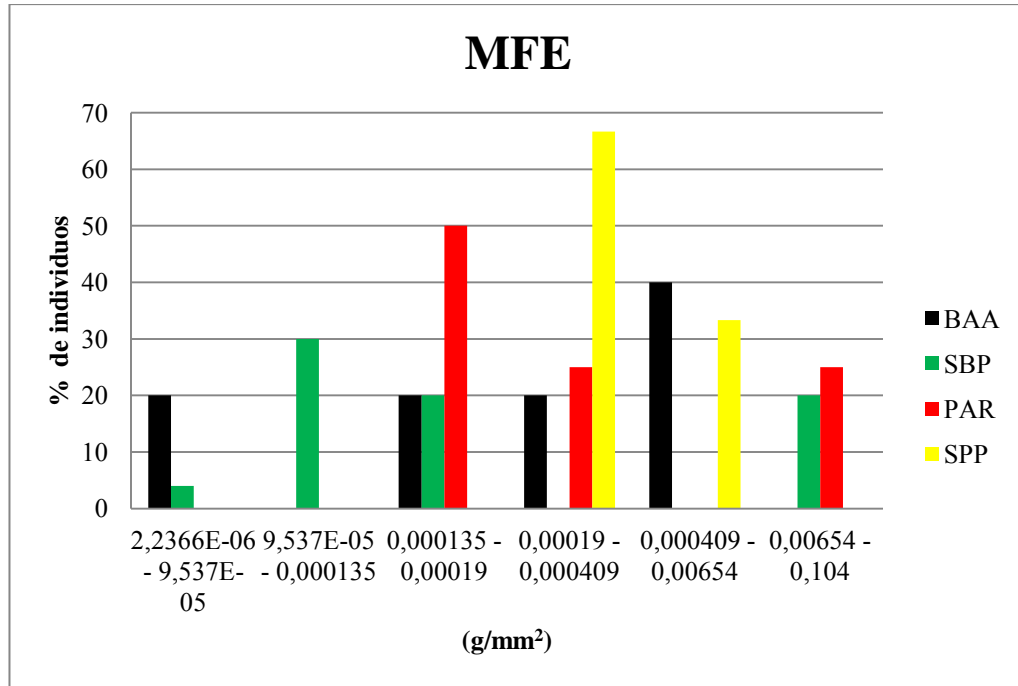


tomar, ésta la debe aprovechar para abastecer sus necesidades y de paso llena sus reservas. Además, el metabolismo de las plantas está adaptado para perder la mínima cantidad de agua posible en procesos de evapotranspiración (Larcher, 1995). Estas condiciones cambian a medida que se baja en el gradiente altitudinal por lo tanto el contenido hídrico disminuye y el peso seco también.

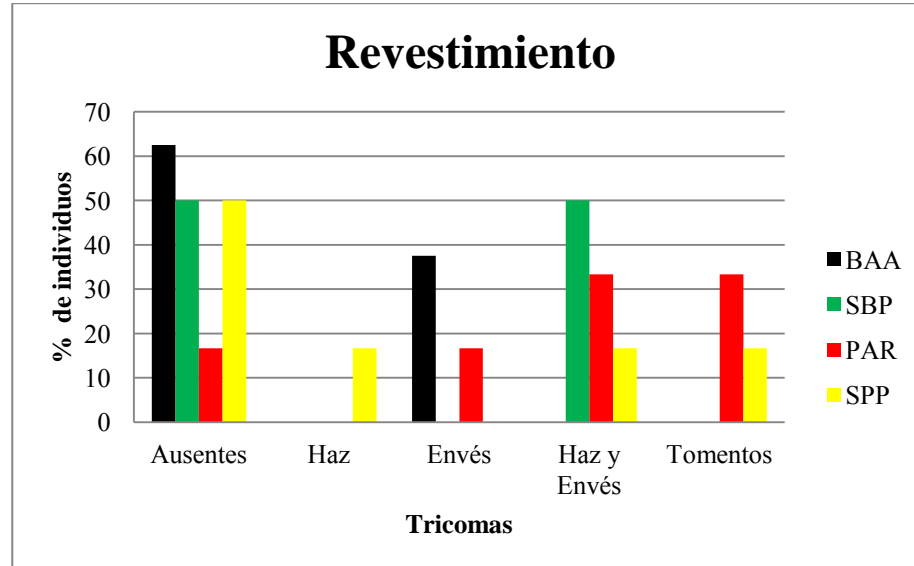
Los resultados obtenidos para los índices IFE (Figura 2.6) y MFE (Figura 2.7) han sido erráticos, no sugieren ninguna tendencia general, estos índices deben estar sujetos al contenido hídrico de la hoja ya que este interviene en gran parte en el peso con respecto al área y viceversa, sin embargo las gráficas no sugieren ningún resultado concluyente. En el revestimiento de las hojas (Figura 2.8), las hojas tomentosas fueron exclusivas de páramo y superpáramo, éstas intervienen en la entrada de CO<sub>2</sub> y la transpiración por que forman una cámara alrededor del estoma generando un microclima, que permite transpiración aunque haya una alta humedad relativa o una película de agua sobre la hoja, además protegen contra la intensa radiación solar y las bajas temperaturas (Körner, 2003). Las comparaciones entre las estructuras asociadas a diferentes biomas, son de gran relevancia, ya que la existencia de plantas en las zonas de climas extremos podría no solamente depender de su especialización estructural, sino también de sus adaptaciones metabólicas (Rundel *et al.* 1994, Körner 2003).



**Figura 2.6.** Histograma de frecuencias índice foliar específico (IFE) para cada uno de los biomas estudiados: bosque altoandino (BAA), subpáramo (SBP), páramo (PAR) y superpáramo (SPP) correspondientes a los levantamientos BAA1, BAA2, SBP1, SBP2, PAR1, PAR2 y SPP.



**Figura 2.7.** Histograma de frecuencias masa foliar específica (MFE) para cada uno de los biomas estudiados: bosque altoandino (BAA), subpáramo (SBP), páramo (PAR) y superpáramo (SPP) correspondientes a los levantamientos BAA1, BAA2, SBP1, SBP2, PAR1, PAR2 y SPP.



**Figura 2.8.** Histograma del revestimiento foliar para cada uno de los biomas estudiados: bosque altoandino (BAA), subpáramo (SBP), páramo (PAR) y superpáramo (SPP) correspondientes a los levantamientos BAA1, BAA2, SBP1, SBP2, PAR1, PAR2 y SPP.

Un panorama síntesis sobre las variables foliares, es mostrado a partir de ordenamientos para los biomas estudiados (Tabla 2.7). En estos, el área foliar muestra una tendencia general a disminuir el área foliar con el aumento de la altura en un gradiente altitudinal, mientras que la el peso seco

muestra como tendencia general el aumento del peso seco conforme aumenta la altura y en el contenido del agua existe un aumento en el contenido de agua conforme se aumenta la altura.

Existe una tendencia general de las plantas a disminuir su área foliar conforme se aumenta la altura, ya que se presentan condiciones abióticas altamente estresantes para las plantas (Körner 2003). Estas condiciones repercuten negativamente sobre la actividad de mismas (Molina-Montenegro *et al.*, 2005) y se ve afectado entre otras su crecimiento, este resultado se puede ver claramente, sin embargo la mayor abundancia de muestras de hojas de *Espeletia lopezii* que existen para el superpáramo desvía el promedio hacia valores más altos.

Al aumentar la altura, no solo se aumenta el peso seco de las hojas, que es una medida de su biomasa, sino que también aumenta el contenido hídrico de las mismas. Esto es consecuencia de las variaciones morfológicas que tienen las hojas al estar sometidas a diversas condiciones físicas impuestas por el medio que se ven reflejadas en un comportamiento funcional (Chandra 2003-2004, Levizou *et al.* 2004). La existencia de plantas en las zonas de climas extremos podría no solamente depender de su especialización estructural, sino también de sus adaptaciones metabólicas (Rundel *et al.* 1994, Körner 2003). Las hojas aumentan sus biomasa en pro de retener más agua ya que las variaciones térmicas diarias, restringen o dificulta la captación del agua del suelo, en cuanto tengan la posibilidad de absorber esta agua deben aprovechar para realizar un almacenamiento oportuno de la misma.

El AFE es una de las principales variables que afectan el crecimiento de las plantas, favoreciendo cambios en la razón del área foliar y en la eficiencia fotosintética del uso de nitrógeno. En este sentido el contenido de nitrógeno en las plantas disminuye durante el crecimiento y presenta una alta correlación con la acumulación de materia seca (Pérez *et al.* 2004). Por lo tanto a mayor altura las plantas deben tener una mayor demanda de luz y su área foliar específica debe ser mayor, esto sujeto nuevamente a las diferentes condiciones que se presentan en los biomas estudiados, sumado a la relación entre AFE y MFE que es casi directa, respondiendo a estas condiciones.

Ordenamiento	Área foliar	Peso seco	Contenido de agua	IFE	MFE
Menor (-)	PAR 0,016554	SBP 0,087182	SBP 0,201818	BAA 1073,798	SPP 0,000555
	SBP 0,03568	BAA 0,1195	BAA 0,245327	SPP 2408,612	BAA 0,004716
	SPP 0,039156	SPP 0,153308	SPP 1,0984	PAR 4726,577	PAR 0,017889
Mayor (+)	BAA 0,060547	PAR 0,867	PAR 3,918167	SBP 9687,901	SBP 0,01866

**Tabla 2.7.** Ordenamiento de los promedios para las variables foliares según los biomas estudiados: bosque altoandino (BAA), subpáramo (SBP), páramo (PAR) y superpáramo (SSP) correspondientes a los levantamientos BAA1, BAA2, SBP1, SBP2, PAR1, PAR2 y SPP.

Por otra parte, continuando en la escala de bioma, los datos del componente edáfico son de tipo descriptivo (Tabla 2.8, Figuras A4 y A5) y de carácter como variable para posteriores análisis estadísticos (Tablas 2.9 y 2.10). Los primeros representan la información general de los perfiles de suelo por cada levantamiento, mientras que la Figura A3 esquematiza los horizontes en los levantamientos BAA1, SBP1, PAR1 y SPP.

Los suelos, dependen de la interacción de los factores formadores; el clima, los organismos, el material parental, el relieve y el tiempo; y aunque todos ejercen su acción en la génesis y la evolución de estos, los estudios realizados en Colombia (Pulido 1988) indican que la contribución del material de origen y el relieve es fundamental.

Las características asociadas con la dinámica de la materia orgánica y productos húmicos resultantes, están influidas fundamentalmente por las condiciones climáticas, los diferentes tipos de materiales que originan los suelos (Andreux 1983) y por el tiempo de evolución se destacan los inceptisoles fundamentalmente las relacionadas con su desarrollo en zonas con pendientes abruptas donde la erosión del suelo continuamente elimina la parte superficial del terreno. En el subpáramo los procesos de formación de suelos incrementan su intensidad, reflejándose en mayores grados evolutivos; no obstante, también, se incrementan los procesos erosivos, no solo vinculados a pendientes altas y sino también a la intervención antrópica (Malagón & Pulido 2000).

En lo referente a la variación en la abundancia de macrofauna en los ecosistemas de alta montaña, los estudios evidencian que las características del suelo, como por ejemplo el contenido de materia orgánica y la estructura, conllevan una heterogeneidad la densidad de diferentes grupos taxonómicos. Cambios en las condiciones climáticas causan alteraciones en la fauna, tal es el caso de las quemadas y la cantidad de precipitación que hace diferir la densidad, biomasa y diversidad de la población (Sendoya 2005). En cuanto a la geografía, se ha encontrado que la altitud incide en la abundancia de los organismos; en el caso de la lombriz de tierra en el páramo, la población disminuye a medida que aumenta la altitud sobre el nivel del mar (Chamorro 1989).

Tanto en el bosque altoandino como en el páramo propiamente dicho se presentan histosoles e inceptisoles, mientras que en el subpáramo los inceptisoles reflejando que no siempre los procesos de formación de suelos incrementan su intensidad, reflejándose en mayores grados evolutivos; en parte este efecto se puede atribuir a que los procesos erosivos incrementan, generalmente vinculados a pendientes altas y a la intervención antropogénica.

Levantamiento	Temp. (°C)	Tipo	Estructura	Horizontes (cm)	Profundidad de raíces (cm)	Descripción
<b>BAA1</b>	15	Histosol	Granular fina (delgada) 1-2 cm	O-0 > 16; O-1 > 20 ; O-2 > 13; A > 57; R	19	Suelo poco evolucionado con gran cantidad de materia orgánica y poco <i>litter</i> . Roca madre meteorizada. Actividad de miriápodos, lombrices hormigas y escarabajos. Pocas hojas y musgo indiferenciable
<b>SBP1</b>	12,5		Granular mediana 2-5 cm	O-1 > 3; A > 30; R	19	Suelo poco evolucionado, no hay <i>litter</i> . Actividad de larvas de coleópteros, miriápodos (escolopendras) y capullos de lombriz.
<b>PAR1</b>	máx. 16, mín. 13	Histosol	Prismática mediana 2-5 cm	O- 10; O-2 > 8; A > 8cm; B > 29 cm	19	Presencia de arcilla formada por meteorización. <i>Litter</i> abundante. Presencia de lombrices.
<b>SPP</b>	máx. 17, mín. 10	Entisol	Prismática fina 1-2 cm	O- No hay; A > 17	19	Suelo incipiente, rankeriforme. Actividad de enquitreidos.
<b>BAA2</b>	máx. 14, mín. 13	Inceptisol	Granular fina (delgada) 1-2 cm	O-0 > 9; O-1 > 8 ; O-2 > 7; A > 40; R	40	Actividad de enquitreidos y miriápodos.
<b>SBP2</b>	máx. 24, mín 20	Inceptisol	Granular mediana 2-5 cm	O-0 > 15; A > 33,5		Galerías de lombrices, larvas de colémbolos, coleópteros y tisanuros.
<b>PAR2</b>	máx. 11, mín. 9	Inceptisol	Prismática mediana 2-5 cm	O-0 > 1; A > 29	30	Presencia de lombrices

**Tabla 2.8.** Descripción general de suelos, por levantamiento.

La cantidad de *litter* presente en el páramo se debe a la necromasa en pie que aporta el frailejón. Las fuertes presiones ambientales que sufren los organismos en el páramo provocan la aparición de una serie de estrategias adaptativas de tipo ecológico, fisiológico, morfológico o comportamentales (Luteyn 1999). Para el caso de los frailejones de los páramos andinos, se pueden encontrar un buen número de estrategias como lo es su capacidad de mantener un microclima particular en sus partes aéreas (Monasterio, 1986). Las hojas que permanecen en el tallo, forman la capa de necromasa en pie que se distribuye distalmente a la dirección del crecimiento (Smith 1979). Esta capa, parece ser fundamental para resistir los cambios de temperatura especialmente en la noche manteniendo temperaturas por encima de 0°C e impide la congelación del agua almacenada en los tejidos de la planta (Smith 1979). Esta capa genera un microclima particular que incluso parece influenciar las condiciones en el suelo aledaño (Pérez 1981). La acumulación de dicha necromasa en muchas especies de *Espeletia* es posible debido a que las bajas temperaturas paramunas y la presencia de resinas aromáticas en las hojas determinan una lenta tasa de descomposición (Smith 1979).

En el superpáramo se encuentran entisoles de tipo rankeriforme especialmente caracterizados por ser suelos inmaduros (Malagón & Pulido 2000) que se encuentran en las primeras etapas de su desarrollo, de lo que se infiere que los factores de génesis edáfica no han actuado durante el tiempo suficiente, y que sus caracteres predominantes son los debidos al tipo de roca madre.

Los biomas de bosque altoandino, subpáramo, páramo y superpáramo estudiados en el PNN-EC responden a un ascenso altitudinal sobre la cordillera oriental y que caracteriza a cada uno de estos con distintas condiciones tanto en la vegetación como en los suelos que la nutren. La vegetación comienza a presentar una fisonomía más baja pasando por los árboles del bosque altoandino, los arbustos del subpáramo y páramo y las hierbas y prados rasantes del páramo y superpáramo.

Así mismo la cobertura responde al gradiente siendo ésta muy poca en el superpáramo y bajando del dosel que crea una zona más cerrada en el bosque altoandino y un poco en el subpáramo a zonas muy abiertas en el páramo y superpáramo. Respondiendo también al aumento en la altitud,, los suelos manifiestan un aumento en la materia orgánica, en la cantidad de arcillas y un descenso en la temperatura, en la actividad de la edafofauna, en la profundidad del sustrato y por ende en la profundidad de las raíces. Este cambio en los suelos contribuye al estrés fisiológico al que se ven sometidas las plantas y que junto con el estrés ambiental que ha causado tanto adaptaciones foliares en hojas de tipo leptófilas y nanófilas con tricomas en el haz y el envés como formas de vida en criptofrúcticas o caulirósulas buscan la protección ante las condiciones extremas del medio.

## **Paisaje**

*Perfiles de suelo:* Los suelos, dependen de la interacción de los factores formadores; el clima, los organismos, el material parental, el relieve y el tiempo; y aunque todos ejercen su acción en la

génesis y la evolución de estos, los estudios realizados en Colombia (Pulido 1988) indican que la contribución del material de origen y el relieve es fundamental.

Las características asociadas con la dinámica de la materia orgánica y productos húmicos resultantes, están influidas fundamentalmente por las condiciones climáticas, los diferentes tipos de materiales que originan los suelos (Andreux 1983) y por el tiempo de evolución se destacan los inceptisoles fundamentalmente las relacionadas con su desarrollo en zonas con pendientes abruptas donde la erosión del suelo continuamente elimina la parte superficial del terreno. En el subpáramo los procesos de formación de suelos incrementan su intensidad, reflejándose en mayores grados evolutivos; no obstante, también, se incrementan los procesos erosivos, no solo vinculados a pendientes altas y sino también a la intervención antrópica (Larcher, 1995).

Levantamiento	Altitud (m.s.n.m.)	Temp. (°C)	M.O. (g)	Textura (%)			pH	Cen.	P.S.R. (g)	Cil.	Peso (g)			C.C.	D. A.	Sat. A. (%)
				A	L	Ar					Fresco	Saturado	Seco			
BAA1	3624	15	2,88	51,85	40,74	7,41	5,10	+	0,04542	A	110,20	130,85	72,30	1,3627	0,7339	45
										B	97,45	115,23	69,68	1,4139	0,7073	40
										C	102,26	114,00	79,59	1,2378	0,8079	30
SBP1	4024	12,5	2,66	57,69	42,31	0	4,67	+	0,01127	A	85,40	122,02	49,92	1,9736	0,5067	59
										B	82,07	102,72	51,89	1,8986	0,5267	49
										C	93,13	104,93	53,60	1,8381	0,5441	49
PAR1	3930	máx. 16, mín. 13	3,04	63,63	31,81	4,54	5,01	+		A	75,90	98,44	16,89	5,8330	0,1714	83
		B								116,48	121,44	45,38	2,1710	0,4606	63	
		C								122,22	131,65	56,46	1,7450	0,5731	57	
SPP	4415	máx. 17, mín. 10	5,07	76,00	29,00	4,54	5,26	+		A	100,84	108,27	32,14	3,0653	0,3262	70
		B								126,73	135,87	40,34	2,4422	0,4095	70	
		C								87,81	105,59	32,77	3,0064	0,3326	69	

**Tabla 2.9.** Datos de las variables edáficas en los levantamientos BAA1, SBP1, PAR1 y SPP. Temp., temperatura; M.O., materia orgánica; A, arenas; L, limos, Ar, arcillas; Cen., prueba de cenizas; P.S.R., peso seco de raíces; Cil., cilindro; C.C., capacidad de campo; D.A., densidad aparente; Sat. A., saturación de agua.

En lo referente a la variación en la abundancia de macrofauna en los ecosistemas de alta montaña, las características del suelo, como por ejemplo el contenido de materia orgánica y la estructura,

conlleven una heterogeneidad la densidad de diferentes grupos taxonómicos. Cambios en las condiciones climáticas causan alteraciones en la fauna, tal es el caso de las quemadas y la cantidad de precipitación que hace diferir la densidad, biomasa y diversidad de la población. En cuanto a la geografía, se ha encontrado que la altitud incide en la abundancia de los organismos; en el caso de la lombriz de tierra en el páramo, la población disminuye a medida que aumenta la altitud sobre el nivel del mar (Chamorro 1989).

Para los análisis de correspondencia canónica (CCA) fue necesario separar en dos graficas las nueve variables. En el primer análisis que se hizo de componentes canónicos se tomaron en cuenta 5 variables: materia orgánica, capacidad de campo, limos, arenas, arcillas y densidad aparente. También se tomaron en cuenta las 10 especies más representativas que se estudiaron (luego de realizarse un Índice de Valor de Importancia). Para la segunda parte del análisis se utilizaron de nuevo materia orgánica, capacidad de campo y densidad aparente, adicionando también pH, altura y temperatura; las mismas especies utilizadas en la primera parte se incluyeron en la segunda parte del análisis de correspondencia canónica.

Levantamiento	Altitud (m.s.n.m.)	Temp. (°C)	M.O. (g)	Textura (%)			pH	Cen.	P.S.R. (g)	Peso (g)		C.C.	D. A.	Sat. A. (%)
				A	L	Ar				Saturado	Seco			
BAA2	3656	máx. 14, mín. 13	1,54	26,15	29,23	44,62	5,32	+	5,21	859,10	753,19	1,4061	1,2675	51
SBP2	3946	máx. 24, mín. 20	1,27	37,50	30,00	32,50	4,64	+	8,16	395,45	316,05	2,5123	1,3703	95
PAR2	3900	máx. 11, mín. 9	1,57	58,82	27,45	13,73	4,89	+	4,74	1446,20	951,00	5,2071	1,0942	82

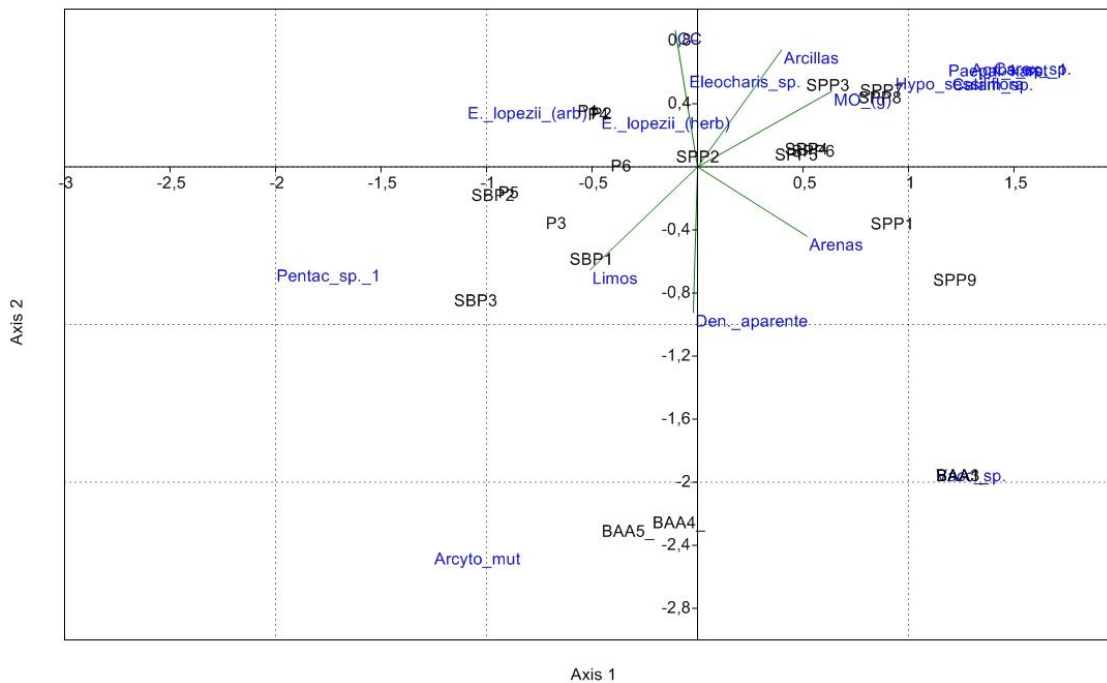
**Tabla 2.10.** Datos de las variables edáficas en los levantamientos BAA2, SBP2 y PAR. Temp., temperatura; M.O., materia orgánica; A, arenas; L, limos, Ar, arcillas; Cen., prueba de cenizas; P.S.R., peso seco de raíces; C.C., capacidad de campo; D.A., densidad aparente; Sat. A., saturación de agua.

#### *Análisis de correspondencia canónica (CCA) Grupo 1:*

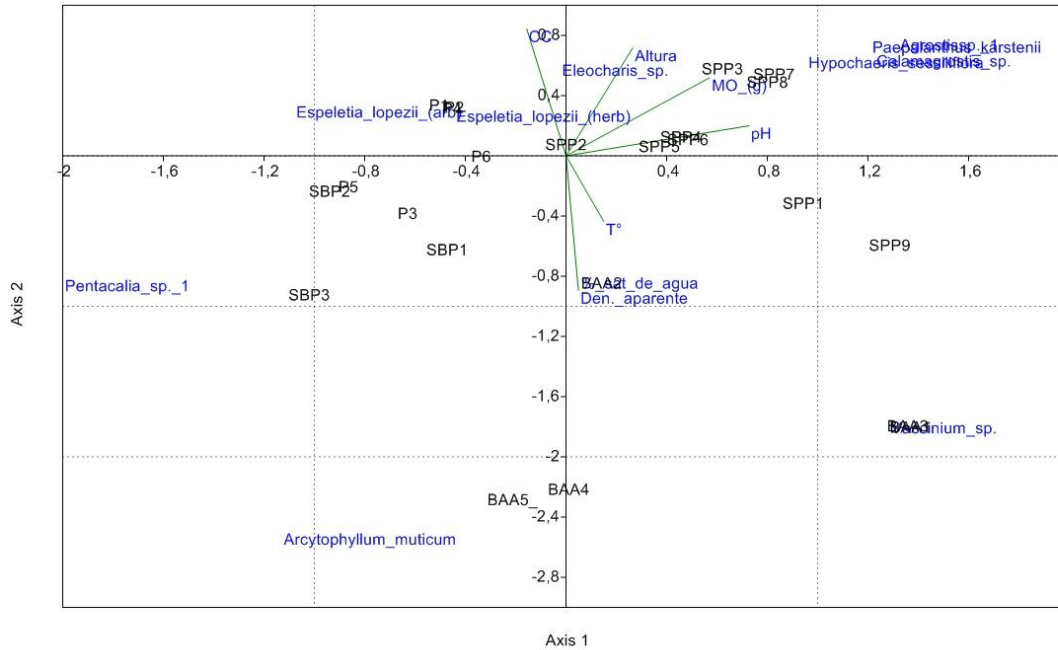
Para la Figura 2.19, se tiene que las seis variables usadas presentan una magnitud similar y no se pueden diferenciar variables de mayor importancia. Se obtuvieron valores propios de 49.76%



para el eje 1; 35,66% para el eje 2 y 14,58% para el eje 3. Se observa que los sitios muestreados están separados en los cuatro cuadrantes y todas las réplicas por ecosistemas están muy cercanas entre sí. Para el bosque altoandino (BAA), los datos se encuentran demasiado dispersos y no comparten cercanía con ninguno de los ejes de las variables. El subpáramo (SBP) se encuentra determinado por la cantidad de limos para la mayoría de los sitios. La capacidad de campo y su eje opuesto, las arenas, se encuentran más cercanas a los datos del páramo (P); además este presenta dos datos alejados de la tendencia normal. Las arenas, la materia orgánica y la baja capacidad de campo, son importantes para la zona de superpáramo (SPP), donde los ejes se encuentran cercanos a las nueve muestras. La densidad aparente no explica ni está asociada a ninguno de los ecosistemas.



**Figura 2.9.** Análisis de correspondencia canónica (CCA) para los cuatro ecosistemas (BAA, SBP, P, SPP), representados en los levantamientos BAA1, SBP1, PAR1 y SPP. Variables de arenas, limos, arcillas, capacidad de campo (CC), densidad aparente (Den\_aparente) y materia orgánica (MO).



**Figura 2.10.** Análisis de correspondencia canónico (CCA) para los cuatro ecosistemas (BAA, SBP, P, SPP), representados en los levantamientos BAA1, SBP1, PAR1 y SPP. Variables de altura, temperatura (T°), pH, capacidad de campo (CC), densidad aparente (Den\_aparente) y materia orgánica (MO).

Un segundo CCA (Figura 2.10), con valores propios de 49,76% para el eje 1; 35,66% para el eje 2 y 14,58% para el eje 3, e incluye la asociación entre altura, temperatura, pH, densidad aparente, materia orgánica y capacidad de campo, muestra que los ejes de las variables si presentan diferencias en sus magnitudes, siendo la densidad aparente el de mayor magnitud y la temperatura el de menor magnitud. Para el bosque altoandino (BAA) se presentan de nuevo unos datos muy dispersos y ninguna variable que se relacione con estos datos. En el páramo (P), la capacidad de campo se asocia con algunos de los datos, mientras que en el subpáramo (SBP) no hay una variable de peso para estos datos, sino que para este caso, las variables del cuadrante opuesto (altura, materia orgánica y pH) se toman en cuenta para la interpretación de los datos. Finalmente, en el superpáramo (SPP), las variables de altura y materia orgánica, son las que más se pueden asociar a los puntos de muestreo, a pesar que hay dos puntos que se pueden considerar como erráticos (SPP1 y SPP9).

A nivel de paisaje, dentro del análisis se encuentran variables en donde su relación es poco frecuente o es ilógica. Los ejes de limos y materia orgánica no son los esperados ya que el contenido de nutrientes en los limos es alto y éste es dado por la materia orgánica disponible en el suelo (Malagón 2000, Matus & Maire 2000). Dadas las circunstancias, estas dos variables se sometieron a análisis de componente principales y se obtuvo que arenas y limos se encuentran en el mismo eje, pero formando un ángulo menor entre estas.

A partir del análisis (Figura 2.9 y 2.10), se encuentra que existen diferencias entre las variables ambientales para cada uno de los ecosistemas. En este caso se pueden relacionar las especies representativas con variables específicas: para bosque altoandino (BAA) se tiene que la presencia de *Vaccinium* sp. y *Arcytophyllum muticum* depende de variables como arenas y limos. Estos datos no se pueden corroborar completamente ya que *Vaccinium* sp. se encuentra a lo largo del gradiente y *A. muticum* está desde el bosque altoandino (BAA) hasta el páramo (PAR). En subpáramo (SBP) se observa que no hay una especie que sea propia, esto se debe a que las especies que están en la matriz, están presentes también en páramo (PAR) y superpáramo (SPP) y además las coberturas de las especies es similar. Para el páramo (PAR) aparecen tres especies asociadas a los puntos: *Eleocharis* sp., *Espeletia lopezii* arbustiva y *Espeletia lopezii* herbácea. Estas especies están más asociadas a los ejes de capacidad de campo y cantidad de limos, y se consideran estas variables, ya que la distancia de los puntos con cada uno de los ejes es similar. En el superpáramo (SPP) se encuentran cuatro especies asociadas: *Hipochaeris sessiliflora*, *Paepalanthus karstenii*, *Agrostis* sp. y *Calamagrostis* sp.

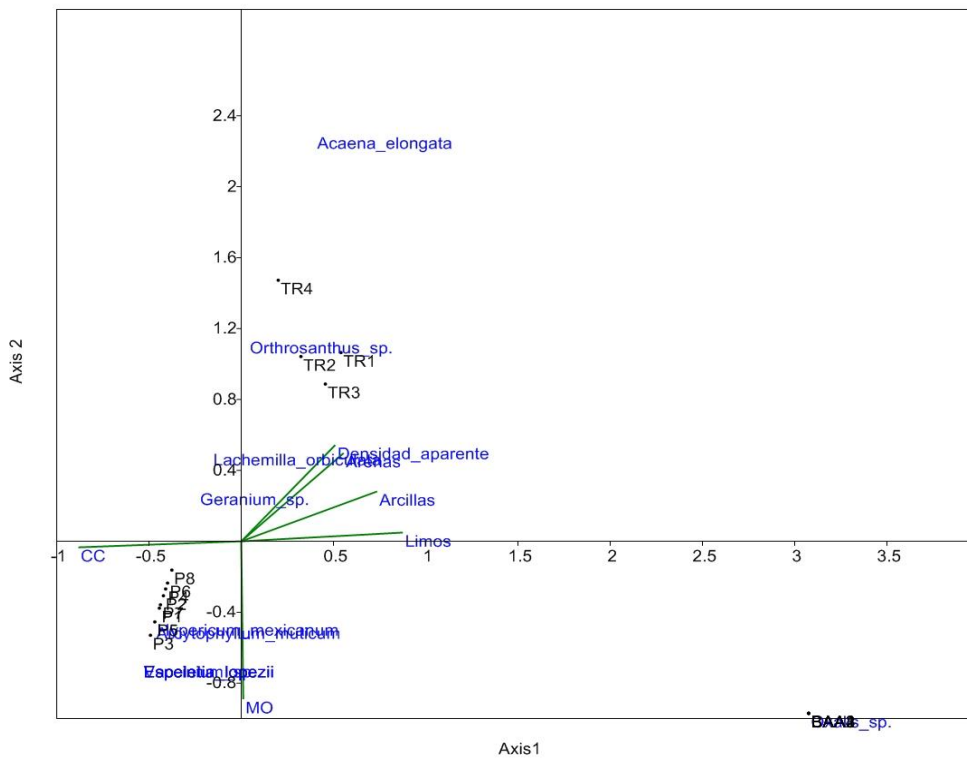
Se tiene que la distribución de los sitios y las especies representativas se mantiene como se obtiene en el CCA anterior; con las nuevas variables se tiene que pH y materia orgánica aparecen en el mismo cuadrante y asociado al superpáramo y sus especies. Esta asociación entre variables es positiva ya que un pH ácido en el suelo disminuye la actividad microbiana y por lo tanto, no la materia orgánica no se degrada sino que se acumula (Yáñez 1989, Malagón 2000). Otra de las variables que se relaciona con la materia orgánica en la gráfica es la cantidad de arcillas y limos; la protección ocurre cuando la materia orgánica es adsorbida sobre la superficie de las partículas de arcilla y limo, o cuando es "incrustada" o recubierta por los minerales de arcilla (Matus & Maire, 2000).

#### *Análisis de correspondencia canónica (CCA) Grupo 2:*

Para este análisis se obtuvieron valores propios de 61,45% para el eje 1 y 38.55% para el eje 2. En la Figura 2.11 se observa una clara relación entre las diferentes muestras tomadas en páramo (PAR2), las plantas más representativas y la materia orgánica. Dicha relación es coherente ya que *Espeletia lopezii*, *Hypericum mexicanum* y *Arcytophyllum muticum* son las tres especies que más cobertura presentaron en este bioma y son casi exclusivas de éste porque fueron poco abundantes en los otros dos, a diferencia de otras especies como *Orthosanthus* sp. que también presentó alta cobertura pero fue abundante también en los otros sitios. Así mismo, se observa que el páramo presenta una tendencia respecto a la materia orgánica, pues los puntos correspondientes al páramo se orientan siguiendo la trayectoria del vector de la materia orgánica. En el caso de *Lachemilla orbiculata*, *Orthosanthus* sp. y *Geranium* sp. no se puede establecer una relación específica con alguna variable abiótica ni con un bioma determinado porque son especies que se encuentran con abundancias similares tanto en el páramo (PAR2) como en el matorral de transición (SBP2), por lo cual presentan una interacción más general con todas las variables que

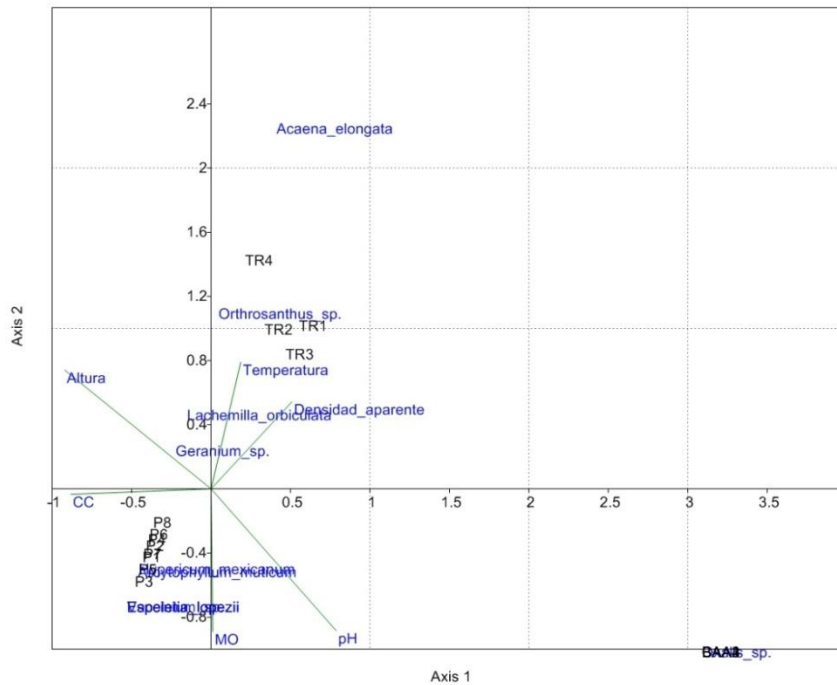
con una sola en específico, sin necesidad de ser tomados como erráticos pues se encuentran bastante cerca del punto donde convergen todos los vectores.

Se observa que en el caso del bosque altoandino (BAA2) y los datos de vegetación tomados allí no se encuentran relacionados a ninguno de los factores abióticos. Este bioma muestra una relación únicamente con *Oxalis sp.* por presentarla como exclusiva, pero esto puede considerarse errático. Así mismo, *Acaena elongata* presenta un comportamiento errático en la gráfica pues no se encuentra asociada a un bioma ni a una variable abiótica.



**Figura 2.11.** Análisis de correspondencia canónico (CCA) de los biomas BAA, SBP (TR) y PAR, representados en los levantamientos BAA2, SBP2 y PAR2. Variables de arenas, limos, arcillas, densidad aparente y materia orgánica (MO).

Para este segundo análisis canónico, se obtuvieron valores propios de 61,45% para el eje 1 y 38,55% para el eje 2. La Figura 2.12 muestra que hay una ligera relación entre la temperatura y la zona de transición pues los puntos de dicha zona se encuentran cercanos a este vector. Los puntos muestreados se encuentran con la misma agrupación que en el primer CCA (Figura 2.14); de la misma forma la relación entre especies vegetales y sitios muestreados se mantiene igual. En esta Figura, pH y altura, además de ser los vectores con mayor relevancia debido a su longitud, son vectores inversos, indicando que a mayor altura hay un pH más ácido.



**Figura 2.12.** Análisis de correspondencia canónico (CCA) de los biomas BAA, SBP (TR) y PAR, representados en los levantamientos BAA2, SBP2 y PAR2. Variables de densidad aparente, materia orgánica (MO), pH, altura y temperatura.

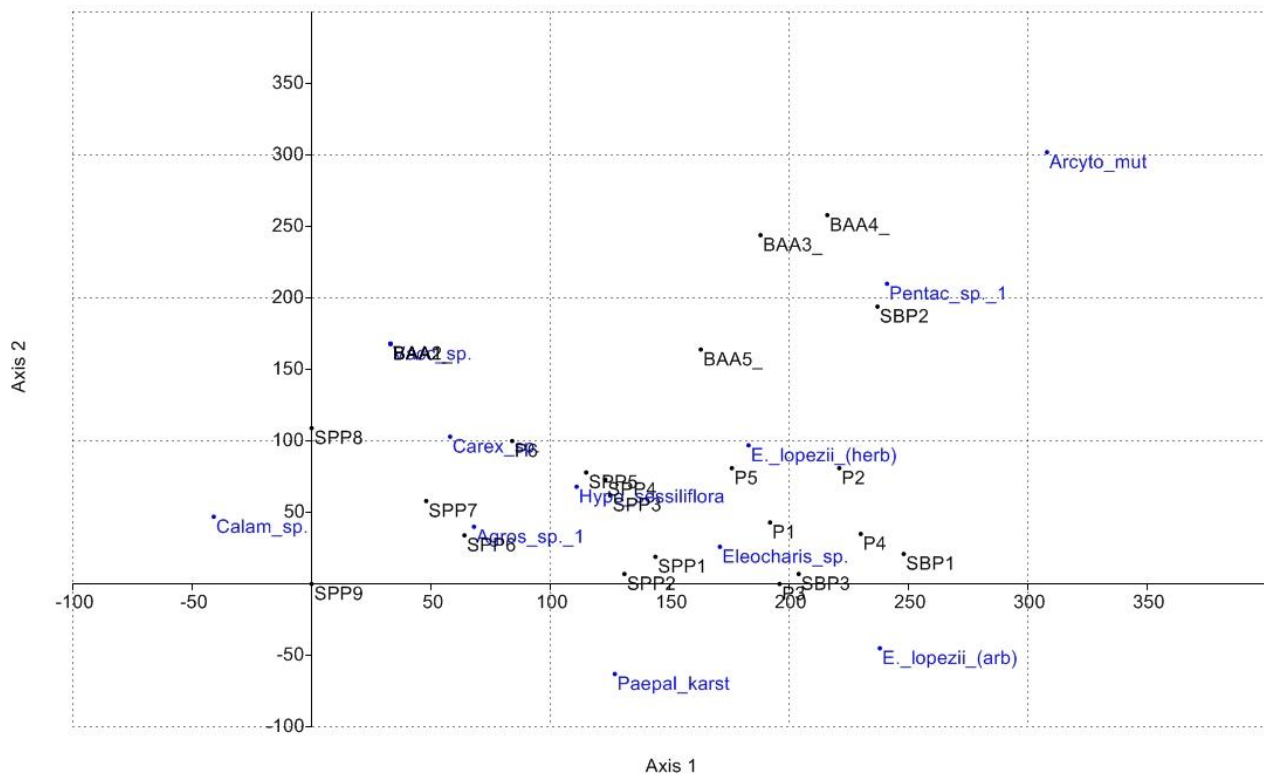
A partir de la información de ambos análisis, en los dos sitios de estudio (grupo 1 y 2) no existen patrones similares ni en cuanto a variables ni a especies presentes, además los valores propios no son tan buenos ni tan altos para la explicación de las variables obtenidas. Observando el análisis para cada uno de los grupos y basados en las diferencias, para el grupo 1, se pueden hablar de cuatro paisajes, los cuales están separados por gradiente altitudinal y textura de suelos. Cada uno de los paisajes puede contener más de un ecosistema; debido a los datos y el análisis con diez especies y las discrepancias que hay entre las variables medidas y las relaciones esperadas entre estas. Para el grupo 2 se tienen tres paisajes, ya que están bien diferenciados y hay una agrupación evidente entre las réplicas entre sitios y las especies más frecuentes y abundantes.

Para ambos grupos de muestreo, se tiene que los ecosistemas se separan en diferentes cuadrantes ya que cada uno tiene una relación con una o tres variables ambientales y/o edáficas. Las magnitudes entre variables son similares ya que no hay réplicas de los datos muestreados y por lo tanto no hay una diferenciación clara entre los valores y en algunos casos en las tendencias esperadas entre estas. Para ambos muestreos (grupo 1 y 2) predominan diferentes variables para cada uno de los biomas muestreados, como por ejemplo, la importancia de los limos para SBP1 y de las arenas para SBP2, lo que indica que estos sitios a pesar de estar dentro del mismo rango altitudinal están determinados por diferencias en variables tanto edáficas como atmosféricas.

La presencia de especies dominantes difiere en ambos sitios de muestreo, tal como pasa en páramo donde la única especie compartida es *E. lopezii* y en bosque altoandino y subpáramo no hay especies compartidas. Es posible que observando todas las especies encontradas en los levantamientos y no solo las de mayor cobertura y frecuencia, se pueda encontrar una mejor afinidad entre los puntos que comparten el mismo gradiente altitudinal y se pueda realizar una mejor aproximación al o a los paisajes que se pueden encontrar.

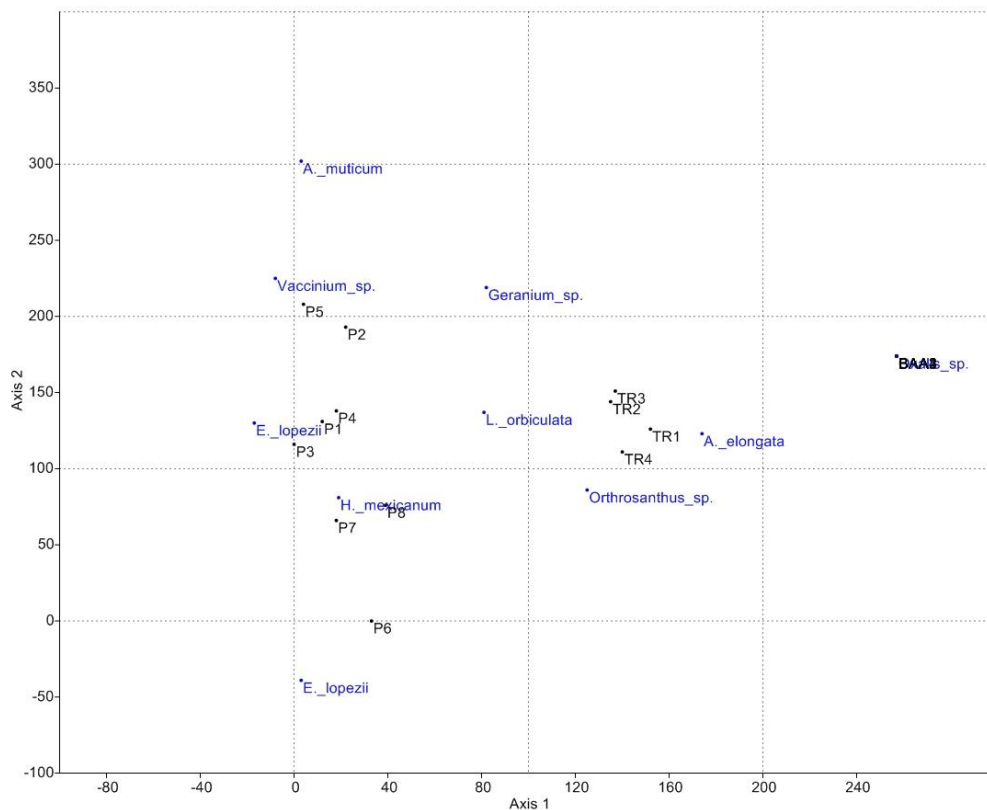
## Ecosistema

Existen especies que se distribuyen de manera asociada a los ecosistemas y otras que no presentan una relación estrecha con estos, las especies exclusivas de cada uno de ellos representan un alto nivel de sensibilidad a el estado del ecosistema y pueden estar relacionadas con interacciones fundamentales para la existencia de la comunidad; lo anterior se puede evidenciar en la Figura 2.13, el ecosistema de PAR1 se encuentra asociado a *E. lopezii*, los levantamientos de SPP se encuentran asociados principalmente a *Agrostis* sp. e *Hypericum sesiflora*, el SBP1 no se encuentra asociado a ninguna especie o grupo de especies en particular y se encuentra disperso en cuanto a composición general. Los levantamientos de BAA1 se encuentran agrupados pero no asociados a alguna de las especies de mayor importancia encontradas. Las otras especies están relacionadas con un punto de muestreo pero al parecer no con el ecosistema de manera estrecha.



**Figura 2.13.** Análisis de correspondencia sin tendencia (DCA) para los cuatro ecosistemas (BAA, SBP, P, SPP), representados en los levantamientos BAA1, SBP1, PAR1 y SPP, junto con las diez especies más representativas (*Agrostis* sp. 1, *A. muticum*, *Calamagrostis* sp., *Carex* sp., *Eleocharis* sp., *E. lopezii*, *H. sessiliflora*, *P. karstenii*, *Pentacalia* sp. 1)

La Figura 2.14 muestra las especies relacionadas con los ecosistemas existentes en el levantamiento 2; el BAA2 se encuentra estrechamente asociado a *Oxalis* sp., el BTR se encuentra asociado a *Lachemilla orbiculata*, *Acaena elongata* y *Orthrosantum* sp. El ecosistema de Páramo (PAR2) presenta una variación en las especies representativas, pero se encuentran agrupadas en el ecosistema.



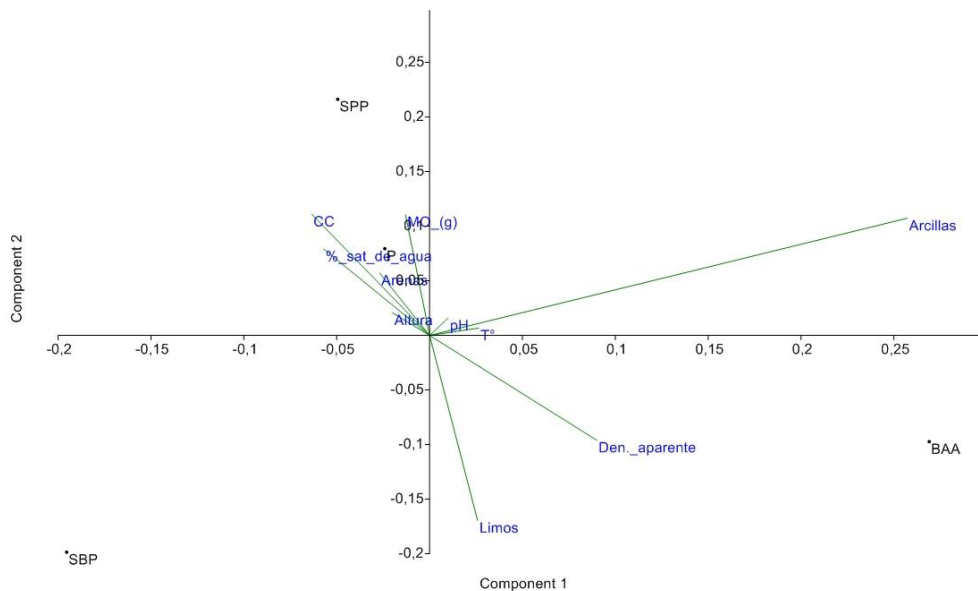
**Figura 2.14.** Análisis de correspondencia sin tendencia (DCA) para los tres ecosistemas BAA, SBP (TR) y PAR, representados en los levantamientos BAA2, SBP2 y PAR2.

*Geranium* sp. y *L. orbiculata* son dos especies que se encuentran de manera casi equitativa entre páramo y bosque de transición, por eso en la gráfica se encuentran en una zona intermedia entre la nube de puntos correspondiente a matorral de transición y la nube de puntos de páramo.

Se puede observar tanto en la Figura 2.13 como en la 2.14 que *Espeletia lopezii* es una de las especies que más individuos presenta puesto que es la única especie que presenta un IVI alto en

ambos estratos (herbáceo y arbustivo) y en ambos grupos de datos tomados. Además se observa que en los dos grupos casos, esta especie se encuentra altamente asociada al páramo, lo cual es de esperarse ya que este género es muy abundante en páramo (Rangel 2000). La excepción se encuentra en la Figura 13, donde se observa que en estrato herbáceo está más relacionado a subpáramo. En el caso de la especie *A. muticum*, se observa que en ambas gráficas no se encuentra relacionado específicamente a ningún bioma pero tampoco se puede considerar errático.

Los ecosistemas están inmersos en una dinámica global y forman un continuo de interacciones clima-biota-geología, para evidenciar las principales relaciones de los ecosistemas con estos componentes se realizó un análisis exploratorio PCA el cual se presenta en las Figuras 2.15 y 2.16, en la Figura 2.15 correspondiente al levantamiento 1 se observa que las variables difieren considerable en su magnitud, es decir, que se encuentran variables más importantes que otras. La cantidad de arcillas es el eje de mayor longitud y por lo tanto, uno de los más importantes, mientras que la capacidad de campo es una de las más cortas y está muy asociada con las arcillas. Se presentan correlaciones negativas entre cantidad de materia orgánica y limos, capacidad de campo y densidad aparente. En relación con los ecosistemas, El BAA1 presenta una relación no tan cercana pero existente con la densidad aparente, el SBP1 no están relacionados con ninguna variable directamente; para el páramo (PAR1) y superpáramo (SPP) hay una fuerte relación con la materia orgánica y capacidad de campo. Las demás variables por no estar tan cerca de los puntos de los ecosistemas, no se consideran como relevantes dentro del comportamiento del sitio.



**Figura 2.15.** Análisis de componentes principales (PCA) de los cuatro ecosistemas (BAA, SBP, P, SPP) representados en los levantamientos BAA1, SBP1, PAR1 y SPP. Variables de arenas, limos, arcillas, capacidad de campo (CC), densidad aparente (Den\_aparente), materia orgánica (MO), altura y temperatura.



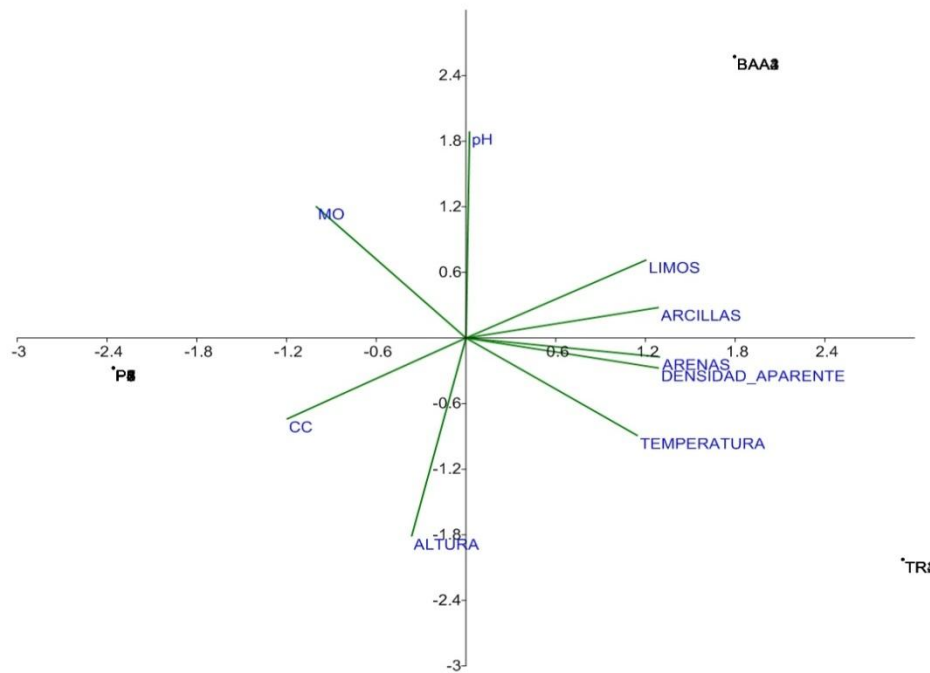
Se tiene que la materia orgánica desempeña un papel importante en la diferenciación de los ecosistemas de páramo (PAR1) y superpáramo (SPP) (Figura 2.15) ya que la materia orgánica en estos lugares presenta las tasas más bajas de descomposición (Llambí & Sarmiento 1998, Díaz-Granados *et al* 2005). Para el bosque alto andino (BAA1) la variable más importante es la densidad aparente y esta relación es válida ya que estos ambientes presentan una densidad aparente alta debido a la alta cantidad de arenas que se pueden encontrar en este bioma (Rubio 2008) y además estas se encuentran estrechamente relacionadas dentro del análisis de componentes principales, incluyendo la capacidad de campo. Para el subpáramo (SBP1) no se encontró ninguna variable representativa dentro del análisis; la cantidad de limos es una variable que se encuentra dentro del mismo cuadrante pero debido a que el punto se encuentra muy alejado del eje, no se puede determinar esta relación. Las variables de pH, altura y temperatura aparecen como ejes muy cortos y esto se puede deber a que en los datos tomados entre sitios no hay una variación considerable.

La Figura 2.17, demuestra una relación entre las variables abióticas y los biomas donde se tomaron las muestras. Comenzando por la textura del suelo donde se tomaron en cuenta las arcillas, los limos y las arenas, se observa una relación muy estrecha entre estas tres variables, y a su vez, ellas se encuentran altamente relacionadas con el bosque alto andino (BAA). Estas tres variables presentan una tendencia opuesta a la que presenta la capacidad de campo, lo cual es de esperarse en el caso de las arenas ya que este es un componente del suelo que disminuye la capacidad de retención de agua, pero en el caso de las arcillas, este resultado es erróneo de acuerdo con Ortiz & Ortiz (1990), quienes plantean que la estrecha asociación entre las arcillas y la materia orgánica incrementa la capacidad de retención de agua. Por este motivo, se realizó un PCA únicamente con los datos de capacidad de campo y arcillas, que a pesar de no resultar en una colinealidad completa, si resulta en una cercanía mayor que en la gráfica del PCA general. Esto indica que los resultados de estas dos variables se ven afectados por otras variables, cambiando así su comportamiento en el análisis de componentes principales.

En cuanto a la materia orgánica que se encontró, no se presenta ninguna relación específica con algún bioma, lo cual puede considerarse como un error al tomar los datos, ya que según Chacón (1997), los suelos de los páramos derivados de cenizas volcánicas tienen alto contenido de materia orgánica. Por otra parte, la materia orgánica presenta una relación clara e inversamente proporcional a la temperatura, resultado que va de acuerdo con lo encontrado en la literatura pues debido al clima frío (entre otros factores), la descomposición de materia orgánica es muy lenta, generando la acumulación de una gruesa capa de suelo orgánico (Mena *et al* 2000). Así mismo, a medida que la temperatura aumenta, la actividad de descomposición se acelera, lo que significa que en el bosque no hay tanta acumulación de materia orgánica.

En la Figura 2.16, las variables de capacidad de campo y densidad aparente son opuestas, lo cual es acertado ya que se ha demostrado que la densidad aparente tiene una relación inversamente

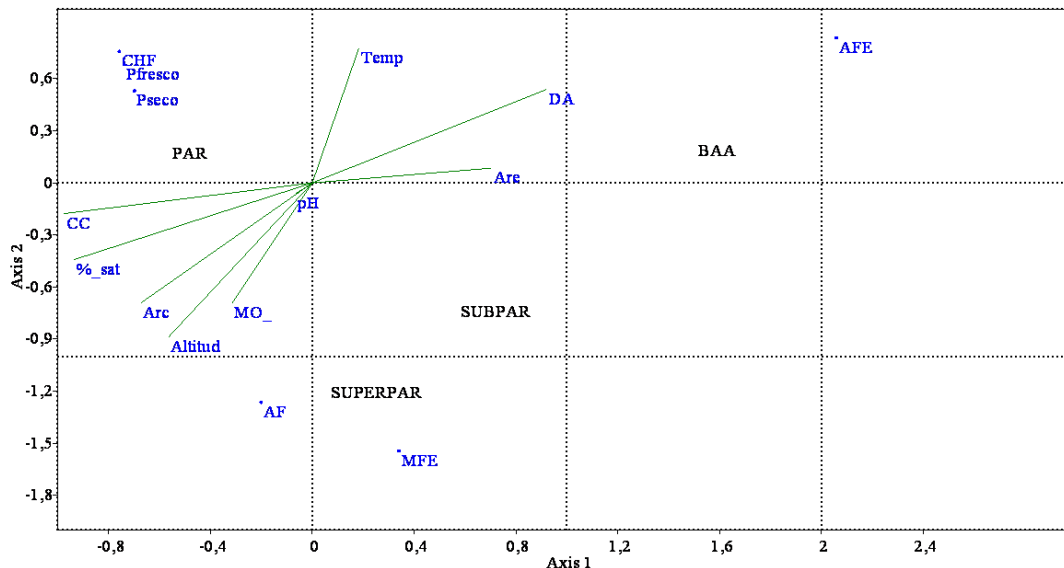
proporcional a la porosidad, es decir que a mayor densidad aparente, menor es la capacidad de campo (Beltrán *et al* 2010). Así mismo, la baja densidad aparente y de la estructura abierta y porosa de los suelos del páramo tienen una capacidad de retención de agua muy alta (Buytaert *et al.* 2003). Además de esto, hay colinealidad entre densidad aparente y el contenido de arenas en las muestras de suelo; variables que según el PCA tienen relación con la zona de transición entre el bosque alto andino (BAA) y el páramo (PAR). Estos datos se encuentran también errados, por lo cual se hizo un análisis de PCA sólo para arenas y densidad aparente, que resultó en una relación casi opuesta. Esto ocurre porque las arenas contribuyen a la porosidad del suelo. También se puede observar en la gráfica que la capacidad de campo no presenta colinealidad con la materia orgánica. De nuevo se presenta inconsistencias con la bibliografía encontrada ya que en los suelos de páramo el alto contenido de materia orgánica genera alta porosidad (Hernández *et al.* 2009). En el caso del (BAA2) y el matorral de transición (SBP2), la materia orgánica no juega un papel tan importante en la capacidad de campo porque no es tan abundante, como se mencionó anteriormente.



**Figura 2.16.** Análisis de componentes principales (PCA) de los ecosistemas BAA, SBP (TR) y PAR, representados en los levantamientos BAA2, SBP2 y PAR2. Variables de arenas, limos, arcillas, capacidad de campo (CC), densidad aparente y materia orgánica (MO), temperatura y altura.

Los diferentes ecosistemas están separados en grupos, aunque en algunos casos, como en subpáramo (SBP) y páramo (P) no todos los datos están dentro de una misma área (Figura 2.17).

Entre las especies observadas, las de mayor afinidad son: para el BAA: *Vaccinium* sp., *Pentacalia* sp. 1 y *Arcytophyllum muticum*; para el subpáramo (SBP), *Eleocharis* sp., y *Espeletia lopezii* arbustiva; para el páramo (P), *Eleocharis* sp., *Carex* sp. y *Espeletia lopezii* herbácea; mientras que para el superpáramo (SPP) están *Agrostis* sp., *Calamagrostis* sp., *Hipochaeris sessiliflora* y *Paepalanthus karstenii*.



**Figura 2.17.** Análisis de correspondencia canónica (CCA) para los ecosistemas de bosque alto andino (BAA), subpáramo (SUBPAR), páramo (PAR) y superpáramo (SUPERPAR), entre variables abióticas y bióticas foliares para los levantamientos BAA1, SBP1, PAR1 y SPP. DA: Densidad aparente; Are: Arenas; L: limos; Arc: Arcillas; CC: Capacidad de campo; MO: Materia orgánica; % Sat: % de saturación de agua del suelo; AF: Área Foliar; CHF: Contenido hídrico foliar; AFE: Área foliar específica; MFE: Masa foliar específica; Temp: Temperatura promedio

En cambio el superpáramo (SPP) se ve más relacionado con área foliar y la masa foliar específica, lo que en parte también está relacionado con la presencia de *E. lopezii* y sus hojas macrófilas, que se pueden dar el gusto de ser amplias en estas condiciones adversas del páramo gracias a sus adaptaciones específicas. Aunque el subpáramo (SBP1) y el bosque alto andino (BAA1) no parecen ser explicados por ninguna de estas variables.

*Correlaciones:* Al observar las variables edáficas vemos la correlación esperada entre el porcentaje de saturación de agua, capacidad de campo, arcillas y materia orgánica, que además parecen aumentar con la franja altitudinal, pues a excepción del superpáramo (SPP), las arcillas y la materia orgánica se va volviendo más abundante a medida en que se asciende desde la franja del bosque alto andino (BAA1). Por el contrario la densidad aparente, disminuye a medida que aumentan las variables anteriormente mencionadas y que disminuye la altitud, siendo el suelo en

bosque alto andino, menos denso. También, la densidad aparente y las arenas tienden a relacionarse inversamente, como era de esperarse, pues entre mas arenas en el suelo, este tiene una estructura menos estable y la porosidad se mantiene. También se puede identificar una correlación negativa entre las arenas y el área foliar, lo que puede darse debido a que el aumento en la cantidad de arenas en el suelo, disminuye su capacidad campo o capacidad de retención de agua, entonces las hojas adaptadas a estas condiciones serán de mesófilas a micrófilas para evitar la pérdida de agua por evapotranspiración (Taiz & Zeiger 2002).

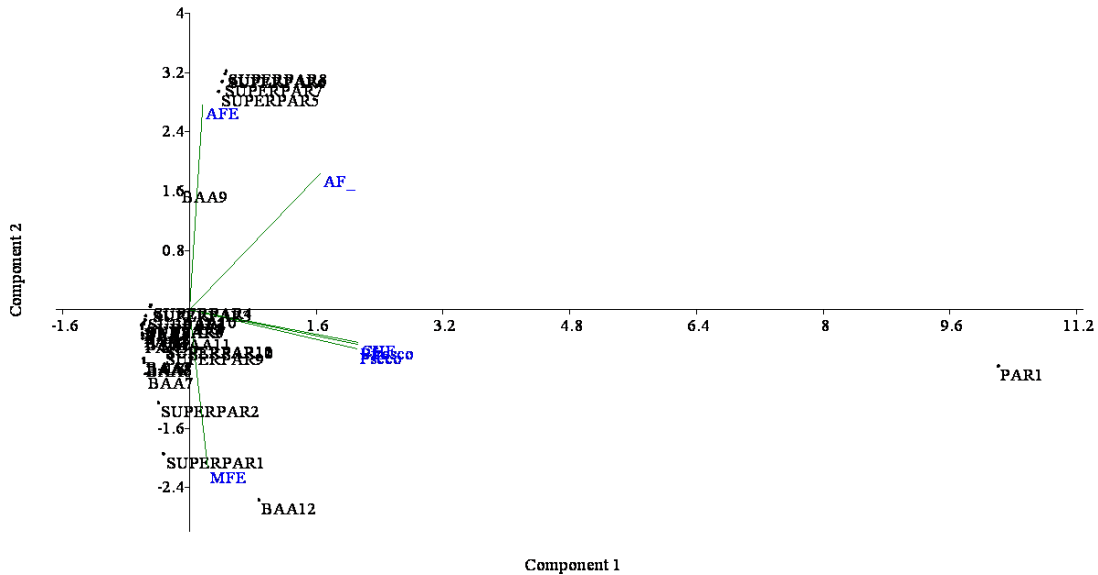
Para no dejar pasar correlaciones importantes entre las variables edáficas y las foliares a nivel de ecosistemas, se calcularon los coeficientes de correlación de Spearman, pero no existe ninguna correlación significativamente estadística.

Se procedió a realizar análisis de componentes principales, pero de los datos individuales por bioma, para así poder organizar las variables, observar la dispersión de los datos e identificar sesgos. Si se observa el análisis de componentes principales de las hojas del estrato arbustivo (Figura 2.18), a nivel de matriz de correlaciones y sin escala de valores propios), se diferencian dos agrupaciones, pero no precisamente por ecosistema: los datos SUPERPAR5, 6, 7 y 8 de superpáramo, que corresponden a *E. lopezii*, que son explicados por el área foliar específica principalmente y el área foliar, pues como ya se mencionó, el área de la hoja respecto al peso (AFE) es grande por su capacidad de conservar agua tanto dentro de las hojas como en su revestimiento y centro de la roseta (Banco de Occidente 2001). Mientras que el otro grupo mezcla todos los tipos de ecosistema y no se detecta un patrón o gradiente, lo que puede deberse a que en general hay poca desviación de las variables foliares entre los diferentes ecosistemas muestreados. Sin embargo las variables que más explican esta agrupación es la masa foliar específica, debido a que en general las hojas de subpáramo, páramo y superpáramo son en general micrófilas, con paredes y cutículas gruesas, lo que aumenta su masa en relación a su área. Aunque para el caso del bosque alto andino, lo que frecuente, son plantas de hojas mesófilas o micrófilas, coriáceas, pero más delgadas, lo que genera el mismo efecto en la relación masa: área. Las otras variables (Peso seco, peso fresco y contenido hídrico foliar) no son variables explicativas de ningún dato y PAR1 parece ser un dato errático.

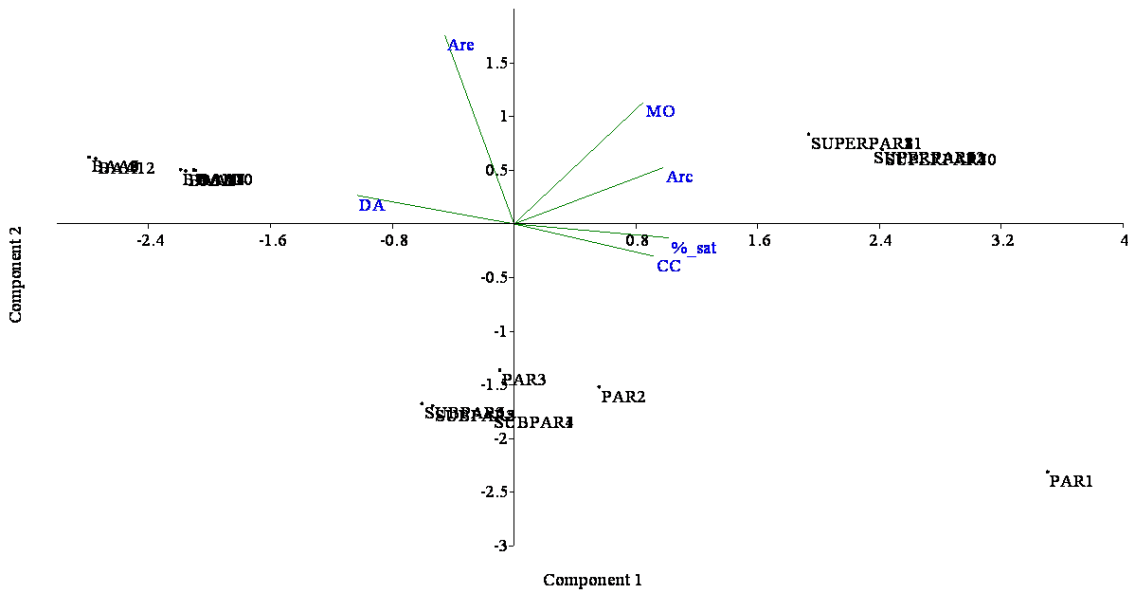
Finalmente se realizó un análisis de los componentes principales abióticos, tanto edáficos como ambientales (Figura 2.19), a nivel de matriz de correlaciones y sin escala de valores propios), donde se encontraron tres agrupaciones. La primera (Lado izquierdo) de bosque alto andino (BAA), que parece ser explicado por la densidad aparente; la segunda (lado derecho) es de superpáramo principalmente, que tiende a ser explicada por las arcillas, la capacidad de campo, el % de saturación de agua y la cantidad de materia orgánica en el suelo. En la última, se agrupan el páramo y el subpáramo, pero no hay ninguna variable de las estudiadas que expliquen estos datos.

En cuanto a la organización de las variables, se puede decir que por la distancia de los vectores, todas las variables tienen la misma importancia. Como se esperaba, la capacidad de campo, el %

de saturación de agua y las arcillas están correlacionadas. Mientras que las arenas y la densidad aparente del suelo son inversamente relacionadas a la capacidad de campo.



**Figura 2.18.** Análisis de componentes principales foliares (PCA) para los ecosistemas de bosque alto andino (BAA), subpáramo (SUBPAR), páramo (PAR) y superpáramo (SUPERPAR), para los levantamientos BAA1, SBP1, PAR1 y SPP. CHF: Contenido hídrico foliar; AFE: Área foliar específica; MFE: Masa foliar específica



**Figura 2.19.** Análisis de componentes principales (PCA) para los ecosistemas de bosque alto andino (BAA), subpáramo (SUBPAR), páramo (PAR) y superpáramo (SUPERPAR). Organización de las variables abióticas para los levantamientos BAA1, SBP1, PAR1 y SPP. DA: Densidad aparente; Are: Arenas; L: limos; Arc: Arcillas; CC: Capacidad de campo; MO: Materia orgánica.

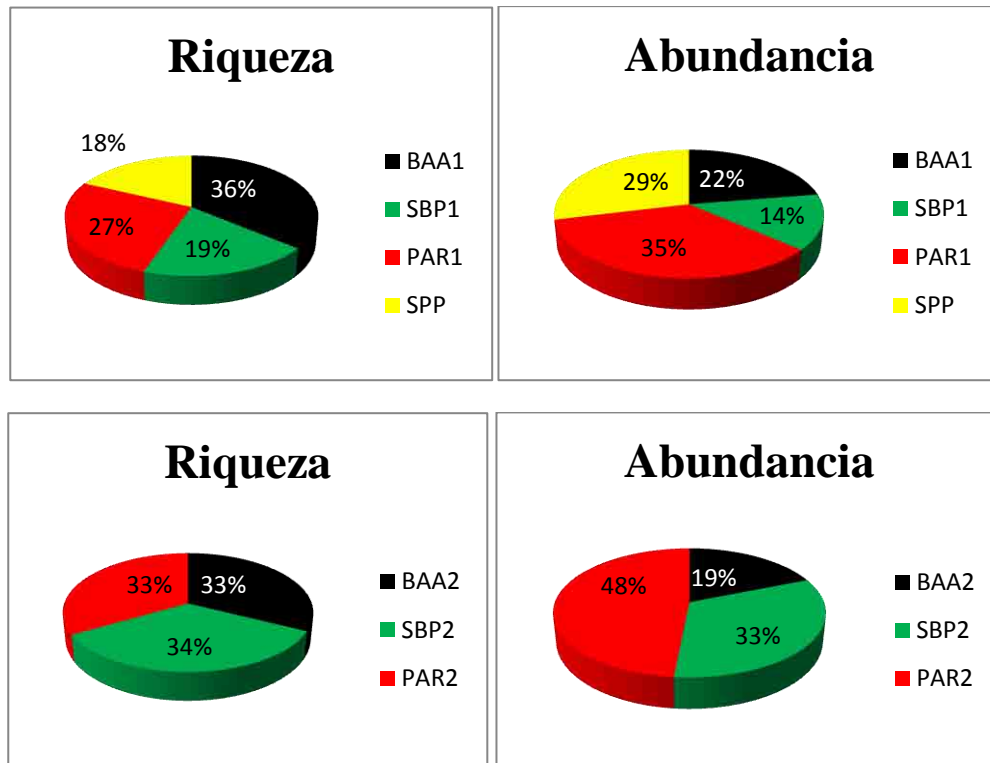
A través de una matriz de coeficientes de correlación de Spearman con un nivel de confianza de 0,05 (Tabla 2.11), se quisieron observar las correlaciones significativas entre las variables bióticas foliares y variables edáficas. Se encontró que el área foliar está correlacionada con la densidad aparente, % de agua en saturación y textura del suelo. También el área foliar específica con las arenas. Sin embargo los valores de estas correlaciones, en ningún caso es mayor de 0,53 ni menos de -0,53. Se evidencia que las variables edáficas son mas explicativas para el área foliar que las ambientales, lo que puede indicar que el suelo es un factor de presión ambiental mas fuerte según este estudio que la temperatura o la altitud.

<b>Factores edáficos</b>	<b>Factores foliares</b>	<b>Rs</b>	<b>P-valor</b>
Área foliar	DA	0.53	0.001
Área foliar	Sat A	0.46	0.003
Área foliar	MO	0.41	0.011
Área foliar	Arc	0.53	0.001
Área foliar	L	0.41	0.011
Área foliar	Are	0.23	0.001
AFE	Are	0.44	0.0054

**Tabla 2.11** Coeficiente de correlación de Spearman (rs) entre las variables bióticas y abióticas a nivel de paisaje. \*Sólo se reportan las correlaciones significativas

## Diversidad

Los ecosistemas de mayor riqueza son el bosque alto andino (BAA1) y en un matorral de transición en el Tabor a la altura de superpáramo (SBP2). Respecto a la abundancia, ésta se encuentra concentrada en el páramo siendo cerca del 60% del total estudiado. Los levantamientos SPP y BAA2, el último correspondiente a un matorral de transición, reportaron la menor riqueza y abundancia entre los demás. En la Figura 2.20 se presentan los porcentajes de riqueza y abundancia distribuidos en cada levantamiento.



**Figura 2.20.** Diagramas en torta de la riqueza y abundancia por levantamiento.

En las Tablas 2.12 y 2.13 se muestran los índices asociados a la riqueza y la estructura con base a las coberturas de los levantamientos realizados. Para el caso de la Tabla 2.2, se encontró que en el BAA1 la riqueza (S) y Margalef y la diversidad (S) y (H) fue mayor frente a los demás biomas de ese levantamiento pero la equitabilidad (J), de Simpson y  $e^H$  mostraron en menor valor esta característica. El subpáramo tiene valores más bajos de riqueza y no tiene buena equitatividad en sus comunidades pues es más cercana a cero que los otros ecosistemas.

En cuanto a la diversidad beta, la tasa de recambio entre BAA1 y SBP1 es aproximadamente tres especies, entre SBP1 y PAR1 cuatro al igual que entre PAR1 y SPP. Por otra parte, en la Tabla 13 se evidencia que en el PAR2, se encontró la mejor representación de riqueza y estructura según los índices de riqueza y diversidad pero en cuanto a equitatividad  $e^H$  se observa que son valores demasiado cercanos a cero.

	<b>BAA1</b>	<b>SBP1</b>	<b>PAR1</b>	<b>SPP</b>
<b>Riqueza (S)</b>	54	29	40	27
<b>Margalef</b>	7.963	4.534	5.495	3.764
<b>Shannon (H)</b>	3,18	2.575	2.953	2,57
<b>Simpson (1/D)</b>	0,9367	0,8684	0,9212	0,9028
<b>e<sup>H</sup></b>	0,4454	0,4528	0,4789	0,46
<b>Equitability (J)</b>	0,7973	0,7647	1	1
<b>Equitatividad de Simpson (1/D)/S</b>	0,0173	0,0299	0,0230	0,0334
	<b>BAA-SBP</b>	<b>SBP-PAR</b>	<b>PAR-SPP</b>	
<b>Wittaker</b>	2,9277	3,7246	3,8657	

**Tabla 2.12** Índices asociados a la riqueza y la estructura de los levantamientos BAA1, SBP1, PAR1 y SPP

En la tabla 2.13 se muestran los índices de diversidad del levantamiento 2, se puede observar una tendencia en la disminución de los valores de Diversidad, Riqueza y Equitatividad en general, la tasa de recambio de especies es de 3,65 entre BAA2-SBP2 y de 3,59 especies entre SBP2 y PAR2.

	<b>BAA2</b>	<b>SBP2</b>	<b>PAR2</b>
<b>Riqueza (S)</b>	34	36	35
<b>Margalef</b>	5,24	5.117	4.699
<b>Shannon (H)</b>	2.971	2.874	2.792
<b>Simpson (1/D)</b>	0,9278	0,9227	0,9052
<b>e<sup>H</sup></b>	0,5738	0,4918	0,4659
<b>Equitability (J)</b>	0,8425	0,802	0,7852
<b>Equitatividad de Simpson (1/D)/S</b>	0,0272	0,0256	0,0258
	<b>BAA-SBP</b>	<b>SBP-PAR</b>	
<b>Wittaker</b>	3,6571	3,5915	

**Tabla 2.13** Índices asociados a la riqueza y la estructura de los levantamientos BAA2, SBP2 y PAR2

Existe una tendencia general de los índices de riqueza y diversidad en el caso de el levantamiento 1 el gradiente es de BAA1 a SPP e inverso en el levantamiento 2. Esta discordancia en el patrón de diversidad es debida fundamentalmente a las diferencias en los sitios muestreados, es decir estos ecosistemas se encuentran en estados diferentes. Otra tendencia general es que la tasa de recambio de especies entre ecosistemas está alrededor de tres, esto significa que casi no están



ocurriendo procesos de colonización de sustrato como ocurre en la fase inicial de formación de un ecosistema sino que la migración es moderada.

La diversidad tiende a distribuirse en los ecosistemas de acuerdo a las posibilidades de establecimiento de nueva especies que resulten aditivas para la comunidad, es decir que puedan aprovechar recursos que otras especies de allí no pueden y que formen interacciones que incrementen el flujo de energía, por esto Kessler en el 2009 plantea que la riqueza tiende a obedecer un patrón de máximo hacia aquellos sitios que presentan una migración en diferentes sentidos y mínimo hacia aquellos que casi no tienen aporte o posibilidades de flujo de especies, de acuerdo a esto y a la información de las tablas 2.12 y 2.13 se plantea que esa mayor posibilidad de recambio debería estar asociada al ecosistema de bosque alto andino y principalmente al subpáramo, sin embargo se encontró que SBP1 es quien presenta la menor diversidad al igual que la menor diversidad de Simpson, por lo cual se puede concluir que este ecosistema se encuentra en un estado de salud muy malo.

La diversidad de especies es influenciada por patrones espaciales como la dispersión, el mecanismo de colonización, las barreras geográficas entre otros y por patrones temporales como los procesos evolutivos (Kessler 2009); el índice de diversidad de Shannon refleja el estado de la comunidad permitiendo inferir a cerca del grado de orden biológico a través de la variación de especies, el flujo de energía basado en los niveles de entropía y el estado global de un ecosistema (Spellerberg, 2008), por lo cual se puede concluir que el índice de Shannon muestra que existe un grado similar de flujo de energía y de orden biológico en BAA1, SBP1 y PAR1.

La equitatividad de Shannon ( $e^H$ ) se refiere a la medida de proporción que guardan las abundancias relativas de las especies, mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección y además es un indicativo de la diversidad máxima del ecosistema. Los resultados entre la diversidad de los distintos levantamientos no tienen la misma proporción con la vegetación lo cual es indicativo de fenómenos independientes o dependientes de más factores de diversificación (Moreno 2001). A pesar de que los ecosistemas se encuentran en un nivel de entropía alto (alrededor de 3) según el índice de Shannon su equitatividad relacionada con la distribución de esa entropía ( $e^H$ ) es muy cercana a 0, lo cual indica que ecosistemas con los más altos índices de diversidad como BAA1 y SBP1 los cuales presentan alto puntaje en diversidad pero bajo en equitatividad, se encuentran en un estado intermedio, es decir son ecosistemas muy jóvenes que probablemente están en formación luego de alguna alteración. Por otro lado ecosistemas como el SPP, PAR1 y PAR2 reflejan un estado de desarrollo superior, con una mejor estructura en sus comunidades aunque de todas formas no alcanzan la mayor diversidad que podrían albergar.

El índice de equitatividad de Simpson permite inferir que los distintos biomas estudiados pueden tener una diversidad máxima distinta (Peet 1974) ya que la proporción de individuos de cada especie presenta diferentes dominancias, de acuerdo a este índice los ecosistemas más diversos serían páramo y superpáramo a pesar de que son sitios donde las condiciones ambientales son

difíciles, adicional a ello el incremento de las poblaciones de una especie es dependiente de la capacidad de sobrevivir en condiciones sub-óptimas o de adaptarse a ellas lo cual es un proceso evolutivo que puede tomar tiempo, en los demás ecosistemas puede estar ocurriendo que factores de la dispersión se vean afectados por alguna condición particular, generalmente es por alteración de los ecosistemas que causa la pérdida de hábitat para las diferentes poblaciones de organismos relacionadas con este proceso y la pérdida de los suelos.

En cuanto al índice de recambio de diversidad entre ecosistemas es mayor en los datos para los levantamientos BAA2, SBP2 y PAR2. Esto es debido a que contiene ecosistemas que se encuentran en el borde de transición, es decir, son el límite físico entre un ecosistema y otro. En estos sitios el movimiento generado por la dispersión enfrenta presiones evolutivas de competencia por espacio, luz, velocidad de crecimiento y es por eso que cualquiera de las especies pertenecientes a un ecosistema puede colonizar siempre y cuando domine dichas presiones. Respecto al grupo de levantamientos BAA1, SBP1, PAR1 y SPP, existe un recambio de especies pero no es marcado, lo que puede corresponder a la dispersión natural y a la amplitud de la distribución de dichas especies.

## CONCLUSIONES

Las comunidades vegetales del PNN Cocuy se encuentran distribuidas en varios tipos de ecosistema en cada bioma, reflejando la heterogeneidad biótica relacionada principalmente con las variables edáficas de materia orgánica y textura.

Los ecosistemas pertenecientes al bioma de subpáramo se encuentran enfrentando procesos de pérdida de diversidad y contienen una estructura ecosistémica en muy mal estado.

El páramo y el superpáramo se encuentran en un muy buen estado de salud reflejado en su diversidad y en la complejidad que se obtuvo para su estructura según los índices de equitatividad.

El bosque alto andino que se encontró en el parque presenta una riqueza y estructura muy baja en sus comunidades, pueden estar ocurriendo procesos de colonización o estar en un estado sucesional base.

## LITERATURA CITADA

ABRAMS M., KUBISKE M., MOSTOLLER S. 1994. Relating wet and dry year ecophysiology to leaf structure in contrasting temperate tree species. *Ecology* 75: 123-133.

ANDREUX F. 1983. Evolución de la materia orgánica en Andosoles en materia orgánica del suelo. Suelos ecuatoriales, Vol XIII. No 1.

BAPTISTE, B. 2011 Ecología del paisaje en los páramos. Revista páramos de Colombia. (1): 32-39

BANCO DE OCCIDENTE. 2001. Páramos de Colombia. Capítulo 5. Disponible en <http://www.imeditores.com/banocc/paramos/cap5.htm>.

BELTRÁN G., CARCELEN H., MAYRA J. 2010. Determinación de la cantidad de agua almacenada en el suelo del ecosistema paramo, en la Estación Científica “Los Encinos” el Ángel. Universidad Tecnica del Norte (UTN). Ibarra. Ecuador.

BUOL S., HOLE F., MC CRACKEN R., 1973. Soil genesis and classification. 306 p. The Iowa University Press, Ames, Iowa, USA. 360 p.

BUYTAERT W., CÉLLERI R., De BIEVRE B., CISNEROS F. 2004. Hidrología del páramo andino: propiedades, importancia y vulnerabilidad. Tomado de <<[http://www.paramo.org/files/hidrologia\\_paramo.pdf](http://www.paramo.org/files/hidrologia_paramo.pdf)>>.

CHACÓN G. 1997. Usos no saludables de los Páramos. (Conferencia virtual). Ecociencia-Instituto de Montaña-FLACSO. Quito, Ecuador.

CHAMORRO C. 1989. Efecto del uso del suelo sobre la composición edafofaunística de los páramos que circundan la ciudad de Bogotá. Suelos Ecuatoriales, **19**(1): 48-62.

CHANDRA S. 2003. Effects of leaf age on transpiration and energy exchange of *Ficus glomerata*, a multipurpose tree species of central Himalayas. *Physiological Molecular Biology and Plants* 9: 255-260.

CHANDRA S. 2004. Effects of altitude on energy exchange characteristics of some alpine medicinal crops from central Himalayas. *Journal of Agronomy & Crops Science* 190: 13-20.

CLEEF A. & AL. (1979). Secuencia altitudinal de la vegetación de los páramos de la Cordillera Oriental de Colombia. En: Actas del IV Simposium Internacional de Ecología Tropical, Panamá. Vol. 1. 281-297.

CLEEF A. 1981. The vegetation of the paramos of the Colombian Cordillera Oriental, Tesis Doctorado, U. Utrecht

CAVIERES L.A. 2000. Variación morfológica de *Phacelia secunda* J.F. GMEL. (Hydrophyllaceae) a lo largo de un gradiente altitudinal en Chile central. *Gayana Botánica* 57: 89-96.

CUATRECASAS J. 1934. Observaciones Geobotánicas en Colombia. Junta para ampción de estudios e investigaciones científicas. Trabajos del Museo nacional de ciencias naturales. Vol. 27 de Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales. 144p.

CUATRECASAS J. 1958. Aspectos de la vegetación natural de Colombia. Revista. Acad. Colomb. Cs. Exac. Fis. Nat. 10 (40): 221 - 262.

DIÁZ-GRANADOS M.A., NAVARRETE J.D., SUÁREZ T. 2005. Páramos: hidrosistemas sensibles. Revista de Ingeniería, Universidad de los Andes. (22): 64-75

EHLERINGER J. 1982. The influence of water stress and temperature on leaf pubescence development in *Encelia farinosa*. *American Journal of Botany* 69: 670-675.

ETTER A. 1990. Introducción a la ecología del paisaje: Un marco de integración para los levantamientos rurales. IGAC - CIAF. Bogotá, Notas de Clase.

FILELLA I., PEÑUELAS J. 1999. Altitudinal differences in UV absorbance, UV reflectance and related morphological traits of *Quercus ilex* and *Rhododendron ferrugineum* in the Mediterranean region. *Plant Ecology* 145: 157-165.

HAMMER Ø., HARPER D., RYAN P. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp.

HERNÁNDEZ F., ALBA F., DAZA M.C. 2009. Efecto de actividades agropecuarias en la capacidad de infiltración de los suelos del páramo del Sumapaz. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. Universidad del Valle. cali. Colombia. No. 8 p. 29-38

HERNANDEZ J., 1990. La selva en Colombia. In: Carrizoza, J., Hernandez, J. (Eds.), *Selva y Futuro*. El Sello Editorial, Bogota, Colombia, pp. 28–50.

HOFSTEDE R. P., SEGARRA P., MENA V. (eds) 2003. Los paramos del mundo, proyecto atlas mundial de los paramos. Global peatland initiative /NC-IUCN/Ecociencia. Quito.

KÖRNER, C., COCHRANE, P. 1985. Stomatal responses and water relations of *Eucalyptus pauciflora* in summer along an elevational gradient. *Oecologia* 66: 443-455.

KÖRNER C. 2003. *Plant Alpine Life*. Springer-Verlag, Berlin.

LAUER, W. 1979 La posición de los páramos en la estructura del paisaje de los andes tropicales. Instituto de geografía, universidad de Bonn, Alemania.

LARCHER, W. 1995. *Physiological Plant Ecology*, Tercera Edición. Springer-Verlag, Berlin.

LEVIZOU E., DRILIAS P., PSARAS G., MANETAS Y. 2004. Nondestructive assessment of leaf chemistry and physiology through spectral reflectance measurements may be misleading when changes in trichome density co-occur. *New Phytologist* 165: 463- 472.

LLAMBÍ L.D., SARMIENTO L. 1998. Biomasa microbiana y otros parámetros edáficos en una sucesión secundaria dde los páramos Venezolanos. *Ecotropicos* 11 (1): 1-14.

LUTEYN J. L. 1999. Páramos: a checklist of plant diversity geographical distribution and botanical literature. New York Botanical Garden. New York.

MALAGÓN C. D., PULIDO R. C. E. 2000. Suelos del páramo colombiano. En: Rangel-Ch. J. O. (Ed). Colombia. *Diversidad Biótica III. La región de vida paramuna en Colombia* 37 - 84.

MATUS F. J., MAIRE C. R. 2000. Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno. *Agric. Téc.* 60 (2): 112-126.

MENA P.A., JOSSE C., MEDINA G. 2000. *Los Suelos del Páramo*. Serie Páramo 5. GTP/Abya Yala. Quito.

MIRANDA-ESQUIVEL D., F. RANGEL-CH. J.O., ROA L. 2003. Endemismo en páramos colombianos con base en la distribución de espermatófitos y el análisis de parsimonia de endemismo (PAE). Resúmen. Congreso Mundial de páramos. Gente Nueva Editorial. 1: 256-266

MOLINA-MONTENEGRO M.A., BADANO E.I., INOSTROZA P., CAVIERES L.A. 2008. Variación de la pubescencia foliar en plantas y sus implicaciones funcionales a lo largo de gradientes altitudinales. *Ecosistemas* 17 (1): 146-154.

MONASTERIO M. 1986. Adaptative strategies of Espeletia in the Andean desert páramo. En: High Altitude Tropical Biogeography. Vuilleumier F., Monasterio M. (Eds.) Oxford University Press. Oxford.

MORALES M., OTERO J., VAN DER HAMMEN T., TORRES A., CADENA C., PEDRAZA C., RODRÍGUEZ N., FRANCO C., BETANCOURT J.C., OLAYA E., POSADA E., & CÁRDENAS L., 2007. Atlas de Páramos de Colombia, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C., 208 pp.

MORENO C.E. 2001. M&T – Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Métodos para medir labiodiversidad. CYTED, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, ORCYT – UNESCO, Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe, UNESCO. 86 p

ORTIZ V.B., ORTIZ C.A. 1990. Edafología. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento De Suelos. Séptima Edición. Chapingo, México.

PEET R. 1974. The Measurement of Species Diversity. Annual Review of Ecology and Systematics, Vol. 5 (1974), pp. 285

PEDRAZA P., BETANCUR J., FRANCO P. 2004. Chisacá, un recorrido por los páramos andinos. Instituto de Ciencias Naturales, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 340 p.

PEREZ, F. 1981. Some effects of giant Andean stem-rosettes on ground microclimate and their ecological significance. Biometeorology. No 33 :431-435.

PÉREZ L. H., TORRES B., MESÍAS, Y.. 1987. Reconocimiento de especies de Flora y Fauna del Parque Nacional Natural El Cocuy. Fundación Universitaria García Rovira, Norte y Gutiérrez. Facultad de Ingeniería Forestal.

PEREZ J.A., GARCÍA E., ENRIQUEZ J.F., QUERO A.R., PÉREZ J., HERNÁNDEZ A. 2004. Análisis de crecimiento, área foliar específica, y concentración de nitrógeno en hojas de pasto “mulato” (*brachiaria hibrido*, cv.). Tec pecu, México, 2004; 42 (3): 447-458.

PULIDO, C. 1988. Génesis y evolución de los suelos de los páramos de Sumapaz, Chingaza y Guerrero. En: Suelos Ecuatoriales, Vol. XVII, No. 2, págs. 160-170. Bogotá.

RANGEL-CH. J.O. 2000. Colombia Diversidad Biótica III. La región Paramuna. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia.

RANGEL O., STURM H. 1985. Ecología de los Páramos Andinos, Una visión preliminar integrada. Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia.

RASBAND W. 2011. ImajeJ 1.44, software para Windows. NIH

RAUNKIAER, C. 1916. Om Bladstorrelsens Anvendelse i den biologiske Plantegeografi. Botanisk Tidsskrift; 34 B, 5.H. Kobenhavn.

REICH P., WALTERS M., ELLSWORTH D. 1997. From tropics to tundra. Global convergence in plant functioning. *Proceedings of the USA National Academy of Science* 94: 13730-13734.

RUNDEL P., SMITH A., MEINZER F. 1994. Tropical Alpine Environments. Cambridge University Press, UK.

RUBIO P. 2008. Los suelos del transecto Sumapaz (cordillera oriental colombiana). En: VAN DER HAMMEN T (ed). La cordillera Oriental Colombiana. Transecto Sumapaz. Serie: estudios de ecosistemas tropandinos 7. Berlín-Stuttgart.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2008. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.

SALAMANCA V.S., CLEEF A., RANGEL J.O. 1991. The páramo vegetation In: S. Salamanca. The vegetation of the paramo and its dynamics in the volcanic massif Ruiz- to lima. PhD. Thesis. 19-39. U of Amsterdam.

SARMIENTO, G., MONASTERIO, M., SILVA, J.F. 1971. Reconocimiento ecológico de los Llanos Occidentales. I. Las unidades ecológicas regionales. *Acta Científica Venezolana* 22: 52-60

SENDOYA, S. & BONILLA, M. A. 2005. La necromasa de *Espeletia grandiflora* como habitat de la artropofauna de páramo.. In: Maria Argenis Bonilla.. Estrategias adaptativas de plantas de páramo y de bosque alto andino en la Cordillera Oriental de Colombia. Bogota: Unibiblios. p 365.

SKLENÁR P., LUTEYN J., ULLOA C., JORGENSEN P., DILLON M. 2005. Flora genérica de los páramos. Guía ilustrada de plantas vasculares. The New York Botanical Garden Press. 2005. 503p.

SMITH, P. A. 1979. Function of dead leaves in *Espeletia schultzii* (Compositae) an Andean caulescent rosette species. *Biotropica*. 11(1): 43-47.

TAIZ L., ZEIGER E. 2002. *Plant Physiology*. Third edition. Sunderland, MA: Sinauer Associates.

UAESPNN. 2005. *Plan de Manejo 2005-2009*, PNN El Cocuy PM-PNN EC. Dirección Territorial Norandina. El Cocuy.

WAGNER G., WANG E., SHEPHERD R. 2004. New approaches for studying and exploiting an old protuberance, the plant trichome. *Annals of Botany* 93: 3-11.

YANEZ, J. 1989. Análisis de suelo y su interpretación. *Horticultura* (49): 75-89.



## ANEXOS CAPÍTULO DE VEGETACIÓN

### TABLAS

Forma de vida	Bioma			
	BAA	SBP	PAR	SPP
Arb	7	1	0	0
Cau	0	1	1	1
Ces	0	1	2	0
Cri	4	11	14	11
Epi	9	1	0	0
Fru	20	15	8	2
Peg	0	2	3	3
Peh	13	11	12	5
Pro	4	3	4	1
Suf	7	4	3	2

**Tabla A1.** Síntesis de formas de vida (Cuatrecasas 1934) por bioma

	Levantamiento							Bioma			
	BAA1	SBP1	PAR1	SPP	BAA2	SBP2	PAR2	BAA	SBP	PAR	SPP
<b>No. de plántulas</b>	46	21	18	73	37	48	109	83	69	66	73
<b>Suelo desnudo (%)</b>	10	3,6	0	39	4	6,3	5,4	7	5	2,7	39
<b>Epífitas (%)</b>	80	66	6,8	0	65	33,5	11,2	72,5	50	9	0
<b>Necromasa en suelo (%)</b>	3,4	8,6	19	16	18	16,5	12,3	10,7	12,6	15,7	16
<b>Necromasa en pie (%)</b>	46	33	56	42	17	37	45	31,5	35	50,1	42

**Tabla A2.** Descripción general por levantamiento y síntesis por bioma.

Levantamiento	Especie	Forma de vida	Área (mm <sup>2</sup> )	Tamaño de la hoja	Revestimiento (Tricomas)	Consistencia	Peso fresco (+/- 0,001g)	Peso seco (+/- 0,001g)	Contenido hídrico	Índice Foliar Específica (mm <sup>2</sup> /g)	Masa Foliar Específica (g/mm <sup>2</sup> )
BAAI	<i>Myrsine</i> sp.	Arb	76,515	n	A	Cor	0,027	0,015	0,012	5101,00000	0,00020
			59,745	n			0,027	0,015	0,012	3983,00000	0,00025
			91,804	n			0,027	0,015	0,012	6120,26667	0,00016
			85,962	n			0,027	0,015	0,012	5730,80000	0,00017
			Promedio especie	78,507			n	0,027	0,015	0,012	5233,76667
	<i>Diplostegium</i> sp. 1	Fru	13,298	l	E	Cor	0,013	0,006	0,007	2216,33333	0,00045
			12,402	l			0,013	0,006	0,007	2067,00000	0,00048
			10,250	l			0,013	0,006	0,007	1708,33333	0,00059
			12,758	l			0,013	0,006	0,007	2126,33333	0,00047
			Promedio especie	12,177			l	0,013	0,006	0,007	2029,50000
	<i>Psammisia</i> sp.	Sub	2683,351	M	A	Cor	0,013	0,006	0,007	447225,16667	0,00000
	<i>Clethra</i> sp.	Arb	1293,842	m	E	Cor	0,416	0,223	0,193	5801,98206	0,00017
			747,865	m			0,416	0,223	0,193	3353,65471	0,00030
			Promedio especie	1020,854			m	0,416	0,223	0,193	4577,81839
	<i>Bejaria</i> sp.	Fru	4451,540	M	A	Cor	1,863	0,704	1,159	6323,21023	0,00016
			5756,260	M			1,863	0,704	1,159	8176,50568	0,00012
Promedio especie			5103,900	M			1,863	0,704	1,159	7249,85795	0,00014
Promedio bioma			928,942	m			0,073	0,038	0,034	130050,05977	0,00027
SBPI	<i>Diplostegium</i> sp. 2	Fru	205,738	n	T	Cor	0,070	0,028	0,042	7347,78571	0,00014
			262,594	m			0,070	0,028	0,042	9378,35714	0,00011
			208,794	n			0,070	0,028	0,042	7456,92857	0,00013
			263,178	m			0,070	0,028	0,042	9399,21429	0,00011
			Promedio especie	235,076			m	0,070	0,028	0,042	8395,57143
	<i>Pentacalia</i> sp. ( <i>vaccinoides</i> )	Sub	125,143	n	A	Cor	0,055	0,020	0,035	6257,15000	0,00016
			133,962	n			0,055	0,020	0,035	6698,10000	0,00015
			108,136	n			0,055	0,020	0,035	5406,80000	0,00018
			133,677	n			0,055	0,020	0,035	6683,85000	0,00015

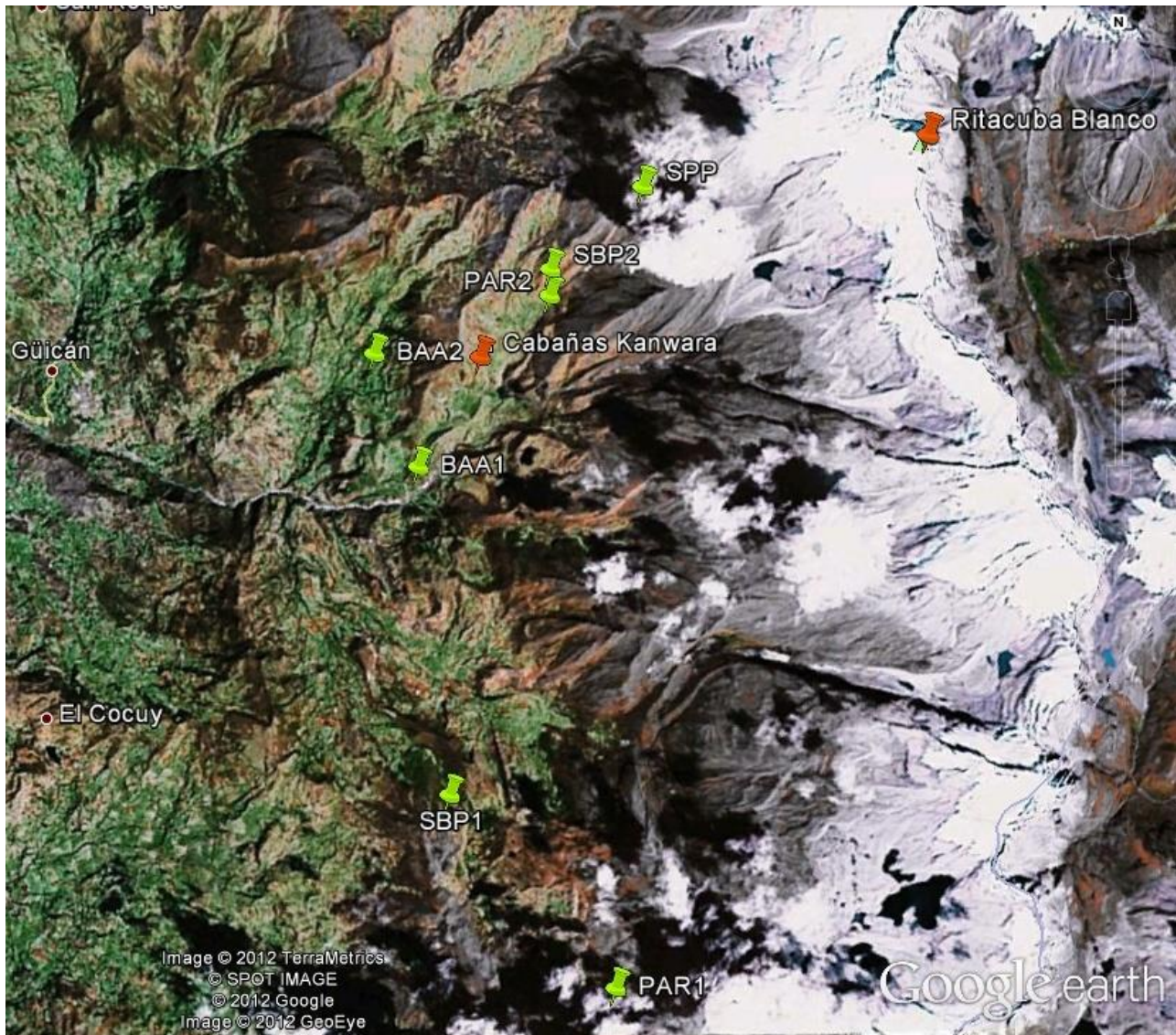
	Promedio especie		125,230	n			0,055	0,020	0,035	6261,47500	0,00016
	Promedio bioma		180,153	n			0,063	0,024	0,039	7328,52321	0,00014
PARI	<i>Espeletia lopezii</i>	Cau	10258,213	M	T	Car	14,456	4,621	9,835	2219,91192	0,00045
	<i>Diplostephium rosmarinifolium</i>	Fru	47,428	n	E	Cor	0,029	0,011	0,018	4311,63636	0,00023
			39,935	n			0,029	0,011	0,018	3630,45455	0,00028
			71,185	n			0,029	0,011	0,018	6471,36364	0,00015
			62,457	n			0,029	0,011	0,018	5677,90909	0,00018
	Promedio especie		55,251	n			0,029	0,011	0,018	5022,84091	0,00020
Promedio bioma		5156,732	M			7,243	2,316	4,927	3621,37642	0,00032	
SPP	<i>Carex</i> sp.	Cri	95,311	n	A	Her	0,127	0,123	0,004	774,88618	0,00129
			146,023	n			0,127	0,123	0,004	1187,17886	0,00084
			Promedio especie				120,667	n			0,127
	<i>Calamagrostis</i> sp.	Peg	621,120	m	A	Her	0,055	0,048	0,007	12940,00000	0,00008
			684,659	m			0,055	0,048	0,007	14263,72917	0,00007
			Promedio especie				652,890	m			0,220
	<i>Oritrophium limnophilum</i>	Cri	53,350	n	A	Cor	0,015	0,007	0,008	7621,42857	0,00013
			57,720	n			0,015	0,007	0,008	8245,71429	0,00012
			55,790	n			0,015	0,007	0,008	7970,00000	0,00013
			58,420	n			0,015	0,007	0,008	8345,71429	0,00012
			Promedio especie				56,320	n			0,015
	<i>Loricaria</i> sp.	Sub	399,000	m	H	Cor	0,270	0,158	0,112	2525,31646	0,00040
			458,000	m			0,270	0,158	0,112	2898,73418	0,00034
456,000			m	0,270			0,158	0,112	2886,07595	0,00035	
462,000			m	0,270			0,158	0,112	2924,05063	0,00034	
Promedio especie				443,750			m			0,270	0,158
<i>Espeletia lopezii</i>	Cau	17086,000	M	T	Car	9,156	3,818	5,338	4475,11786	0,00022	
Promedio bioma		3671,925	M			0,158	0,120	0,039	3817,88791	0,00045	

**Tabla A3.** Datos de las variables foliares del estrato arbustivo en los levantamientos BAA1, SBP1 y PAR1 y del estrato herbáceo en levantamiento SPP. Forma de vida (Cuatrecasas 1934), tamaño de la hoja (Raunkiaer 1916), revestimiento y consistencia (Cuatrecasas 1934) descritas en metodología.

Levantamiento	Especie	Forma de vida	Área promedio (mm <sup>2</sup> )	Tamaño de la hoja	Revestimiento (Tricomas)	Consistencia	Peso fresco (+/- 0,001g)	Peso seco (+/- 0,001g)	Contenido hídrico	Índice Foliar Específico (mm <sup>2</sup> /g)	Masa Foliar Específica (g/mm <sup>2</sup> )
BAA2	Asteraceae 1		20,464	l	A	Her	0,307	0,105	0,202	194,89524	0,00513
	Asteraceae 2		30,459	n	T	Her	0,605	0,125	0,480	243,67200	0,00410
	<i>Diplostephium</i> sp.	Fru	5,985	l	T	Cor	0,265	0,026	0,239	230,19231	0,00434
	<i>Eupatorium</i> sp.	Suf	38,952	n	E	Car	0,960	0,479	0,481	81,31942	0,01230
	<i>Miconia</i> sp.	Fru	4,123	l	A	Cor	0,045	0,031	0,014	133,00000	0,00752
	<i>Myrsine</i> sp.	Arb	1,735	l	A	Cor	0,026	0,011	0,015	157,72727	0,00634
	<i>Polylepis</i> sp.	Arb	29,599	n	E	Cor	0,376	0,161	0,215	183,84472	0,00544
	<i>Vallea stipularis</i>	Arb	24,513	n	A	Her	0,266	0,101	0,165	242,70297	0,00412
	Promedio bioma		19,479	l			0,356	0,130	0,226	183,41924	0,00616
SBP2	<i>Ageratina</i> sp.	Fru	423,629	m	A	Cor	0,102	0,043	0,059	9851,83721	0,00010
	Asteraceae 3		647,245	m	A	Cor	0,150	0,054	0,096	11986,01852	0,00008
	<i>Cestrum</i> sp.	Fru	250,306	m	E	Cor	0,111	0,041	0,070	6105,02439	0,00016
	<i>Gynoxis</i> sp. 1	Fru	1,836	l	T	Car	0,623	0,192	0,431	9,56250	0,10458
	<i>Gynoxis</i> sp. 2	Arb	3,781	n	T	Car	1,382	0,377	1,005	10,02918	0,09971
	<i>Miconia</i> sp.	Fru	424,578	m	A	Cor	0,128	0,057	0,071	7448,73684	0,00013
	<i>Monnina</i> sp.	Fru	445,011	m	E	Car	0,145	0,041	0,104	10853,92683	0,00009
	<i>Solanum</i> sp.	Fru	948,975	m	E	Cor	0,337	0,090	0,247	10544,16667	0,00009
	Urticaceae		561,609	m	T	Her	0,076	0,016	0,060	35100,56250	0,00003
		Promedio bioma		411,886	m			0,339	0,101	0,238	10212,20718
PAR2	<i>Baccharis</i> sp.	Fru	319,312	m	A	Cor	0,130	0,043	0,087	7425,86047	0,00013
	<i>Espeletia lopezii</i>	Cau	47,461	n	T	Car	13,436	3,373	10,063	14,07086	0,07107
	<i>Pentacalia vaccionoides</i>	Suf	264,185	m	A	Cor	0,133	0,041	0,092	6443,53659	0,00016
		Promedio bioma		210,319	n			4,566	1,152	3,414	4627,82264

**Tabla A4.** Datos de las variables foliares del estrato arbustivo en los levantamientos BAA2, SBP2 y PAR2 y del estrato arbóreo en levantamiento BAA2. Forma de vida (Cuatrecasas 1934), tamaño de la hoja (Raunkiaer 1916), revestimiento y consistencia (Cuatrecasas 1934) descritas en metodología.

## FIGURAS



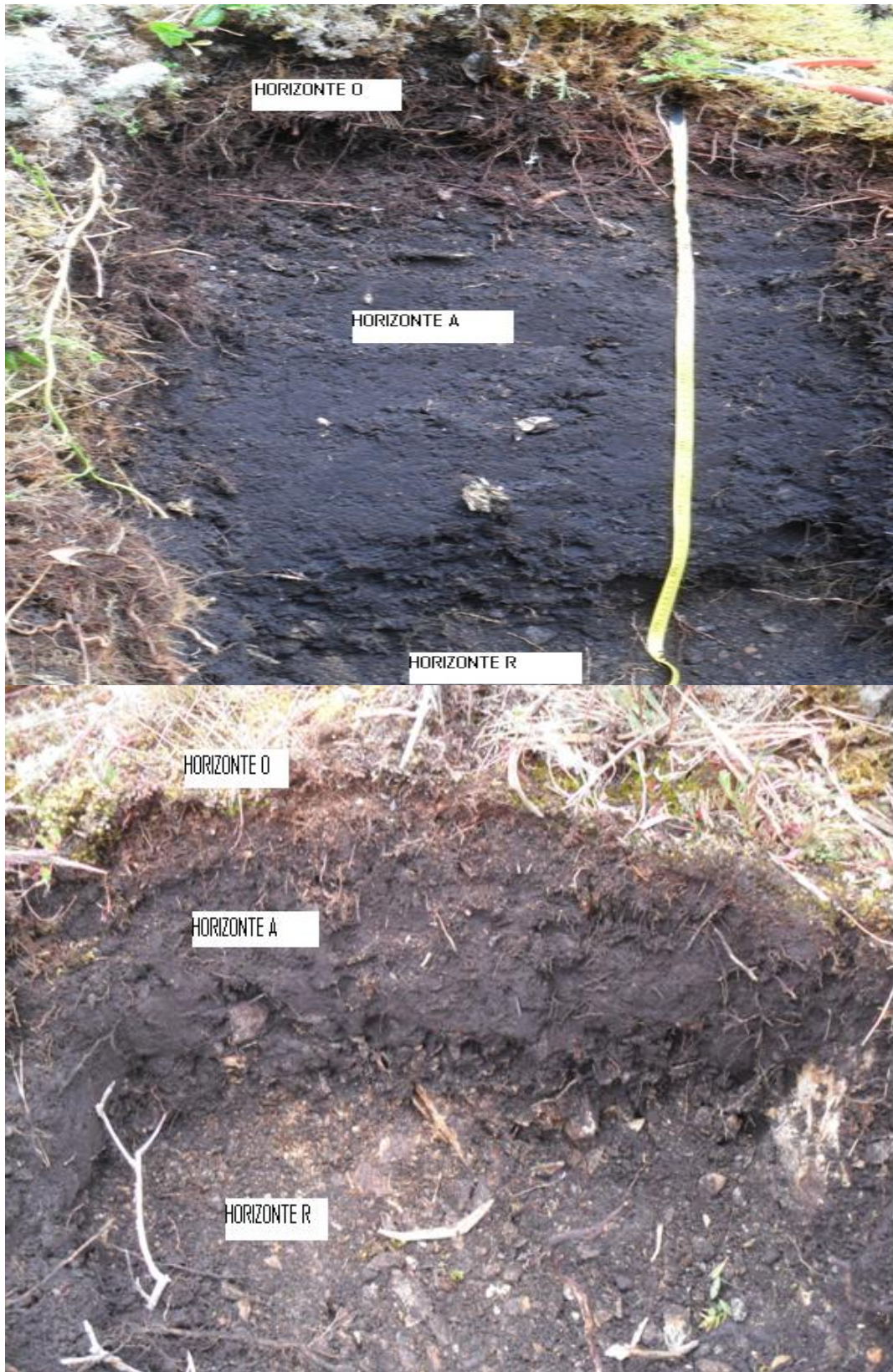
**Figura A1.** Ubicación espacial de cada uno de los levantamientos (símbolos verdes) y de dos puntos de referencia (símbolos naranja). A la derecha la Sierra Nevada de Cocuy o de Güicán. A la izquierda, los centros urbanos de los municipios Cocuy y Güicán. Imagen tomada de Google Earth.



**Figura A2.** Zonas representativas en los levantamientos BAA1 (superior) y SBP1 (inferior),



**Figura A3.** Zonas representativas en los PAR1 (superior) y SPP (inferior).



**Figura A4.** Perfiles de suelos en los levantamientos BAA1 (superior) y SBP1 (inferior),





**Figura A5.** Perfiles de suelos en los levantamientos PAR1 (superior) y SPP (inferior),

### 3. ANÁLISIS LIMNOLÓGICO DE ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DEL PNN EL COCUY

MARÍA PAULA BARBERO GARCÍA<sup>1</sup>, SERGIO ALEJANDRO DÍAZ CORREDOR<sup>1</sup>,  
NICOLÁS MOLANO GONZÁLEZ<sup>1</sup>, ANAMARÍA MORALES ÁLVAREZ<sup>1</sup>, FREDY  
FABIANY MORENO BARRAGÁN<sup>1</sup>, MARÍA KATHERINE ONTIVEROS OSPINA<sup>1</sup>,  
RICARDO FELIPE PATERNINA CRUZ<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Estudiante pregrado Biología, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias

#### INTRODUCCIÓN

La sierra Nevada del Cocuy-Güicán representa una reserva hidrológica de gran valor en el nororiente de Colombia ya que allí se originan varios afluentes que van a desembocar a los ríos Arauca, Casanare y Chicamocha. La sierra presenta dos grandes vertientes la oriental, que colinda con la Orinoquia Colombiana y la occidental que confluye en el valle del Magdalena. Esta área protegida cuenta con 48 microcuencas de las cuales 7 drenan sus aguas al río Chicamocha (cuenca del Sogamoso), 21 drenan sus aguas al río Casanare (cuenca del bajo Meta) y 20 drenan sus aguas al río Arauca (MORALES *et al.*, 2007). La alta producción de agua de esta zona debida a la precipitación y retención de humedad, y por el aporte de la mas glacial (26,2 km<sup>2</sup>), convierten a esta zona en una constante recarga de acuíferos por escorrentía superficial a los valles intermontanos, y por ende a los ríos y quebradas que allí se originan. Debido a estas condiciones hidrológicas se convierte en una zona de gran interés en el estudio de los organismos acuáticos.

De acuerdo a Casallas & Gunkel (2001), la mayor parte de los estudios limnológicos a nivel mundial se han llevado a cabo en las zonas templadas, y son muy pocos los trabajos que se han realizado en ecosistemas acuáticos tropicales. Gran parte de este trabajo se ha realizado a bajas alturas, razón por la cual este estudio puede dar elementos importantes para entender la ecología de los sistemas acuáticos altoandinos tropicales.

En las zonas tropicales, debido a la poca variación térmica a lo largo del año, los lagos no siguen necesariamente un ritmo anual de circulación y estratificación, tal como ocurre en zonas templadas, sino que varían de acuerdo a condiciones locales, como la altura y los cambios de temperatura entre día y noche (Casallas & Gunkel, 2001). Esto último determina que no se forme una termoclina, por lo cual las zonas del lago deberían definirse como fótica y afótica (Roldán & Ramírez, 2008).

Los lagos tropicales de montaña se encuentran distribuidos en alturas mayores a 2000 msnm e inferiores a 4000msnm. Debido a la altitud y a las condiciones climáticas derivadas, la dinámica de estos ecosistemas es diferente al de regiones bajas (Casallas & Gunkel, 2001). Generalmente se han clasificado como oligotérmicos con circulación frecuente (no se estratifican), por lo que

también se les conoce como polimícticos fríos (Roldán & Ramírez, 2008). Otras características de estos ambientes son el aislamiento geográfico, temperaturas inferiores a 20<sup>0</sup>C y valores de saturación de oxígeno inferiores a 7mg/L (Casallas & Gunkel, 2001).

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, aunque también existe un tipo de comunidad que se encuentra asociada a la interfase aire-agua y denominada por Fittkau como Kinal (Margalef, 1994). Dentro de los grupos más representativos en el neotrópico están los poríferos, celenterados, platelmintos, nematomorfos, anélidos, moluscos, insectos, crustáceos y arácnidos (Roldán, 1992). El estudio de la comunidad de macroinvertebrados puede arrojar luces sobre el estado de conservación de estos ambientes y adicionalmente puede ayudar a entender la dinámica de los ecosistemas acuáticos al relacionarlo con las características fisicoquímicas de los sistemas acuáticos en los que se encuentran.

Otra comunidad importante en los ecosistemas acuáticos es el perifiton, el cual se define como un complejo de microbiota (algas, bacterias, hongos, detritos orgánicos e inorgánicos) adherida a un sustrato, que puede ser orgánico o inorgánico (WETZEL, 1983). Se designa también como un biofilm o biopelícula (BURNS & RYDER 2001), agregada de microorganismos fotosintéticos y sus productos extracelulares asociados a un sustrato. Esta comunidad cubre rocas, madera, partículas de sedimento y otras superficies en cuerpos de agua, tanto lénticos como lóticos. De acuerdo a la diversidad en su composición, se puede inferir aspectos funcionales de la comunidad (MARGALEF, 1983).

La importancia que se le atribuye al perifiton en los ecosistemas acuáticos se debe a la producción de metabolitos orgánicos que alimentan diferentes organismos (ya que contribuye con más del 70% de la materia orgánica de la producción total), sus altas tasas de reciclaje de nutrientes, la posibilidad de proporcionar una zona de resguardo y alimento para otros organismos, su alta productividad primaria, y su papel como mejor indicador biológico que el fitoplancton (MOREIRA, 1988).

El perifiton suele utilizarse como un indicador de la calidad del agua en los ecosistemas, dadas sus características, entre ellas está la imposibilidad de evadir la polución por encontrarse adherida a un sustrato generalmente fijo, reflejando así las características actuales e históricas del lugar (BIGGS, 1989).

Este estudio buscó documentar las variables fisicoquímicas, y las comunidades de macroinvertebrados, perifiton y (plancton) observadas en los sistemas acuáticos altoandinos

ubicados en el PNNEC, y relacionar todos estos componentes con la región y el bioma al que pertenecen.

## MÉTODOS

Categoría	Lugar	Latitud	Longitud	altura (msnm)	presión atmosférica (m bar)
Léntico	Laguna Guaicany	6°24'40.8" N	72°22'29.1" W	3815	649,1
	Laguna la Pintada (1)	6°22'2.2" N	72°20'16.7" W	3980	636,9
	Los Cojines	6°29'15.2" N	72°20'2.7" W	4404	602,4
	Laguna Ciega	6°28'49.6" N	72°23'38.5" W	3502	674,2
	El Ojito	6°28'43.5" N	72°24'33.2" W	3082	708,1
	Laguna San Pablín	6°27'20" N	72°21'5.5" W	3822	649
Lótico	Río Corralitos	6°26'59.5" N	72°21'51.2" W	3529	672,1
	Río Lagunillas	6°22'49.32" N	72°20'32.8" W	3964	636,9
	Río Playitas	6°29'15.2" N	72°20'2.7" W	4404	602,4
	Río playitas 2	6°29'15.2" N	72°20'2.7" W	4404	602,4
	Río Playitas-Subpáramo	6°28'38.8" N	72°20'58.3" W	3902	641,7

**Tabla 3.1.** Geo referencia de los puntos de muestreo.

### Variables Físicoquímicas e Hidrológicas

El presente estudio se realizó durante el mes de septiembre del año 2011, en la parte occidental de la Cordillera Oriental, en el PNNEC. Este estudio se realizó a finales de la época seca, y comenzando la época de lluvias. Los muestreos se realizaron en 11 cuerpos de agua, 5 lóticos (Río Corralitos, Quebrada Playitas 1, Quebrada Playitas 2, Río Lagunillas y Río Playitas) y 6 lénticos (Laguna Guaicany, Laguna La pintada, Laguna Ciega, Laguna El Ojito, Laguna San Pablín, y cojines Playitas) (tabla 1), ubicados en diferentes ecosistemas altoandinos del parque.

En cada uno de estos ecosistemas se realizaron diferentes muestreos (entre 2 y 3 zonas por ambiente) de medidas físicoquímicas y de comunidades biológicas. Las medidas físicoquímicas se obtuvieron en dos fases, la primera, tomadas directamente en campo y la segunda, después de procesar las muestras en el laboratorio. Estas muestras se preservaron en campo con ácido sulfúrico en frascos plásticos hasta pH igual o inferior a 2. Los valores físicoquímicos obtenidos directamente en campo fueron Temperatura, pH, Conductividad, Sólidos disueltos, Oxígeno Disuelto, Porcentaje de Saturación de Oxígeno y Transparencia. Se midieron las siguientes variables hidrológicas en los sistemas lóticos: velocidad de la corriente, caudal y perfil batimétrico de la sección transversal. Para la medición de Temperatura, pH, Conductividad, Sólidos disueltos, Oxígeno Disuelto y su porcentaje de saturación se empleó un equipo

multiparámetros, portátil, HACH HQ40d. La transparencia se midió horizontalmente por el método del disco Secchi. La velocidad se tomó mediante el cálculo del tiempo que tarda un objeto (botella plástica) atado a una cuerda de longitud conocida (10m) en recorrer esa distancia; este procedimiento se realizó 10 veces y luego se promedió. El perfil batimétrico se trazó a lo ancho del cauce y se tomaron medidas de profundidad cada 50 cm. Para el cálculo del caudal se utilizó el método de adición de un marcador químico (sal común). Para esto se tomó un bidón, con tapa con dos mangueras, al cual ya se le conocía la velocidad de vaciado, y se le diluyó una cantidad conocida de sal. A una distancia aproximada de 100 metros de donde se tomaron los datos, se vació el bidón y se registraron los valores de conductividad cada 5 segundos. Para hallar el caudal se utilizaron las siguientes ecuaciones.

$$Q \text{ (L/s)} = KS \text{ (mg NaCl/s)} / AS \text{ (mg NaCl/L)}$$

$$AS \text{ (mg/l)} = 0,6679 [\text{Cond. Final } (\mu\text{S/cm}) - \text{Cond. Inicial } (\mu\text{S/cm})]$$

La segunda fase se llevó a cabo en el Laboratorio de Ecología, del Departamento de Biología de la Universidad Nacional de Colombia. Allí se procesaron las muestras para obtener los valores de Turbidez, Fosfatos, Nitratos, Amonio, y Sólidos Suspendidos ((se trabajó únicamente con Sólidos suspendidos totales, ya que los valores para orgánicos e inorgánicos eran indetectables). Para los sólidos suspendidos se secaron filtros de fibra de vidrio durante 48 h a 70°C, se pesaron y luego se procedió a filtrar 500ml de la muestra en una bomba de vacío, y se llevaron a secado al horno a 70°C, y posteriormente se procedió a pesarlos. Después estos filtros se llevaron a la mufla para incinerarse a 600°C por 2 horas. Luego de incinerados los filtros se pesaron nuevamente. Este procedimiento se repitió con todas las muestras. Para determinar los valores de Turbidez, Fosfatos, Nitratos y Amonio, se utilizaron los protocolos respectivos del Manual HACH DR/2000 (Turbidez, Fósforo Reactivo, Nitratos L.R, Amonio prueba de Nessler). Para llevar a cabo estas pruebas fue necesario neutralizar las muestras con hidróxido de sodio.

El tratamiento de los datos se realizó a escala ecosistémica (estadísticas descriptiva) y a escala de paisaje. Esta última escala se abordó mediante un Análisis de Componentes Principales (APC) del conjunto de variables fisicoquímicas tomadas en campo con el uso del programa PAST. Además, las variables fisicoquímicas se emplearon también en el Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) con las variables biológicas.

## **Comunidades Biológicas**

### **- Perifiton**

Durante el mes de Septiembre del año 2011 (final de la época seca), se realizó un muestreo en el PNN el Cocuy, en donde se escogieron diferentes ambientes limnológicos en tres biomas diferentes: altoandino (río Corralillo, laguna El Ojito), subpáramo (río Playitas, laguna Guaicany,

laguna San Pablín), páramo (Rio Lagunillas, laguna La Pintada) y superpáramo (Quebrada Playitas 1 y 2, laguna Los Verdes, Cojines Playitas) (Tabla 3.1).

Para los sistemas lóticos, se ubicaron 3 sitios de muestreos separados por una distancia aproximada de 50 metros. En cada sitio se tomaron 3 puntos diferentes con similaridad de corriente donde se recolectaron muestras de diversos sustratos (rocas, troncos y hojas sumergidos). A lo largo de un transecto longitudinal se muestreo en la parte central del cauce y si no fue posible en los márgenes, siempre asegurando que el sustrato estuviera sumergido, que presentara alta radiación solar y que tuviera diferente coloración de biofilms para asegurar un muestreo representativo. En cada sustrato definido se utilizó un marco de diapositiva con un área de 782 mm<sup>2</sup> como plantilla para realizar entre 10 y 20 raspados, empleando cepillos de dientes o bisturíes para remover los organismos perifíticos. La muestra recolectada en cada uno de los sitios fue de tipo simple y discreta. El material recolectado se fijo en 100 ml de solución Transeau (APHA *et al.*, 2005).

Se estimaron *in situ* variables hidrológicas, físicas y químicas tales como turbidez, oxígeno disuelto, sólidos totales, conductividad eléctrica, caudal, temperatura, pH y transparencia. En el laboratorio se procedió a identificar a los organismos hasta el máximo nivel taxonómico posible, empleando para ello bibliografía específica (BELLINGER *et al.*, 2010, PARRA *et al.*, 1983). Se realizaron conteos en placas de sedimentación y en cámaras Sedgewick-Rafter a un aumento de 10 y 40 X, utilizando microscopios invertidos y directos, respectivamente. Se realizaron transectos a lo largo de las placas en forma de zigzag hasta obtener un número de individuos cercano a 200 de la especie más abundante. Se realizó un registro fotográfico con cámara digital para complementar la identificación de las especies. Cada taxón se ubicó dentro de una categoría de forma de vida de acuerdo con Stevenson *et al.* (1996), Moura (1997) y Hoagland *et al.* (1982).

Los datos obtenidos se dividieron en ambientes lóticos y lenticos y se sometieron a análisis estadísticos mediante el uso del programa PAST (Paleontological Statistics) para establecer los índices de dominancia (SIMPSON, 1949), diversidad (SHANNON & WEAVER, 1949) y equitatividad (PIELOU, 1969). Para establecer la significancia de las diferencias entre sitios de muestreo se realizaron comparaciones a partir de los índices de diversidad beta de Whittaker y se hizo un análisis de correspondencia canónica con los datos físico-químicos y biológicos. Por último se realizó un análisis de varianza con los parámetros obtenidos a partir de los datos físicos y químicos para comparar los sistemas acuáticos agrupados por comunidades (composición), formas de vida y biomas.

#### - **Macroinvertebrados**

Hacia el final de la temporada seca y el inicio de la temporada de lluvias, en el mes de septiembre del año 2011 se realizó un muestreo de macroinvertebrados en algunos ríos, quebradas y lagunas del PNNEC (ver tabla 3.1).

Los métodos de captura utilizados fueron seleccionados 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, neuston 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 frascos plásticos 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 frascos plásticos, para su posterior separación, almacenamiento e identificación.

3) Red Manual: Marco rectangular de 21 x 18 cm. Con esta red se realizaron cinco pasadas o barridos a lo largo de 1 metro de longitud, por la vegetación riparia o parcialmente sumergida. El material colectado se conservó en frascos plásticos, para su posterior tratamiento.

3) Corazonador: Cilindro de material plástico y un “mango” metálico que permite extraer el sedimento bentónico superficial en los lugares lodosos o arenosos. La muestra se tamizó y el material resultante se conservó con alcohol en frascos plásticos hasta su posterior limpieza, separación e identificación.

4) Captura manual: se tomaron rocas del cuerpo de agua desde las cuales se obtuvieron de manera directa los individuos adheridos a su superficie. Cada roca se cubrió con papel aluminio para después determinar el área por peso o en su defecto se tomaron medidas de longitud y diámetro. Los organismos se conservaron con alcohol en frascos plásticos hasta su posterior identificación y cuantificación.

*Limpieza 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, 1988; Merrit & Cummins, 1996), lo cual permitió clasificar los individuos en morfoespecies y estos a su vez a familias. En anexos se especifican los tipos de muestreos empleados en cada sitio de colecta. Adicionalmente, se agruparon las familias en grupos funcionales teniendo en cuenta el hábito alimenticio (Wilzbach *et al.*, 1988).

### *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 medida de la dominancia de los taxones en la muestra.

$D = \frac{1}{\sum (n_i/n)^2} = \frac{1}{\sum p_i^2}$ , en donde  $n_i$  es el número de individuos para el taxón  $i$  y  $n$  es el número total de individuos.

2. Diversidad de Shannon (H); 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).

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

3. Equitatividad (E); medida de la diversidad con valores que oscilan entre 1 y el número máximo de taxones presentes en la comunidad.

$E = H/\ln(S)$ , en donde  $S$  es el número de taxones y  $H$  el índice de diversidad de Shannon.

### *Análisis multivariados:*

Se utilizó el análisis de correspondencia canónica (CCA) 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. (Legendre *et al.* 1998)

#### **- Fitoplancton**

Las lagunas en donde se realizó el estudio se encuentran en áreas de manejo del Parque Nacional Natural El Cocuy (PNNEC) y en áreas privadas en inmediaciones del parque. Se encuentran entre los 3082 y 3980 msnm lo que permite hacer un contraste entre sistemas lénticos altoandinos y de paramo. La muestra para cada una de las lagunas se obtuvo filtrando 180 litros de agua superficial con una red de 80µm para identificación y posterior conteo de fitoplancton. El resultado de la filtración fue aproximadamente de 90 ml que se fijaron con solución Transeau (formol, alcohol y agua en proporciones 1:3:6). En el laboratorio se observaron entre 0.1 y 0.2 ml de la muestra mediante un microscopio invertido, se realizó la identificación de los géneros presentes y se cuantificó cada uno de ellos con el fin de determinar la composición porcentual de la comunidad fitoplanctónica para cada uno de los sistemas lénticos muestreados. También se



realizó una categorización de los géneros encontrados en siete categorías morfológicas basados en los grupos funcionales (MBFG) de fitoplancton (Kruk et al, 2010)

Los datos obtenidos del tratamiento de las muestra en laboratorio fueron empleados para calcular los siguientes índices de diversidad mediante el empleo del software estadístico PAST.

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.

$D = \sum ((n_i/n)^2)$ , en donde  $N_i$  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.

$I = (s-1)/\ln(n)$ , en donde  $S$  es el números 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).

$H = -\sum((n_i/n)\ln(n_i/n))$

*Análisis multivariados:*

Se utilizó el análisis de correspondencia canónica (CCA) como método de ordenamiento de los datos biológicos. Esta técnica permite ubicar los puntos de muestreo y los taxones en dos coordenadas de un grafico, reduciendo así la variabilidad de la información a dos ejes.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Variables Físicoquímicas e Hidrológicas.**

#### **Resultados y clasificación de los ecosistemas**

Los datos obtenidos en campo y laboratorio se resumen en la tabla 3.2, como se puede observar, los ecosistemas en general del PNNEC, se caracterizan por presentar pH ligeramente ácidos, bajas cantidades de nitrógeno y fosforo, concentraciones altas de oxígeno, así como una baja conductividad y concentración de sólidos disueltos; cuando se comparan con otros ecosistemas ya sea lenticos (Donato, 2001; Gaviria, 1993; Roldan, 1992) o loticos (Donato & Galvis,

2008), los ambientes acuáticos evaluados presentan valores más extremos, lo cual puede deberse a la altitud en la que se ubican, la geología y factores meteorológicos. Las anteriores características nos permiten clasificarlos como oligotróficos (Donato & Galvis, 2008; Donato, 2001; Gaviria, 1993; Roldan & Ramírez, 2008).

Cuerpo de agua	Turbidez	pH	Fosforo reactivo	Nitratos	Amonio	presión (m bar)	conductividad (mg/g)	temperatura (°C)	solidos disueltos (mg/L)	O <sub>2</sub> disuelto (mg/L)	Saturación de O <sub>2</sub>	Solidos suspendidos (mg/L)
Río Corralitos	4	8,12	0,01	0,03	0,05	672	11,3467	10,45	7,15667	7,08333		0.0026
Laguna Guaicany	11	7,08	0,00	0,00	0,07	649	55,8667	12,233	35,1333	5,90667	87.3%	0.0017
Laguna la Pintada (1)	4	7,22	0,00	0,07	0,13	637	10,895	12,4	6,745	7,315	112.7%	0.0023
Río Lagunillas	3	7,01	0,00	0,03	0,00	637	9,19	11,25	5,805	6,905	101.6%	0.0026
Río Playitas	4	6,96	0,00	0,02	0,00	602	17,7	12,2	5,57	6,2		0.0026
Río playitas 2	4	6,96	0,00	0,02	0,00	602	6,135	14,6	3,535	4,59		0.0025
Los Cojines	10	5,46	0,00	0,03	0,14	602	6,52	19,4	3,37	5,61	105.0%	0.0033
Laguna Ciega	5	6,14	0,04	0,01	0,01	674	8,30333	10,167	6,51333	5,26	74.3%	0.0030
El Ojito	4	5,89	0,00	0,21	0,02	708	17,91	13,8	10,765	6,265	87.8%	0.0024
Río Playitas Subpáramo	3	6,04	0,00	0,01	0,00	642	11,5367	9,3333	7,53	6,89	99.7%	0.0040
Laguna San Pablín	20	6,31	0,00	0,01	0,05	649	4,01	14,6	2,37333	8,03667	125.0%	0.0036

**Tabla 3.2** Resultados de fisicoquímicos en Campo y laboratorio

Cuerpo de agua	Profundidad media (m)	Ancho medio (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Velocidad (m/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
Río Corralitos	0,31064	4,50	1,447	0,811	0,00888669
Río Lagunillas	0,35893	3,44	1,257	0,800	0,03765669
Río Playitas (1)	0,10167	3,00	0,305	0,592	0,00158136
Río Playitas (2)	0,05125	2,25	0,113	0,249	
Río Playitas Subpáramo	0,09799	6,00	0,585	4,095	0,14283665

### Tabla 3.3 Datos hidrológicos de los sistemas lóticos

De acuerdo a Donato (2001), los lagos que se evaluaron en el PNNEC corresponden a la provincia de alta montaña tropical, y pueden dividirse en dos clases de acuerdo a la altitud, las condiciones ecológicas y el sistema de producción de la cuenca de drenaje.

La primera clase descrita por Donato (2001), se ubican generalmente en el rango de 3000-3800 msnm, y como principal característica, es que se encuentran afectados por la ampliación de la frontera agrícola y ganadera, lo cual causa un deterioro leve en el agua, acelerando los procesos de colmatación, si tenemos en cuenta que estos factores también afectan a los sistemas loticos en estas alturas, podemos explicar que algunos de estos ecosistemas presenten datos atípicos como un elevado nivel de nitratos, amonio, fosforo reactivo, conductividad y sólidos disueltos, así como una baja saturación de oxígeno. El otro grupo del que habla Donato (2001), son los ecosistemas situados por encima de los 3800 msnm, los cuales se caracterizan por ser muy oligotróficos.

### Relación de variables

El análisis PCA se realizó sin las variables de fósforo reactivo y sólidos disueltos, ya que el análisis de los valores propios (tabla 3.4) revela que los 4 primeros componentes principales son los más relevantes en términos de la varianza explicativa de cada uno; la varianza acumulada en estos 4 primeros componentes fue del 83%. En estudios anteriores, donde se ha utilizado los componentes fisicoquímicos para hacer un PCA que refleja una distribución regional, se encontró que los dos primeros ejes explicaban un 74.7% del total de la varianza de las muestras, donde el primer componente estaba asociado con  $Ca^+$ ,  $Mg^{2+}$  y  $SO_4^{2-}$ , y el segundo eje con el  $Na^{+2}$  y el  $K^+$ , variables que no fueron tenidas en cuenta para el análisis del PNNEC, aun así el estudio mencionado buscaba relacionar los lagos de alta montaña ubicados en los tres ramales de la cordillera de los andes (Donato, 2001).

componente	eigenvalue	porcentaje de varianza	Porcentaje de varianza acumulativo
comp 1	2,13217923	30,4597033	30,4597033
comp 2	1,49858827	21,4084039	51,8681072
comp 3	1,16094295	16,5848993	68,4530065
comp 4	1,01035641	14,433663	82,8866695
comp 5	0,74979896	10,7114137	93,5980832
comp 6	0,35845312	5,12075885	98,7188421
comp 7	0,08968105	1,28115791	100

Tabla 3.4 Valores propios y varianzas asociadas del análisis PCA

Al realizarse una tabla de correlaciones, se observó una fuerte relación (positiva) entre la conductividad y los sólidos disueltos (tabla 3.5), como era de esperarse, para las demás variables que se estudiaron, las relaciones entre ellas, no fueron representativas. Se esperaba encontrar una fuerte relación entre la turbidez y los sólidos disueltos, la cual no se evidenció en la tabla de correlaciones, lo que indica que la turbidez puede estar relacionada con comunidades biológicas, como el fitoplancton y zooplancton.

	Turbidez	pH	Fosforo reactivo	Nitratos	Amonio	altura	presión	Conductividad	temperatura	sólidos disueltos	O2 disuelto	Sólidos suspendidos
Turbidez	1	-0,25	-0,138	-0,261	0,349	0,044	-0,041	0,101	0,462	0,119	0,32	0,231
pH	-0,251	1	-0,064	-0,232	-0,071	0,016	-0,015	0,211	-0,465	0,19	0,22	-0,545
Fosforo reactivo	-0,138	-0,06	1	-0,181	-0,197	-0,38	0,377	-0,16	-0,373	-0,088	-0,31	0,088
Nitratos	-0,261	-0,23	-0,181	1	0,026	-0,57	0,574	-0,038	0,155	-0,039	0,05	-0,25
Amonio	0,349	-0,07	-0,197	0,026	1	0,167	-0,16	0,085	0,56	0,112	0,17	-0,118
altura	0,044	0,016	-0,378	-0,569	0,167	1	-1	-0,151	0,409	-0,242	-0,26	0,111
presión	-0,041	-0,02	0,377	0,574	-0,16	-1	1	0,149	-0,404	0,24	0,26	-0,115
conductividad	0,101	0,211	-0,16	-0,038	0,085	-0,15	0,149	1	-0,161	0,981	-0,14	-0,629
temperatura	0,462	-0,47	-0,373	0,155	0,56	0,409	-0,404	-0,161	1	-0,189	-0,24	0,046
sólidos disueltos	0,119	0,19	-0,088	-0,039	0,112	-0,24	0,24	0,981	-0,189	1	-0,13	-0,601
O2 disuelto	0,321	0,217	-0,307	0,052	0,174	-0,26	0,26	-0,137	-0,24	-0,131	1	0,271
Sólidos suspendidos	0,231	-0,55	0,088	-0,25	-0,118	0,111	-0,115	-0,629	0,046	-0,601	0,27	1

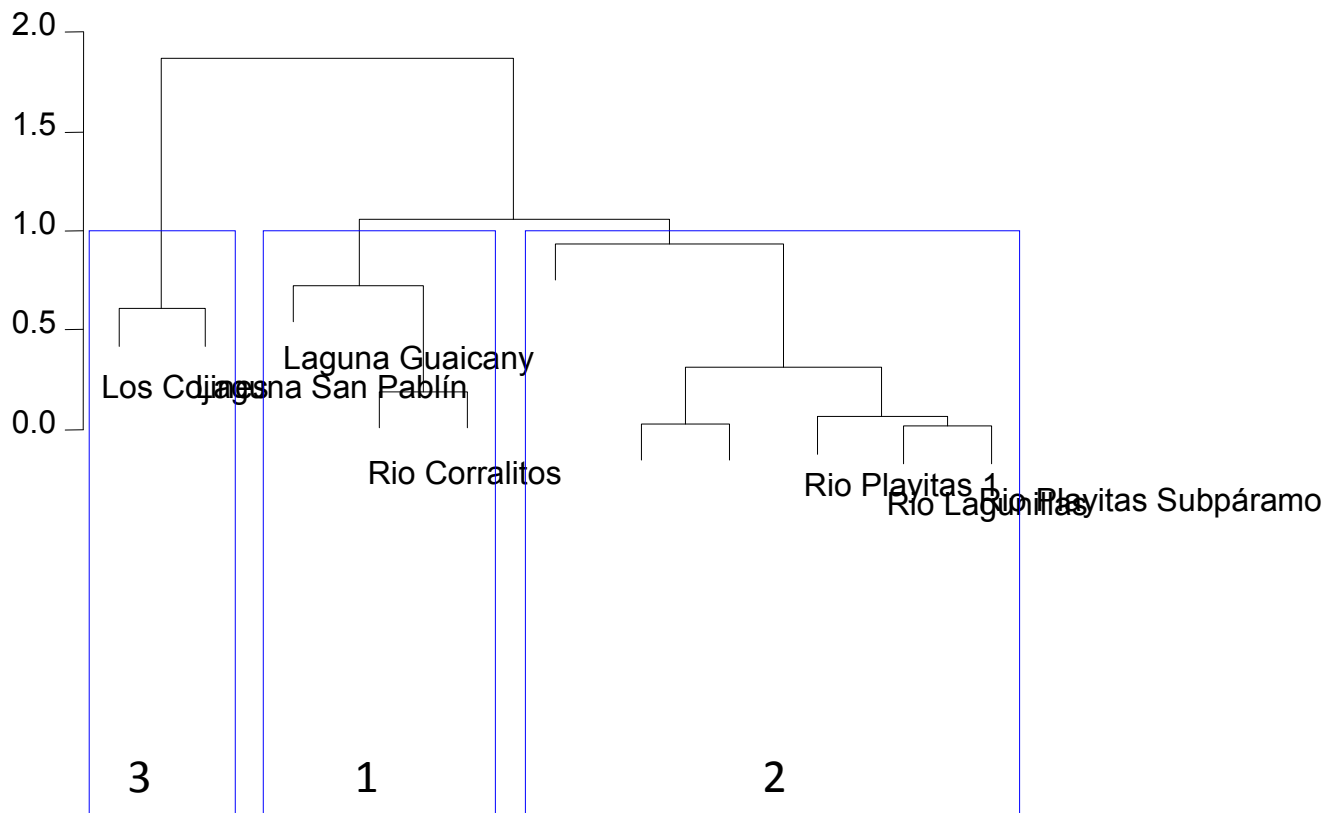
**Tabla 3.5** Matriz de correlaciones de las variables fisicoquímicas.

Para explicar cómo las variables fisicoquímicas afectan los ecosistemas, se realizó una clasificación no supervisada por el método mixto propuesto por Lebart *et al.* (1995), el cual hace uso del método de Ward y K-means, sobre la información de los 4 primeros componentes principales. Según el criterio de la varianza intra y entre clases, se escogieron 3 grupos los cuales se muestran en la Figura 3.1. La caracterización de estos grupos se presenta en la tabla 3.6. El valor test puede usarse para poner a prueba la hipótesis de si la variable en la clase difiere significativamente del resto de la población (valores test mayores en valor absoluto a 1.96 se consideran significativos al 95%).

La tabla 3.6 muestra que la clase 1 (Laguna Gaucany, Río Corralitos, Laguna la Pintada) se puede caracterizar por valores de pH y conductividad altos. Mientras que la clase 2 (Laguna el Ojito, Río Playitas, Laguna ciega, Río Playitas, Río Lagunillas) se caracteriza por valores bajos de amonio y valores promedio en las demás variables. Por último la clase 3 (Los cojines, Laguna San Pablín) se caracteriza por valores altos de temperatura y valores de pH bajos. En la Figura 3.1 se muestran los ecosistemas agrupados en cada clase.

<b>clase 1</b>	<b>Test.Value</b>	<b>Class.Mean</b>	<b>Global.Mean</b>
pH	2,199	7,47333333	6,65363636
Conductividad	1,628	26,03611111	14,4921212
Amonio	1,593	0,08333333	0,04272727
O2.disuelomg.L.	0,812	6,76833333	6,36924242
Nitratos	-0,228	0,03333333	0,04
Temperatura.	-0,776	11,69444444	12,76666667
<b>clase 2</b>	<b>Test.Value</b>	<b>Class.Mean</b>	<b>Global.Mean</b>
Nitratos	0,612	0,05	0,04
Conductividad	-0,68	11,79583333	14,4921212
pH	-0,737	6,5	6,65363636
temperatura	-1,133	11,89166667	12,76666667
O2.disuelomg.L.	-1,277	6,01833333	6,36924242
Amonio	-2,647	0,005	0,04272727
<b>clase 3</b>	<b>Test.Value</b>	<b>Class.Mean</b>	<b>Global.Mean</b>
temperatura	2,359	17	12,76666667
Amonio	1,578	0,095	0,04272727
O2.disuelomg.L.	0,711	6,82333333	6,36924242
Nitratos	-0,527	0,02	0,04
conductividad	-1,001	5,265	14,4921212
pH	-1,587	5,885	6,65363636

**Tabla 3.6** Caracterización de las clases formadas por el método de Lebart *et al.* (1995) a partir de los datos fisicoquímicos.

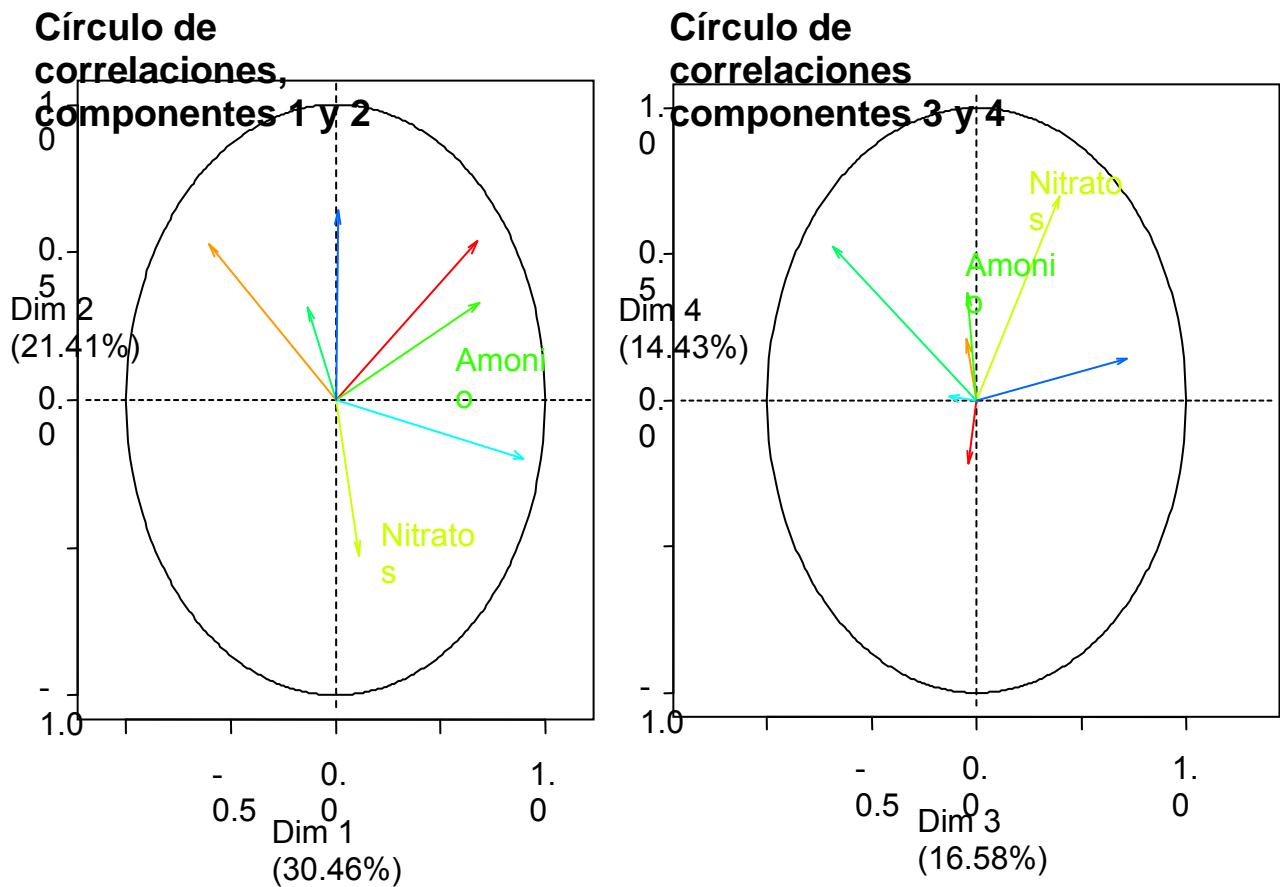


**Figura 3.1** Clasificación automática por el método propuesto por Lebart *et al.* (1995).

En la tabla 3.7 se presentan las contribuciones y correlaciones de las variables a los 4 primeros componentes principales. Se observa que el primer componente se encuentra asociado positivamente a temperatura principalmente y en menor grado a amonio y turbidez; este componente también se encuentra negativamente asociado con el pH. El segundo componente principal se encuentra positivamente asociado al oxígeno disuelto en gran medida y en menor grado a la turbidez y al pH. Por otro lado se asocia negativamente con los nitratos. El tercer componente se encuentra asociado principalmente al oxígeno disuelto de forma positiva y a la conductividad de forma negativa. El cuarto componente se encuentra asociado principalmente a nitratos y en menor medida a la conductividad, ambos de forma positiva.

Variable	Comp.1		Comp.2		Comp.3		Comp.4	
	Contribución	Correlación	Contribución	Correlación	contribución	correlación	Contribución	Correlación
Turbidez	21,544	0,678	19,157	0,536	0,141	-0,040	4,654	-0,217
pH	17,288	-0,607	18,404	0,525	0,194	-0,047	4,272	0,208
Nitratos	0,587	0,112	18,516	-0,527	13,496	0,396	48,349	0,699
Amonio	22,021	0,685	7,234	0,329	0,159	-0,043	13,466	0,369
Conductividad	0,833	-0,133	6,600	0,314	40,474	-0,685	27,254	0,525
Temperatura	37,720	0,897	2,597	-0,197	1,449	-0,130	0,013	0,012
O2disuelto	0,007	0,012	27,493	0,642	44,087	0,715	1,992	0,142

**Tabla 3.7** Contribuciones y correlaciones de las variables fisicoquímicas a los 4 primeros componentes principales.



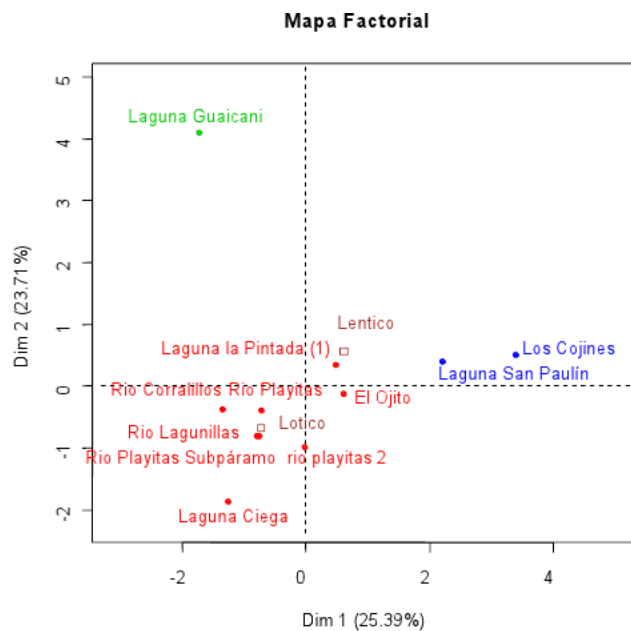
**Figura 3.2.** Círculos de correlaciones en los planos formados por los componentes 1y2 y 3y4.

En la Figura 3.2 se presentan los círculos de correlaciones de las variables y los 4 primeros componentes principales, en los cuales se pueden apreciar el sentido de las relaciones entre los componentes principales y las variables. Las longitudes de las flechas dan una idea del grado de

asociación con los ejes del plano factorial o componentes principales. Flechas largas cercanas al círculo unitario constituyen variables bien representadas por los componentes principales. Por ejemplo la temperatura y el pH se encuentran bien representados en el plano de los componentes 1 y 2 pero mal representados en el plano de los componentes 3 y 4.

Esta figura permite ver que el primer componente esta correlacionado positivamente con la temperatura y negativamente con el pH y el componente 4 se encuentran positivamente relacionado con los nitratos y negativamente relacionado con la turbidez.

A continuación relacionamos las asociaciones anteriormente descritas con los ecosistemas estudiados en PNNEC. En la Figura 3.3 se presenta el primer plano factorial formado por los componentes 1 y 2. En este se aprecia cómo la mayoría de las lagunas (salvo la Laguna Ciega), se agrupan del lado positivo del primer componente principal, el cual está asociado a altas temperaturas. En general las lagunas presentan temperaturas mayores a los ecosistemas lóticos. Como se vio anteriormente, este componente también se encuentra asociado al contenido de amonio y a la turbidez y en este caso los ecosistemas lénticos parecen poseer una mayor concentración de amonio y mayor turbidez que los loticos.

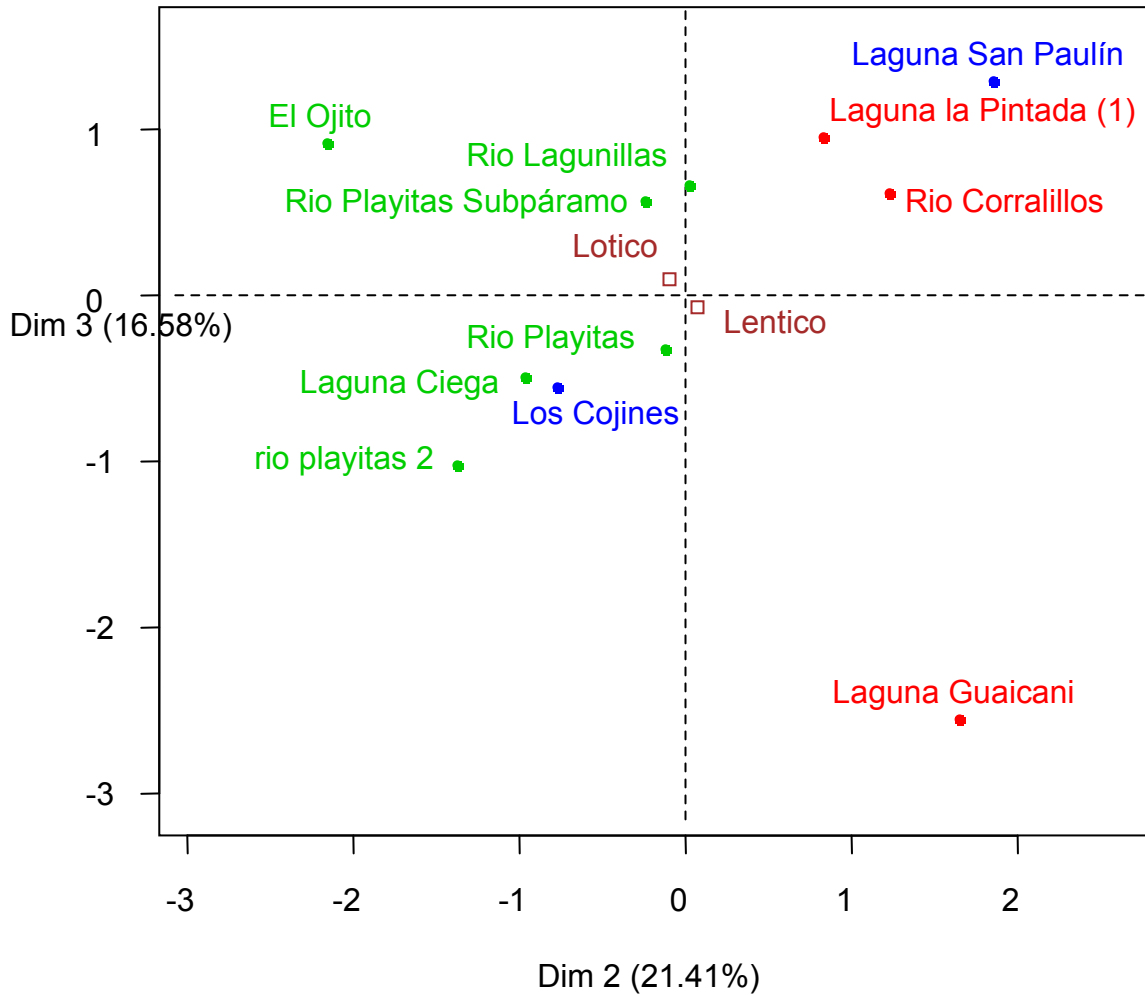


**Figura 3.3.** Plano factorial formado por los componentes 1 y 2.

En la Figura 3.4 se presenta el plano factorial formado por los componentes 2 y 3, los cuales están asociados fuertemente a la concentración de oxígeno disuelto. En particular este gráfico es útil para identificar a los ecosistemas con mayor concentración de oxígeno disuelto, que son aquellos que se ubican en el primer cuadrante de este plano. Así mismo, se puede observar que los ecosistemas con menor contenido de oxígeno disuelto son aquellos ubicados en el cuadrante 3.

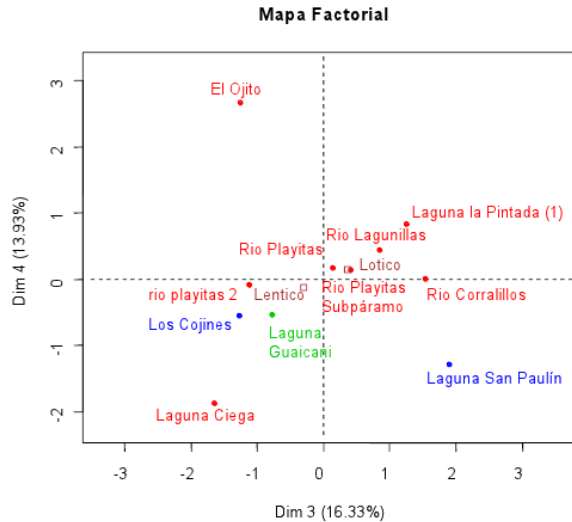


### Mapa Factorial



**Figura 3.4.** Plano factorial formado por los componentes 2 y 3.

Por otra parte en la Figura 3.5 se presenta el plano factorial formado por los componentes 3 y 4. Este gráfico es útil para observar aquellos ecosistemas con altos contenidos de nitratos, oxígeno disuelto y conductividad simultáneamente, que son aquellos ecosistemas ubicados en el primer cuadrante (Laguna la Pintada, Río Lagunillas, Río corralitos, Río Playitas). En estos planos se proyectan la variable cualitativa tipo de ecosistema: Léntico o Lótico, y según el análisis los tipos de ecosistemas poseen diferencias significativas en los componentes 1 y 2 (ver tabla 3.8).



**Figura 3.5.** Plano factorial componentes 3 y 4

Para confirmar si hay o no diferencias entre los tipos de ecosistemas se realizó la prueba multivariada  $T^2$  de Hotelling, la cual tiene como hipótesis nula que los vectores de medias de los 2 tipos de ecosistemas son iguales. El p-valor arrojado por la prueba es de 0.0744 por lo cual la hipótesis nula no se puede rechazar. Para ver si marginalmente existen diferencias entre los 2 tipos de ecosistemas en alguna de las variables de estudio se realizaron pruebas paramétricas (ANOVA a una vía) y pruebas no paramétricas (Kruskal-Wallis) por separado para cada variable. La única variable que mostró tener diferencias significativas fue el contenido de amonio (ANOVA: p-valor = 0.04857 y Kruskal-Wallis: p-valor = 0.01921), que tiende a ser mayor en los ambientes lénticos.

ECOSISTEMA	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4
Léntico	2,122	0,219	-0,247	1,059
Lótico	-2,122	-0,219	0,247	-1,059

**Tabla 3.8.** Valores test para el tipo de ecosistema, 95% de confianza la hipótesis de que son iguales no se puede rechazar para los componentes 3 y 4.

### Análisis de ecosistemas lóticos

Para realizar un análisis de los ecosistemas lóticos, se resumieron los datos estadísticos de estos ambientes en la tabla 3.2, y posteriormente se compararon los resultados obtenidos en campo y laboratorio con la media global de los ecosistemas lóticos. Esto permitió relacionar las condiciones de cada ambiente con respecto a las características de los ecosistemas de la región.

Para la turbidez, se encontró una media de 3.6; los valores mínimos fueron de 3 y el máximo de 4, siendo los ecosistemas de paramo (río Lagunillas) y sub-paramo (río Playitas) los más bajos.

Los ambientes de súper paramos (río Playitas 1 y 2) registraron los valores más altos, junto al de bosque alto andino (río Corralillos), como se puede observar en las tablas 3.2 y 3.9.

	Turbidez	pH	Fósforo reactivo	Nitrato	Amonio	Conductividad	Temp.	Sólidos disueltos	O2 disuelto
<b>Min</b>	3	6.04	0	0.01	0	6.135	9.33	3.535	4.59
<b>1 stQu</b>	3	6.96	0	0.02	0	9.19	10.45	5.57	6.2
<b>Median</b>	4	6.96	0	0.02	0	11.347	11.25	5.805	6.89
<b>Mean</b>	3.6	7.018	0.002	0.022	0.01	11.182	11.567	5.919	6.334
<b>3rd Qu</b>	4	7.01	0	0.03	0	11.537	12.2	7.157	6.905
<b>Max.</b>	4	8.12	0.01	0.03	0.05	17.7	14.6	7.53	7.083
<b>Desviación</b>	0.547	0.738	0.004	0.008	0.022	4.245	1.996	1.577	1.031

### 3.9 Resumen estadístico de las variables fisicoquímicas de los ambientes lóticos del PNNEC.

Otros datos que no presentaron gran variación dentro de los sistemas lóticos fueron el fósforo reactivo y el amonio (ver tabla 3.2 y 3.8), que presentaron los mayores valores en el río Corralillos; los nitratos también mostraron una baja variabilidad, con los registros más altos en los ríos Corralillos y Lagunillas y el menor en el río Playitas a nivel de sub paramo. De acuerdo a Roldan (1992), las cantidades de fósforo y nitrógeno en los ríos de montaña, son bajos, además dependen de la geología de la vertiente (Donato & Galvis, 2008), esto va a tener repercusiones en las comunidades del agua.

Estudios previos han demostrado que los ríos de montaña pueden presentar un alto nivel de fosfatos derivado del lavado de la cuenca volcánica (que no es el caso), o por la descomposición parcial de materia orgánica en turberas rio arriba, aun así, también se ha demostrado que los mayores valores se dan en periodos de mayor caudal (Donato & Galvis, 2008), el cual no coincide con la temporada en la que se realizó el muestreo, vale la pena destacar que para los periodos de bajo caudal, como en el que se realizó el muestreo, los niveles de nitrógeno son altos (Donato & Galvis, 2008), lo que influye notoriamente en los resultados colectados.

Para el pH se obtuvo una media de 7.018, con una mínima de 6.04 en el río Playitas a nivel de sub-paramos, y un máximo de 8.12 en el río Corralillos. Los otros ecosistemas tuvieron valores similares (6.96-7.01). Estos registros se encuentran en el rango para ríos de montaña de Sudamérica establecido por Margalef en 1983 (Martínez & Donato, 2003).

La conductividad presentó una media de 11.18 y fue la medida con la mayor variación estándar (ver tabla 3.2). Los datos registrados en los ambientes loticos fueron menores a los registrados en los ambientes lenticos. De acuerdo con Casallas & Gunkel (2001), en la alta montaña los procesos de mineralización son deficientes, razón por la cual, se espera que a una mayor altitud

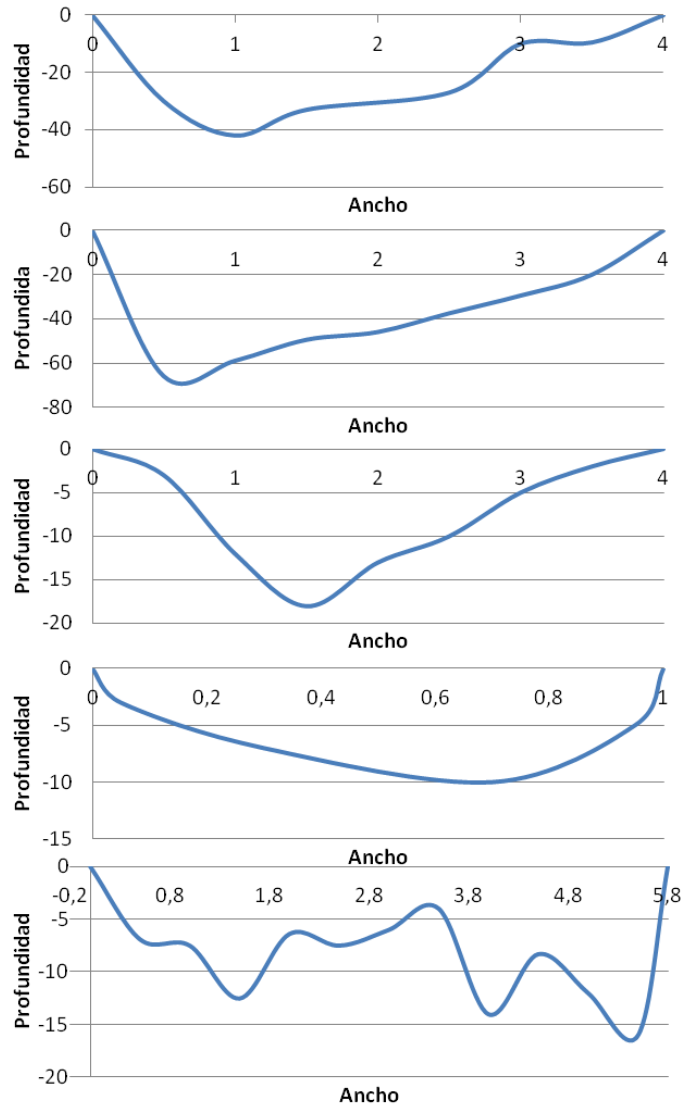
menor sea la conductividad, como se observa en los datos registrados en este estudio. Aun así, algunos sistemas lóticos del súper paramo mostraron valores más altos, lo cual puede indicar que esta variable está influenciada por condiciones particulares que rodean el cuerpo del agua y no por las características geográficas del bioma en la que se encuentran. Todos los datos para esta variable fueron menores al rango establecido por Margalef en 1983, y a los registrados en el río Tota (Martínez & Donato, 2003).

La media de los sólidos disueltos es de 5.91 y su varianza es de 1.57 (ver tabla 3.9). Los mayores valores se encontraron en los ecosistemas de Sub paramo (río Playitas) y bosque alto andino (río Corralillos), lo cual era de esperar, ya que estos cuerpos de agua han recorrido una mayor distancia que los demás cuerpos lóticos de alturas mayores, y por lo tanto pueden recoger un mayor número de partículas.

La quebrada Playitas 2 (súper paramo) mostró el valor más bajo de oxígeno disuelto y el máximo de temperatura. Los valores más altos de oxígeno disuelto y menores de temperatura se registraron en los ríos Corralillos y Playitas a la altura de sub paramo (ver tabla 3.1), lo cual confirma la relación inversamente proporcional entre temperatura y oxígeno. Las anteriores variables tuvieron medias de 6.33 mg O<sub>2</sub>/L y 11.56 °C respectivamente (ver tabla 3.9). En el caso del O<sub>2</sub>, los valores registrados fueron similares a los valores de saturación respecto a la temperatura dados por Roldan (1992). De acuerdo a Roldan (1992), la calidad fisicoquímica en la zona alta de un río normalmente es buena, el oxígeno es alto, las aguas son claras y transparentes, pobres en nutrientes, las anteriores relaciones se encontraron para los ecosistemas lóticos alto andinos en el PNNEC.

Los resultados atípicos encontrados en el río corralitos, pueden explicarse a que este se encuentra en la franja altitudinal donde Donato (2001) ubica un grupo de ecosistemas altamente afectados por las actividades humanas, como lo son la agricultura y la ganadería, las cuales están afectando los procesos de eutrofización.

A continuación se muestran los perfiles batimétricos de los sistemas lóticos visitados. Es de gran importancia conocer la estructura de estos cauces, en especial por monitorear la materia orgánica y su dinámica de recambio, en estos cuerpos de agua. Esto también permite conocer si existe un proceso de zonificación vertical referente a los productores primarios que se encuentran en estos cauces.



**Figura 3.6** Perfiles batimétricos (A) rio corralillos (B) Perfil batimétrico del rio lagunillas. (C) Perfil batimétrico del rio playitas 1 (D) Perfil batimétrico de la quebrada playitas 2 (E ) Perfil batimétrico del rio playitas

En general todos los cauces de los cuerpos lóaticos muestreados, presentan un valle en “u” con una tendencia valle en forma de “v”. Con excepción del Río Playitas a nivel de subpáramo donde se presentan varios valles “profundos”. Esto muestra que los 4 primeros caños son relativamente jóvenes, de un caudal bajo con una velocidad baja. Sin embargo el perfil del Río Playitas a nivel de subpáramo, muestra un mayor proceso de erosión en su lecho, marcando diferentes valles profundos.

### Análisis de ecosistemas lénticos

El análisis de los ecosistemas lénticos se hizo en base en la tabla 3.10, que resume algunos parámetros estadísticos de las variables fisicoquímicas de estos ambientes. La media de la turbidez es relativamente baja cuando se compara con lagos alto andinos (Donato, 2001), existen lagunas con una turbidez de 20u, como la laguna San Pablín. Pero también existen lagunas de 4u como lo son La Pintada y El Ojito. Esto parece estar asociado a los aportes que llegan a estos cuerpos por la escorrentía y por sus afluentes. De todas maneras, la turbidez de las lagunas del PNNEC es baja en comparación con la de otros ecosistemas de zonas bajas (Roldán y Ramírez, 2008).

	Turbidez	pH	Fósforo reactivo	Nitrato	Amonio	Conductividad	Temp.	Sólidos disueltos	O2 disuelto
<b>Min</b>	4	5,46	0	0	0,01	4,01	10,17	2,373	5,26
<b>1 stQu</b>	4,25	5,952	0	0,01	0,0275	6,966	12,27	4,156	5,684
<b>Median</b>	7,5	6,225	0	0,02	0,06	9,599	13,1	6,629	6,086
<b>Mean</b>	9	6,35	0,007	0,055	0,07	17,251	13,77	10,817	6,399
<b>3rd Qu</b>	10,75	6,888	0	0,06	0,115	16,156	14,4	9,76	7,053
<b>Max.</b>	20	7,22	0,04	0,21	0,14	55,867	19,4	35,133	8,037
<b>Desviación</b>	6,197	0,684	0,16	0,08	0,054	19,506	3,15	12,273	1,068

**Tabla 3.10** Resumen estadístico de las variables fisicoquímicas de los ambientes lénticos del PNNEC.

El pH revela un promedio ligeramente ácido (6,35), con un mínimo de 5,46, y un máximo de 7,22. Esta variable es relativamente estable en todos los cuerpos lénticos. No se encuentran patrones de pH entre cuerpos del mismo bioma. De acuerdo a Gaviria (1993), los valores entre 5,7 – 7, pueden deberse a la presencia de compuestos húmicos en suelos y turberas, en general, los valores del pH son menores a los descritos en las lagunas de alta montaña de los tres ramales de los andes (Donato, 2001), pero son similares a los registrados en el PNN de Chingaza (Gaviria, 1993).

Las pruebas para fósforo reactivo, nitratos y amonio, no revelan concentraciones significativas de estos componentes en el agua. Es decir, se trata de ecosistemas oligotróficos y en algunos casos ultra oligotróficos, de acuerdo con los rangos dados por Roldán y Ramírez (2008); los resultados presentan como novedad un bajo nivel de fosfatos y nitrógeno en la laguna Guaicany (artificial), siendo que en estudios en Chingaza, el embalse del Chuza (también artificial y altura similar), presenta los mayores valores para estas variables (Gaviria, 1993), esta diferencia puede

explicarse a que este embalse variaba de tipo entre oligo y meso trófico, y la laguna Guaicany se clasifica como oligotrófica.

La conductividad en estas aguas es muy baja teniendo una media de 17,25  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y una máxima de 55,86  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en la laguna artificial de Sub- páramo, Guiacany. En general las lagunas naturales tienen conductividades no mayores a 17,91  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Esto se debe a la baja presencia de sólidos disueltos y ya que estas aguas son muy puras. La concentración de sólidos disueltos aportados por escorrentía es baja, lo que se refleja en la conductividad. Estos lagos podrían considerarse como de aguas claras, alta transparencia y baja conductividad. Los sólidos disueltos en estas aguas muestran por tanto el mismo comportamiento que la conductividad, presentándose la mayor concentración de sólidos disueltos en la laguna artificial de Guaicany, construida para el cultivo de trucha; la cual fue la única que presento valores mayores a los registrados en Chingaza (Gaviria, 1993).

Cuando se comparan los valores de conductividad registrados en el presente estudio con los obtenidos por Casallas & Gunkel (2001), los de los lagos del PNNEC son mucho menores. Esto está relacionado con la mayor altura a que se encuentran los ecosistemas acuáticos del Cocuy, donde los procesos de mineralización del agua son deficientes.

Las temperaturas oscilan entre los 10 y los 19°C, siendo la máxima, de 19,4°C en Los Cojines de súper páramo. Esta temperatura tan alta a comparación de las demás que no sobrepasan los 13°C, se debe a que se encontraba en súper páramo, recibiendo una alta radiación solar. Además, los cojines son pozos someros, lo que permite un calentamiento mayor del agua.

En cuanto al oxígeno disuelto, al igual que Vásquez y colaboradores (2006) se observó en los sistemas lénticos que a menor transparencia, mayor fue el contenido de oxígeno, con excepción de la laguna San Pablín. Esto parece indicar un mejor estado limnológico de las lagunas La Pintada y Ciega. Aun así, cuando se realizó un Anova sobre el modelo, no dio significativo ( $p$ -valor de 0.3009). No obstante, las diferencias significativas en la altura y la presión atmosférica pueden afectar estas conclusiones.

Para los ambientes lénticos se encontró que la saturación de oxígeno varió bastante. Se registraron valores de 74.26% (laguna Ciega), 87.3% (laguna Guaicay), 87.8% (laguna El Ojito), 105% (Cojines de la quebrada Playitas), 112.65% (laguna La Pintada) y 125.03% (laguna San Pablín). Los valores de saturación de oxígeno ideales deben ser del 100%, independientemente de la altura y la temperatura (Vásquez *et al.*, 2006; Roldán & Ramírez, 2008). Saturaciones inferiores como las presentadas en las lagunas Ciega, Guaicany y El Ojito se consideran de subsaturación (Roldán & Ramírez, 2008), lo cual puede ser provocado por alta presencia de materia orgánica, que demanda altas cantidades de  $\text{O}_2$  (Vásquez *et al.* 2006). Sin embargo, para lagos tropicales la saturación baja de oxígeno no es un indicador del estado trófico (Roldán & Ramírez, 2008). En general, los sistemas lénticos del PNNEC muestran buenas condiciones de oxigenación, lo que es indicativo de aguas limpias y con baja o ninguna contaminación.

Los ecosistemas de Cojines de la quebrada Playitas, laguna La Pintada y laguna San Pablín, presentan valores mayores de 100%, los que indica que están sobresaturados. Esto podría deberse a los regímenes de vientos del sector (Roldán & Ramírez, 2008), pero también a la actividad fotosintética de las algas y las plantas acuáticas sumergidas que inyectan oxígeno al agua. La baja temperatura contribuye a esta condición de saturación y sobresaturación de oxígeno.

### **POSIBLES RELACIONES ENTRE LAS VARIABLES FISICO-QUIMICAS Y COMUNIDADES BIOTICAS EN EL PNN EL COCUY**

Las características fisicoquímicas de los ecosistemas del PNNEC, van a generar una serie de presiones ambientales sobre los organismos que conforman las diferentes comunidades, así como van a permitir que determinados grupos prosperen.

Un ejemplo de lo anterior va a ser el bajo nivel de nitrógeno, debido a que este puede ser fijado mediante el metabolismo de bacterias fijadoras de nitrógeno y algas verde azules (Roldan, 1992), se esperaría encontrar estos organismos en altas cantidades, por lo cual, en las comunidades del fitoplancton un componente importante serían los géneros *Nostoc* y *Anabaena*, así como que se favorezca en la microbiota del agua a los géneros bacterianos de *Azotobacter* y *Clostridium*.

Donato y Galvis (2008), identificaron cambios respecto a la presencia de fosfatos y nitrógeno en ambientes lóticos de montaña de acuerdo al caudal en temporadas húmedas y secas, los cambios en la concentración de estos factores pueden influir sobre las comunidades bentónicas de los ríos, incluso se ha encontrado variación en la morfología de las especies dominantes determinadas por el régimen del caudal. Obteniéndose una mayor diversidad de formas en los periodos de bajo caudal, con una dominancia de formas alargadas, centrales y naviculiformes, y en periodos de alto caudal un dominio de formas aplanadas (Rivera & Donato, 2008).

Teniendo en cuenta la condición de alta montaña de los ríos evaluados, como lo son las bajas temperaturas, las corrientes y el alto contenido de oxígeno, se esperan que las especies de macroinvertebrados con un alto número de efemerópteros y plecópteros, algunos tricópteros, coleópteros y dípteros (Roldan, 1992), probablemente estos grupos también presentan una buena representación en los ambientes lenticos.

Para los sistemas lenticos que presentan aguas desmineralizadas y que tienen preferencia hacia pH ácidos como los observados en el PNNEC, encontramos a las siguientes especies de diatomeas bénticas: *Eutoniatridon*, *E. rabenhorstii*, *Eutoniaserra* va. *Diadema*, *Asterionellaralfsii*, *Fragilaria constreuens*, *Fragilaria virensceus*, así como otras especies menos relacionadas (Donato, 2001).



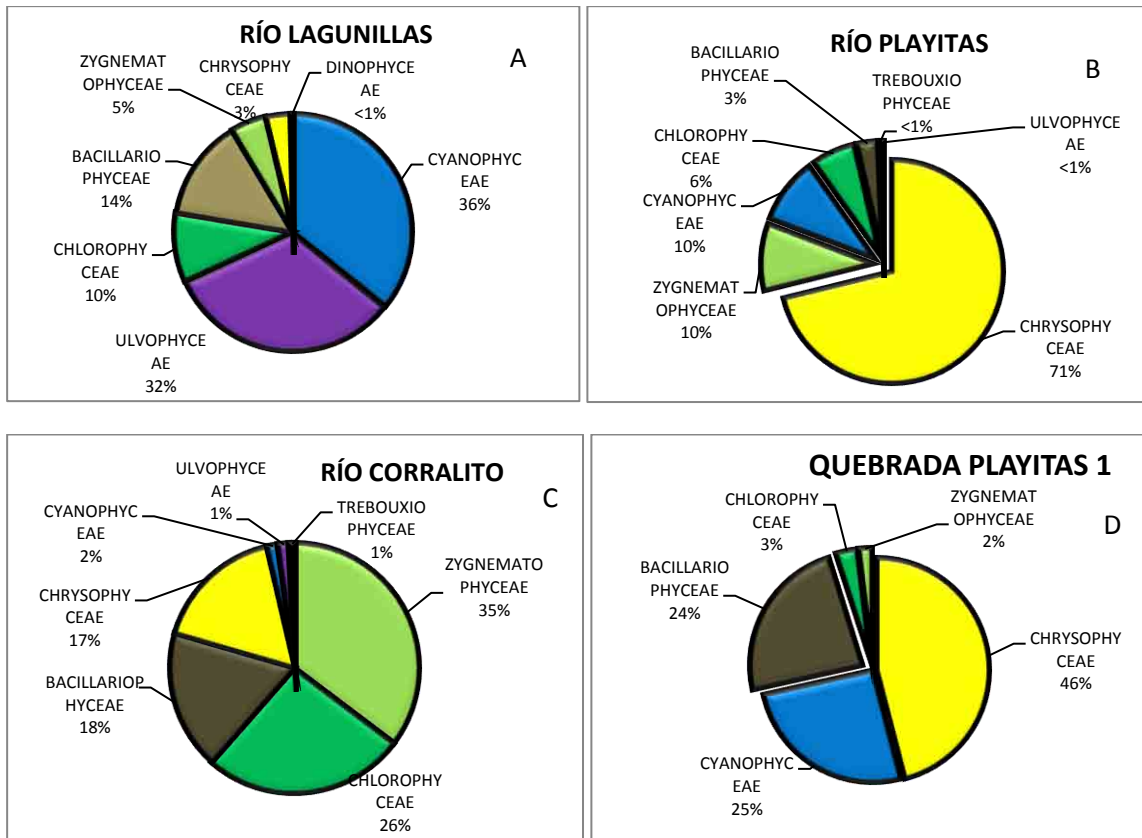
## COMUNIDADES BIOLÓGICAS

### - PERIFITON

#### Escala de Ecosistema

#### Composición biótica

#### Sistemas lóticos



**Figura 3.7** Composición de la comunidad perifítica: Porcentajes de abundancia de los géneros presentes en ambientes lóticos.

De acuerdo a las tabla 3.11 y la figura 3.7, se reconoce que el río Lagunillas tiene la mayor diversidad de especies (24sp.) seguido del río Corralillo. La quebrada Playita presenta 19 spp. y el río Playitas tiene la menor diversidad con 11 especies. El grupo más abundante para el río Lagunillas es Cyanophyceae, para el río Playitas Chrysophyceae, para el río Corralillo Chlorephyceae, para la quebrada Playitas 1 Chrysophyceae y para la quebrada Playitas 2 Chlorophyceae. Mientras que el río Corralillo fue el que presentó mayor densidad de la comunidad perifítica, la quebrada Playitas presento la menor. El grupo Dinophyceae solo se presentó en el río Lagunillas y hubo ausencia de Euglenophyceas y Xantophyceae en

comparación con algunos sistemas lénticos. Los grupos Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Chrysophyceae, Cyanophyceae y Zygnematophyceae se encuentran en todos los sistemas.

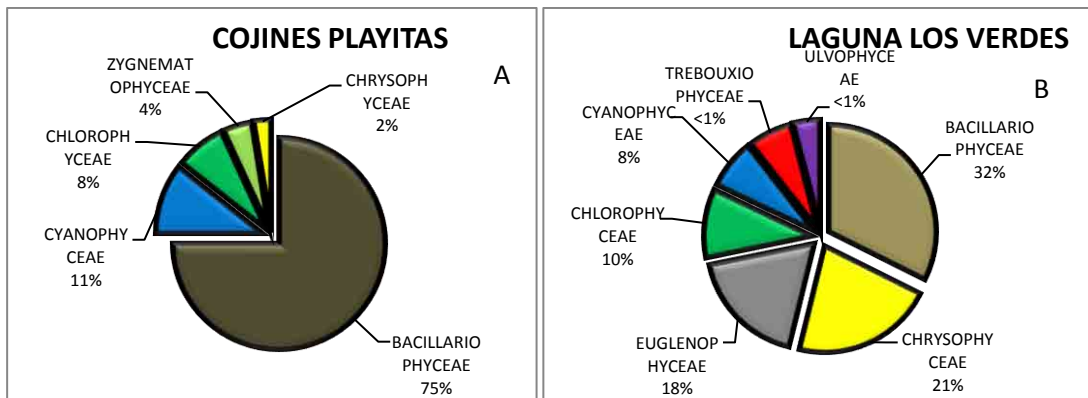
GRUPO	ECOSISTEMAS LÓTICOS					ECOSISTEMAS LÉNTICOS					
	RÍO LAGUNILLAS	RÍO PLAYITAS	RÍO CORRALITO	QUEBRADA PLAYITAS 1	QUEBRADA PLAYITAS 2	COJINES PLAYITAS	LAGUNA LOS VERDES	LAGUNA GUAICANY	LAGUNA EL OJITO	LAGUNA SAN PABLÍN	LAGUNA LA PINTADA
BACILLARIOPHYCEAE	0.851	0.496	9.837	1.050	2.894	89.298	40.853	42.098	5.909	3.939	5.635
CHLOROPHYCEAE	0.587	1.047	14.317	0.133	7.502	8.980	12.937	65.210	1.701	0	10.018
CHRYSOPHYCEAE	0.205	11.901	9.252	2.039	1.236	2.993	27.006	55.305	13.563	4.444	1.753
CYANOPHYCEAE	2.211	1.568	0.779	1.131	2.276	12.638	9.351	15.133	3.185	10.556	42.199
DINOPHYCEAE	0.020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EUGLENOPHYCEAE	0	0	0	0	0	0	22.655	0.825	0.675	3.030	0
TREBOUXIOPHYCEAE	0	0.055	0.390	0	0	0	0	2.476	0	0.152	0.125
ULVOPHYCEAE	1.996	0.055	0.779	0	0.590	0	8.313	0.550	0	0	2.129
XANTHOPHYCEAE	0	0	0	0	0	0	0	0.550	0	0	0.125
ZYGNEMATOPHYCEAE	0.303	1.598	19.284	0.082	0.421	5.155	5.003	17.610	6.566	0.556	1.878
TOTAL	6.173	16.719	54.637	4.434	14.921	119.063	126.118	199.758	31.599	22.677	63.862

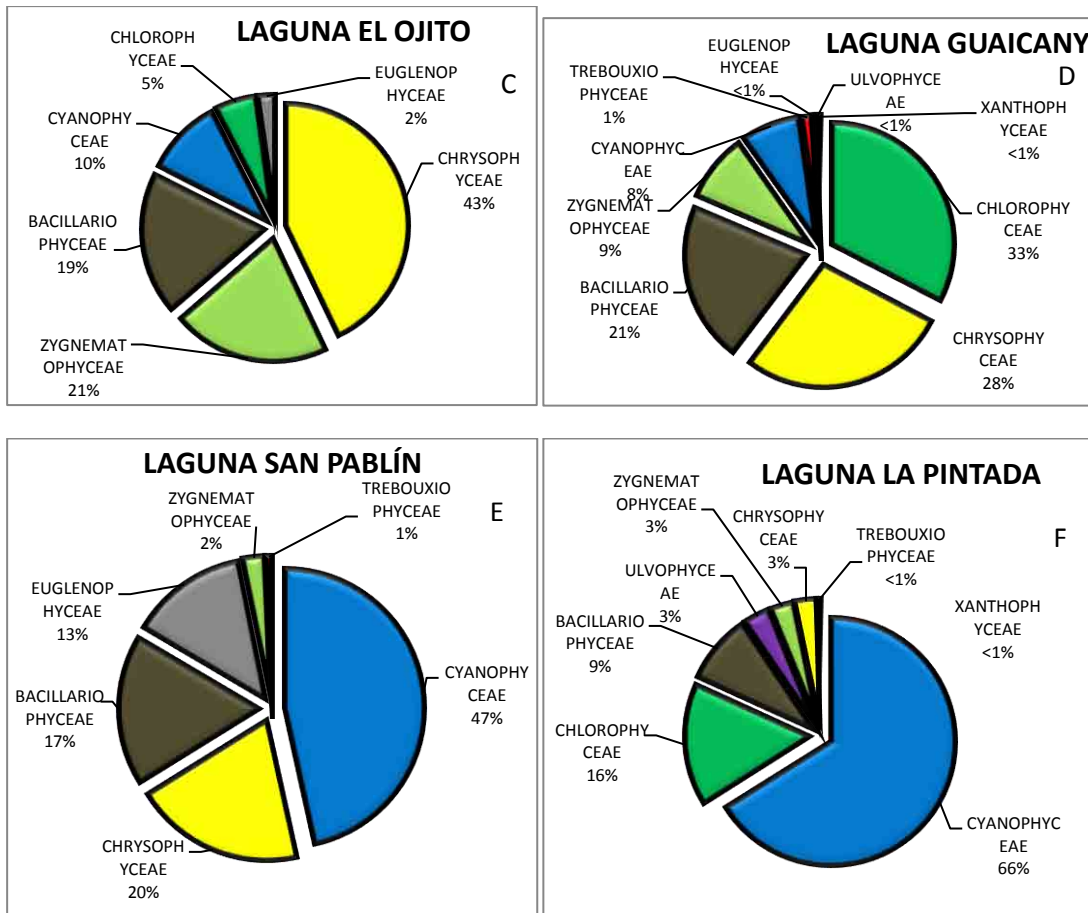
**Tabla 3.11** Composición Biótica: Grupos de organismos perifíticos de los ecosistemas acuáticos de la Sierra Nevada del Cocuy. Los datos son resultados de los conteos de organismos /mm<sup>2</sup>.

### Sistemas Lénticos

De acuerdo a las tablas 3.11 y figura 3.8 se reconoce que la laguna Guaicany tuvo la mayor diversidad de especies (73sp.) seguida de los cojines de la quebrada Playitas. La laguna La Pintada presentó 24sp, la laguna de Los Verdes 22sp, la laguna El Ojito 14sp y la laguna San Pablín tuvo la menor diversidad con 11 especies. El grupo más abundante para los cojines del río Playitas fue Bacillariophyceae al igual que para la laguna de Los Verdes, Chlorophyceae para la laguna Guaicany, Chrysophyceae para la laguna El Ojito, y Cyanophyceae para las lagunas San Pablín y La Pintada.

No se encontró ningún representante del grupo Dinophyceae en ningún sistema mientras que Bacillariophyceas, Chrysophyceas, Cyanophyceas y Zygnematophyceas se presentaron en todos ellos.





**Figura 3.8** Composición de la comunidad perifítica: Porcentajes de abundancia de los géneros presentes en ambientes lénticos. Porcentaje de familias de macroinvertebrados presentes en la laguna Guaicany.

### Índices de diversidad

#### Sistemas Lénticos

Los resultados obtenidos a partir de los índices de diversidad con el programa PAST (Tabla 3.12) indican en primer lugar, que los valores de diversidad de Shannon de los ambientes lénticos Cojines Playitas y Los Verdes son muy cercanos entre sí. Sus diversidades tienen valores intermedios a altos que indican una elevada relevancia de diversidad. Por otra parte, se puede observar que la laguna Guaicany es la más diversa entre los ecosistemas lénticos con un valor de 3,031 y la laguna San Pablín es la menos diversa con un valor de 1,458.

	Ecosistemas Lóticos					Ecosistemas Lénticos					
	RÍO LAGUNILLAS	RÍO PLAYITAS	QUEB. PLAYITAS 1	QUEB. PLAYITAS 2	RIO CORRALITO	LAG. LA PINTADA	COJINES PLAYITAS	LAG. GUAICANY	LAG. LOS VERDES	LAG. EL OJITO	LAG. SAN PABLÍN
	Páramo	Subpáramo	Superpáramo	Superpáramo	Altoandino	Páramo	Superpáramo	Subpáramo	Superpáramo	Altoandino	Subpáramo
Taxones	24	11	19	19	21	24	25	73	22	14	11
Simpson	0,1534	0,2483	0,186	0,226	0,5146	0,1918	0,138	0,1027	0,1404	0,2159	0,2994
Shannon	2,352	1,975	2,163	1,806	1,148	2,243	2,381	3,031	2,301	2,064	1,458
Equitability	0,7399	0,6706	0,7346	0,5931	0,4787	0,7059	0,7398	0,7063	0,7445	0,7822	0,6082
Whittaker	1,9787					2,2308					

**Tabla 3.12** Análisis de diversidad de las comunidades perifíticas de los ambientes lóticos y lénticos de la Sierra Nevada del Cocuy.

En segundo término, según la dominancia de Simpson, todos los ecosistemas del tipo léntico cuentan con datos en un amplio rango de valores relativamente bajos, que indican una baja dominancia, en concordancia con la moderadamente alta diversidad. En concordancia con el índice anterior, se observa que la laguna Guaicany es la de menor valor (0,1027), aunque tiene ciertas especies muy dominantes, y la Laguna San Pablín es la de mayor dominancia (0,2994), debido a que tiene pocos taxones, algunos de los cuales tienen importantes abundancias.

Finalmente, a partir de la equitabilidad de Pielou, cuyos valores oscilan entre 0,6 y 0,7, se puede ver que hay una buena repartición de los individuos de la comunidad entre los taxones presentes. Especialmente El Ojito, que tuvo un valor de 0,7822, el más alto de todos los ecosistemas acuáticos de la región, y un poco menos en la laguna San Pablín, que tiene el menor valor 0,6082.

### **Sistemas Lóticos**

Según el índice de Shannon (tabla 3.12), la comunidad perifítica fue más diversa en el río Lagunillas y en la quebrada Playitas 1. Aunque son los ecosistema más diversos, presentan diversidades que no difieren en mucho de los otros ecosistemas, pero si indican un mayor número de especies. El río Playitas, presentó el valor más bajo (1,148), siendo el ecosistema lótico menos diverso y con menos riqueza de taxones (11 especies).

Con base en el índice de Simpson, se ve que tanto el río Playitas, las quebradas Playitas 1 y 2, tienen valores que oscilan entre 1,8 y 2,4, indicando ecosistemas con pocas especies dominantes. El río Corralito es el ecosistema con mayor valor (menos diverso) y por ende aquel que presenta la mayor cantidad de especies dominantes.

El análisis de equitabilidad señala una aceptable repartición de los individuos entre las especies en el río Lagunillas y las quebradas Playitas 1 y 2, mientras que ambientes como los ríos Playitas y Corralillo tienden a concentrar las abundancias en unas pocas especies.

### **Discusión**

En el río Lagunillas el grupo Cyanophyceas fue el más abundante, lo cual puede sugerir que este ambiente posee una baja concentración de nitrógeno dado que estas algas tienen la capacidad de fijarlo ((KRUK et al. 2010). El segundo grupo más abundante en este río fue Ulvophyceae, que generalmente forman masas flotantes en aguas frías en épocas lluviosas. Estos dos grupos se adhieren fácilmente a rocas sumergidas o troncos y son fácilmente reconocibles por ser de un verde brillante. En el río Playitas el grupo más abundante son las Chrysophyceae que desempeñan un rol importante como productores primarios. Esto ocurre cuando se enfrenta a sistemas con condiciones adversas como pocos nutrientes disponibles. Son indicadores de oligotrofia (PINILLA,1998; WETZEL,1981; ROLDÁN,1992) y son útiles para relacionar el pH

con la diversidad de especies (BELLINGER & SIGEE,210). En el río Corralillo el grupo mas abundante fue Zygnematophyceae, lo que muestra claras preferencias de las algas por condiciones ambientales como poco movimiento del agua, baja concentración de nutrientes inorgánicos y pH neutros. Son comunes en aguas de alta montaña con pH neutral a acido. La quebrada Playitas 1 tiene las mismas características del río Playitas, mientras que la quebrada Playitas 2 presenta la mayor abundancia de Chlorophyceae. En los Cojines de la quebrada Playitas y la Laguna los Verdes, el grupo más abundante fue Bacillariophyceae, dentro del cual, el género Fragillaria y Tabellaria, fueron los más predominantes, respectivamente. La predominancia de este grupo en este ecosistema se podría explicar porque son capaces de tolerar una baja disponibilidad de luz y muchas especies del género Fragillaria y Tabellaria, se encuentran ampliamente distribuidos en lagos oligotróficos (BELLINGER & SIGEE,210). La laguna Guaicany presenta una mayor abundancia en el grupo Chlorophyceaea , pero las algas del género Tabellaria, características de lagos oligotróficos, son las más abundantes . La presencia de clorofíceas en este ecosistema se puede explicar porque están adaptadas a un amplio rango de condiciones como un pH variable, cambios en las condiciones ambientales y mayor movimiento del agua donde se encuentran localizadas(BELLINGER & SIGEE,210). En estas condiciones son fácilmente identificables cuando forman grandes biopelículas sobre las rocas. En La laguna El Ojito hubo mayor abundancia del grupo Crysophyceae, algas características de ambientes que presentan condiciones de oligotrofia (PINILLA,1998; WETZEL,1981; ROLDÁN,1992) similares al río Playitas. En La laguna San Pablín y la laguna La Pintada el grupo Cyanophyceae, presentó la mayor diversidad. La presencia de estas algas en estos ambientes se puede explicar a partir que estas algas pueden tolerar bajas temperaturas, alta radiación y poca turbulencia . También se relacionan con ambientes con una baja concentración de nutrientes como el nitrógeno, debido a que tiene la habilidad de fijarlo (KRUK et al. 2010). Este grupo puede formar fácilmente masas sobre las hojas, rocas y tallos de otras plantas. Se infiere que los ambientes acuáticos del PNNEC son típicamente oligotróficos, si se comparan con otros sistemas de alta montaña (Donato et al., 1996).

### **Escala de Paisaje**

A partir del índice de Whittaker, el cual expresa el grado de complementariedad de la composición entre dos o más muestras considerando las especies exclusivas en relación al número total (Magurran, 2004), se obtuvo con el uso del programa PAST (tabla 3.12) un valor mayor para los ambientes lénticos, que corresponde a una mayor tasa de recambio de especies entre estos sistemas, en comparación a la de los ambientes lóticos. Además, este índice señala una proporción mayor de morfo especies compartidas entre los ecosistemas lénticos, indicando menor diferencia de especies entre los distintos ecosistemas de aguas tranquilas (lagunas).

El análisis de correspondencia canónica (CCA) realizado para ambientes lénticos se muestra en la figura 3. Previamente se depuró la matriz biológica escogiendo las especies más significativas, y

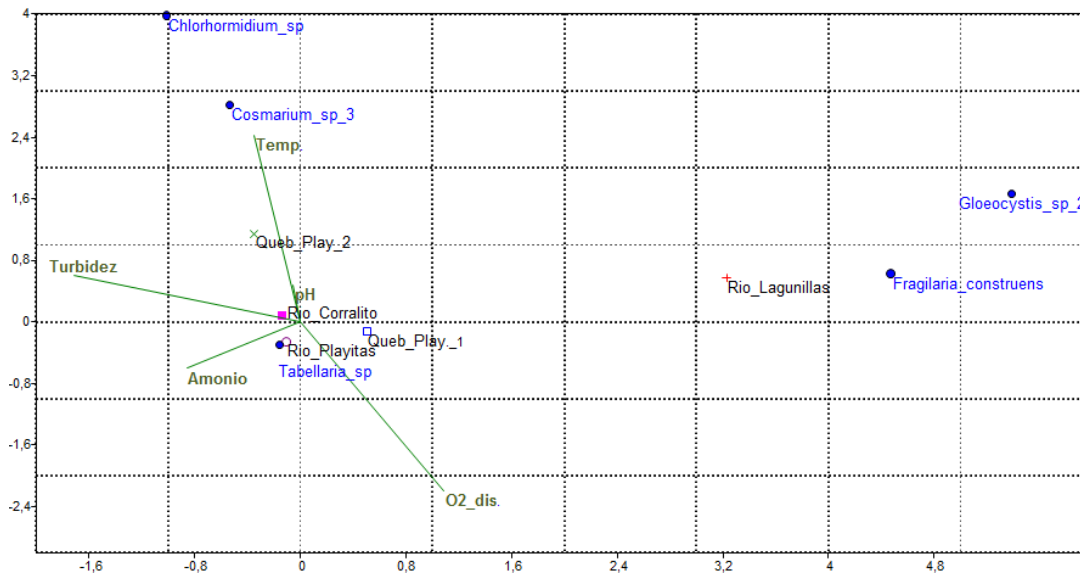
se escogieron los “eigenvalues” (valores propios) de los ejes 1 y 2 del CCA debido a que fueron los más altos (Tabla 3.13).

Ecosistemas Lenticos			Ecosistemas Loticos		
Axis	Eigenvalue	%	Axis	Eigenvalue	%
1	0,55875	83,46	1	0,26087	63,76
2	0,10289	15,37	2	0,12126	29,64
3	0,0060073	0,8973	3	0,027015	6,603
4	0,0018175	0,2715	4	1,56E-05	0,003821

**Tabla 3.13** Valores propios “eigenvalues” de los análisis de correspondencia canónica del paisaje, para las comunidades de perifiton en la Sierra Nevada del Cocuy, correspondientes a las gráficas 1 y 2 respectivamente.

Se observa que las lagunas Guaicany y El Ojito se ven afectadas principalmente por un alto pH y por bajas temperaturas, ambas características muy correlacionadas, y bien representadas; además, estos ecosistemas tienen menos oxígeno disuelto. Las especies perifíticas asociadas a estos ambientes fueron *Cosmariun laeve* y *Tabellaria* sp. Por su parte, los Cojines de la quebrada Playitas están especialmente determinados por la mayor temperatura debido a la constante radiación solar; además, presentan valores altos de turbidez y amonio. En este ambiente fue característico el taxón *Nitzschia* sp. La laguna La Pintada se caracteriza por tener altas concentraciones de amonio, teniendo como especie asociada a *Cymbella* sp. La laguna de San Pablín fue el ambiente lótico con mayor turbidez y oxígeno disuelto más elevado; su especie característica fue *Oscillatoria brevis*.

Para los ambientes lóticos, a partir de las tablas depuradas y escogiendo los ejes 1 y 2 con los “eigenvalues” más elevados (tabla 3.13), se obtiene el triplot de la figura 4. En ella se observa principalmente que la quebrada Playitas 2, se caracteriza por tener temperaturas elevadas, al igual que un pH mayor (con poco peso de representación) en comparación con los otros sistemas; sus especies características fueron *Cosmariun* sp. y *Chlorhormidium* sp. Por otra parte, los ríos Corralillo y Playitas, ubicados en el centro de los ejes, indica una independencia de todos los factores físico-químicos; la morfo-especie característica de estos ríos fue *Tabellaria* sp. Finalmente el río Lagunillas fue el de menor turbidez y menor concentración de amonio; este tiene como especies características a *Fragilaria construens* y *Gloeoosystis* sp.



**Figura 3.10** Triplot macroinvertebrados-FQ-lóticos. BA: Bioma Altoandino, BP: Bioma Paramo, BSP: Bioma Superpáramo

## Discusión

Los ambientes más similares en cuanto a especies son los lénticos, debido que poseen una mayor tasa de recambio, y movimiento entre estos dado por la llegada de diferentes afluentes, como es el ejemplo de la laguna La Pintada, en donde desemboca el río Lagunillas, uno de los ecosistemas loticos de mayor diversidad, y en donde se observa la similaridad entre ambientes, encontrando por ejemplo al género *Synedra*, uno de los más abundantes en ambos ecosistemas. Por otra parte, Cojines Playitas, tiene un recambio debido a la cercanía existente entre las quebradas playitas en el superpáramo, en donde hay una corriente fuerte de viento, una posible causa de recambio entre estos sistemas, entre otros, lo que se observa al comparar abundancias de los diferentes géneros. Además, los factores que determinan principalmente las características del paisaje son la temperatura, la turbidez y el oxígeno disuelto, características que son de esperarse, debido al tipo de paisaje de alta montaña en donde la temperatura es la condición climática más determinante para las especies perifíticas, y el poco recorrido del agua desde el derretimiento de los glaciares genera aguas muy claras y con alto contenido de oxígeno. En ambientes como la laguna Guaicany, el factor fisicoquímico determinante es el pH, debido a la degradación de materia orgánica y la falta de circulación del agua. Así mismo, los Cojines de la quebrada Playitas y la quebrada Playitas 2, están principalmente determinados por la alta temperatura, ya que aunque están ubicados en el superpáramo, el agua es muy superficial, y está en contacto continuo con rocas que acumulan fácilmente el calor. Finalmente, la laguna San Pablín, determinada por el mayor oxígeno disuelto y la turbidez más elevada, que se debe a factores como la ganadería y el pastoreo. En cuanto a las especies predominantes, la correlación directa con un ambiente específico es baja. Sin embargo en algunos casos se observan especies que se caracterizan por

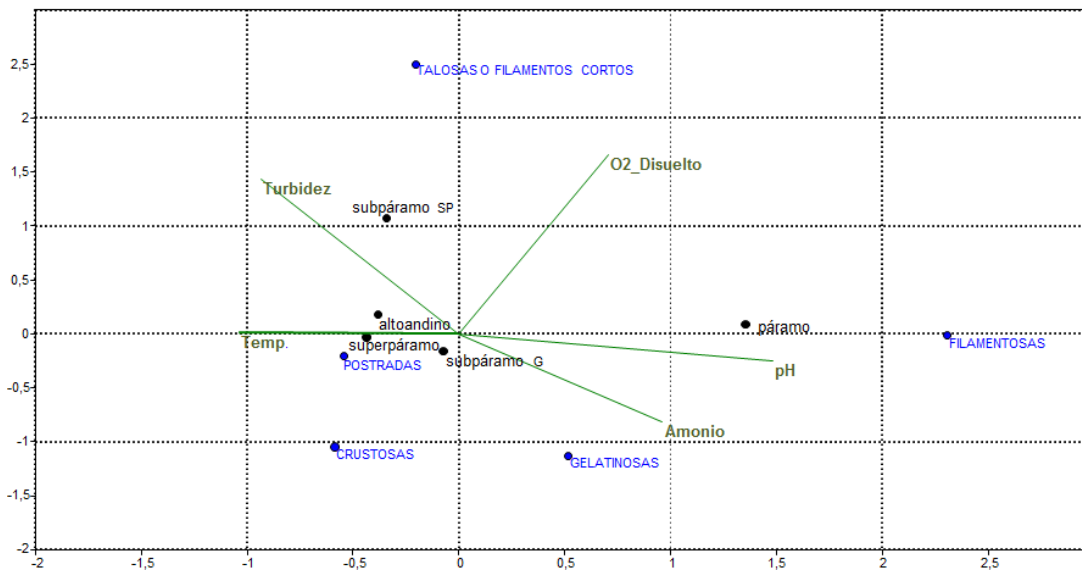
vivir en ambientes muy específico en cuanto a las características ambientales. Tal es el ejemplo de *Cosmariun laeve*, que vive en ambientes con pH neutros, baja turbidez y baja temperatura.

### Escala de Bioma (Análisis de distribución regional de las formas de vida del perifiton)

A partir de las formas de vida del perifiton en los ambientes lénticos se obtuvo el triplot del CCA (figura 3.11), en donde se escogieron los ejes 1 y 2 debido a que tenían los valores propios más elevados que abarcan el 92,41% (Tabla 3.14).

Biomias Lenticos			Biomias Loticos			Biomias		
Axis	Eigenvalue	%	Axis	Eigenvalue	%	Axis	Eigenvalue	%
1	0,33673	77,41	1	0,24008	75,56	1	0,17594	72,05
2	0,06526	15	2	0,065669	20,67	2	0,055586	22,76
3	0,023958	5,508	3	0,010564	3,325	3	0,012104	4,957
4	0,0090606	2,083	4	1,43E-03	0,4513	4	5,66E-04	0,2316

**Tabla 3.14** Valores propios “eigenvalues” del análisis de correspondencia canónica Regional, para las comunidades de perifiton en la Sierra Nevada del Cocuy.



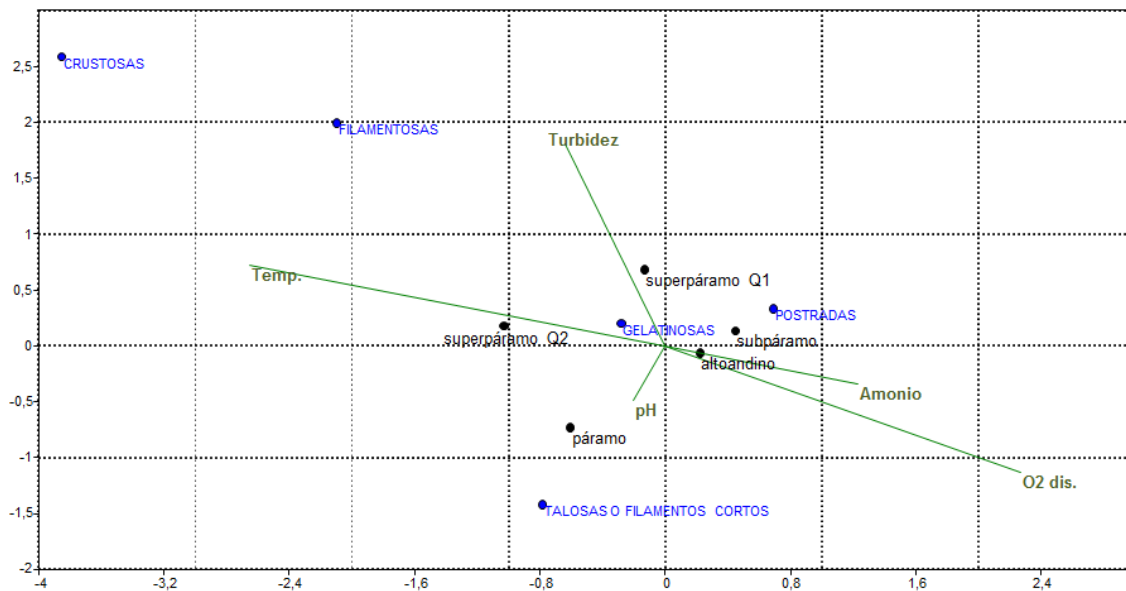
**Figura 3.11** Triplot del análisis de correspondencia canónica Regional, utilizando las diferentes formas de vida para las comunidades de perifiton en los ecosistemas lénticos de la Sierra Nevada del Cocuy.

La laguna La Pintada se caracterizó por tener especies filamentosas asociadas a un pH más alto y mayor concentración de amonio y oxígeno disuelto. En los Cojines de la quebrada Playitas predominaron las especies postradas y crustosas, determinadas por las altas temperaturas (dato muy bien representado y correlacionado), y bajo pH. Por otra parte, la laguna San Pablín se caracteriza por especies talosas o filamentosas, regidas por alto oxígeno disuelto y alta turbidez.



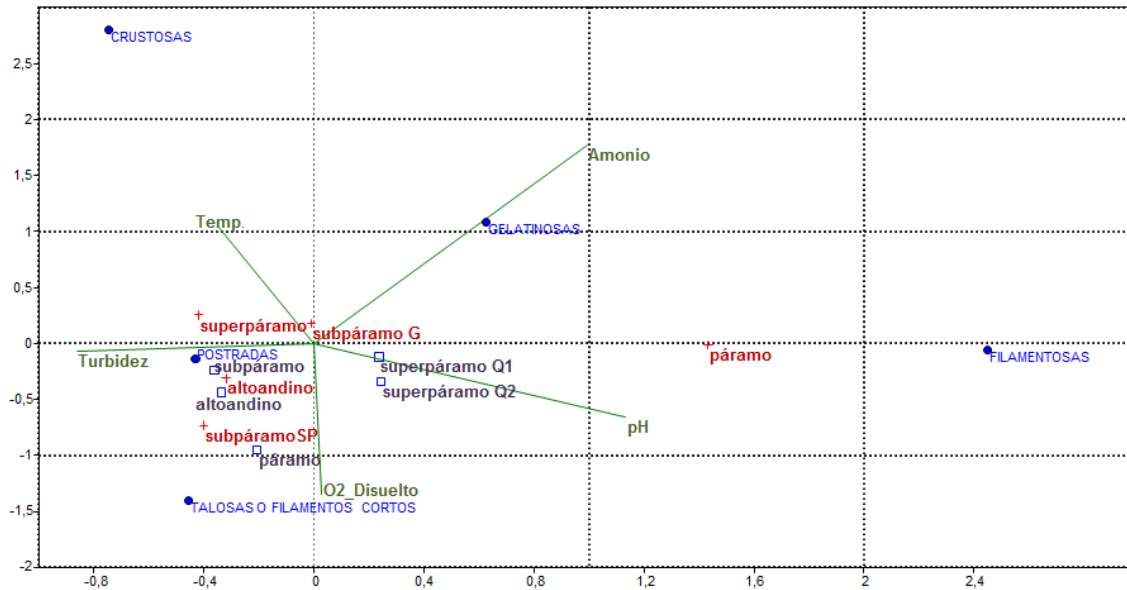
Finalmente las lagunas Guaicany y El Ojito, tuvieron una ligera tendencia a que las algas postradas fueran las formas de vida predominante.

Desde el punto de vista de los biomas, las formas de vida que predominaron en el bosque altoandino fueron las postradas; en el subpáramo fueron las talosas o filamentosas y las postradas; en el páramo fueron la filamentosas o talosas; y en el superpáramo fueron las postradas. Las formas de vida gelatinosa y crustosas no estuvieron fuertemente correlacionadas a ningún bioma.



**Figura 3.12** Triplot del análisis de correspondencia canónica Regional, utilizando las diferentes formas de vida para las comunidades de perifiton en los ecosistemas lóticos de la Sierra Nevada del Cocuy.

En los ambientes lóticos, el CCA para formas de vida (figura 3.12), en donde se escogieron los ejes 1 y 2 debido a los mayores “eigenvalues” (Tabla 3.14) se observa que en las quebradas Playitas 1 y 2 predominaron las algas filamentosas, gelatinosas y crustosas, al parecer asociadas a mayores temperaturas y la turbidez. Asimismo, los ríos Playitas y Corralillo se caracterizaron por sus especies postradas, determinadas por las altas concentraciones de amonio y oxígeno disuelto, y bajo pH. El río Lagunilla, se caracterizó por tener especies talosas o filamentosas, vinculadas a un mayor pH. Para los ambientes lóticos, las formas de vida que predominaron en cada bioma fueron, para el subpáramo las postradas, para el páramo las talosas o filamentosas, y para el superpáramo las gelatinosas, postradas y crustosas.



**Figura 3.13** Triplot del análisis de correspondencia canónica Regional, utilizando las diferentes formas de vida para las comunidades de perifiton en los ecosistemas lóticos (purpura), y lenticos (rojo) de la Sierra Nevada del Cocuy.

Al comparar las formas de vida de ambientes lenticos y lóticos en cada bioma (Figura 3.13), se puede señalar que existe una marcada asociación entre los biomas altoandino y de subpáramo, en donde las condiciones fisicoquímicas más relevantes son altas concentraciones de oxígeno disuelto y turbidez moderada; las formas de vida características son las postradas y las talosas filamentosas.

Por otra parte, el análisis del páramo, no muestra una asociación entre sistemas, lo que se observa como la ubicación de estos dos biomas en lugares separados del CCA, sin ningún factor fisicoquímico ni forma de vida compartida. Similar ocurre en el análisis de le superpáramo, en donde las dos quebradas están muy cercenas determinadas por el pH, pero no tienen ninguna asociación con el ambiente lenticos.

## Discusión

La región determina las formas de vida que se caracterizan por el movimiento del agua, la concentración de nutrientes, la profundidad y la temperatura, estos dos últimos, son las variables ambientales que más explican las diferencias de especies en un rango altitudinal (STEVENSON R., 1996) sin embargo, estas no son específicas de determinados biomas, tal como se observa en la diferencia entre el estudio del subpáramo, en donde para la laguna Guaicany, predominaban las especies postradas determinadas por alta temperatura y bajo pH, y en la San Pablín en donde existía una relevancia de formas de vida talosas o filamentosas determinadas por altos índices de turbidez, y oxígeno disuelto. Eso ocurre debido a la clara diferencia entre estos dos sistemas, que están determinados más por procesos propios de colmatación, y falta de movimiento del agua

como es el caso de Guaicany, o más por procesos de pastoreo y otros factores antrópicos como en la laguna San Pablín. Por otra parte, se observa una correlación entre los biomas superpáramo y altoandino, que se debe a las características del ambiente pues, debido a el muestreo en un día caluroso, se observó que el factor determinante el en superpáramo son las altas temperaturas, al igual que en el altoandino. Presentando a las especies postradas como forma de vida característica. Esto es concordante con los Cojines Playitas, en donde debido al bajo movimiento de agua, es normal encontrar especies postradas. Sin embargo algunas se denotan diferencias entre biomas, pues en el altoandino, existe una correlación con mayores concentraciones de amonio, mientras que en el superpáramo, es más notable el aumento de oxígeno disuelto. En cuanto al páramo, existen diferencias características del bioma determinadas por alto pH, y altas concentraciones de amonio y de oxígeno disuelto, teniendo como forma de vida característica las especies filamentosas. Los ambiente loticos, si bien existen diferencias entre los dos biomas de superpáramo estudiados, se encuentra que ambos sistemas tienen predominantemente especies gelatinosas, sin embargo la quebrada Playitas 1, se caracteriza por una mayor turbidez. Además, los biomas altoandino y subpáramo, estas muy relacionados, ambos presentando especies gelatinosas, pero con variables fisicoquímicas diferentes; principalmente por el pH. Esto indica una correlación más marcada entre biomas y formas de vida en relación a los ambientes lenticos. Finalmente, la comparación entre ambientes lenticos y loticos, muestra una agrupación de los biomas en donde no es clara una diferencia marcada entre ambientes lenticos y loticos, pues no se observan diferencias en la respuesta de las formas de vida.

## - MACROINVERTEBRADOS

### **Escala ecosistema**

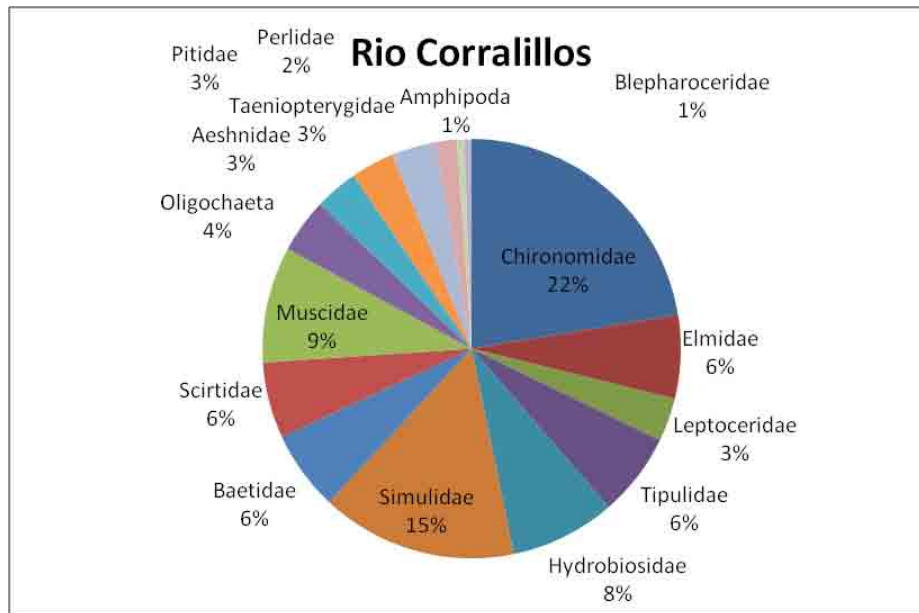
El primer nivel desde el cual se abordará el análisis de los datos correspondientes a las comunidades de macroinvertebrados es el de ecosistema, que para este caso son los cuerpos de agua mismos, lo que en la literatura ha sido llamado ecosistemas azonales (Pérez & Van der Hammen, 1983), como por ejemplo lagunas y cuerpos de aguas lóaticas. Estos tipos de ecosistemas presentan la ventaja de estar claramente definidos en el espacio y, como ya se mencionó, tener un tipo de relaciones que determinan su dinámica, las cuales son de tipo local. Para facilitar el análisis y hacer más patente la diferencia ecológica se separó el análisis de ambientes lóaticos y lénticos. Además, para hacer una descripción de la comunidad de macroinvertebrados se tuvieron en cuenta los aspectos básicos en un análisis de este tipo como lo son el número de especies o riqueza, el número de individuos por especie o abundancia, la distribución de la abundancia o equitatividad y la diversidad dada por el índice de Shannon (Begon, *et al.* 2006).

### Ambientes Lóticos.

índice	Rio Corralillos	Rio Playitas	Lagunillas	Quebrada Playitas
Riqueza	16	6	9	9
abundancia	357	2465	886	102
Dominance_D	0,1099	0,5237	0,1803	0,2115
Shannon_H	2,449	0,8911	1,922	1,804
Equitability_J	0,8832	0,4974	0,8747	0,8209

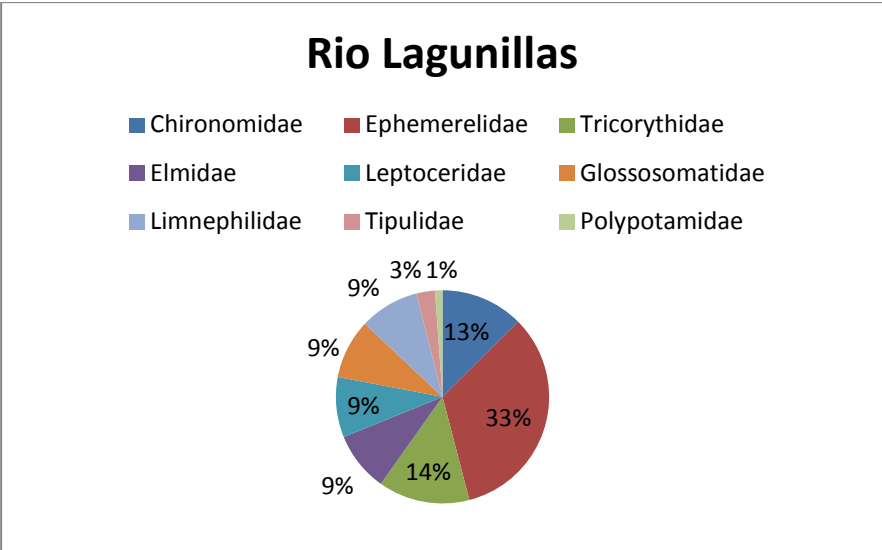
**Tabla 3.15** Índices de diversidad para los ambientes lóticos.

Composición biótica: El río con mayor riqueza fue el Corralillos (tabla 3.15). También fue el de mayor diversidad y equitabilidad lo cual puede dar cuenta de una mayor especialización o definición en los nichos de cada especie, es decir dado el hecho de que la red trófica es muy diversificada, por lo tanto parece no tener especies dominantes. Adicionalmente la densidad de individuos es baja en este lugar. El rio lagunillas es el segundo rio con mayor índice de diversidad de Shannon, posee una baja dominancia y alta equitabilidad (tabla 3.15). Los mayores porcentajes de abundancia los poseen las familias Ephemereidae (33%) y Tricorythidae (14%). Es el segundo rio con mayor densidad de individuos.



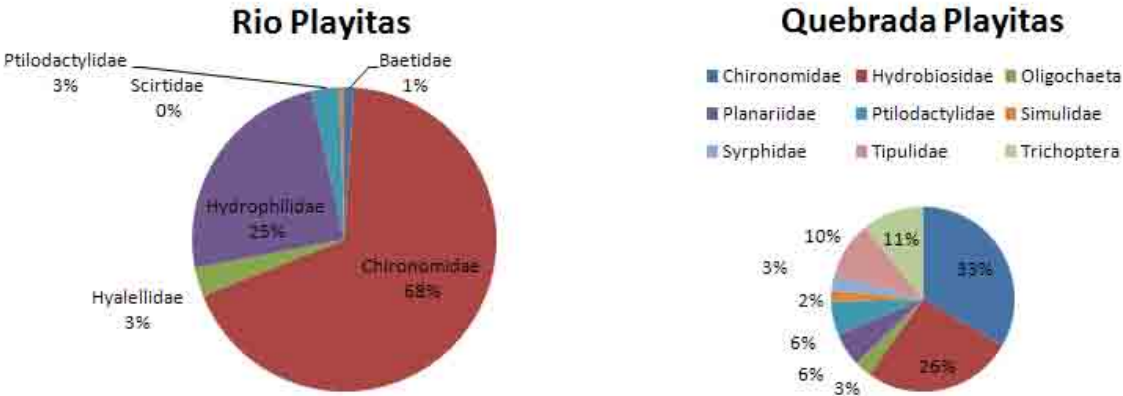
**Figura 3.14** Porcentaje de géneros en la Laguna el Ojito.

Es posible explicar la riqueza de este ecosistema por su ubicación en el gradiente altitudinal ya que fueron uno de los cuerpos de agua lóticos que se muestro a menor altura (bosque altoandino y paramo) por lo cual se supone que ha recorrido una mayor longitud desde su nacimiento. Además gracias al aporte de los ecosistemas adyacentes posee un mayor número de nutrientes que pueden ser aprovechados por los macroinvertebrados.



**Figura 3.15** Porcentaje de géneros en la Laguna San Pablín.

Por su parte, la quebrada Playitas sigue en riqueza y diversidad con una alta equitabilidad. Sin embargo el número de individuos es mucho menor que en el río Corralillos. Por último el río Playitas presenta una baja riqueza y una dominancia mucho mayor a los ecosistemas anteriores (tabla 3.15), debido a esto posee valores mucho más bajos de equitabilidad en relación con los otros ecosistemas lóticos.



**Figura 3.16** Porcentaje de géneros en la Laguna La Pintada.

El muestreo del Rio Playitas se realizó a la misma altura del muestreo en la quebrada playitas (4404 m.s.n.m.), lo que ubica a ambos cuerpos de agua en un bioma de tipo superpáramo. Las diferencias fisicoquímicas mas importantes entre estos dos sitios de muestreo se encuentran en términos de las variables de conductividad, solidos disueltos, temperatura y oxígeno disuelto, en las cuales el Rio Playitas (en relación a la quebrada) posee valores más altos en todas la variables

salvo en temperatura en la cual la quebrada es más calidad que el río. De esta forma cabría la posibilidad de que estas variables estén determinando las diferencias tan marcadas en términos de composición, diversidad y equitabilidad en estos dos cuerpos de agua.

De otra parte, La abundancia, la riqueza y diversidad de una comunidad, están determinadas por muchos aspectos, entre ellos el tamaño del cuerpo de agua, los grupos funcionales de los individuos de la comunidad, etc. (Begon, *et al.* 2006), así las diferencias observadas en términos de la diversidad y abundancia observadas en los cuatro cuerpos de agua estudiados, pueden ser interpretadas desde el punto de vista del gradiente altitudinal el cual agrupa a los ríos Corralillos y Lagunillas con alturas entre los 3529 y 3964 m.s.n.m. y por otra parte se agrupan los dos cuerpos de agua del río Playitas ubicados a una misma altura de 4404 m.s.n.m. Sin embargo estas relaciones no pudieron ser comprobadas estadísticamente, principalmente por el bajo número de ecosistemas muestreados.

Un hecho interesante de notar es que la familia Chironomidae no se le podría considerar un indicador definitivo de contaminación de los ecosistemas, ya que se encuentra en gran proporción en todos los ambientes estudiados. Si se tiene en cuenta que las condiciones fisicoquímicas de los ríos visitados son claramente de aguas limpias y con poca intervención humana (ver capítulo sobre las características fisicoquímicas), la abundancia de quironómidos no estaría indicando aguas contaminadas sino una distribución regional y evolutivamente determinada. Esto se explicará más adelante ya que corresponde precisamente al nivel regional.

En general, los valores de diversidad están dentro del rango para comunidades bentónicas (Margalef, 1980).

Finalmente, al revisar los resultados encontrados para las composiciones de comunidades de invertebrados en ambientes lóticos de alta montaña de la región andina, se encontró que para sectores de páramo bajo o subpáramo en el departamento de Santander, el orden Díptera fue el más diverso mientras que el más abundante fue Amphipoda seguido por Díptera (Castellanos & Serrato, 2008), incluso como uno de los géneros colectados más abundantes se presentó *Hyalella sp.* miembro de una familia, en general, muy representativa en el PNNEC; estos resultados son concordantes con los encontrados en el presente estudio (se pueden equiparar completamente ya que como metodología de muestreo usaron red Surber, un método igualmente empleado por nosotros), asimismo las variables fisicoquímicas también oscilaron en rangos similares. Por otra parte, se ha reportado que en sistemas lóticos de la región cafetera los grupos funcionales –que se abordaran más adelante en la sección correspondiente a Nivel de Bioma– más importantes fueron los colectores, seguidos de los trituradores y los fragmentadores (Chará *et al.* 2010), hecho que los autores asocian con la importancia de la materia orgánica particulada gruesa (hojarasca) en estos ecosistemas -ubicados en el bioma de bosque andino-, lo cual va en orden con el tipo de análisis realizado por nosotros que no desconoce los aportes de los ambientes adjuntos a las corrientes de agua. Estos mismos autores (Chará *et al.* 2010) reportan a Chironomidae, Smicridea (Hydropsychidae) y Simulium (Simuliidae) como los taxa más

abundantes, constituyendo una evidencia a favor de la amplia distribución del primero. De la misma manera, en otro estudio de sistemas lóticos del Quindío se encontró que los órdenes más abundantes fueron Trichoptera, Coleoptera y Heteroptera (Rivera *et al.* 2008), lo cual no concuerda en general con el estudio realizado para la región cafetera del Valle del Cauca (Chará *et al.* 2010) ni con los resultados del PNNEC.

### **Ambientes Lénticos.**

Composición biótica: La laguna más rica y diversa fue Guaicany, con 11 familias y el valor del índice de Shannon más alto. Una mayor riqueza resulta en una mayor productividad y una descomposición más rápida. Tal vez en la Laguna Guaicany, por estar ubicada en el páramo este aspecto no se cumpla cabalmente- y una menor pérdida de nutrientes (Begon *et al.*, 2006). Se presenta un resultado que es muy paradójico y es el hecho de que la dominancia es baja pero no es el lugar con mayor equitatividad. De hecho de las 11 familias observadas 4 acumulan 80% de los individuos: Hyalidae con 28%, Chironomidae con 20%, Corixidae con 19% y Cladocera con el 14 que pertenecen a un mismo grupo funcional, a excepción de Chironomidae que como ya se comentó se consideró como un caso “especial” de la región (Wilzbach *et al.*, 1988).Adicionalmente esta laguna tiene la mayor densidad de individuos; los anteriores resultados pueden ser explicados a la luz de que en primera instancia es un cuerpo de agua generado artificialmente y segundo que se está llevando a cabo un proceso de colmatación. Estos dos aspectos incrementan la cantidad de materia orgánica que es aprovechada mayormente por los individuos de las familias dominantes y que genera un gran número de individuos.

La laguna La Pintada sigue en riqueza y diversidad con el segundo valor más alto del índice de Shannon. Sin embargo la dominancia es más alta en relación con la laguna Guaicany. En este lugar 3 de las 8 familias acumulan el 73% de los individuos colectados: Chironomidae con el 40%, Cyclopidae con el 20% y Hyalidae con el 12%. Adicionalmente, en términos de diversidad y riqueza sigue la laguna San Pablín con 8 taxones y el tercer índice de Shannon más grande. Sin embargo posee una equitatividad menor a las dos lagunas anteriores. En este caso 3 de las 8 familias acumulan el 81% de los individuos colectados: Hyalellidae con el 37%, Chironomidae y Notonectidae cada una con el 22%.

Finalmente las lagunas El Ojito y La Ciega son menos ricas en taxones de macroinvertebrados. Sin embargo la laguna La Ciega tiene una mayor equitatividad que El Ojito; en aquella la familia Hyalellidae acumula el 92% de los individuos observados mientras que en la Ciega la familia Leptoceridae acumula el 60% de los individuos observados. Lo anterior se puede dar por deterioro de estos ecosistemas muy intervenidos por acción humana.

Es importante mencionar, dos aspectos que pueden contribuir con los resultados obtenidos. En primer lugar la contaminación del agua determina un descenso de la diversidad tanto por establecer unas condiciones rigurosas que pocas especies pueden resistir, como por estimular el fuerte desarrollo de unas pocas especies en ambientes altamente fluctuantes e inestables

(Margalef, 1998). Al parecer las lagunas La Ciega y El Ojito presentan algún grado de contaminación, pero principalmente se encuentran bajo fuerte presión antrópica por los usos que se les da (El Ojito abastece al acueducto de Güicán) y por las actividades agropecuarias que las rodea.

Index	Laguna.Guaicany	Laguna.San.Pablin	Laguna.la.Pintada	El.ojito	La.ciega
Riqueza	11	8	8	3	4
Abundancia	3515	513	827	1548	926
Dominance_D	0,1799	0,2421	0,2347	0,857	0,4307
Shannon_H	1,895	1,634	1,72	0,2962	1,031
Equitability_J	0,7904	0,7858	0,8272	0,2696	0,7436

**Tabla 3.16** Índices de diversidad de los ambientes lénticos.

Al igual que para los sistemas lóticos, los valores de diversidad de las comunidades de macroinvertebrados en los ambientes lénticos de la Sierra Nevada del Cocuy están dentro del rango para comunidades bentónicas (Margalef, 1980).

### Nivel paisaje

A este nivel se trató de comparar diversos ecosistemas a partir de un análisis multivariado: el análisis de correspondencia canónica (CCA). En dicha comparación se tuvieron en cuenta las variables fisicoquímicas más determinantes de cada tipo de ecosistema. Adicionalmente, un aspecto importante es la posición de los cuerpos de agua respecto a otros cuerpos de agua en el paisaje (región) ya que esto puede tener un efecto marcado en su estatus de nutrientes o también en la temperatura, el oxígeno disuelto y la conductividad (Begon *et al.*, 2006).

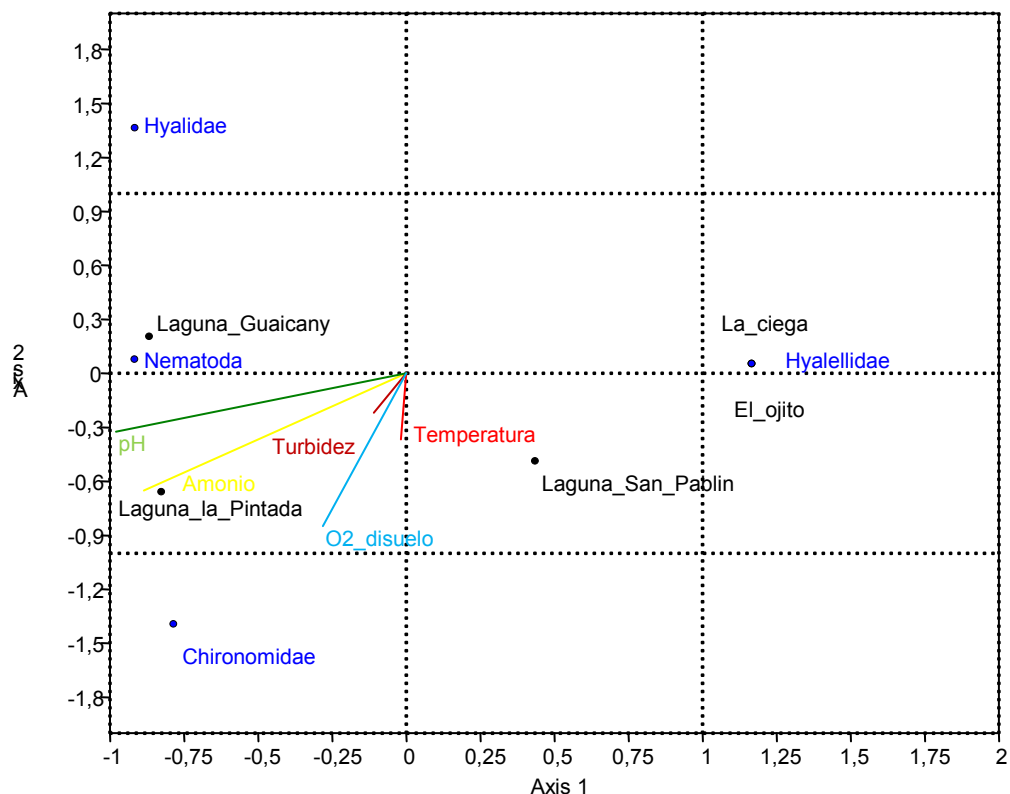
### Ambientes Lénticos.

En el análisis CCA el primer valor propio posee un 91% de la varianza de los datos así que el eje asociado es el más informativo.

Axis	Eigenvalue	%
1	0,9278	91,86
2	0,080544	7,974
3	0,0017266	0,1709

**Tabla 3.17** Scores análisis CCA de lo ambientes lóticos.





**Figura 3.17** Triplo grupos funcionales de macroinvertebrados FQ- en ambientes lenticos del PNNEC.

El primer eje se encuentra fuertemente asociado al pH y en menor grado a la concentración de amonio. El segundo eje por su parte, se encuentra fuertemente asociado al contenido de oxígeno disuelto.

La turbidez y la temperatura se encuentran pobremente representadas en los 2 primeros ejes; además estas variables no adquieren mayor importancia al estudiarse el plano que se forma con los ejes 2 y 3(ver tabla 3.17). La familia Hyalellidae está fuertemente asociada a las lagunas La Ciega y El Ojito, lagunas que a su vez presentan los pH, concentraciones de amonios y oxígeno disuelto más bajos. Estas condiciones indican una menor calidad del agua en estos ecosistemas, que esencialmente son cuerpos de agua que no presentan afluentes y al parecer tampoco efluentes importantes, por lo cual no tienen una dinámica o movimiento importante del agua y más bien parecieran estar en procesos de colmatación o desecación. Además están influenciados fuertemente por actividades antrópicas. Así mismo la laguna San Pablín posee valores positivos pero menores en el primer eje, lo cual la sigue asociando a pH y concentraciones de amonios bajos, pero al poseer valores negativos en el segundo eje se asocia a mayores contenidos de

oxígeno disuelto, lo cual una vez más podría indicar un mayor movimiento del agua o captación de oxígeno. Este lugar no parece estar fuertemente asociado a ninguna familia en particular de las que se estudian en este análisis. De otro lado están las lagunas La Pintada y Guaicany, las cuales poseen pH más cercano a la neutralidad y mayor concentración de amonios. Estas lagunas se diferencian principalmente en el contenido de oxígeno disuelto, que en Guaicany puede ser considerado como bajo y en La Pintada es un poco más alto, ya que esta laguna presenta un estado menos intervenido y tiene importantes afluentes y efluentes naturales. A estas dos lagunas se encuentran fuertemente asociadas las familias Chironomidae, Hyalidae y Nematoda. Entonces, las lagunas ubicadas en paisajes naturales a mayor altura tienen valores neutros de pH, altos de amonio y medios de oxígeno disuelto y se pueden considerar favorables a una diversidad equilibrada de la comunidad de macroinvertebrados y cercanas a un estado natural. Por su parte, los sistemas lénticos de zonas más bajas en el gradiente altitudinal (como La Ciega y El Ojito en paisajes agrícolas) presentan una fuerte presión antrópica, que se refleja en un descenso en la diversidad y la equitatividad. Es posible hipotetizar que la mayor disponibilidad de nutrientes en estos ambientes conlleva a una alta tasa de crecimiento de la población y a una mayor oportunidad para las especies más productivas de hacerse dominantes, y quizás, de excluir por competencia a las demás –podría ser el caso de los crustáceos- (Begon *et al.*, 2006). Finalmente y aunque no sea el propósito del presente trabajo, es válido mencionar el hecho de que para un futuro análisis de ciclado de nutrientes en estas lagunas, es necesario considerar en conjunto al fitoplancton y sus consumidores el zooplancton, ya que son estos quienes juegan un papel crucial en el ciclado de los nutrientes en esta clase de ecosistemas (Begon *et al.*, 2006).

### Ambientes Lóticos.

En el análisis CCA el primer valor propio posee un 71% de la varianza de los datos así que el eje asociado es el más informativo.

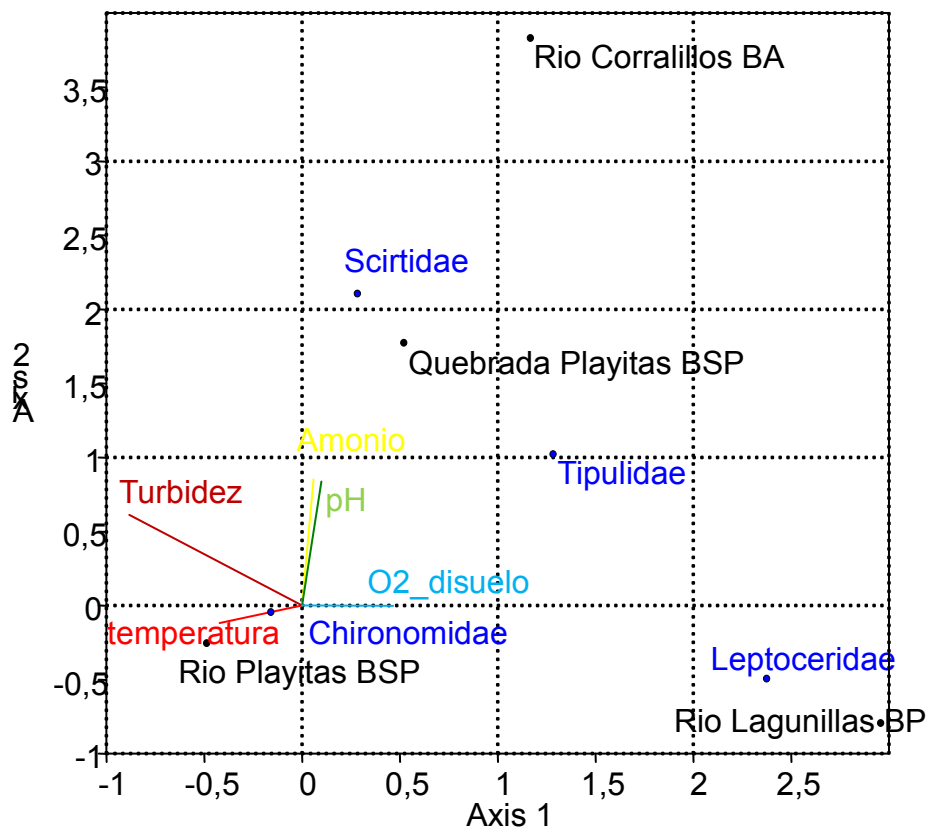
Axis	Eigenvalue	%
1	0,322	70,92
2	0,11196	24,66
3	0,020048	4,416

**Tabla 3.18** Scores análisis CCA de los ambientes lóticos.

Este componente se encuentra fuertemente correlacionado con la turbidez de forma negativa y débilmente con la temperatura (correlación negativa) y el oxígeno disuelto. Por su parte, el segundo eje se correlaciona positivamente con el amonio y con el pH y moderadamente con la turbidez. Además, el tercer eje se encuentra fuertemente asociado a temperatura y negativamente al oxígeno disuelto- (Ver tabla 3.18).

El río Corralillos posee el mayor valor en el eje 2, lo cual lo asocia a los mayores valores en las variables de amonio, pH y turbidez. Esto es, fácilmente explicable por el hecho de que la

corriente de agua –el río se encuentra en un lugar de pendiente considerable y presencia de muchas rocas y “rápidos”- lo que genera un mayor movimiento de partículas en suspensión y disminuye la transparencia de la columna de agua. El río Lagunillas se encuentra ampliamente caracterizado en el primer eje, debido principalmente a que presenta los menores valores de turbidez, ya que el sitio que se muestreo no presentaba “rápidos”, sino que el agua corría lentamente. La pendiente en este sitio era muy baja, con temperaturas medias a bajas y contenido de oxígeno disueltos altos a medios. La quebrada Playitas (en el superpáramo) se encuentra bien caracterizada en el tercer eje, con valores altos de temperatura por ser una quebrada con un caudal y profundidades muy pequeñas, muy expuestas a la radiación solar, y con un menor contenido de oxígeno disuelto.



**Figura 3.18** Análisis de Correspondencia Canónica del fitoplancton de sistemas lóticos del PNNEC

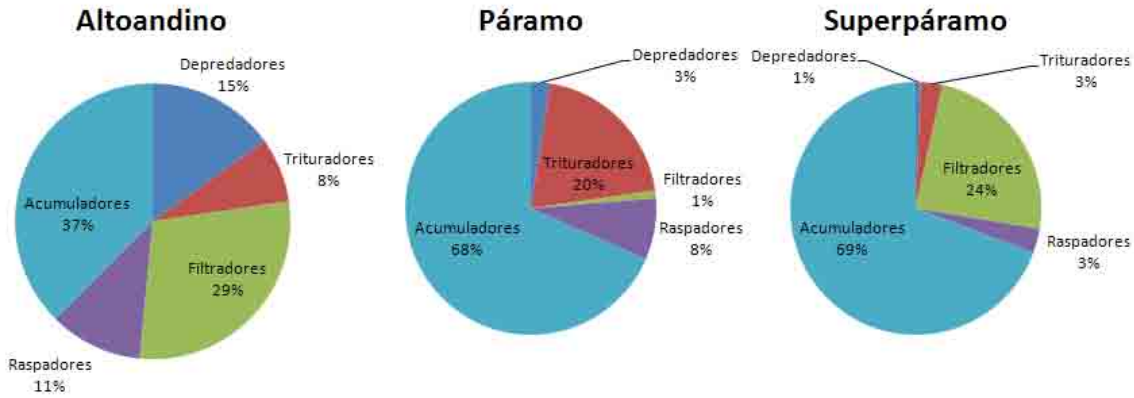
Finalmente el río Playitas se caracteriza por valores medios en todas las variables ambientales, lo que se ve reflejado en los bajos valores de sus puntajes en los 3 ejes. En cuanto a las familias usadas en el análisis, se observa que la familia Chironomidae no tiene preferencias marcadas en

cuanto a las variables fisicoquímicas aquí evaluadas, lo cual es revelado por sus bajos puntajes en los 3 ejes. Parece entonces seguir un comportamiento de distribución similar discutido anteriormente (amplia distribución con elevadas abundancias), lo cual ratifica el hecho mencionado antes de que esta familia tiende a ser cosmopolita y eurióica (de gran amplitud en sus requerimientos de hábitat) en los ambientes acuáticos del PNNEC. Esta familia fue más abundante en el río Playitas, el cual presenta un comportamiento medio en las variables fisicoquímicas, así que podría decirse que este ambiente es el más adecuado, entre los ríos estudiados, para esta familia. La familia Leptoceridae se encuentra fuertemente asociada al río Lagunillas y a las temperaturas bajas y contenidos de oxígeno altos, lo cual coincide con lo reportado en la literatura respecto a su preferencia por aguas lentas o zonas de menor corriente de los ríos (Roldán, 1988). La familia Tipulidae parece beneficiarse de los altos contenidos de oxígeno, pH altos y altas concentraciones de amonios. La familia Scirtidae parece preferir ambientes con altas concentraciones de amonio, pH básicos y ambientes turbios -este último podría estar relacionado con su hábito alimenticio como filtradores de partículas en suspensión con microorganismos y material vegetal entre otros (Tree of Life Web Project, 2011)-, lo cual se manifiesta en un puntaje alto en el eje 2. Igualmente, la familia Chironomidae es una familia que tanto a nivel mundial como local presenta un gran número de taxones y dentro de esta amplia riqueza taxonómica se encuentran tanto especies características de ambientes muy limpios como de aguas fuertemente contaminadas. Sin embargo, se ha observado una dramática reducción de las abundancias de esta familia en aguas muy contaminadas (Gutiérrez *et al.*, 2004). Por lo tanto, sería necesario trabajar a nivel específico para aclarar cuáles son los taxones predominantes en los sistemas acuáticos del PNNEC, pero sus elevadas abundancias se pueden asociar con buena calidad de los ambientes acuáticos.

### **Escala regional (Análisis de distribución regional de grupos funcionales de macroinvertebrados).**

#### **Ambientes Lóticos.**

En la tabla 3.19 se puede observar que el bioma con mayor riqueza y equitabilidad de grupos funcionales es el altoandino. Estos resultados se esperaban dadas las condiciones climáticas, las formaciones vegetales asociadas, los suelos y la morfodinámica que se presenta en estas unidades eco-geográficas, que determinan su composición biótica (Pérez & van der Hammen, 1983).



**Figura 3.19** Porcentajes de grupos funcionales de macroinvertebrados presentes en los diferentes biomas del PNNEC.

En los tres biomas estudiados se observa una fuerte dominancia de los acumuladores, siendo esta mayor en los biomas de paramo y superpáramo. En el Bioma Altoandino, además predominan los filtradores, en el paramo los trituradores siguen en importancia y en el superpáramo los filtradores son el segundo grupo más importante. Esta tendencia general en la que los acumuladores son el grupo dominante indica como el material orgánico fino (MOF) es la fuente principal de alimento en esta comunidad, lo cual es consistente con estudios anteriores en ríos tropicales de montaña de orden 1 (Ospina et al., 2004)

La alta diversidad y equitabilidad del bioma altoandino puede ser explicada debido a que este bioma recibe materiales alóctonos de 2 biomas contiguos en mayores alturas, además de poseer una mayor temperatura ambiental, por lo cual se presentan diferentes nichos y recursos que pueden sostener a una mayor equitabilidad de formas de vida. Adicionalmente el perfil de las abundancias de estas formas de vida coincide ampliamente con aquel reportado por Bernal et al. 2006, para la quebrada Paloblanco situada a 2270 msnm en el flanco occidental de la cordillera Central.

Índices	Altoandino	Páramo	Superpáramo
Riqueza	5	5	5
abundancia	357	1009	2720
Dominance_D	0,2647	0,5155	0,5407
Shannon_H	1,449	0,9214	0,8357
Equitability_J	0,9005	0,5725	0,5193

**Tabla 3.19** Índices de diversidad por grupos funcionales de macroinvertebrados en ambientes lóticos de los diferentes biomas.

Cabe destacar la diferencia en importancia de las formas de vida trituradores y filtradores en los biomas de paramo y superpáramo respectivamente. Estas diferencias parecen indicar la importancia relativa que tiene la materia orgánica gruesa (MOC) y la MOF y el seston en uno y

otro bioma. Según Bernal et al. 2006 “la abundancia de los filtradores está dada por su bajo gasto energético para buscar alimento, al ser organismos que emplean la energía cinética del río, de tal manera que al encontrar sus requerimientos ecológicos (suficiente velocidad de corriente, alta calidad y concentración de sestón orgánico) pueden soportar biomasa superiores por unidad de área (Wallace y Webster, 1996)”; mientras que los trituradores se encuentran mayormente asociados al procesamiento de la MOC. En un orden de ideas similar, y teniendo en cuenta los aportes de los ecosistemas adjuntos a los ambientes lóticos se han reportado resultados afines para una quebrada altoandina ecuatoriana con cobertura boscosa en la que los colectores fueron dominantes y había un porcentaje importante de trituradores (Chará *et al.* 2010)

Por otra parte la presencia moderada de la forma de vida de raspadores en todos los biomas estudiados se puede explicar por la presencia del perifiton el cual se ve beneficiado por la liberación de nutrientes provocada por la actividad de las formas de vida de acumuladores y filtradores. Por otro lado, Wallace y Webster (1996), han mostrado que existe cierta correlación en la presencia de raspadores y perifiton, y en nuestro caso observamos como el porcentaje de abundancia de esta forma de vida aumenta a medida que se desciende en la altura, siendo menor su presencia en el superpáramo y mayor en el altoandino, lo cual es consistente con el patrón de abundancias observado en los estudios de perifiton (ver capítulo de perifiton) realizados en estos mismos ríos, el cual aumenta a medida que se desciende por el gradiente altitudinal.

Finalmente destacamos el patrón de abundancias en las formas de vida depredadoras, ya que según Wallace y Webster (1996), las presas más frecuentes de los depredadores son el grupo de los acumuladores. Si bien los depredadores son más abundantes en el bioma altoandino que en cualquiera de los otros dos biomas, que posee una menor abundancia de acumuladores respecto a los otros dos, esto podría explicarse por las bajas densidades de individuos presentes en los biomas de paramo y superpáramo las cuales imposibilitarían el sostenimiento de una gran actividad depredadora.

Para confirmar las relaciones anteriormente descritas se realizó un análisis CCA, con las variables físicoquímicas de oxígeno disuelto, pH y temperatura, ya que estas variables diferencian de forma adecuada a los ambientes loticos en los biomas estudiados. Se obtuvieron 2 componentes, con el primero acumulando un 62% de la información en los datos analizados.

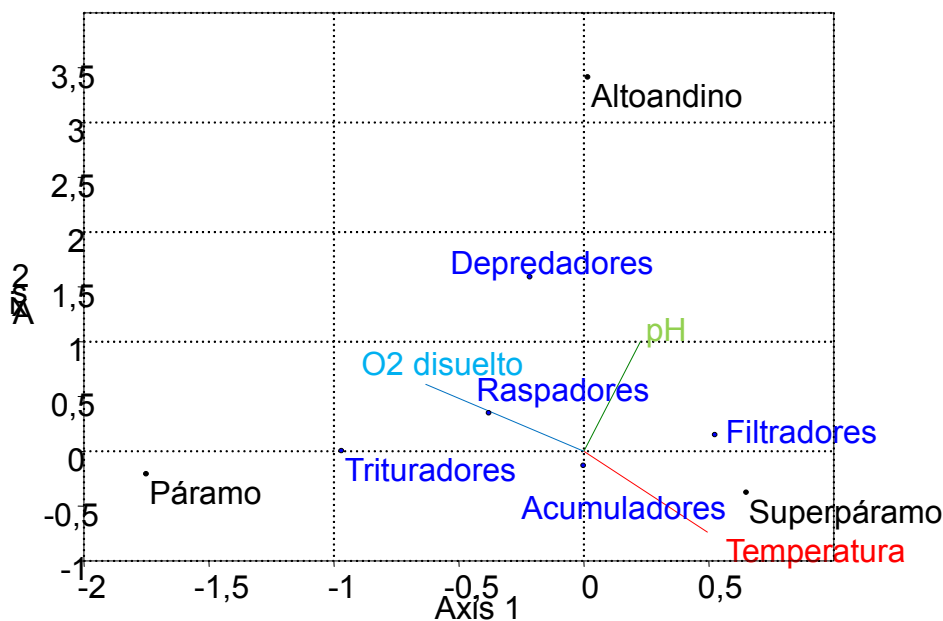
Axis	Eigenvalue	%
1	0,13	61,75
2	0,08	38,25

**Tabla 3.20** Valores propios y porcentajes de varianza acumulada.

El primer componente se encuentra mayormente asociado al contenido de oxígeno disuelto y a la temperatura, mientras que el segundo componente esta mayormente asociado al pH y a la temperatura (ver tabla 3.20)

En la figura 3.20 se confirman las relaciones anteriormente mencionadas y emergen otras más. Por ejemplo se observa que el segundo componente separa exitosamente los biomas de paramo y superpáramo del bioma altoandino y según los resultados de este análisis, esta separación se debe a la mayor presencia de depredadores y a los mayores valores de pH y menores temperaturas presentes en el bioma altoandino. Por otro lado se observan las diferencias entre los biomas de paramo y superpáramo, las cuales se ven representadas ampliamente en el primer componente del análisis CCA. Los trituradores se asocian principalmente al paramo con mayores contenidos de oxígeno disuelto y temperaturas menores en relación con el superpáramo, en donde predominan los filtradores, mayores temperaturas y menores contenidos de oxígeno disuelto.

Adicionalmente se observa el rol general que poseen los acumuladores, que al encontrarse posicionados cerca al origen, se asocian a una abundancia similar en los tres biomas estudiados. También se observa la asociación de los raspadores con los biomas altoandino y paramo, los cuales podríamos asociar con contenidos de oxígeno alto y temperaturas relativamente altas.



**Figura 3.20** Triplo grupos funcionales de macroinvertebrados FQ- en ambientes lóticos del PNNEC.

En los ambientes lóticos de montaña, el movimiento del agua corriente abajo, las sustancias disueltas y las partículas en suspensión son aspectos derivados en primera instancia de la cuenca o el área de drenaje, que es el área total de territorio que drena bajo la influencia de una corriente de agua dada. Es indispensable tener en cuenta que bajo condiciones normales, la mayoría de la lluvia se infiltra en el suelo, el cual presenta una capacidad variable de almacenar agua dependiente de su estructura, composición y otros factores (Wetzel & Likens, 2000); Para el caso

del PNNEC, se sabe que, el suelo del páramo tiene una capacidad de almacenamiento de agua muy por encima de la del bosque altoandino, debido a la acumulación que tiene de materia orgánica (van der Hammen, 2003 & Pérez & van der Hammen, 1983).

En cuanto a los biomas, los sistemas lóticos del altoandino se caracterizan por pH tendientes a una ligera basicidad, altos contenidos de nitratos y temperaturas medias. Esto asociado con los resultados de riqueza y diversidad lleva a comprender de una manera más global el sistema. En el piso altoandino no existió la suavización de pendientes preexistentes, debido que se encuentra en lo que hace 25000-30000 años fue el sistema periglacial heredado, por lo cual las grandes pendientes generan río que se encajonan, por procesos de disección o socavamiento (IDEAM, 2010). Un aspecto adicional de este piso, que afecta las corrientes de agua es la inestabilidad morfodinámica que genera movimiento en masa como derrumbes (IDEAM, 2010). Esto explica por ejemplo el alto contenido de nitrato que presentan estas aguas, los cuales pueden provenir del lavado que se presenta en los suelos de las formaciones vegetales asociadas. Asimismo sorprende el carácter básico de los ambientes acuáticos de esta región, ya que los suelos de este bioma son generalmente de acidez alta. Por lo tanto es probable que las bases provengan de la superficie terrestre, porque los ácidos son resultado de procesos al interior mismo de los ambientes acuáticos, tanto por el carácter del suelo como ya se mencionó, como por la actividad de los seres vivos (Margalef, 1994). El superpáramo posee las temperaturas más altas (resultado de la fuerte exposición a la radiación solar y la mayor relación superficie volumen de sus quebradas) y bajos contenidos de sólidos disueltos y de oxígeno disuelto, ya que a estas alturas las corrientes de agua son muy pequeñas, poco caudalosas, muchas veces provenientes del deshielo del glaciar mismo. Por lo tanto, estas pequeñas quebradas son más propensas a cambios bruscos de temperatura llegando a ser muy alta durante el día.

Los ambientes lóticos del páramo se caracterizan por sus altos contenidos de oxígeno disuelto y nitratos y por mayores temperaturas del agua. El oxígeno puede ingresar al agua tanto desde la atmósfera como por producción de la fotosíntesis de algas. El contenido de oxígeno disuelto depende también de la temperatura, la presión y las concentraciones de diversos iones (Wetzel & Likens, 2000). Estos son resultados congruentes con la temperatura del agua en los ecosistemas acuáticos del páramo y con la mayor radiación solar que incrementa la fotosíntesis de plantas acuáticas y plantas riparias.

En cuanto a las conclusiones de estos sistemas lóticos, a nivel de paisaje observamos como los cuatro ecosistemas lóticos responden a patrones de escala global y local. Se observan fuertes diferencias en términos de riqueza, diversidad, dominancia y equitabilidad entre los ríos pertenecientes al bioma altoandino y los del páramo y superpáramo. A escala local se observó como la diferencia en composición de la comunidad de macroinvertebrados en las dos quebradas estudiadas del río playitas, puede ser asociada a diferencias en variables fisicoquímicas en los dos cuerpos de agua.



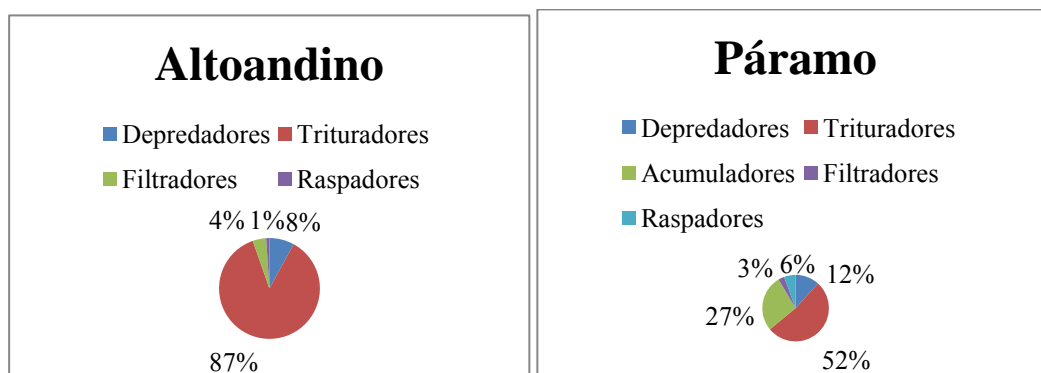
A nivel de biomas se observaron fuertes asociaciones entre la diversidad de formas de vida y el gradiente altitudinal representado en los biomas estudiados, en concordancia con estudios previos en los que se ha encontrado una tendencia similar debido a factores climáticos de escala regional. Además se encontraron asociaciones entre las formas de vida y los biomas: los filtradores se encuentran asociados con el superpáramo, los trituradores con el paramo y los depredadores con el altoandino, lo cual revela una sucesión de formas de vida asociada a las diferentes fuentes de materia orgánica disponibles en los diferentes biomas.

### Ambientes Lénticos.

La mayoría de los ambientes lénticos encontrados en el PNN El Cocuy son lagunas, turberas y pantanos localizados en depresiones de sobre-excavación glaciár de diferentes edades (IDEAM, 2010).

0	Altoandino	Páramo
Taxa_S	4	5
Individuals	2473	5531
Dominance_D	0,7593	0,3667
Shannon_H	0,5094	1,21
Equitability_J	0,3675	0,7519

**Tabla 3.21** Índices de diversidad de los grupos funcionales de macroinvertebrados en ambientes lénticos en dos biomas del PNNEC.



**Figura 3.21** Porcentajes de grupos funcionales de macroinvertebrados en ambientes lénticos en dos biomas del PNNEC.

El bioma de páramo resulta ser más rico que el bioma altoandino y más diverso en cuanto a grupos funcionales. En primera instancia los ambientes acuáticos lénticos ubicados en el altoandino han estado más afectados por la presión antrópica, ocasionando por ejemplo procesos similares a los encontrados en lagos del hemisferio norte, como la eutrofización. Esta consiste en un aporte exagerado de nutrientes debido a diferentes actividades humanas como, depósito de desechos en los lagos, agricultura en los territorios anexos y también la ganadería –el ganado entra en estos ambientes degrada y contamina sobre todo con nitrógeno (van der Hammen,

2003). Adicionalmente las bajas temperaturas hacen que exista una metabolización limnética baja a estos aportes de nutrientes (Margalef, 1994). Como consecuencia de lo anterior se puede decir que el estado de estos ecosistemas no es el más saludable, y esto se evidencia a su vez en los valores de dominancia y equitatividad. Los ambientes lénticos ubicados en el bioma altoandino, presentan una mayor dominancia y por lo tanto baja equitatividad siendo el grupo funcional dominante el de los trituradores. Esto es consecuente con las familias de macroinvertebrados encontradas (Hyalellidae y otros crustáceos), que eventualmente podrían estar aprovechando los sólidos en suspensión y la gran cantidad de aportes, tanto naturales (lavado del litter de los bosques altoandinos adyacentes) como antrópicos (diferentes clases de desechos). Los ambientes de páramo tienen una mayor conservación; en ellos predominan trituradores y acumuladores, los que presumiblemente se encontrarán bajo condiciones de mayor temperatura, más oxígeno disuelto y pH más ácido con respecto a los lagos del bioma altoandino. Podrían eventualmente tener mayor productividad por la presencia de vegetación higrófila y acuática propiamente dicha o riparia, las cuales pueden estar en mayor proporción en los ambientes acuáticos más representativos del páramo –turberas y lagunas- que en los de otros biomas. Esto sumado a una menor turbidez del agua y mayor radicación solar, aumenta a su vez la cantidad de oxígeno disuelto y ocasiona una mejor estructuración de la comunidad de macroinvertebrados. Finalmente, estos lagos reciben aportes del exterior por procesos como la solifluxión líquida propia del páramo (Pérez & van der Hammen, 1983).

Dado que sólo se muestrearon ambientes lénticos en dos biomas no fue necesario hacer el análisis multivariado canónico CCA.

## - FITOPLANCTON

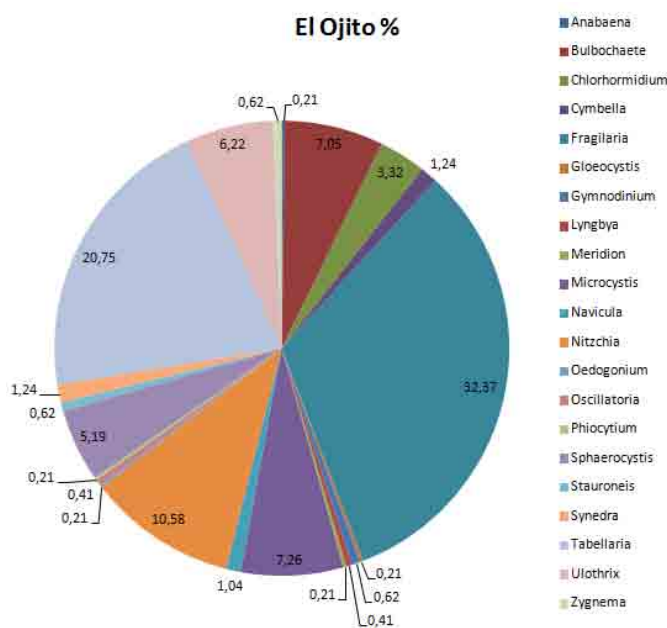
### **Escala Ecosistema**

Para el nivel ecosistema se realizó un análisis de los datos para cada una de las lagunas en las que se hizo el muestreo.

La laguna El Ojito es la más diversa, la comunidad encontrada consta de 21 géneros. El número de individuos por ml casi es idéntico al de la laguna San Pablín que resultó ser la de mayor abundancia. A pesar de su gran diversidad El Ojito tiene ver que tiene la menor equitatividad. El índice de dominancia de Simpson D es el segundo más alto. Hay una dominancia clara de *Flagilaria* y *Tabellaria*. Entre los dos géneros suman más del 50% de los individuos el otro 50% corresponde a los restantes 19 géneros. La equitatividad es tan baja que 10 de los géneros representan cada uno menos del 1% del total de la comunidad. Resulta contrastante que el segundo ecosistema con mayor abundancia sea a su vez diverso y poco equitativo. Dada la dominancia mayoritaria de los dos géneros señalados se puede afirmar que los nichos de estos son los más productivos.

Dada la ubicación altitudinal de la laguna El Ojito (3082 msnm) y la alta intervención antrópica en los ecosistemas circundantes la riqueza y diversidad del fitoplancton de la laguna se explica

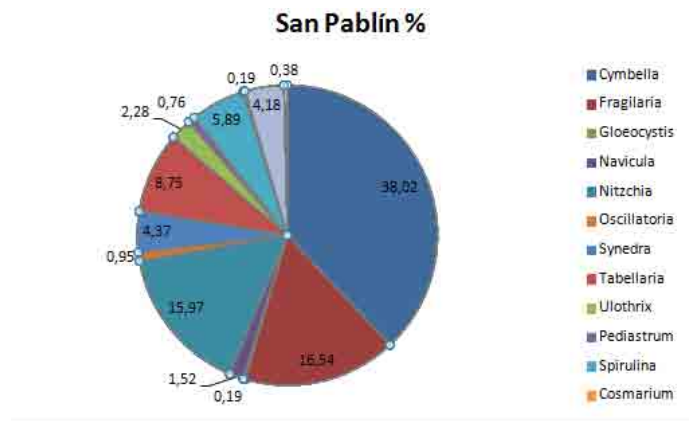
porque este sistema se alimenta de aguas han recorrido mayores distancias y por tanto han efectuado un lavado de áreas mayores lo cual podría ocasionar mayor aporte de nutrientes. Adicional áreas circundantes se han empleado para la agricultura y el pastoreo lo que implica que los suelos han sido tratados con fertilizantes y que además tienen una alta carga orgánica producto de los desechos del ganado. Por otra parte la cobertura vegetal nativa es menor en áreas bajas del paramo y del bosque siendo remplazada por potreros y por especies que brindan menor protección al suelo y que favorecen la erosión; esto implica una mayor carga sedimentaria (iones en solución o partículas complejas) hacia las aguas que alimentan la laguna El Ojito; todo lo anterior podría brindar las condiciones adecuadas para el desarrollo de una abundante comunidad fitoplanctónica en este ecosistema.



**Figura 22.** Porcentaje de géneros de fitoplancton en la Laguna el Ojito.

La laguna San Pablín tiene la mayor densidad de individuos y en ella la diversidad de la comunidad de algas planctónicas es la más baja. Esta compuesta por catorce géneros cerca del 40% menos que en la laguna El Ojito. La equitatividad es la segunda más baja; hay una clara dominancia del género *Cymbella* con un 38.02%. El índice de dominancia de Simpson D es el mas alto y el índice de diversidad de Shannon es el menor.

La laguna San Pablín se encuentra a 3822 msnm. Sus resultados de alta densidad de individuos y baja diversidad podrían relacionarse con la mayor altitudinal y con un menor efecto antrópico sus alrededores. Tendría entonces mucha importancia al gradiente altitudinal pues los 800 msnm que separan de El Ojito provocan importantes cambios de temperatura, presión, disolución de gases y radiación solar.



**Figura 3.23.** Porcentaje de géneros en la Laguna San Pablín.

La laguna La Pintada tiene una abundancia de individuos alta y una diversidad alta. La comunidad está compuesta por 16 géneros con predominio de *Tabellaria* (32.48%). A pesar de esto un el índice de equitatividad es el segundo más alto ya que los restantes 15 géneros se reparten de manera moderadamente equitativa el 66.5 %la de la comunidad. Coherentemente el índice de dominancia de Simpson D es el segundo más alto y a su vez el índice de diversidad de Shannon es el más alto.

La laguna La Pintada es el punto de muestreo más alto (3980 msnm). También es el cuerpo de agua de mayor tamaño dentro de los cuatro muestreados y es el mejor conservado. Su flujo de agua es lento pero continuo. Aquí no es posible hablar de acción antrópica pues sus alrededores son ecosistemas protegidos por estar en un área de amortiguación de PNNEC en la que las actividades agrícolas y ganaderas se han reducido. Puede haber impactos generados por el turismo pero serian relevantes en comparación con los demás ecosistemas estudiados. Aquí se puede atribuir la riqueza y diversidad a que es un ecosistema natural con cero o poca intervención y por lo tanto en equilibrio. Los índices de equitatividad y diversidad de Shannon son altos posiblemente porque las relaciones ecológicas entre los diferentes organismos han sido poco afectadas. El que solo haya un genero dominante y el resto tenga una equitatividad alta nos indica que los nichos están muy bien marcados y que además son equitativamente productivos.

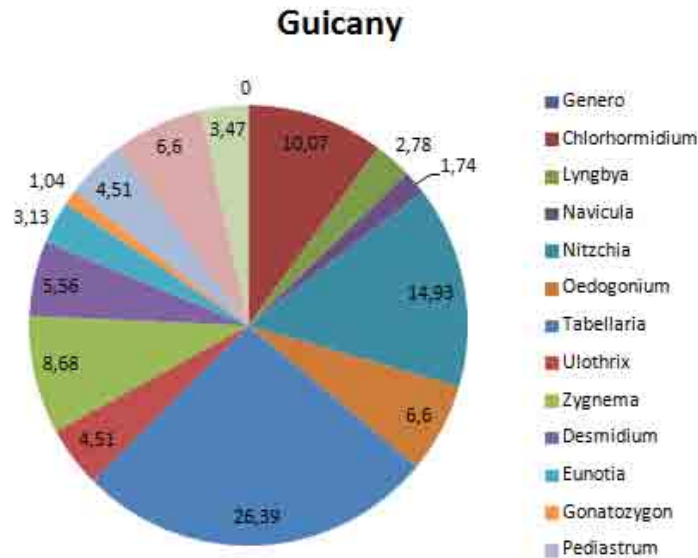


**Figura 3.24** Porcentaje de géneros de fitoplancton en la Laguna La Pintada.

La laguna Guicany y es el ecosistema con la más baja abundancia de individuos, la menor diversidad (14 géneros). Aunque hay dominancia de *Tabellaria* (32.48%). El índice de equitatividad es el más alto ya que los géneros restantes se reparten su presencia de manera medianamente equitativa. Por ello el índice de diversidad de Shannon es el segundo más alto y el de dominancia de Simpson D es el más bajo.

Aunque la laguna Guicany está a una altura (3815) similar a La Pintada sus condiciones son totalmente diferentes. Guicany es un cuerpo artificial rodeado de ambientes muy alterados y en proceso de colmatación, su profundidad es muy baja siendo de escasos centímetros en algunos sectores, además su flujo de agua es muy lento y de bajo volumen

La baja abundancia de individuos en esta laguna se podría atribuir al hecho de que este sistema está en un proceso de desecación. Esto se suma a su naturaleza artificial y a sus condiciones variantes en cuanto la profundidad.



**Figura 3.25** Porcentaje de géneros de fitoplancton en la Laguna Guicany.

0	El Ojito	Guaicany	La Pintada	San Pablín
TaxaS	21	14	16	14
Individuos/ml	32378,755	1482	2819,91667	32775,06
Dominance_D	0,1775	0,1288	0,1481	0,2131
Shannon_H	2,107	2,32	2,327	1,884
Equitability_J	0,692	0,8792	0,8391	0,7139

**Tabla 3.22** Índices de diversidad para los cuatro ecosistemas

### Escala Paisaje

Para el nivel de paisaje relacionaron los cuatro ecosistemas estudiados con las características fisicoquímicas de cada uno de ellos. Esto con el fin de ver el comportamiento de la comunidad fitoplanctónica de acuerdo a las variantes fisicoquímicas. De esta manera se puede establecer cuáles son las condiciones más favorables para la presencia y abundancia de los géneros más representativos de la comunidad planctónica para los ecosistemas lénticos del PNNEC.

### CCA nivel paisaje

El primer eje del análisis CCA recoge un 71% de la información de los datos analizados y se encuentra fuertemente asociado a la temperatura de forma negativa, y al pH de forma positiva. También se encuentra moderadamente relacionado con el amonio de forma positiva y con el oxígeno de forma negativa. El segundo eje acumula un 22% de la información en los datos y se encuentra fuertemente relacionado con el pH y moderadamente con el amonio y la turbidez. (tabla 2)

Axis	Eigenvalue	%
1	0,071311	71,01
2	0,021707	21,61
3	0,0074099	7,378

**Tabla 3.24** Valores propios CCA y varianza acumulada

0	Axis 1	Axis 2	Axis 3
Navicula	-1,2977	3,54395	1,25467
Tabellaria	0,0674968	-0,0398969	-0,614516
Ulothrix	-0,680262	-1,10636	1,62441
Zygnema	5,1862	0,858827	2,14118
El_Ojito	- 0,0332464	-0,12235	-0,00016232
San_Pablín	-0,233937	0,200606	0,0191299
Guaicany	1,00381	0,182988	0,287537
La_Pintada	0,609567	0,183339	-0,235468
temperatura	-0,965085	-0,26708	-0,091862
Amonio	0,580401	0,654395	-0,480567
Turbidez	-0,342198	0,54507	0,392365
pH	0,845082	0,740582	-0,0374014
O2_disuelo	-0,575454	0,457336	-0,575588

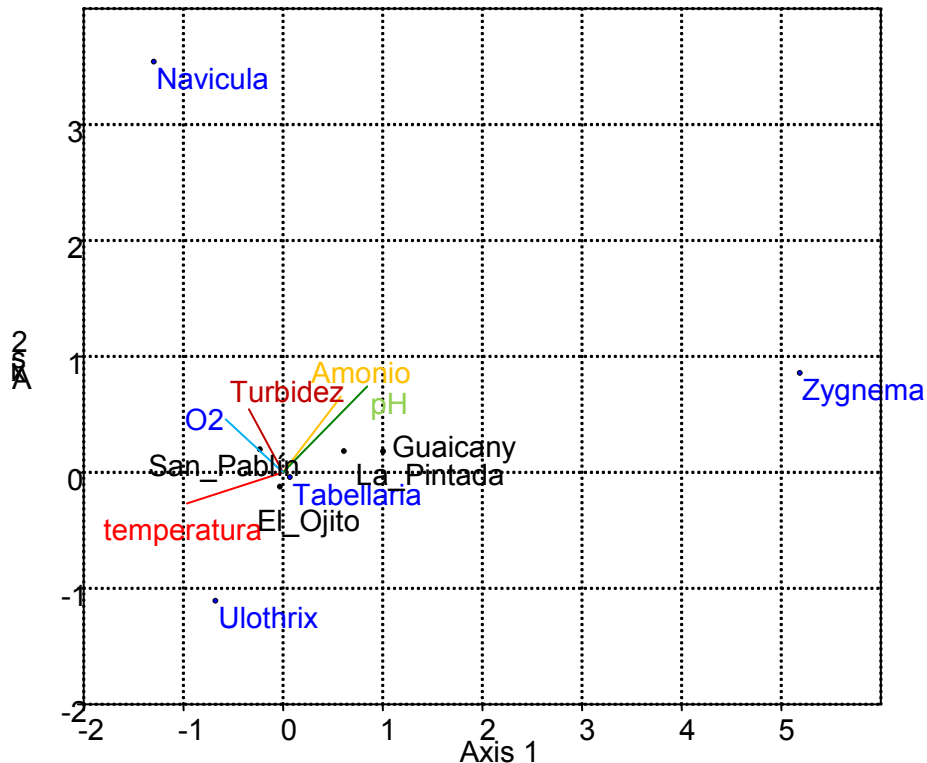
**Tabla 3.25** Scores CCA.

En la figura 5 puede verse que la laguna San Pablín se encuentra más asociada al primer eje con valores negativos, por lo cual se relaciona con temperaturas y contenidos de oxígeno alto y pH bajos. El ojito se encuentra fuertemente asociada con el segundo eje presentando valores altos de temperaturas (por estar a menor altura sobre el nivel del mar), y a bajos de las demás variables. La temperatura es la variable dominante en El Ojito y su diferencia con los demás ecosistemas es marcada, este parámetro podría contribuir a su alta diversidad y densidad de individuos de la comunidad.

La Pintada y Guaicany se asocian con temperaturas bajas y contenidos de amonio altos y los pH más elevados entre las lagunas estudiadas. La diferencia está dada por el contenido de oxígeno disuelto, siendo La Pintada ligeramente la más oxigenada. Se esperaría que la diferencia fuera mayor ya que La Pintada tiene un flujo de agua mayor y constante pero debido a que Guicany está en proceso de colmatación y desecación su volumen se reduce relativamente rápido. Son lagunas totalmente diferentes: la Pintada es varias veces más grande y profunda que Guicany. La Pintada es de origen natural y Guicany de origen artificial. Siendo variables fisicoquímicas

similares en las dos lagunas se podría atribuir la reducida densidad de individuos en Guicany a la intervención entrópica de este cuerpo de agua y de los ecosistemas circundantes.

(ver figura triplot y tabla scores cca).



**Figura 3.26** Análisis de Correspondencia Canónica del fitoplancton de sistemas lénticos del PNNEC

Por otro lado el género *Navicula* se asocia a zonas con altos contenidos de oxígeno y temperaturas altas (San Pablón); *Ulothrix* se presenta en mayor abundancia en sistemas con mayores temperaturas y pH bajos (El Ojito). *Zygnema* se relaciona con temperaturas y contenidos de oxígeno bajos (Guicany y La Pintada). *Tabellaria* se encuentra cerca del origen del triplot. (Figura 5) por lo que se le puede considerar como un género que prefiere condiciones medias en la mayoría de las variables fisicoquímicas estudiadas.



## Escala Regional

Para el nivel regional hay que tener en cuenta que se clasifican los géneros en siete categorías morfológicas basados en los grupos funcionales (MBFG) de fitoplancton. Se encontró una distribución uniforme del número de grupos para los dos ecosistemas muestreados (altoandino y paramo). Esta uniformidad podría deberse a que la laguna El Ojito (bioma altoandino) presentó una alta diversidad en su comunidad fitoplanctónica. En cuanto a la densidad de organismos para los dos biomas en el nivel altoandino las respuestas opuestas; la comunidad mas abundante fue la de El Ojito y la menos numerosa fuera de Guicany.

El bioma altoandino tiene el más alto índice de diversidad de Shannon y de equitatividad. Por su parte el índice de dominancia de Simpson D es más alto en el páramo.

En cuanto a la categorización de los biomas se ve que hay una uniformidad en los dos biomas pero no debe olvidarse que hay una dominancia de géneros en el bioma altoandino que se puede atribuir a temperaturas más altas y presumiblemente a que las aguas que alimentan estos sistemas tienen una mayor carga de nutrientes debido a que lavan suelos con menos cobertura vegetal y por ende menos protegidos. En cuanto a la riqueza medianamente equilibrada en los dos biomas se podría pensar que hay una compensación ya que aunque en el paramo las temperaturas son mas bajas hay una mayor concentración de oxígeno sumado a esto el páramo es un bioma menos intervenido.

0	Altoandino	Páramo
Taxa_S	6	6
Individuos/ml	32378,755	37076,9767
Dominance_D	0,354	0,4489
Shannon_H	1,258	1,003
Equitability_J	0,7021	0,56

**Tabla 3.26** Índices de diversidad para los grupos funcionales del fitoplancton del PNNEC

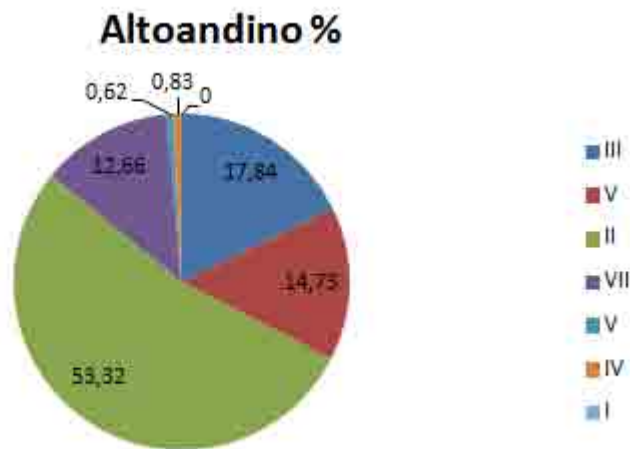
MBFG	
I	organismos pequeños con alta relación s/v
II	organismos flagelados pequeños con exoesqueleto o estructuras silíceas
III	filamentosas largas con aerótopos
IV	organismos de mediano tamaño sin rasgos especializados
V	flagelados unicelulares de mediano a gran tamaño
VI	organismos no flagelados con exoesqueleto silíceo
VII	grandes colonias mucilaginosas

**Tabla 3.27** Clasificación de los géneros de fitoplancton en grupos funcionales (MBFG)

Los pequeños organismos flagelados y con estructuras silíceas perteneciente a la categoría II son los dominantes en el bioma altoandino. Tienen una representación de más de la mitad de toda la comunidad, lo que nos indica que este grupo funcional se ve muy beneficiado por las mayores temperaturas y niveles de oxígeno relativamente bajos. La otra mitad de representación del bioma se la reparten uniformemente los grupos V, III y VII. Los grupos I y IV tienen una representación mínima para el bioma con menos del 1% para cada grupo.

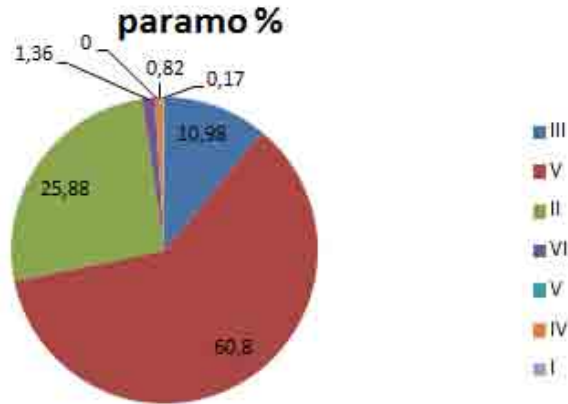
Podemos ver que los grupos de organismos con bajo volumen y similar relación s/v dominan ampliamente la población de algas planctónicas en el bioma altoandino (70% grupos II y III).

Los grupos V y VII que son los que contienen a los organismos de mayor volumen y bajas relaciones s/v tienen una presencia importante (27%) en los sistemas altoandinos,



**Figura 5.** Porcentaje de las formas de vida para bioma altoandino

En el paramo se tiene una distribución de los grupos funcionales muy diferente al bioma anterior. Hay una dominancia total por parte de los organismos unicelulares flagelados de mediano a gran tamaño pertenecientes a la categoría V. Dicho grupo representa un 60% de toda la comunidad planctónica del bioma. Los organismos de esta categoría se ven beneficiados con temperaturas bajas, niveles relativamente altos de oxígeno y ambientes conservados con baja alteración de las relaciones ecológicas. Los grupos II y III representan el 37% de los organismos fitoplanctónicos del bioma y dejan menos del 3% de la comunidad a los grupos VII y IV.



**Figura 3.28.** Porcentaje de las formas de vida para bioma paramo.

Los valores de pH, amonio y turbidez no son comunes para los ecosistemas de cada bioma, por lo cual no se pueden tener en cuenta en la determinación de la distribución de los géneros y grupos funcionales.

En el páramo el 60% de los organismos corresponde al grupo V y el 37% a los grupos II y III esto nos indica que las características de estos sistemas favorecen tanto a organismos con alto volumen y baja relación s/v como a organismos con bajo volumen y media relación s/v.

Es claro que las condiciones son adversas para organismos con una muy alta relación s/v (grupo I) y poco favorables para organismos con un muy alto volumen (grupo VII)

formas de vida	Altoandino		Páramo	
	Conteo ind/ml	%	Conteo ind/ml	%
III	5777,122	17,84	4071,505	10,98
V	4769,485	14,73	22542,22	60,80
II	17264,19	53,32	9594,27167	25,88
VII	4097,726	12,66	503,065833	1,36
V	201,528	0,62	0	0,00
IV	268,704	0,83	303,604167	0,82
I	0	0,00	62,31	0,17
Totales	32378,755	100	37076,9767	100

**Tabla 3.28** Porcentaje de distribución de los grupos funcionales para cada bioma.

Dado que tan sólo se muestrearon ambientes lénticos en dos biomas no fue necesario hacer el análisis multivariado canónico CCA.

## CONCLUSIONES

La altura y la presión atmosférica son dos variables que pueden indicar claramente el tipo de ecosistema en el cual se está haciendo el análisis. No obstante, estos parámetros se omitieron en la relación con las demás variables y con el bioma en el que se encuentra el ecosistema, ya que no se pueden mezclar en un mismo análisis datos climáticos y datos fisicoquímicos del agua. Tomando en cuenta únicamente los componentes químicos, se puede concluir que los sistemas acuáticos altoandinos del PNNEC se caracterizan por una baja conductividad, baja cantidad de sólidos disueltos y nutrientes, pH ácido, y altas cantidades de oxígeno respecto a la temperatura (saturación), lo que permite clasificarlo como oligotrófico.

La conductividad en los diferentes ecosistemas, además de estar dada por la altitud en la que se toma la muestra, también se ve afectada por las condiciones geológicas, los sistemas de producción y las actividades agrícolas de las cuencas de los ríos y lagos.

Las especies que puedan ser identificadas en las diferentes comunidades acuáticas, deben estar adaptadas a las condiciones de inestabilidad presentadas en los aspectos fisicoquímicos de los diferentes cuerpos de agua del PNN.

Se observa que el primer componente, que se encuentra asociado positivamente a temperatura principalmente y en menor grado a amonio y turbidez; también se encuentra negativamente asociado con el pH, es el componente más relevante para diferencias los ecosistemas.

Existe una gran diversidad y baja dominancia de taxones en los sistemas acuáticos estudiados del PNNEC, especialmente en la laguna Guaicany, debido a la baja circulación de agua y al proceso de colmatación que lleva en curso. Los géneros encontrados son bioindicadores de aguas puras.

En el paisaje, se observa un recambio de perifiton mayor en sistemas lenticos que loticos principalmente por las corrientes de agua, vientos y animales. En cuanto al bioma, no se observa una correlación entre las formas de vida y los diferentes biomas, sin embargo, si es notable una dependencia con las variables fisicoquímicas, en especial la turbidez, la temperatura y el oxígeno disuelto.

Al hacer una comparación entre lenticos y loticos, no se observa diferencias entre ambos biomas, sin embargo si es apreciable una caracterización específica para cada ambiente.

Los biomas más diversos, ricos y productivos fueron en términos generales los de páramo y del bosque altoandino, con la laguna Guaicany como el sitio más representativo entre los ambientes lénticos y el río Corralillos dentro de los lóticos. Los grupos funcionales de mayor representatividad fueron los acumuladores y filtradores, aunque este último puede representar un sesgo dado por los ambientes acuáticos perturbados por el hombre.

Dentro de las familias más comunes están Leptoceridae, Hyalellidae, Hyalidae y Chironomidae, siendo esta última de inmensa representatividad en términos generales aunque con mayor preponderancia en los ambientes lóticos, a este respecto se sugiere realizar estudios a nivel específico para poder determinar posibles especies dentro de la familia Chironomidae que nos puedan aportar información acerca de la calidad del agua.

Los cuatro sistemas lénticos muestreados tienen cada uno características fisicoquímicas muy particulares que no permiten hacer relaciones totalmente claras de estos indicadores con la comunidad fitoplanctónica encontrada. Sin embargo, se puede afirmar que los dos ecosistemas con menor intervención (La Pintada y San Pablín) se comportan de manera relativamente uniforme.

## SUGERENCIAS

Se recomienda hacer un seguimiento a la concentración de fosfatos y nitratos en los ambientes lóticos de alta montaña del PNN el Cocuy, para determinar si hay diferencias significativas en los contenidos de estos elementos entre la temporada de lluvias (cuando aumenta el caudal) y la temporada de sequía (donde disminuye), y relacionar estos cambios a la composición de las comunidades de perifiton de este tipo de ecosistemas.

Se recomiendan estudios que permitan identificar y cuantificar los géneros de bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizado res de fosfatos, y relacionarlos con la concentración de hierro, molibdeno y el pH, también es importante seguir el comportamiento de estas comunidades en suelos.

Los sistemas acuáticos alto andinos del PNNEC se caracterizan ser oligotróficos, sin embargo la laguna Guaicany, a pesar de no conocer su productividad, quizás sea el único cuerpo de agua que pueda llegar a clasificarse como meso trófico en alguna época del año es razón por la que se recomienda hacer un seguimiento.

Para futuros análisis donde se desee agruparlos con otros ecosistemas acuáticos de alta montaña de los tres ramales de los andes, se recomienda la toma de las variables  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ .

También se sugiere hacer esfuerzos de conservación de todas las lagunas de la región, pero con mayor ahínco en las ubicadas en la franja altitudinal baja (El Ojito y La Ciega), que presentan una fuerte presión antrópica. Además, se sugiere llevar a cabo futuros estudios en los que se comparen (mediante la realización de un transecto, por ejemplo) biomas zonales y azonales entre ellos y con respecto a los dos flancos de la Sierra Nevada del Cocuy.

## LITERATURA CITADA

APHA-AWWA-WPCF. 2005. Methods for the examination of Water. 21th edition. American Public Health Association (APHA), American Methods Water Work Association (AWWA), Water Pollution Control Federation (WPCF) USA.

BEGON M, TOWNSEND C, HARPER J. Ecology: From Individuals to Ecosystems. 4<sup>th</sup> edition. Blackwell Publishing. 2006.

BELLINGER E., D. SIGEE. Freshwater algae: identification and use as bioindicators. London: Wiley-Blackwell; 2010.

BERNAL E, GARCÍA, D.; NOVOA, M.; PINZÓN, A. 2006. Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados de la quebrada Paloblanco de la cuenca del río Otún (Risaralda, Colombia). Acta Biológica Colombiana. 11(2): 45-59.

BIGGS, B. 1989. Biomonitoring of organic pollution using periphyton, South Branch, Canterbury, New Zealand. New Zealand J. of Marine and Freshwater Research 23:263-274.

BURNS, A, D.S. RYDER. 2001. Potential for biofilms as biological indicator in Australian riverine systems. Ecological Management & Restoration 2(1):53-64.

CASALLAS, J. GUNKEL, G. 2001. Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: el lago san pablo, ecuador. Limnetica 20(2):215-232.

CASTELLANOS P, SERRATO C. 2008. Diversidad de Macroinvertebrados acuáticos en un Nacimiento de Río en el Páramo de Santurbán, Norte de Santander. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 32(122): 79-86.

CHARÁ, A. 2010 Clasificación Trófica de Insectos Acuáticos en ocho Quebradas protegidas de la Ecorregión Cafetera Colombiana. UniversitasScientiarum. 15(1): 27-36.

CRUZ-PIZARRO, L.; I. RECHE & P. CARRILLO. 1994. Plankton dynamics in a high mountain lake (Las Yeguas, Sierra Nevada, Spain). Indirect evidence of ciliates as food source for zooplankton.

DONATO, J. 2001. Fitoplancton de los lagos andinos del norte de Sudamérica (Colombia), composición y factores de distribución. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales Bogotá, Colombia.

DONATO, J. GALVIS, G. 2008. Tipología de ríos colombianos –aspectos generales- en: Donato, J. ecología de un río de montaña de los andes colombianos (río Tota, Boyacá). 1 edición. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Pg. 31-36.

DONATO, R.J., G.E. GONZÁLES, M.L. RODRÍGUEZ. 1996 Ecología de dos sistemas acuáticos de páramo. Universidad Javeriana, Santa fé de Bogotá, Colombia.

GAVIRIA, S. 1993. Aspectos limnológicos de las lagunas de Chingaza. En: Andrade, G. Carpanta, selva nublada y páramo. 1 edición, Fundación Natura Colombia. Bogotá, Colombia.

ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA, DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL (DIGESA) del Ministerio de Salud del Perú. Disponible en: [http://www.mma.es/conserv\\_nat/acciones/humedales/pdfs/medwet/pn.recomendaciones\\_toma\\_sp.pdf](http://www.mma.es/conserv_nat/acciones/humedales/pdfs/medwet/pn.recomendaciones_toma_sp.pdf)<http://www.secyt.unc.edu.ar/Temas/Temas7/Prosperi.htm><http://www.fao.org/docrep/field/003/AC594S/AC594S04.htm>

GUTIÉRREZ JD, RISS W, OSPINA R. 2004. Lógica difusa como herramienta para la bioindicación de la calidad del agua con macroinvertebrados acuáticos en la Sabana de Bogotá – Colombia. *Caldasia* 26(1): 161-172.

IDEAM. 2010 Sistemas morfogénicos del territorio colombiano. Bogotá

KRUK C. 2010. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater Biology*: 55(614-627)74: 29-35

LEBART, L., MORINEAU, A. & PIRON, M. 1995. Statistique exploratoire multidimensionnelle. Dunod.

LEGENDRE, P. LEGENDRE, L. 1998. Numerical Ecology. Elsevier. Amsterdam

MAGURRAN, A. 2004. Measuring Biological Diversity, Blackwell Science Ltd., Margalef, R. Ecología. Omega S.A. Barcelona, 1998.

MARGALEF, R. 1980. La biósfera. Entre la termodinámica y el juego. Omega, Barcelona.

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

MARGALEF, R. 1994. Limnology now. A paradigm of planetary problems. Elsevier. Amsterdam.

MARTÍNEZ, L. DONATO, J. 2003. Efectos Del Caudal Sobre La Colonizacion De Algas En Un Río De Alta Montaña Tropical (Boyaca, Colombia). *Caldasia* 25 (2): 337-354.

MERRITT R, CUMMINS K. 1996 An introduction to Aquatic Insects of North America. 3<sup>rd</sup> edition. Kendall.

MORALES, M., J. OTERO, T. VAN DER HAMMEN. 2007. Atlas de páramos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C. 208 p.

MOREIRA, J. 1988 Productividade primaria do periphyton em viveiros destinados a piscicultura. Dissertação do Mestrado, Univ. Federal de Bahia, Bahia, Brasil. 250 p.

MORENO, L. 1989. Colonización del perifiton en tres embalses del oriente Antioqueño. Tesis de pregrado, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 130 p.

OSPINA R, RISS W, GUTIÉRREZ J, MURCIA P, ÁLVAREZ J. 2004. Proyecto tipología de pequeños ríos en Cundinamarca y la validez de los conceptos ecológicos actuales en los ríos tropicales de montaña [informe técnico final]. Bogotá (Colombia): Colciencias-Universidad Nacional de Colombia.

PARRA O. 1980. Manual taxonómico de fitoplancton de aguas continentales, con especial referencia al fitoplancton de Chile. Universidad de Concepción,

PARQUES NACIONALES NATURALES. 2011.

<http://www.parquesnacionales.gov.co/PNN/portel/libreria/php/decide.php?patron=01.02290103> consultada el 15 de enero a las 10:30 am

PÉREZ A, VAN DER HAMMEN TH 1983. Unidades Eco-geográficas y Ecosistemas en el Parque Natural Los Nevados: Una Síntesis inicial. Capítulo 17. En: Van der Hammen T, Ruiz P, Rangel O, Hidrobo J (eds). Proyecto Ecoandes-Ecodinámico de la zona del transecto Parque Natural Nacional de los Nevados, en la Cordillera Central de Colombia. Editorial J. Cramer.

PIELOU, E. 1969. An Introduction to Mathematical Ecology. NY: Wiley Interscience.

PINILLA, G. I 1998. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá D.C.

RIVERA J, CAMACHO D, BOTERO A. 2008. Estructura numérica de la Entomofauna Acuática en ocho Quebradas del Departamento del Quindío-Colombia. Acta biol. Colomb. 13(2): 133-146.



RIVERA, C. DONATO, J. 2008. Influencia de las variaciones hidrológicas y químicas sobre la diversidad de diatomeas benthicas. En: Donato, J. Ecología de un río de montaña de los andes colombianos (río tota, boyacá). 1 edición. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

ROLDAN, G. 1992. Fundamentos de limnología neotropical. Primera edición, Editorial Universidad de Antioquia, Medellín.

ROLDÁN, G. 1992. Fundamento de limnología neotropical. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia

ROLDÁN, G. 1998. Guía para el Estudios de los Macroinvertebrados Acuáticos del Departamento de Antioquia. Fondo Fen Colombia, Colciencias y Universidad de Antioquia.1988

ROLDÁN, G. RAMÍREZ, J. 2008. FUNDAMENTOS DE LIMNOLOGIA NEOTROPICAL. Segunda edición, Editorial Universidad de Antioquia, Medellín.

ROSSELL, A., GONZÁLEZ, X., TORNO, J del., GALVÁN, M. T. 1949écnicas de Muestreo y Análisis de Plancton y Perifiton. Instituto Nacional de Ecología, México, D.F. 1982.223 p.

SHANNON, C., W. WEAVER. The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois.

SIERRA, O., J. RAMÍREZ. 2000. Variación espacio -temporal de biopelículas en la represa La Fe, El Retiro, Antioquia (Colombia). Actual Biol. 22: 153-168.

SIMPSON, E. Measurement of diversity. *Nature* 163:688.

STEVENSON R. J., M. L. BOTHWELL & R. L. LOWE. 1996. Algal Ecology: freshwater benthic ecosystem. 753. Academic Press.

TREE OF LIFE WEB PROJECT. 2011. Scirtidae. Marsh beetles. Version 15 February 2011 (under construction). <http://tolweb.org/Scirtidae/9613/2011.02.15>in The Tree of Life Web Project, <http://tolweb.org/>

VAN DER HAMMEN, T. 2003. La vegetación Alto-andina de Colombia: Historia, diversidad, ecología y conservación. Memorias de la Cátedra Ambiental, 21a conferencia. Corporación Autónoma Regional del Quindío.

VÁSQUEZ, C. ARIZA, A. PINILLA G. 2006. DESCRIPCION DEL ESTADO TROFICO DE DIEZ HUMEDALES DEL ALTIPLANO CUNDIBOYACENSE. UniversitasScientiarum vol. 11, n. 2, 61-75.

WALLACE JB, WEBSTER JR. 1996. The Role of Bajo in Stream Ecosystem Function. *Annu Rev Entomol.* 41:115-139.

WETZEL R, LIKENS G. 2000. *Limnological analyses*. 3<sup>rd</sup> edition. Springer. New York.

WETZEL R. 1981. *Limnología*. Ediciones Omega. Barcelona,

WETZEL R. 1983. *Periphyton of aquatic ecosystem*. B. V. Junk. Publishers, The Hague, Netherlands. 346 p.

WETZEL, R.G., E. LIKENS. 1991. *Limnological Analyses*. Springer-verlag, Nueva York, EEUU.

WILZBACH M, CUMMINS K, KNAPP R. 1988. Toward a Functional Classification of Stream Invertebrate drift. *Verh. Internat.Verein. Limnol.* 23: 1244-1254.

## ANEXOS CAPÍTULO LIMNOLÓGICO

Familia	Laguna.Guaicany		Laguna.San.Pablin		Laguna.La.Pintada		El.Ojito		La.Ciega	
	conteo	%	conteo	%	Conteo	%	conteo	%	conteo	%
Aeshnidae	24	0,68	12	2,34	0	0	0	0	0	0
Bellostomatidae	12	0,34	0	0	0	0	0	0	0	0
Bivalvia	151	4,30	0	0	0	0	0	0	0	0
Ceratopogonidae	0	0	12	2,34	0	0	0	0	0	0
Chironomidae	687	19,54	113	22,03	332	40,15	0	0	0	0
Cladocera	488	13,88	0	0	0	0	0	0	0	0
Coeragrionidae	0	0	0	0	0	0	12	0,78	0	0
Corixidae	673	19,15	24	4,68	36	4,35	0	0	0	0
Culicidae	262	7,45	0	0	0	0	0	0	0	0
Cyclopidae	0	0	0	0	167	20,19	0	0	0	0
Drosophilidae	24	0,68	0	0	0	0	0	0	0	0
Dugecidae	0	0	0	0	79	9,55	0	0	0	0
Elmidae	0	0	0	0	0	0	0	0	26	2,81
Hyalellidae	0	0	189	36,84	0	0	1429	92,31	159	17,17
Hyalidae	967	27,51	0	0	103	12,45	0	0	0	0
Hydrophilidae	0	0	12	2,34	0	0	0	0	0	0
Hydroptilidae	0	0	0	0	36	4,35	0	0	0	0
Leptoceridae	0	0	0	0	0	0	0	0	556	60,04
Libellulidae	0	0	0	0	26	3,14	0	0	0	0
Muscidae	0	0	38	7,41	0	0	0	0	0	0
Nematoda	167	4,75	0	0	48	5,80	0	0	0	0
Notonectidae	0	0	113	22,03	0	0	0	0	0	0
Ptilodactylidae	60	1,71	0	0	0	0	0	0	0	0
Tropisternes	0	0	0	0	0	0	107	6,91	0	0
Turbellaria	0	0	0	0	0	0	0	0	185	19,98
<b>Totales</b>	<b>3515</b>	<b>100</b>	<b>513</b>	<b>100</b>	<b>827</b>	<b>100</b>	<b>1548</b>	<b>100</b>	<b>926</b>	<b>100</b>

**Tabla 1A** Composición de macro invertebrados de los ambientes lóticos. (individuos/m<sup>2</sup>).

	Axis 1	Axis 2	Axis 3
Chironomidae	-0,78701	-1,39227	-0,383585
Hyalellidae	1,16483	0,0555163	0,0155699
Hyalidae	-0,917329	1,36473	-0,464379
Nematoda	-0,91846	0,079726	4,20203
Laguna_Guaicany	-0,868268	0,206763	-0,00595205
Laguna_San_Pablin	0,434507	-0,486206	-0,133783
Laguna_la_Pintada	-0,827864	-0,658056	0,0548987
El_ojito	1,16483	0,0555163	0,0155699
La_ciega	1,16483	0,0555163	0,0155699
temperatura	-0,018355	-0,367634	-0,598425
Amonio	-0,885648	-0,651255	0,254156
Turbidez	-0,110207	-0,219203	-0,95693
Ph	-0,97989	-0,325107	0,281433
O2_disuelo	-0,281429	-0,848908	-0,551353

**Tabla 2A.** Scores análisis CCA de los ambientes lénticos.

	Axis 1	Axis 2	Axis 3
Chironomidae	-0,160258	-0,0436475	0,00114492
Leptoceridae	2,37432	-0,493326	-0,18608
Tipulidae	1,28207	1,02222	0,640968
Scirtidae	0,282362	2,1067	-0,668062
Rio_Corralillos	1,16663	3,83155	-0,523897
Rio_Playitas	-0,487922	-0,253237	-0,180334
Rio_Lagunillas	2,95654	-0,792306	0,247978
Quebrada_Playitas	0,520326	1,77384	7,31051
temperatura	-0,420998	-0,119039	0,92762
Amonio	0,0587922	0,851545	-0,398341
Turbidez	-0,882639	0,611317	0,260922
Ph	0,0981652	0,836514	-0,415206
O2_disuelo	0,466009	-0,00072728	-0,942207

**Tabla 3A.** Scores análisis CCA de lo ambientes lóticos.

Forma de vida	Altoandino		Subpáramo		Páramo		Superpáramo	
	conteo	%	conteo	%	conteo	%	conteo	%
Depredadores	54	15,13	0	0,00	25	2,48	16	15,53
Trituradores	27	7,56	75	2,87	204	20,22	0	0,00
Acumuladores	134	37,54	1851	70,76	690	68,38	34	33,01
Filtradores	103	28,85	616	23,55	10	0,99	43	41,75
Raspadores	39	10,92	74	2,83	80	7,93	10	9,71
Totales	357	100	2616	100	1009	100	103	100

**Tabla 4A.** Composición por grupos funcionales en ambientes lóticos de los diferentes biomas. (individuos/m<sup>2</sup>)

	Axis 1	Axis 2
Depredadores	-0,22	1,59324
Trituradores	-0,97	0,00680526
Filtradores	0,52	0,152221
Raspadores	-0,38	0,352588
Acumuladores	0,00	-0,12703
Altoandino	0,0137565	3,41506
Páramo	-1,75236	-0,204621
Superpáramo	0,648242	-0,372321
pH	0,225631	0,999999
temperatura_(oC)	0,493565	-0,736637
O2_disuelo_(mg/L)	-0,632825	0,612382

**Tabla 5A.** Scores análisis CCA para los grupos funcionales en ambientes lóticos.

Forma de vida	Altoandino		Páramo	
	conteo	%	conteo	%
Depredadores	197	7,96603316	648	11,7157838
Trituradores	2143	86,6558835	2895	52,3413488
Acumuladores	0	0	1515	27,3910685
Filtradores	107	4,32672867	163	2,94702585
Raspadores	26	1,05135463	310	5,6047731
Totales	2473	100	5531	100

**Tabla 6A.** Composición por grupos funcionales en ambientes lénticos de los diferentes biomas.

## SÍNTESIS REGIONAL

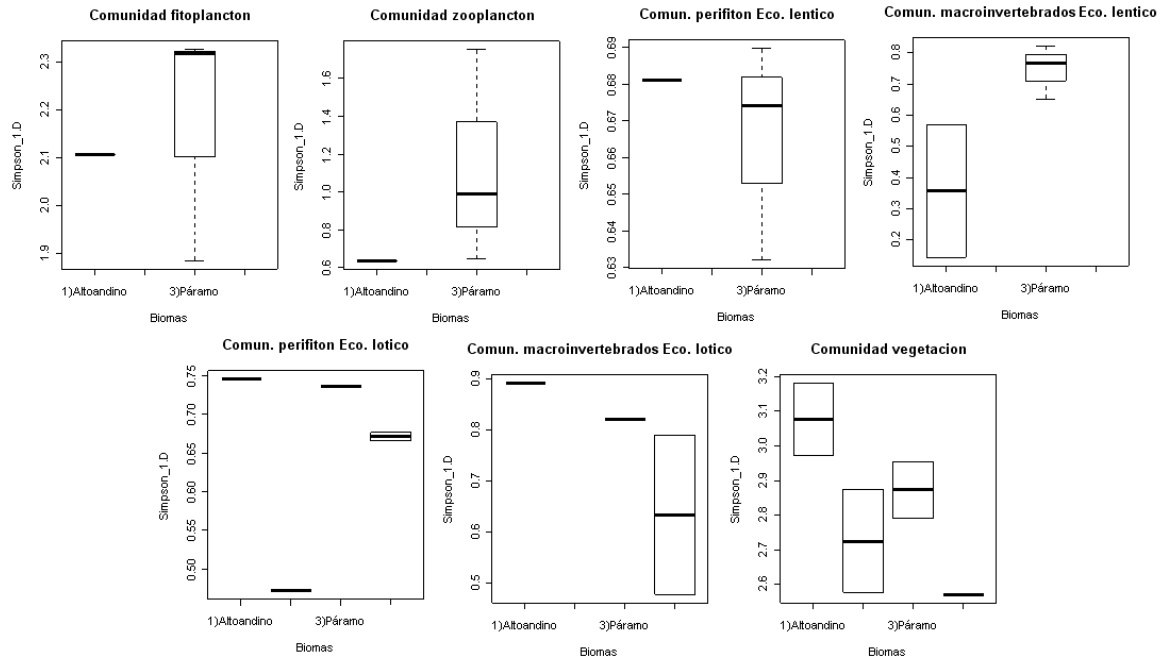
Los ecosistemas terrestres y acuáticos del PNN-EC presentan como tendencia general condiciones favorables en los biomas más superiores de superpáramo y páramo, y condiciones regulares en subpáramo y bosque alto andino. Los primeros se encuentran en un buen punto de conservación ya que exhiben las formas de vida y las especies que definen la función ecosistémica, como es el caso de las comunidades vegetales de los pajonales y frailejonales, de las comunidades funcionales de perifiton que presentan una buena uniformidad o de los grupos de macroinvertebrados allí encontrados como indicadores de aguas muy limpias.

A nivel general la región comprende gran cantidad de tipos de ecosistemas, se encontraron diferentes estructuras de comunidades en la misma franja de paisaje exhibiendo tanto diferentes características físico-químicas de agua y suelo como diferente composición y estructura de la comunidad. Esto refleja que la organización biológica de los ecosistemas depende de diversos factores que no fueron abordados en este estudio pero también permite concluir que la gran diversidad que sustenta la región se debe a la diversidad de posibilidades de sustentar ecosistemas, es decir, a los diferentes ambientes en los que puede ocurrir la vida.

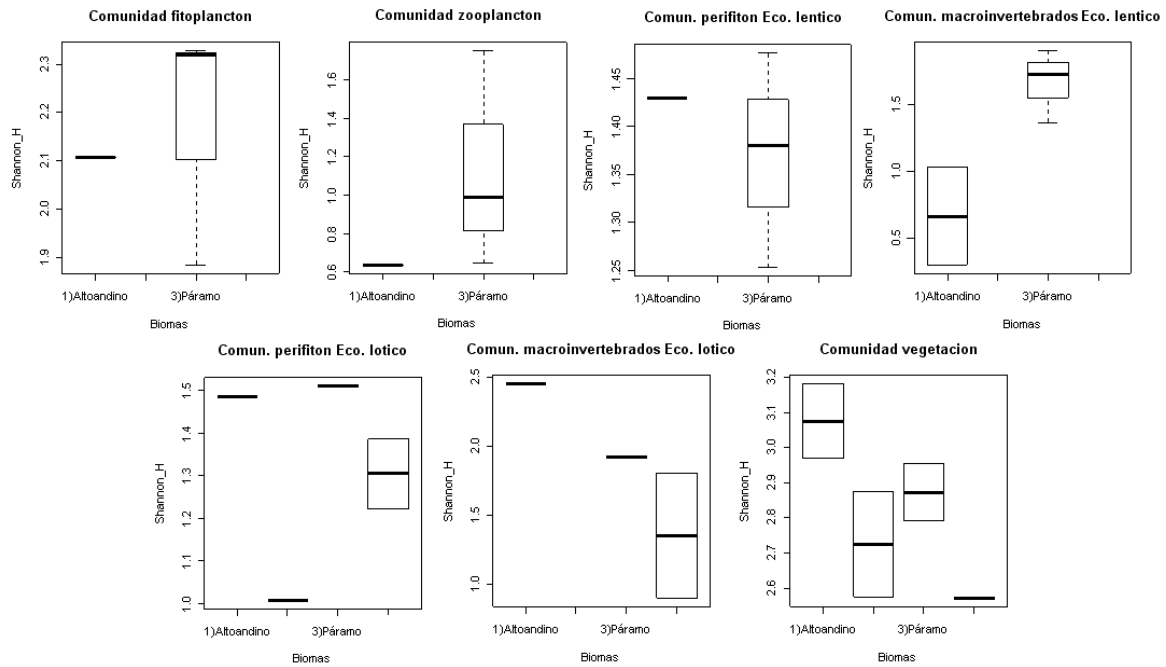
El estado de salud del subpáramo y el bosque altoandino se encuentra en un alto grado de alteración, ya que en ninguno de los ecosistemas estudiados (acuáticos lóticos y lénticos o terrestres) se encontró una estructura de comunidad que evidenciara los ecosistemas, sobretodo en el caso de subpáramo.

La incidencia del clima y la geología como determinante en esta región, con sus características de temperaturas extremas, radiación extrema, alta humedad, vientos fuertes y características físicoquímicas del agua sobre los organismos. Este es evidente en las adaptaciones encontradas en las plantas tales como forma, tamaño y revestimiento de las hojas; en las comunidades del perifiton formadas por agregados pertenecientes a géneros característicos en estos sitios, con los grupos capaces de aprovechar el nitrógeno atmosférico en ausencia de niveles de nitrógeno en agua; y en macroinvertebrados distribuidos desde los altos niveles de oxígeno hasta los más bajos.

En las Figuras SR1 y SR2 se presentan los boxplot de índices de diversidad de cada comunidad comparando los ecosistemas presentes en cada bioma. De los índices de Shannon y Simpson, se observa que hay una tendencia general a que la diversidad de las comunidades sea mayor en páramo y superpáramo y se menor en bosque altoandino. Otra tendencia es el gran bache de diversidad en el subpáramo, evidente en las comunidades de perifiton, de macroinvertebrados y de vegetación. Por otro lado los valores de diversidad en los macroinvertebrados y el perifiton son demasiado bajos para ambos índices.

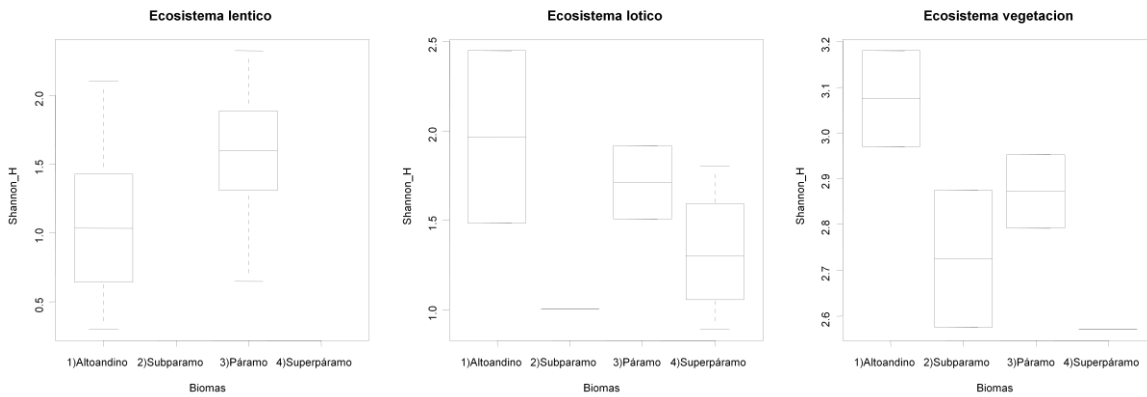


**Figura SR 1.** Boxplot de comparación entre los índices de diversidad de cada comunidad y los ecosistemas presentes en cada bioma.



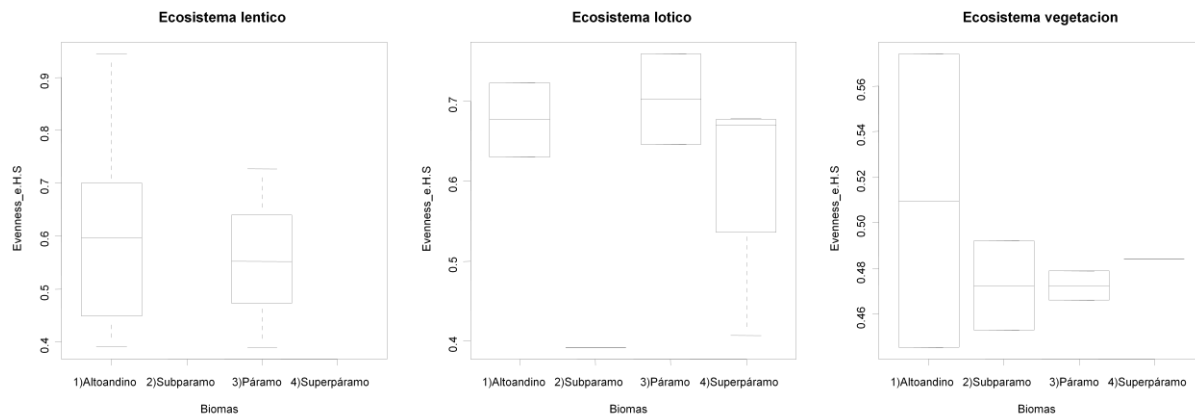
**Figura SR 2.** Boxplot de comparación entre los índices de diversidad de cada comunidad y los ecosistemas presentes en cada bioma.

En las Figuras SR3 y SR4 no hay una tendencia en ninguno de los índices que permite inferir información sobre la distribución entre ecosistemas.



**Figura SR 3.** Boxplot de comparación entre los índices de diversidad de cada comunidad y los ecosistemas presentes en cada bioma.

Aparentemente los ecosistemas lóticos y lénticos son los que presentan una mejor estructura de comunidad de acuerdo a  $e^H$  en la figura 4. Al igual que las figuras 1 y 2 muestran que en el subpáramo no hay estructura para esta comunidad y que los ecosistemas terrestres (vegetación) presentan muy bajos índices de equitatividad, lo que implica que el estado de los ecosistemas acuáticos es mejor que el terrestre.



**Figura SR 4.** Boxplot de comparación entre los índices de diversidad de cada comunidad y los ecosistemas presentes en cada bioma.



## **Conclusiones**

Dentro de los ecosistemas existe una organización que está relacionada no solo con las características del bioma sino con características particulares de las zonas de muestreo, es decir, cada comunidad presenta un comportamiento independiente o dependiente de otras variables que no fueron estudiadas.

Las comunidades en cada ecosistema indican que a escala regional hay una amplia variación en la distribución de los organismos y que existen relaciones directas del clima y de los suelos que pueden estar influyendo en la distribución de las abundancias tan diferentes entre cada bioma, paisaje y ecosistema.

Los ecosistemas terrestres se encuentran en un proceso de formación o recuperación mientras que los ecosistemas acuáticos se encuentran altamente conservados, por lo menos los de páramo y superpáramo. Todos los ecosistemas tienden a desmejorar en la franja de menor altura pues allí se encuentran organismos acuáticos de grupos altamente y plantas en estado sucesional intermedio a inicial.

**ESTUDIO DE ECOSISTEMAS  
ACUÁTICOS Y TERRESTRES EN  
EL PNN EL COCUY:**

**COMPONENTES DE  
VEGETACIÓN Y LIMNOLOGÍA.**

**CORDILLERA ORIENTAL SECTOR  
OCCIDENTAL**

SEGUNDA PARTE: PROYECTOS LIBRES (CAPÍTULO 4)

#### 4. PROYECTOS LIBRES

##### FAUNA:

4.1. RELACIÓN DE LA RIQUEZA DE AVES CON LA ESTRUCTURA DE LA VEGETACIÓN EN ZONAS POCO INTERVENIDAS DEL PNN EL COCUY (María Katherine Ontiveros O., Alejandro Pinto G.) Pág 157

4.2. ECOLOGÍA TÉRMICA DE UNA POBLACIÓN DE *Stenocercus lache* (IGUANIDAE) DE OCURRENCIA EN EL PARQUE NACIONAL EL COCUY, SECTOR LAGUNILLAS (Sergio Alejandro Díaz, Ricardo Felipe Paternina) Pág 168

##### LIMNOLOGÍA:

4.3. RELACIÓN ENTRE MATERIA ORGANICA Y LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN DOS RÍOS DE LA SIERRA NEVADA DEL COCUY (Beatriz Helena Rodríguez-Vera, Luis Sebastián Toro Acosta) Pág 176

4.4. COMPARACIÓN DEL FICOPERIFITON DEL RÍO LAGUNILLAS Y LAS LAGUNAS LA PINTADA Y LA CUADRADA DEL PARQUE NACIONAL NATURAL EL COCUY (BOYACÁ, COLOMBIA) (Daniel Ferley Ramírez, María Paula Barbero, Anamaria Morales) Pág 188

4.5. RELACIÓN ENTRE LA COMPOSICION Y COBERTURA DE MACRÓFITAS CON DATOS FISICOQUÍMICOS EN LAS LAGUNAS PINTADA Y CUADRADA DEL VALLE DE LAGUNILLAS (Daniel José Duarte Rojas, Felipe Castiblanco Alvarez) Pág 207

##### VEGETACIÓN:

4.6. PATRONES DE DISTRIBUCIÓN DE ARTROPODOS Y DEPREDACIÓN EN INFLORESCENCIAS DE *Espeletia lopezii* EN EL VALLE DE LAGUNILLAS (Carlos Morantes-Ariza, Laura E. Holguín) Pág 218

4.7. DIFERENCIAS EDÁFICAS EN EL SUELO ENTRE EL BOSQUE ALTOANDINO Y EL BOSQUE SEMBRADO DE PINO EN EL P.N.N EL COCUY (BOYACÁ, COLOMBIA). (Lina Marcela Fierro Rojas, Paula Victoria Fontanilla Ramirez). Pág 232

4.8. ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE ALTURAS EN UNA POBLACIÓN DE *Espeletia lopezii*, ASOCIADA A LA CAPACIDAD DE CAMPO Y DENSIDAD

APARENTE DEL SUELO, EN DOS SITIOS DEL RIO PLAYITAS (Nicolás Molano  
Gonzalez, Fabian Giovanni Marquez Niño). Pág 241

**4.9. RELACION ENTRE PLANTAS CASMOFITAS Y COMOFITAS ESCARPE  
FRENTE A CABAÑAS KANWARA PNNEC.** (Fredy Moreno Barragán) Pág 250

## **4.1 RELACIÓN DE LA RIQUEZA DE AVES CON LA ESTRUCTURA DE LA VEGETACIÓN EN ZONAS POCO INTERVENIDAS DEL PNN EL COCUY**

MARÍA KATHERINE ONTIVEROS O., ALEJANDRO PINTO G.

Departamento de Biología, Facultad de Ciencias  
Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

### **RESUMEN**

Las aves son el grupo taxonómico animal más estudiado, entre otras cosas por su manera de comunicación visual, auditiva y su belleza. La fuerte relación que existe entre este grupo taxonómico y la vegetación en todos sus niveles las hacen ser un excelente modelo para abordar estudios de interacciones que permitan entender cada vez más estos vínculos existentes, entre otros por la disponibilidad de recursos fundamentales como abrigo y alimentación que la vegetación les ofrece constantemente. Teniendo en cuenta esta relación, en un lugar particular, donde conociendo uno de los factores - riqueza ó vegetación – en asociación con factores ambientales y altitudinales se logra llegar a un acercamiento predictivo del otro factor (las aves). Mediante este estudio se pretende entonces determinar si existe dicha relación entre la riqueza de la avifauna y la estructura de la vegetación, también se determina si existen factores de comportamiento de las aves que estén influyendo en dicha relación. De igual manera se pretende analizar los factores que aportan la vegetación y al establecimiento de dicha relación, determinando así, si la riqueza es mayor en sitios con una mayor estructura de la vegetación.

**Palabras clave:** Riqueza, aves, estructura, vegetación.

### **ABSTRACT**

Birds are the most studied taxonomic group because of the visual, and auditory communication, and also because of their beauty. There is a strong relationship between this group and vegetation, in all of its levels. This makes them appropriate for the study of the interactions given the vegetation, which allows understanding their close ties due to their relation to availability of resources, and as fundamental supply of shelter and food source. Taking into account this bond, in a particular place, in which one of the factors is known – richness or vegetation- associated to environmental and altitudinal factors, there may be a predictive approach to the other factor. Through this study, it's intended to determine if there is an existence of the relationship of the richness of bird fauna and the vegetation structure, and also determining if there are behavioral factors affecting this relationship. In the same way it is intended to analyze the factors brought by vegetation, to the establishment of this relationship.

**Key words:** Richness, Birds, Vegetation, Structure.

## INTRODUCCIÓN

Desde hace cinco millones de años, con el levantamiento final de la cordillera de los Andes, se dio inicio al proceso para la creación definitiva de los bosques andinos y, en la parte superior de estos, de los ecosistemas de páramo, por encima de los 3.000 metros sobre el nivel del mar (msnm).

Aunque el número de géneros endémicos es bajo, el de especies endémicas resulta alto, hecho que está relacionado con la relativa juventud geológica del páramo. El endemismo específico para toda el área es alto, pero también para muchas de las zonas geográficamente aisladas (Morales, *et al*, 2007). En Colombia, el primer grado de aislamiento es la separación por valles profundos de las cordilleras Occidental, Central y Oriental y el macizo de Santa Marta. Pero también en cada una de las tres cordilleras se encuentran áreas de páramo relativamente aisladas. La gran biodiversidad de los páramos está relacionada con la diversidad de condiciones ecológicas vinculadas con la geomorfología glacial, que ha resultado en un gran número de diferentes asociaciones vegetales (diversidad beta), cada una con sus especies típicas. El complejo juega un papel muy importante como centro de diversidad el mayor número de endemismos se registra en estos páramos y en la Sierra Nevada de Santa Marta (Fernández-Alonso, 2002). El Cocuy, al igual que los páramos del Almorzadero y de Guantiva, se destaca por pertenecer a un grupo paramuno en el que se encuentran mayor número de especies endémicas. (UAESPNN 2007).

La composición de una comunidad de aves depende de muchos factores, sin embargo, la estructura de la vegetación puede ser la más importante de estos. La complejidad de la vegetación, según sea por agregación de estratificación horizontal ó vertical, afectará al número de especies de aves presentes. Además, la vegetación establece los requisitos para refugio de anidación y adquisición de alimentos, que son necesarios para la supervivencia de las aves. Por lo tanto es de esperarse, que el cambio en la estructura de la vegetación altere los factores de supervivencia, y por lo tanto cambie la comunidad de especies de aves. (Mc. Arthur,*et al*, 1981)

La evaluación de la relación entre la riqueza de aves y la estructura de la vegetación se hace necesaria para estimar el impacto de proyectos y obras, o también para direccionar acciones de conservación o restauración de una zona particular, esto es especialmente necesario en los ecosistemas de páramo que son tan frágiles. El Oroboma de páramos de la cordillera Oriental posee la mayor riqueza de especies de aves de los cuatro biomas de zonas altas de los Andes colombianos (IAvH, 2004). Las aves representan un grupo fundamentalmente importante para tales evaluaciones, ya que es factible identificar las especies en campo sin realizar capturas, y se hace posible levantar un inventario y realizar observaciones en lapsos cortos de tiempo. Sin embargo la lista de especies por sí sola no es una evaluación, tiene

que ser analizada e interpretada a la luz de los conocimientos y observaciones sobre la ecología de las aves. (Stiles y Bohorquez, 2000). La mejor metodología para conocer la biodiversidad faunística lo constituye la observación directa, por el otro lado para conocer la avifauna lo ideal es realizar una metodología complementaria lo que presupone no solo los registros auditivos y visuales si no también el uso de redes de niebla y las grabaciones de vocalizaciones; Para este caso la única metodología que ha quedado excluida es la captura mediante redes de niebla, dado el tiempo limitado de estudio y finalidad ya que así lo exigían.

El presente estudio buscó establecer una relación entre la riqueza de aves con la estructura de la comunidad vegetal presentes en zonas poco intervenidas del PNN el Cocuy. Basados en la hipótesis de: a mayor estructura de vegetación mayor riqueza de aves.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### *Área de estudio*

El Parque Nacional Natural El Cocuy (PNNEC) está localizado entre los departamentos de Boyacá, Norte de Santander, Santander, Casanare y Arauca; tiene una extensión de 306,000 ha entre los 600 y 5330 m de elevación (Sesana, 2006).

El Valle de Lagunillas se encuentra ubicado en el extremo suroriental del PNNEC y comprende los pisos térmicos de bosque andino, páramo, superpáramo y nieves perpetuas, en elevaciones desde los 3700 hasta los 5120 m. Esta es una zona rica hídricamente pues la atraviesa el río Lagunillas de oriente a occidente y porque posee cuatro lagunas de origen glacial. El páramo es el ecosistema con mayor extensión en el valle, con un área de 36 km<sup>2</sup>. La precipitación anual en el valle es de 1500-2000 mm (IDEAM 2006), con picos de lluvia de abril a junio y de septiembre a noviembre.

El muestreo se llevo a cabo los días 13-14 de septiembre de 2011 en el ecosistema de páramo, en la llanura del valle en U por donde atraviesa el rio Lagunillas a los 3850 msnm (aprox.) y en un bosque altoandino dominado por el género *Polylepis* a una altura de 3930 msnm (aprox).



### *Vegetación*

La vegetación del valle es propia del ecosistema de páramo (representada principalmente por Asteraceae, Bromeliaceae, Crassulaceae, Ericaceae, Fabaceae, Hypericaceae, Iridaceae, Poaceae, Rosaceae, Lomariopsidaceae y Lycopodiaceae), con presencia de bosques de *Polylepis* (Rosaceae) entre 3750 y 3900 msnm en los que se encuentran algunas familias de plantas como Apiaceae, Scrophulariaceae, Labiatae y Orobanchaceae. (Suárez, 2010).

Siguiendo los parámetros del estudio principal de la materia Ecología Regional Continental, la vegetación se dividió en 4 estratos. El primero: Rasante, comprende la vegetación entre los 0 y los 10 cm de altura con respecto al suelo. Le sigue el estrato herbáceo, que abarca la comunidad vegetal entre los 10 cm y 1 m de altura. Posteriormente se encuentra el estrato arbustivo, donde se encuentra la vegetación con una estructura entre, 1 m y los 3 m de altura. Por último, está el estrato Arbustivo, que se caracteriza por tener una estructura vegetativa por encima de los 3 metros de altura.

En el primer sector (rivera del Río) se hallaron los 3 primeros estratos (rasante, herbáceo y arbustivo). Este sector es muy abierto e inundado. En esta área hay una amplia cobertura de criptógamas y géneros de plantas como, *Hypericum*, *Espeletia*, *Espeletiopsis*, *Pentacalia*, *Dalia*, *Lusula*, *Lachemilla*, y algunas gramíneas. En el segundo sector, arriba del sendero, se presenta en la ladera de la montaña un bosque aparentemente altoandino, a pesar de encontrarse por encima de los 3900 msnm. En este sector se forman los 4 estratos que componen la estructura de la vegetación, en la que domina el género *Polylepis*. También se encuentran plantas de la familia Solanaceae, y géneros como *Gynoxis*, *Orthrosanthus*, *Cestrum* y varias criptógamas.

### *Muestreo*

Lo primero que se hizo fue la selección de comunidades vegetales homogéneas en un rango altitudinal similar, se procedió a la caracterización de la comunidad vegetal, en los



diferentes estratos (rasante, herbáceo, arbustivo y arbóreo), y luego se hicieron las observaciones e identificación de las aves.

La observación de las aves es uno de los métodos más aplicados para conocer la composición de las comunidades presentes en una determinada localidad, aunque una metodología complementaria que incluya tanto observación como grabación de cantos y captura en redes de niebla permita realizar un mejor muestreo (Stiles, *et al*, 1998), la sola observación permite realizar un buen censo y es un método efectivo pues permite obtener listas de especies representativas. Es altamente eficiente ya que maximiza la información obtenida por unidad de tiempo y esfuerzo y además, permite obtener datos sobre el comportamiento, ecología e historia natural de las especies. (Buenaventura, 2004). La observación se llevó a cabo con binoculares, se tomaron algunos registros fotográficos y todas las observaciones se anotaron en una libreta de campo.

En los muestreos, la detección de las aves se hizo mientras se recorrían transectos preestablecidos de aproximadamente 100 metros, en cada tipo de paisaje o hábitat presente en el área de interés, a una velocidad constante durante 30 minutos. Los recorridos se realizaron en absoluto silencio. Los muestreos se hicieron entre las 7 am y las 12 m. Esta actividad se repitió durante dos días seguidos. Se tomó nota tanto de la especie, para lo cual se utilizó la guía de aves de Colombia (Hilty y Brown, 1986), como del estrato en que fue vista y de los comportamientos particulares de las aves si eran observados.

#### *Análisis estadístico*

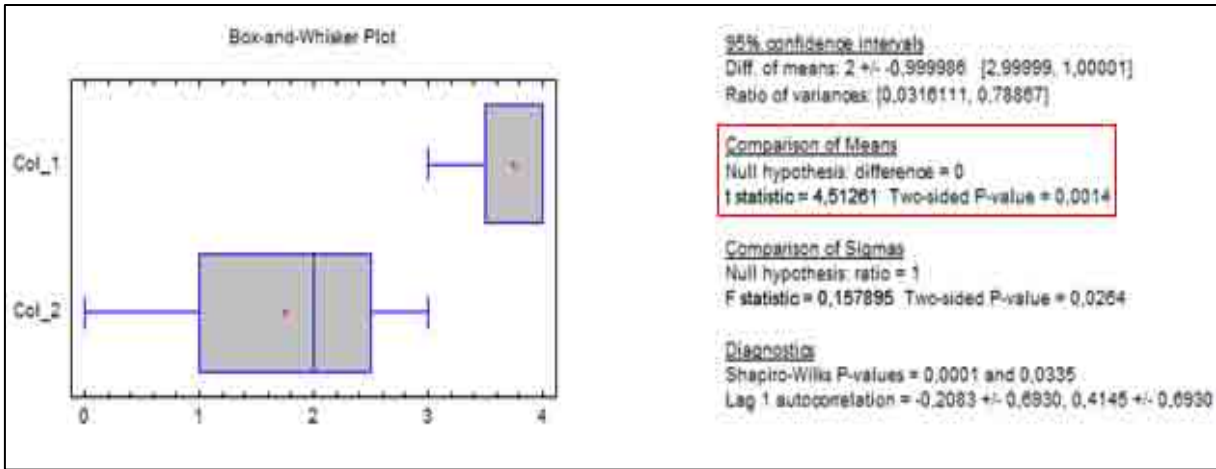
El tratamiento estadístico de los datos se dio mediante la prueba t-student y regresiones lineales simples. Esto permite evidenciar relaciones y su sentido.

## **RESULTADOS**

Para el sector de Lagunillas existen registradas 43 especies de aves, según el último estudio realizado (Suarez, 2010). Dentro de los días de estadía en el PNNEC en que se visitó el sector Lagunillas, se registraron 21 especies en total y los dos días en que se llevó a cabo el presente trabajo solo se identificaron 14 especies en los transectos descritos, las cuales se asociaron a uno o más estratos de la vegetación según fuera el caso.

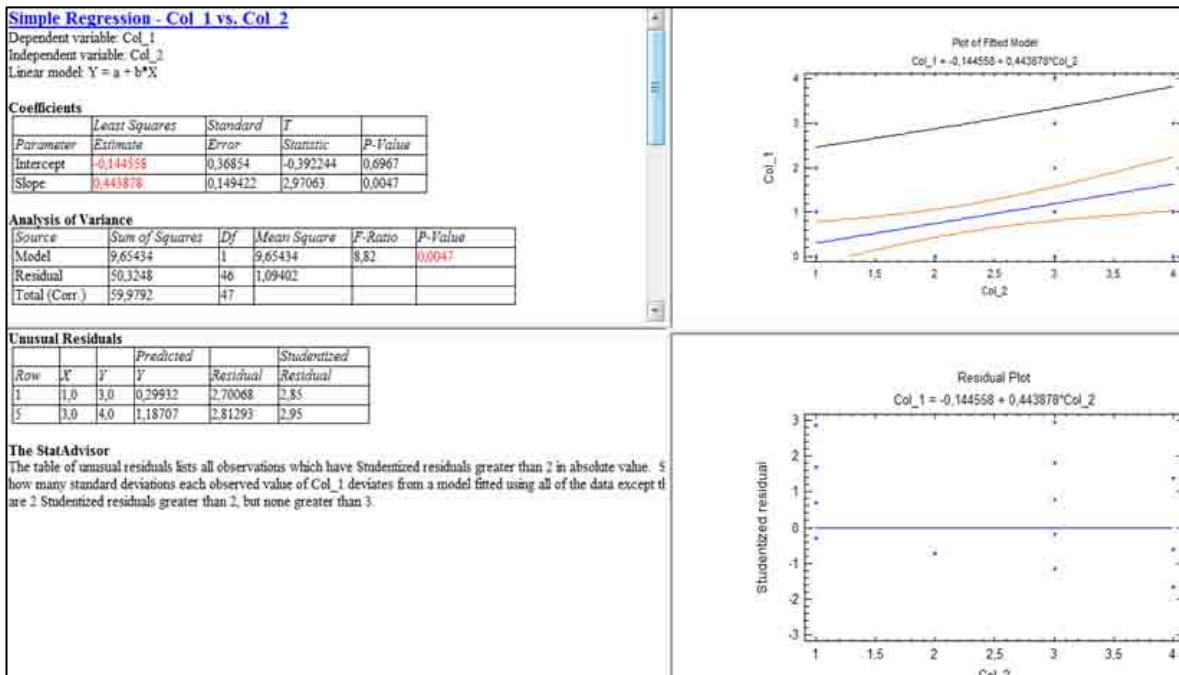
La familia más importante, teniendo en cuenta el número de especies, fue la familia Trochilidae. La especie con mayor rango de distribución fue *Oxygogon guerinii*.

Para buscar si existen o no relaciones entre la riqueza de aves y la estructura de la vegetación, se ha corrido la matriz de datos, en el programa statgraphics centurión, primero mediante una prueba T-student.



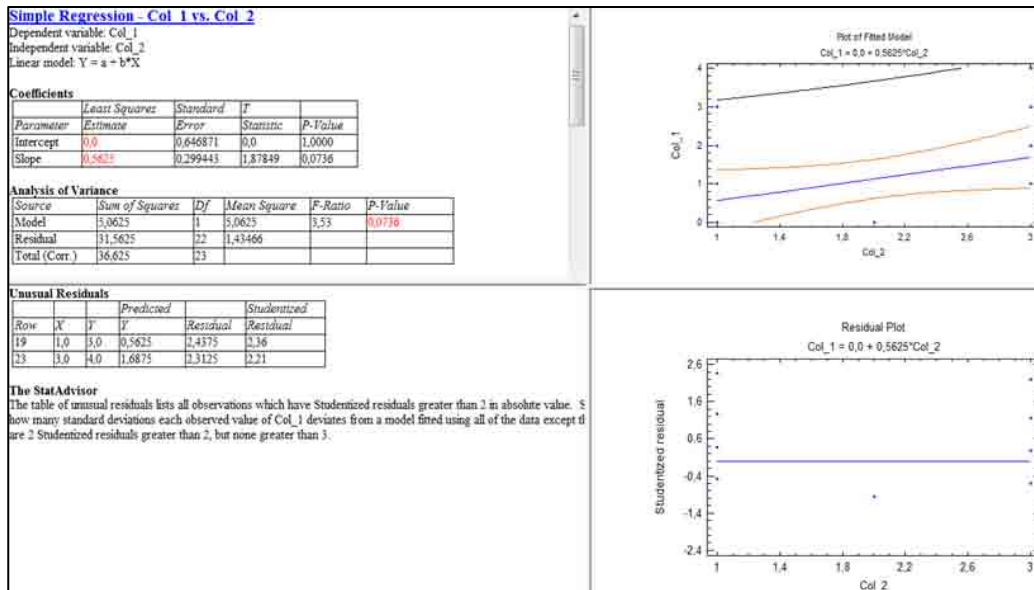
**Fig. 4.1.1.** Prueba T-student, riqueza vs transecto, datos de páramo y de bosque.

Se observa que existen diferencias significativas entre páramo y bosque, por lo tanto, se procede a realizar una regresión lineal simple, con el fin de corroborar este resultado obtenido.



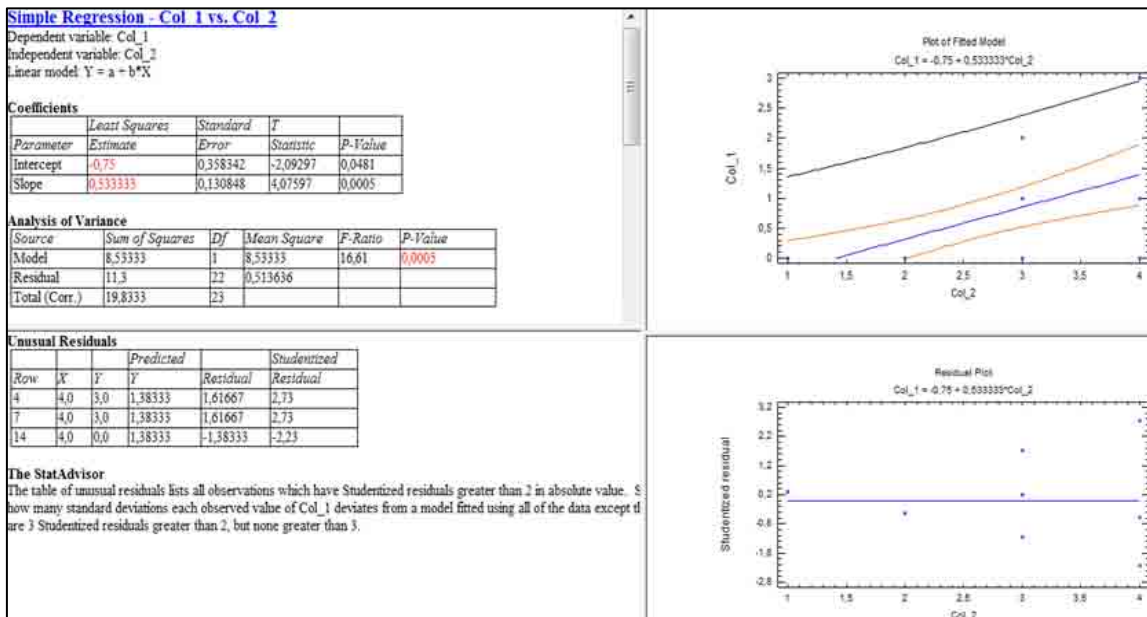
**Fig. 4.1.2.** Regresión lineal simple riqueza vs complejidad en estructura de vegetación.

Nuevamente el resultado sugiere que existen diferencias significativas entre el páramo y el bosque, por lo tanto se procede a realizar la misma regresión lineal para cada bioma en particular.



**Fig. 4.1.3.** Regresión lineal simple riqueza vs complejidad en estructura de vegetación, en el páramo.

El valor obtenido es superior al valor de significancia, por lo tanto en este bioma no existe una relación entre la riqueza de especies y la estructura de la vegetación.



**Fig.4.1.4.** Regresión lineal simple riqueza vs complejidad en estructura de vegetación, en el bosque. El valor obtenido es inferior al valor de significancia, por lo tanto en este bioma sí existe una relación entre la riqueza de especies y la estructura de la vegetación.

## DISCUSIÓN

La relación de especies de aves con la estructura de vegetación en lagunillas está determinada por factores como alimentación y resguardo, que son críticos en un ambiente como este sometido a fluctuaciones de temperatura diarias y a baja disponibilidad de alimento producto de las condiciones climáticas.

Las relaciones entre la riqueza de especies de aves con los diferentes estratos de la vegetación se obtuvieron mediante una prueba T-student y posteriormente se verificaron mediante regresiones lineales simples. Se ha relacionado la riqueza de especies de aves con los diferentes estratos de la vegetación, por transecto, o por complejidad de estructura de la vegetación y se ha hecho la diferenciación entre los datos obtenidos al nivel del valle en “U” de lagunillas (páramo) con los datos obtenidos en el bosque de lagunillas, ya que este presenta la novedad de poseer un estrato arbóreo para así determinar que la aparición de un nuevo estrato está relacionado con mayor diversidad o riqueza de especies, mediante la presencia o ausencia las mismas.

La relación solo fue encontrada para el bosque de lagunillas, lo cual puede se puede explicar ya que es un bioma donde existe una productividad más alta y es más uniforme a lo largo del tiempo, el argumento de la aves para estos, es que se disminuye la cantidad relativa de tiempo gastado en búsqueda de alimentos en lugar de buscar un alimento en particular, así se podría llegar a un mayor número de especies o a una relación más evidente (Macarthur, *et al.* 1966).

Dentro de hábitats homogéneos, la estructura de la vegetación es un factor determinante e incluso suficiente para explicar la riqueza de especies de aves, mediante las asociaciones formadas de estas con la vegetación. (Macarthur, 1964).

### *Factores que influyen en el muestreo.*

Durante el muestreo se tuvieron dificultades que afectaron la toma de datos y por lo tanto los resultados. El clima es un factor determinante para la actividad de este grupo taxonómico. Es cierto que estos animales deben estar adaptados a las bajas temperaturas, a los cambios drásticos durante el día, así como a los fuertes vientos. Sin embargo, el segundo día de muestreo, el clima fue completamente adverso para visitar la totalidad de puntos de muestreo, ya que se presentaron fuertes lluvias durante toda la mañana y la temperatura estuvo por debajo de los 3°C. En los sitios en los que se alcanzó a muestrear, los avistamientos fueron muy pocos, aun así extendiendo el tiempo de observación.

Otro factor determinante para el estudio de aves es la hora de inicio de los muestreos, ya que el pico de actividad de las aves está entre las 6-9 de la mañana y comienza a disminuir drásticamente luego de esta hora. Los muestreos no comenzaron exactamente en las horas de mayor actividad, factor que afectó los resultados obtenidos.

Cabe rescatar que fue posible observar las especies sobre el sustrato arbóreo, hecho que se relaciona directamente con la disponibilidad de alimento de plantas de la familia Asteraceae, tales como *Gynoxys*, de la familia Solanaceae como *Cestrum*, y de la familia Rosaceae, como *Polylepis*. La gran mayoría de las especies vistas en bosque se observaron sobre sustratos arbustivo ó arbóreo, lo que indica la importancia de aparición de nuevos sustratos.

## CONCLUSIONES

Aceptamos la hipótesis de que a mayor complejidad en estructura de vegetación se aumenta la riqueza de especies de aves, existe una relación crítica entre estos dos parámetros cuantificados. La relación entre ellos solo pudo ser encontrada y demostrada para uno de los biomas trabajados.

El trabajo y muestreo en campo es una parte fundamental en la toma de datos y de la cual depende en gran medida los resultados obtenidos. El muestreo realizado para este trabajo se llevo a cabo durante dos días, tiempo que no es suficiente para llegar a resultados totalmente concluyentes. Además, se trabajó bajo condiciones climáticas que no fueron favorables para la toma de datos lo que empobreció los resultados obtenidos.

Aunque no se puede dar una visión concluyente del problema tratado, podemos asegurar que existen factores que relacionan la estructura de la vegetación con la riqueza de aves, y que estos factores están determinados por necesidades críticas de las aves sujetas al ambiente, tales como alimentación y refugio, de igual manera esta relación es de suma importancia para las plantas ya que estas dependen en gran medida de los servicios ambientales prestados por las aves, tales como dispersión y polinización y que ayudan a modelar en el tiempo las características del paisaje.

Una evaluación de la importancia de la vegetación sobre las interacciones de una comunidad de aves es esencial para comprender el efecto de la alteración que la estructura de la vegetación tendrá sobre dicha comunidad.

## BIBLIOGRAFÍA

BUENAVENTURA, I. ARIAS, H. D., Proaves Colombia, APORTES al conocimiento de la historia natural del Atlapetes de Anteojos, ave endémica de Colombia.

FERNÁNDEZ-ALONSO, J. L. 2002. Algunos patrones de distribución y endemismo en plantas vasculares de Colombia. Pp. 213-240. En: Jaramillo, C. A. (ed.). Memorias Congreso mundial de páramos, tomo I. Paipa, Colombia, mayo 13-18 de 2002. 989 p.

HILTY, L. S. & L. W. BROWN, EDITORS. 1986. A Guide to the Birds of Colombia. Princeton University Press edition. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

IAvH, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 2004. Mapa de ecosistemas de los Andes colombianos, escala 1:25.000. Bogotá D. C., Colombia.

IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales. 2006. Zonificación hidrográfica de Colombia. Información cartográfica digital, formato *shapefile*. Bogotá, D. C., Colombia.

MACARTHUR, R. H. 1964. Environmental factors affecting species diversity. The American Naturalist. 98:387-398.

MACARTHUR. R. H. RECHER. H. CODY. M. 1966. On the Relation between Habitat Selection and Species Diversity. The American Naturalist, Vol. 100, No. 913 (Jul. - Aug., 1966), pp. 319-33

MAURER. B.A. MC. ARTHUR. L.B. WHITMORE. R.R 1981. Effects of logging on guild structure of a forest bird community in west Virginia. Ecology, Vol. 35 Number 1.

MORALES M., OTERO J., VAN DER HAMMEN T., TORRES A., CADENA C., PEDRAZA C., RODRÍGUEZ N., FRANCO C., BETANCOURTH J.C., OLAYA E., POSADA E. Y CÁRDENAS L. 2007. Atlas de páramos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C. 208 p.

RICE. J. ANDERSON. B.W. OHMART. R.D. 1994. Comparison of the importance of different habitat attributes to avian community organization. Journal of wildlife management. 48:895-911.

SESANA, L., editor. 2006. Parques Naturales Colombia. Villegas Editores, Bogotá.

STILES, F. G. & C. I. BOHORQUEZ. 2000, evaluando el estado de la biodiversidad: el caso de la avifauna de la serranía de las quinchas, Boyacá, Colombia. *Caldasia* 22 (1): 61-92

STILES, F. G. & L. ROSSELLI. 1998. Inventario de las aves de un bosque altoandino: Comparación de dos métodos. *Caldasia* 20:29-43.

SUAREZ-SANABRIA, N. 2010. Diversidad y estructura de la comunidad de aves de alta montaña en el sector valle de lagunillas del parque nacional natural el Cocuy, Colombia. Tesis de pregrado (biólogo), Universidad de los andes.

UAESPNN. 2005b. Documento técnico: Plan de manejo 2005 - 2009 Parque Nacional Natural El Cocuy. UAESPNN-Dirección Territorial Norandina. Versión digital. El Cocuy, Colombia. 342 p

UAESPNN. 2007. Plan de manejo 2005-2009, PNN el Cocuy PM-PNN EC, dirección territorial norandina. El Cocuy.

## 4.2 ECOLOGÍA TÉRMICA DE UNA POBLACIÓN DE *Stenocercus lache* (IGUANIDAE) DE OCURRENCIA EN EL PARQUE NACIONAL EL COCUY, SECTOR LAGUNILLAS

SERGIO ALEJANDRO DÍAZ, RICARDO FELIPE PATERNINA  
Departamento de Biología, Facultad de Ciencias,  
Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

### RESUMEN

Se capturaron individuos de la especie *S. lache*, en el valle lagunillas ubicado alrededor de los 3900 msnm en el Parque Nacional Natural El Cocuy (PNNEC), con el fin de dar elementos para entender las características térmicas de esta especie de reptil, para lo cual se observó los espacios ocupados por estos animales durante las horas de la mañana y su posición respecto al sol, además se midió la temperatura corporal, la temperatura del aire y la temperatura del sustrato sobre el que se encontraban. Posteriormente se realizaron pruebas estadísticas no paramétricas como son la prueba de correlación de Spearman y la prueba de Kruskal-Wallis con el fin de observar diferencia de medias, estas pruebas se realizaron con el R 2.13.1, posteriormente se realizó una regresión lineal, como la literatura lo sugería, para determinar la fuente de calor utilizada por *S. lache*, obteniéndose que esta especie tomaba calor sobre piedras y con exposición directa al sol, además que son termoconformistas y de tipo tigmotermo.

**PALABRAS CLAVE:** Termoconformismo, tigmotermia, Reptiles Altoandinos, alta montaña trópic, pruebas no paramétricas.

### ABSTRACT

Individuals of specie *S. lache* were captured in the Lagunillas valley located near 3900 above sea level at the National Natural Park El Cocuy (PNNEC) in order to provide elements to understand the thermal characteristics of this species of reptile which was observed for spaces occupied by these animals during the morning and its position relative to the sun. Also body temperature was measured, as well as air temperature and the substrate's temperature, subsequently performed nonparametric statistical test such as the Spearman's correlation test and Kruskal-Wallis test to see mean difference. These tests were performed using R2.13.1, subsequently performed a linear regression, as suggested by literature to determine the heat source used by *S. lache*, obtaining that they took heat over stones and direct sunlight, in addition to being thermoconformist, and tigmothermos.

**KEY WORDS:** thermoconformism, tigmothermic, High Andean reptiles, Tropical Mountain, nonparametric test.

### INTRODUCCIÓN



Para los animales ectotermos como los reptiles, el calor es una fuente de energía muy importante para sus procesos metabólicos, por lo que se han desarrollado varias estrategias para la obtención de este a través de la termorregulación, razón por la que el estudio de este fenómeno, permite entender la ecología y distribución de las especies (Huey & Slatkin, 1976). La termoregulación incluye procesos activos (cambios en el comportamiento y la fisiología) para mantener la temperatura corporal dentro de un rango preferido por el individuo, para que la mayoría de procesos vitales ocurran de manera óptima. En estudios anteriores (Huey 1982; Gilchrist 1995; Herczeg *et al.* 2008 citados por Truter, 2011) se han identificado dos enfoques de los reptiles para controlar la temperatura corporal llamados: generalistas térmicos (euritermos/termoconformistas) y especialistas térmicos (estenotermos/termoreguladores estrictos). Por lo tanto, en el presente estudio se pretende aclarar la actividad termoreguladora de *S. lache* en el Parque Nacional Natural El Cocuy y determinar las preferencias de condiciones de microclima (microhábitat). Para esto se hipotetiza que *S. lache* regula su temperatura corporal activamente (es termoregulador).

Uno de los mecanismos para entender como estos organismos utilizan el calor del ambiente es realizando una regresión lineal tomando la temperatura corporal como variable dependiente, de tal modo que si la pendiente es igual o cercana a cero, indicara que el organismo está termoregulando eficientemente, es decir es termoregulador, y cuando el valor de esta tiende a 1, indicara una baja eficiencia termorreguladora, es termoconformista. Conocer los mecanismos de regulación de temperatura permite inferir sobre la selección de hábitats, termorregulación nocturna y el efecto de la estacionalidad sobre este comportamiento (Navarro *et al.*, 2008, Woolrich, 2006).

La eficiencia de la termorregulación esta ligada a la calidad térmica del hábitat, siendo la termorregulación importante en ambientes de baja calidad térmica. En ambientes térmicamente mas heterogéneos, esta va a ser más precisa pues existen un mayor número de alternativas para la obtención de calor, en ambientes cercanos a las óptimas que la especie requiere, la termorregulación es más efectiva y requerirá de menos esfuerzo. Este último ejemplo es el que se acomoda a ambientes tropicales (Navarro *et al.*, 2008).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Descripción del área de estudio*

El área de estudio se localiza en el sector lagunillas del municipio de Cocuy, departamento de Boyacá, Colombia, a una altitud de 3891-3970 msnm. El tipo de vegetación encontrada en el lugar corresponde a una transición entre subpáramo y páramo. El área de estudio estaba atravesada por un sendero de baja circulación.

### *Ecología térmica*

El estudio se realizó a mediados del mes de septiembre del 2011, específicamente los días 13 y 14. Se procedió a capturar el mayor número de lagartijas de la especie *S. lache*, realizando caminatas a lo largo del sendero desde el punto conocido como la casa de los Herrera en la posición 6°23' 19,97" N y 72° 21' 10,94" W, hasta la laguna Cerquita ubicada 6° 23' 15.05" N y 72° 20' 50.14" W a una altura de 3910msnm. Una vez capturado cada organismo se le registró sexo, hora de captura, temperatura corporal ( $T_c$ ) (temperatura cloacal), así como temperatura del aire ( $T_a$ ) (termómetro a la sombra a 3 cm por encima del estrato ocupado) y temperatura del sustrato ( $T_s$ ) (termómetro a la sombra sobre el sustrato ocupado por el animal), utilizando un termómetro de contacto (intervalo -40°C a 150°C). Así mismo se registró la condición del organismo respecto a los rayos solares. Además se marcaron –marca en el dorso con marcador de punta fina Sharpie®- los individuos con el fin de evitar recapturas y posibles seudoréplicas en la colecta de datos.

### *Estadísticos*

Se utilizó el programa R 2.13.1, con el fin de realizar el análisis estadístico. Se realizó una correlación de Spearman, para determinar si existía una relación entre  $T_c$  y  $T_a$ , al igual que  $T_c$  y  $T_s$ . Posteriormente se utilizó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis y regresión lineal para relacionar los datos del modo ya citado.

### *Tendencias termoreguladoras*

Para comprobar las tendencias de termorregulación se tuvo en cuenta Huey y Slatkin (1976), quienes mencionan que una especie es termoreguladora cuando el valor de la pendiente de la regresión lineal de la  $T_c$  sobre Temperatura ambiental ( $T_a$  o  $T_s$ ) es cero o cercana a este; cuando una especie es termoconformista el valor de la pendiente es uno o cercano. Con respecto a la fuente de calor, si la correlación entre  $T_c$  vs  $T_a$  es mayor comparada a la correlación  $T_c$  vs  $T_s$ , se asume que hay una tendencia de los organismos a ser heliotermos; si ocurre lo contrario, la tendencia es a presentar tigmotermia (absorción de calor por contacto directo con un objeto más caliente que el propio cuerpo).

## **RESULTADOS**

*Stenocercus lache* es abundante a lo largo del sendero, entre las 9:30 y 12:00 horas, lo cual varía de acuerdo a las condiciones meteorológicas; se les puede observar posados sobre rocas, especialmente asociadas a vegetación arbustiva.

Los datos obtenidos se resumen en la tabla 4.2.1, observándose que la temperatura corporal ( $T_c$ ) de estas lagartijas promedió en  $18.99 \pm 0.05$  C (intervalo de 16.0 -23.3 C). La temperatura del ambiente ( $T_a$ ) y la temperatura del sustrato ( $T_s$ ) en la zona de estudio promediaron en 13.56 (intervalo 11.9-15.6 C) y 17.96 (intervalo 15.5-21.6 C)

respectivamente. La temperatura corporal y las ambientales, variaron de acuerdo a la hora de registro y a la condición ambiental del momento de la captura (Tabla 4.2.1).

Del total de los individuos capturados tres fueron machos y 5 hembras. Las capturas se realizaron a temperaturas del aire superiores de 11.9 y del sustrato superiores a 16.5. No se registró ningún individuo en los momentos de lluvia o de frío extremo.

La prueba de Spearman (Tabla 4.2.2) y la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Tabla 4.2.3). Los resultados de la regresión lineal se resumen en la Tabla 4.2.4 y su representación gráfica se muestra en las Figuras 4.2.1 y 4.2.2. Estos análisis estadísticos señalan que es tigmotermo.

<b>Sexo</b>	<b>Hora</b>	<b>t. corporal</b>	<b>t. aire</b>	<b>t. sustrato</b>	<b>Condición</b>
Macho	9:30	17.1	14.3	17.1	al sol
Macho	9:30	16.1	11.9	16.5	al sol
Hembra	9:55	18	12.5	17.8	al sol
Hembra	10:54	16.6	12.1	15.5	Nublado
Hembra	11:15	16	14.4	19.7	Nublado
Macho	11:30	23.3	13.1	21.6	Nublado
Hembra	11:43	21.8	15.6	17	al sol
Hembra	11:58	23	14.6	18.5	Nublado
<b>PROMEDIO</b>	-	18.99	13.56	17.96	-
<b>DESVIACIÓN ESTANDAR</b>	-	3.16	1.34	1.94	-

**Tabla 4.2.1.** Resumen de datos de campo, donde se registra: sexo del espécimen, hora de captura, temperatura corporal, temperatura del aire, temperatura del sustrato y la condición ambiental al momento de la captura.

	<b>T. aire</b>	<b>T. sustrato</b>
<b>S</b>	52	50
<b>P-valor</b>	0.3599	0.3268
<b>rho</b>	0.3809524	0.4047619

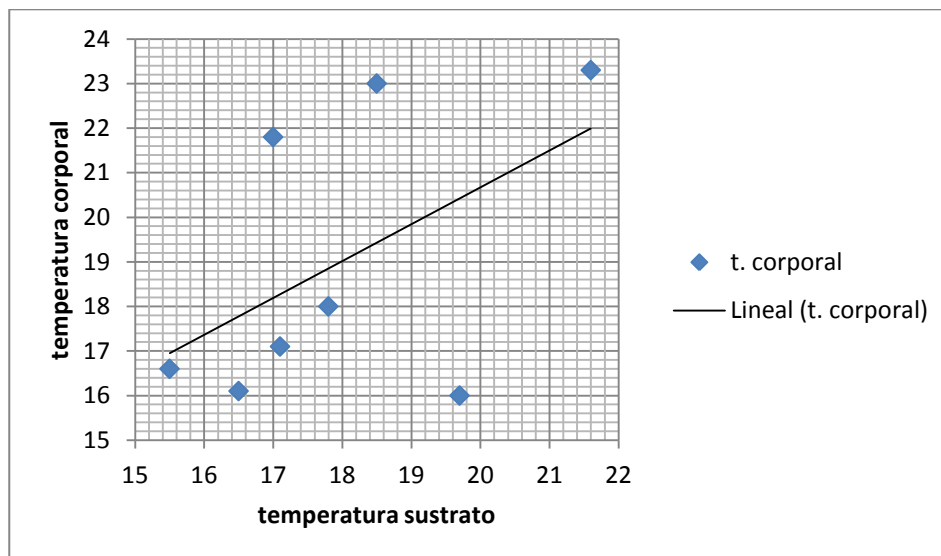
**Tabla 4.2.2.** Prueba de Spearman donde se relaciona la temperatura corporal con la temperatura del aire y del sustrato. La hipótesis nula es que rho es igual a 0, y la hipótesis alternativa que rho es diferente de 0.

	<b>T. aire</b>	<b>T. sustrato</b>
<b>chi cuadrado</b>	7	7
<b>df</b>	7	7
<b>p-valor</b>	0.4289	0.4289

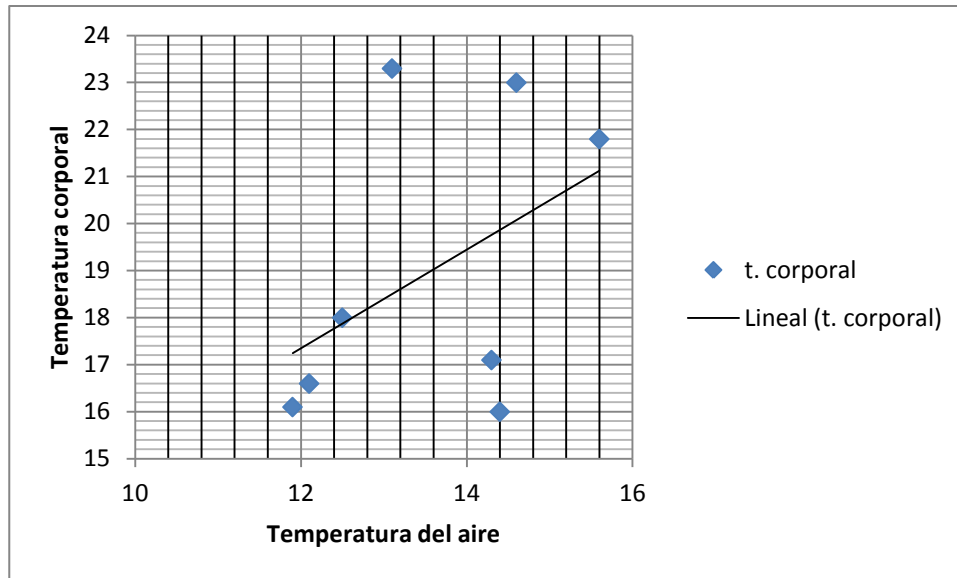
**Tabla 4.2.3.** Prueba de Kruskal Wallis, donde se relacionó la temperatura corporal con la temperatura del aire y del sustrato.

		T. aire	T. sustrato
Residuales	Min	-3	-4.4225
	1Q	-1.5226	-1.3013
	Mediana	-0.3627	-0.6035
	3Q	1.2368	1.8733
	Max	4.7978	3.6074
Intercepto	<b>Estimado</b>	4.7559	4.1519
	error estimado	11.6791	10.3441
	t valor	0.407	0.401
	pr(> t )	0.698	0.702
variable X	<b>Estimado</b>	1.0493	0.8259
	error estimado	0.8574	0.5729
	t valor	1.224	1.442
	pr(> t )	0.267	0.2
	residual estándar	3.058	2.946
	<b>r cuadrado</b>	0.1998	0.2572
	<b>r cuadrado ajustado</b>	0.06638	0.1334
	estadístico F	1.498	2.078
	p valor	0.2669	0.1995

**Tabla 4.2.4.** Regresión lineal en la que se relaciona la temperatura corporal con las temperaturas ambientales. El estimado del intercepto representa al intercepto (B), y el estimado de la variable x representa la pendiente (m), en el modelo  $Y = mX + B$ ; r cuadrado indica el porcentaje de explicación del modelo por parte de la ecuación de la regresión, los valores cercanos a 1 representan una mayor explicación del modelo.



**Figura 4.2.2.** Regresión lineal entre temperatura corporal ( $T_c$ ) y temperaturas ambiente ( $T_s$ )



**Figura 1.** Regresion lineales entre temperatura corporal (Tc) y temperaturas ambiente (Ta)

## DISCUSIÓN

El promedio de la temperatura corporal (el cual se ubicó en  $18.99 \pm 0.05^{\circ}\text{C}$ ), fue relativamente bajo en relación con los reportes en la literatura para otras especies de lagartijas, las cuales varían entre  $18.0^{\circ}\text{C}$  (individuos de zonas templadas durante el invierno) hasta  $32.1^{\circ}\text{C}$ . Tal vez esto se deba a que las estrategias termoreguladoras en reptiles se han desarrollado de una manera compartida a partir de una condición ancestral de familias, debido a la gran variedad de hábitats y condiciones climáticas que se encuentran dentro de una misma familia. Otra posible explicación, un poco más sustentable a partir de un enfoque experimental más completo, es que quizás se deba a que las temperaturas óptimas en la que los procesos fisiológicos se llevan a cabo adecuadamente pueden variar (tienen cierta capacidad de “amortiguamiento” ante los cambios del ambiente) entre especies ubicadas en diferentes condiciones microclimáticas, independientemente de sus relaciones filogenéticas.

En cuanto a la tendencia termoreguladora de esta especie, es importante señalar que la mayor parte de los individuos se encontraron completamente expuestos al sol. Sin embargo, también se mostraron activos durante horas nubladas o días nublados, aunque bajo estas condiciones fue más difícil su avistamiento y captura. Lo anterior sugeriría que tanto la temperatura del aire como la del sustrato son utilizadas por estos lagartos para regular su temperatura corporal. Sin embargo, existen dos evidencias que indican un termoconformismo por parte de esta especie. La primera es que el valor de las pendientes de las regresiones Tc vs. Ta y Tc vs. Ts, son bajas ( $0.19$  y  $0.25$  respectivamente) y los valores p son superiores a  $0.05$ , por lo que no se puede hablar de una buena determinación a

partir del criterio de Huey y Slatkin (1976); en otras palabras la regresión hallada no tiene significancia estadística. Adicionalmente, se realizaron otras dos pruebas para tratar de comprobar la termorregulación activa (i.e. en la correlación de Spearman la hipótesis nula era que había una termorregulación activa y que existía un alto valor de correlación entre la  $T_c$  y las temperaturas ambientales), pero no se encontraron evidencias que permitieran aceptar las hipótesis nulas.

Lo más seguro es que el haber encontrado resultados que difieren de lo esperado y de lo encontrado en trabajos anteriores (Mathies & Andrews, 1997; Navarro-García *et al.* 2008; Truter, 2011; Villavicencio *et al.* 2002; Woolrich *et al.* 2006) se deba al bajo número de datos ( $n=8$ ). Adicionalmente en campo se presentaron muchos inconvenientes como los factores climáticos adversos y poca disponibilidad de tiempo. De esta manera, fue necesario utilizar algunos datos de la temperatura corporal que normalmente debería rechazarse. Por ejemplo, existe un valor muy alto para un macho que registra  $23.3 \pm 0.05^\circ\text{C}$  en un día nublado. Esto se explica porque fue un individuo que fue muy perturbado y se resistió mucho a la captura, lo que pudo generar en el individuo una gran actividad muscular buscando escapar. Esto obviamente pudo haber incrementado su temperatura. Se podría asegurar que en caso de existir una termoregulación, seguramente la fuente de calor se vería fuertemente inclinada hacia el sustrato, es decir una estrategia de tigmotermia, teniendo en cuenta el p-valor más pequeño y el valor de  $r$  más ajustado de la correlación  $T_c - T_s$ . Finalmente, se recomienda un mayor tiempo de muestreo para coleccionar un mayor número de individuos que permitan un análisis estadístico más robusto y cercano a la realidad. De igual manera, se podrían realizar estudios más amplios que incluyeran componentes experimentales y/o gradientes altitudinales o estacionales, que permitieran encontrar diferencias regionales entre poblaciones, o estacionales dentro de una misma población.

## CONCLUSIONES

Los datos obtenidos nos permiten concluir que la especie tiende al termoconformismo no estricto, aunque puede presentar como fuente de calor el sustrato en que se posa (tigmotermia).

Se sugiere hacer observaciones con un número de individuos mayor, con el fin de tener resultados estadísticos más significativos.

Se sugiere realizar estudios de la ecología térmica de la misma especie en otras regiones con diferencia en las características climáticas como Miraflores, Boyacá.

Se sugiere realizar estudios de ecología térmica en condiciones de laboratorio.

## BIBLIOGRAFÍA

HERTZ P, HUEY R, STEVENSON R. Evaluating Temperature Regulation by Field-Active Ectotherms: The Fallacy of the Inappropriate Question. *Am. Nat.* 142: 796-818. 1993.

HUEY R, SLATKIN M. Cost and Benefits of Lizard Thermoregulation. *The Quarterly Review of Biology*, 51(3): 363-384. 1976.

MATHIES T, ANDREWS R. Influence of Pregnancy on the Thermal Biology of the Lizard, *Scleroporos jarrovi*: Why do Pregnant Females Exhibit Low Body Temperatures? *Functional Ecology* 11: 498-507. 1997.

NAVARRO-GARCÍA J, GARCÍA A, MÉNDEZ DE LA CRUZ F. Estacionalidad, eficiencia termorreguladora de *Aspidoscelis lineatissima* (Sauria: Teiidae) y la calidad térmica del bosque tropical caducifolio en Chamela, Jalisco, México. *Rev. Mex. Biodiv.* 79: 413-419. 2008.

TRUTER, J. Aspects of the thermal ecology of the group-living lizard, *Cordylus cataphractus*: A spatial and temporal analysis. Tesis de Maestría. Faculty of Natural Sciences, Department of Botany and Zoology, University of Stellenbosch. 2011.

VILLAVICENCIO J, ACOSTA J, CÁNOVAS M, MARINERO J. Patrones de Actividad Estacional Diaria y Estacional de *Liolaemus pseudoanomalus* (Squamata: Tropiduridae), en el Centro-Oeste de Argentina. *Multequina* 11:51-60. 2002.

WOOLRICH, G.A. *et al.* Ecología Térmica de una Población de la Lagartija *Sceloporus grammicus* (Iguanidae: Phrynostominae) que ocurren en la zona Centro-Oriente de la Ciudad de México. *Acta Zool. Mex. (n.s.)* (22)2. 2006.

### **4.3 RELACIÓN ENTRE MATERIA ORGÁNICA Y LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN DOS RÍOS DE LA SIERRA NEVADA DEL COCUY**

BEATRIZ HELENA RODRÍGUEZ-VERA, LUIS SEBASTIÁN TORO ACOSTA

Departamento de Biología, Facultad de Ciencias  
Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá

#### **RESUMEN**

El objetivo de este trabajo fue estudiar la relación entre la materia orgánica y los macroinvertebrados acuáticos de dos ríos de la Sierra Nevada del Cocuy. El muestreo se realizó en los ríos Corralitos y Playitas el 13 y 14 de septiembre de 2011, respectivamente. Los macroinvertebrados se capturaron con red surber y el sedimento se obtuvo con un corazonador; los muestreos se hicieron en 5 zonas de cada río. Las muestras de macroinvertebrados se limpiaron e identificaron a nivel de orden y los correspondientes a Diptera hasta nivel de familia. El sedimento se procesó para obtener el porcentaje de la materia orgánica. Se realizó una correlación de Spearman entre la materia orgánica y la cantidad de macroinvertebrados acuáticos encontrados, así como un análisis de varianzas tanto para la materia orgánica como para los macroinvertebrados. Se realizaron histogramas para representar los datos de abundancia de los organismos por órdenes y familias, estas últimas solo para los dípteros, por ser el orden más abundante. Se observó que no existe correlación entre los datos de los macroinvertebrados y la materia orgánica; también se encontró que la materia orgánica presenta heterogeneidad en los datos obtenidos del río Corralitos, pero no en el río Playitas. Así mismo, no se halló una distribución homogénea de los organismos en los diferentes puntos de muestreo.

**Palabras clave:** Macroinvertebrados acuáticos, materia orgánica.

#### **ABSTRACT**

The aim of this work was to study the relation between organic matter and aquatic macroinvertebrates found in two rivers located in the Sierra Nevada del Cocuy. Sampling was made in the rivers Corralitos and Playitas on September 13<sup>th</sup> and 14<sup>th</sup>, 2011, respectively. A surber net was used to capture macroinvertebrates and the organic matter was obtained from the river floor with a cylinder. These samples were taken in 5 different zones in each river. Each macroinvertebrate sample was cleaned and identified up to order and the ones belonging to Diptera were identified up to family level. The sediment sample was processed to obtain the percentage of the organic matter. The Spearman's rank correlation coefficient as well as a sample variance was done with data obtained from amount of macroinvertebrates and organic matter. Histograms were made to represent abundance data of organism for orders and families, this last histogram only for diptera



being this one the most abundant order. No correlation was found between organic matter and macroinvertebrates. Also, organic matter presented heterogeneity in the data obtained in Corralitos, while Playitas displayed a homogeneous distribution. Macroinvertebrates presented, throughout the different sampling areas, a heterogeneous distribution as well.

**Key words:** Aquatic macroinvertebrates, organic matter.

## INTRODUCCIÓN

Los macroinvertebrados acuáticos son un grupo que no corresponde a una clasificación taxonómica, y como su nombre lo indica, son animales invertebrados de un tamaño observable a simple vista que habitan ambientes acuáticos. Los más abundantes son los insectos, principalmente en estado inmaduro (ninfas, larvas), pero también es posible encontrar macroinvertebrados pertenecientes a los fila Mollusca y Annelida. Los órdenes más comunes del filo Arthropoda son Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera, Megaloptera y Diptera (especialmente larvas) (Roldán, 2003).

Los dípteros son un orden de insectos holometábolos representados en 153.000 especies distribuidas en más de 158 familias de las cuales 126 están citadas para la región Neotropical (Domínguez *et al*, 2009). Sus modos de vida son altamente variables; hay fitófagos, descomponedores de materia orgánica, fluidófagos, depredadores, parasitoides y otros más específicos como los que se alimentan de polen o los hematófagos. Muchos de sus representantes tienen alguna relación con el agua. La variedad de hábitats acuáticos que ocupan los estados preimaginales de dípteros es muy superior a los de cualquier otro orden de insectos, es por ello difícil definir de una sola manera las características ecológicas de los dípteros acuáticos.

El deshielo es un fenómeno que ocurre en lugares donde hay acumulación de nieve y, por un cambio de temperatura, esta pasa a estado líquido. El deshielo que se presenta en un nevado, a diferencia de lo que ocurre cuando hay deshielo por cambio de estaciones, ocurre de manera frecuente debido a que la temperatura durante el día puede elevarse lo suficiente como para fundir la nieve que se acumuló durante la noche, generando un proceso de escurrimiento superficial del agua, que mas adelante origina riachuelos y ríos (Rangel-CH, 2000).

El objetivo de este trabajo fue obtener información general sobre la artropofauna acuática de dos ríos de la Sierra Nevada del Cocuy, por medio del procesamiento de las muestras obtenidas. Se calcularon índices de diversidad, se realizó un análisis de varianza y una correlación de Spearman entre la cantidad de materia orgánica y abundancia de individuos, con el fin de determinar la validez de la hipótesis propuesta, la cual fue que en la medida

que la materia orgánica aumenta en una zona, la abundancia de macroinvertebrados aumentará de manera proporcional.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó los días 13 y 14 de septiembre de 2011 en los ríos Corralitos y Playitas, de origen glaciar, localizados dentro del Parque Nacional Natural El Cocuy a una altura de 3529 y 3902 msnm respectivamente. Las coordenadas geográficas de la zona de muestreo son 6°26'59,5"N y 72°21'51,2"W para el río Corralitos y 6°28'38,8"N y 72°20'58,3"W para el río Playitas.

En cada uno de los ríos se tomaron cinco muestras, alrededor de las 10 a.m., de macroinvertebrados acuáticos con ayuda de una red Surber y cinco muestras de sedimentos mediante un corazonador. La distancia aproximada entre cada una de las cinco muestras que se realizaron por río fue de 20 metros. El muestreo con la red Surber consistió en sumergir dicha red a contracorriente en el río y lavar rocas dentro del marco de la red durante tres minutos para capturar los organismos adheridos a dicho sustrato rocoso. Las muestras se preservaron en recipientes plásticos con alcohol al 70%, los cuales se rotularon con datos de localidad, fecha y punto de muestreo (de 1 a 5 por cada río).

Las muestras de sedimentos se tomaron en zonas del río muy cercanas a cada uno de los puntos de muestreo de macroinvertebrados, que presentaran acumulación de sedimentos finos (rocas pequeñas, arenas, entre otros.). El material colectado se preservó en bolsas resellables y se rotuló de la misma manera que las muestras de macroinvertebrados.

Los macroinvertebrados se determinaron hasta nivel de familia en el Laboratorio de Ecología de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá mediante las claves taxonómicas de Fernández & Domínguez (2001), Merritt & Cummins (1996) y Roldán (1988). Para determinar la cantidad de materia orgánica presente en cada una de las muestras de sedimentos se tomaron aproximadamente 50g que fueron secados durante 48 horas en un horno a 70°C para obtener el peso seco (PS), luego se incineraron en la mufla a 600°C durante dos horas. La diferencia de peso antes (PS) y después de pasar por la mufla corresponde al peso de la materia orgánica contenida en cada muestra.

El número de individuos de cada taxón de reportó en organismos por metro cuadrado. Posteriormente, con los datos obtenidos (Tabla 4.31 y 4.3.2) se realizaron análisis de varianza correspondientes a las familias de dípteros y al porcentaje de materia orgánica presente en cada uno de los ríos, así como una correlación de Spearman entre la abundancia de individuos por metro cuadrado de cada orden y materia orgánica por zona, mediante el software R commander, además de histogramas de composición biológica. También se

realizaron índices de diversidad de Shannon, Margalef, Dominancia y Equitatividad J, mediante el software de acceso libre PAST.

## RESULTADOS

De los órdenes de macroinvertebrados encontrados en el muestreo (Gráfica 4.3.1), se encuentra una cantidad considerablemente alta de dípteros, con respecto a los demás, con un total de 2019 individuos distribuidos entre los dos ríos con 1141 en Corralitos y 878 en Playitas. Le siguieron el orden Ephemeroptera con un total de 999 individuos (949 en Corralitos, 55 en Playitas), el orden Trichoptera con un total de 626 individuos (606 en Corralitos y 20 en Playitas), el orden Coleóptera con 585 individuos (363 en Corralitos, 222 en Playitas), el orden Acari con 282 individuos (262 en Corralitos, 20 en Playitas), y finalmente los órdenes Amphipoda y Plecoptera, ambos con 40 individuos únicamente en el río Corralitos. Se encontró un total de 1195 individuos en el río Playitas y de 3401 en el río Corralitos.

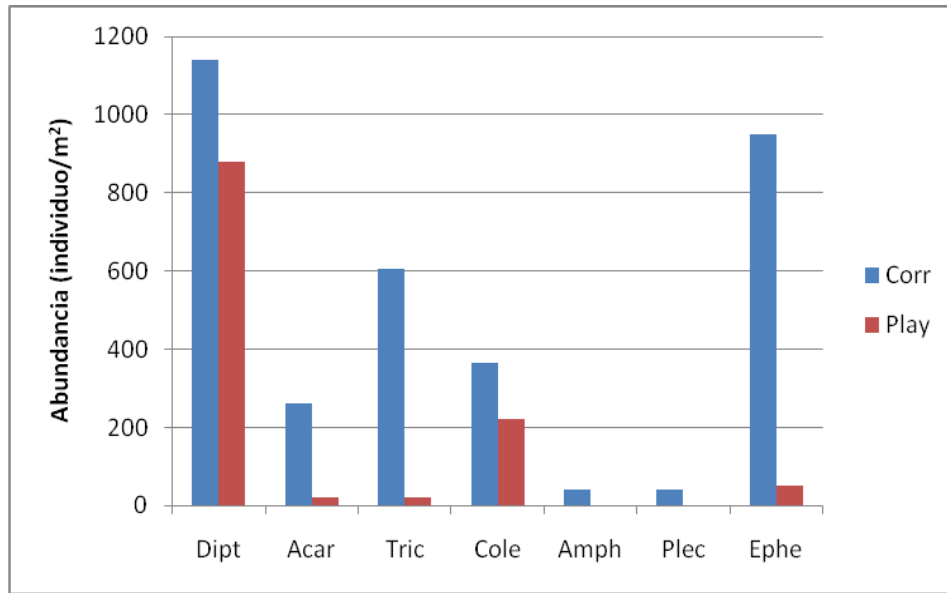
En el caso del orden Diptera, por ser el más abundante, se identificaron las familias encontradas (Gráfica 4.3.2). La más abundante fue Chironomidae con 1676 individuos en total (909 en Corralitos y 767 en Playitas), seguida por Simuliidae (111 individuos en Corralitos, 30 en Playitas), Empididae (60 individuos en Corralitos, 10 en Playitas) y Tipulidae (10 individuos en Corralitos, 60 en Playitas). Las menos representadas fueron Blephariceridae (30 individuos únicamente en Corralitos), Ceratopogonidae (20 individuos en Corralitos y 10 en Playitas). Al igual que en el caso de los Ordenes, se observa una mayor abundancia de Dípteros en el río Corralitos que en Playitas, con un total de 1141 y 878 respectivamente.

En cuanto a la materia orgánica (Tabla 4.3.1) se observa que el río Corralitos es el que mayor cantidad presenta, ya que en la zona 1 y 5 se encuentran valores de materia orgánica de hasta 6.06%. En las demás zonas de este río se observa una cantidad de materia orgánica similar a la que se encuentra en el río Playitas. Estos valores son mucho más bajos que las zonas ya mencionadas del río Corralitos, estando todas por debajo de 0.5%

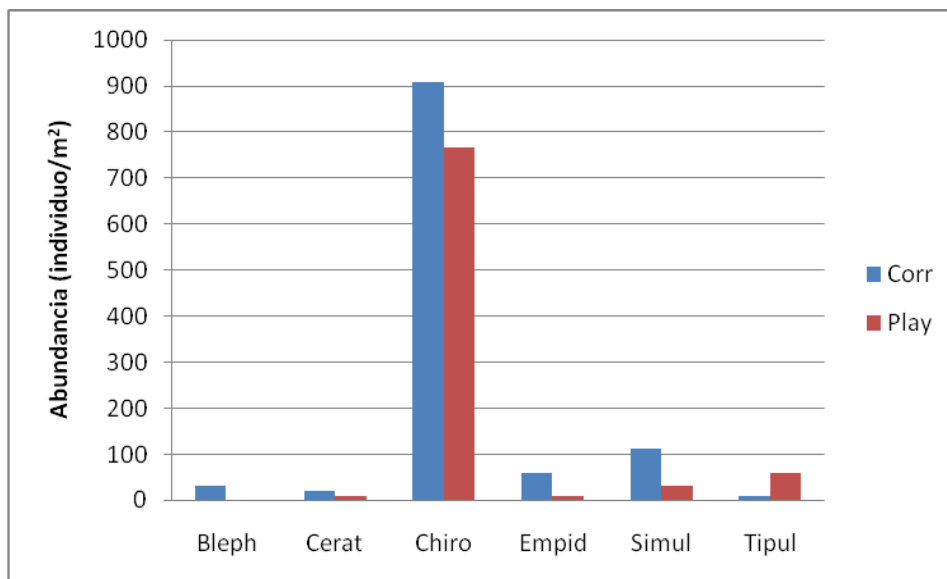
Los resultados de varianza mostraron que los valores de abundancia de individuos reportados para cada río no están agrupados, es decir que los valores no presentan homogeneidad. Por otro lado, la distribución de materia orgánica sí es homogénea (una varianza muy baja) para el río Playitas y es heterogénea para el río Corralitos.

En cuanto a la correlación de Spearman que se hizo entre la abundancia por orden y la materia orgánica (tabla 4.3.4), ninguno presentó un p-valor por debajo de 0.05, al igual que el caso de la correlación entre la abundancia y la materia orgánica. Esto indica que la correlación no es significativa para ninguno de los casos.

Finalmente los resultados de los índices de diversidad en cuanto a órdenes (tabla 4.3.5) muestran que no hay una alta dominancia en ninguno de los dos ríos. El índice de Shannon presenta valores muy bajos de diversidad (1.572 para Corralitos y 0.81 para Playitas), al igual que el índice de Margalef (0.7378 para Corralitos y 0.5647 para Playitas). Por último, el índice de equitatividad J es alto en el río Corralitos (0.8077) y medio en el río Playitas (0.5033).



**Grafica 1.** Abundancia (individuo/m<sup>2</sup>) de órdenes de macroinvertebrados acuáticos en los ríos Corralitos (Corr) y Playitas (Play). Díptera (Dipt), Acari (Acar), Trichoptera (Tric), Coleóptera (Cole), Amphipoda (Amph), Plecóptera (Plec), Ephemeroptera (Ephe).



**Grafica 4.3.2.** Abundancia (individuo/m<sup>2</sup>) de cada familia del orden Diptera en los ríos Corralitos (Corr) y Playitas (Play). Blephariceridae (Bleph), Ceratopogonidae (Cerat), Chironomidae (Chironomidae), Empididae (Empid), Simuliidae (Simul), Tipulidae (Tipul).

RIO CORRALITOS	Peso total (g)	Peso MO (g)	%
Zona 1	41,92	2,54	6,06
Zona 2	47,26	0,07	0,15
Zona 3	52,18	0,06	0,11
Zona 4	50,5	0,07	0,14
Zona 5	48,96	2,32	4,74
RIO PLAYITAS	Peso total (g)	Peso MO (g)	%
Zona 1	48,38	0,1	0,21
Zona 2	41,51	0,09	0,22
Zona 3	43,44	0,06	0,14
Zona 4	46,33	0,09	0,19
Zona 5	48,37	0,11	0,23

**Tabla 4.3.1.** Porcentaje de materia orgánica por zona en cada río.

		Promedio (ind./m2)	Desv. Est	Varianza
Corralitos	Diptera	228.28	153.79	23650.65
	Acariformes	52.53	26.15	683.60
	Trichoptera	121.21	46.84	2193.65
	Coleoptera	72.73	33.04	1091.73
	Amphipoda	8.08	13.17	173.45
	Plecoptera	8.08	13.17	173.45
	Ephemeroptera	189.90	146.10	21344.76
	MO	1.01	1.30	1.68
Playitas	Diptera	175.76	110.33	12172.23
	Acariformes	4.04	5.53	30.61
	Trichoptera	4.04	9.03	81.62
	Coleoptera	44.44	50.30	2530.35
	Amphipoda	0.00	0.00	0.00
	Plecoptera	0.00	0.00	0.00
	Ephemeroptera	10.10	10.10	102.03
	MO	0.0900	0.0187	0.0004

**Tabla 4.3.2.** Desviación estándar, promedio y varianza de las familias de dípteros y de MO encontrados en ambos ríos.

		Promedio (ind./m2)	Desv. Est	Varianza
Corralitos	Blephariceridae	6.06	5.53	30.61
	Ceratopogonidae	4.04	9.03	81.62
	Chironomidae	181.82	143.21	20508.11
	Empididae	12.12	8.45	71.42
	Simuliidae	22.22	25.15	632.59
	Tipulidae	2.02	4.52	20.41
Playitas	Ceratopogonidae	2.02	4.52	20.41
	Chironomidae	153.54	92.96	8641.98
	Empididae	2.02	4.52	20.41
	Simuliidae	6.06	5.53	30.61
	Tipulidae	12.12	8.45	71.42

**Tabla 4.3.3.** Desviación estándar, promedio y varianza de las familias de dípteros y de MO encontrados en ambos ríos.

Orden	rs	p-value
Diptera	0.13	0.7253
Acari	0.37	0.2991
Trichoptera	0.12	0.7429
Coleoptera	0.27	0.4585
Amphipoda	0.31	0.3811
Plecoptera	0.23	0.5161
Ephemeroptera	0.15	0.6838
TOTAL	0.22	0.5321

**Tabla 4.3.4.** Correlación de Spearman entre abundancia de los órdenes y porcentaje de materia orgánica.

	R. Corralitos	R. Playitas
# Taxones	7	5
# Individuos	3404.04	1.191.919
Dominancia D	0.2396	0.5807
Shannon H	1.572	0.81
Margalef	0.7378	0.5647
Equitability J	0.8077	0.5033

**Tabla 4.3.5.** Análisis de diversidad por río de los órdenes de artrópodos encontrados.

## DISCUSIÓN

En cuanto a los órdenes, como el muestreo realizado fue enfocado principalmente en organismos bentónicos, adheridos a piedras, rocas, troncos, restos de vegetación y sustratos similares, era de esperarse la presencia representativa (abundantes individuos) de Diptera, Trichoptera y Coleóptera. También se encuentran representantes del modo de vida tipo necton, que agrupa organismos que nadan libremente en el agua, de los cuales hace parte el orden Ephemeroptera (Roldán, 2003).

Para ambos ríos, las desviaciones estándar presentan valores muy altos en comparación a los valores promedio de cada uno de los órdenes de artrópodos encontrados durante el muestreo (Tabla 4.3.3). Lo anterior indica que la distribución de dichos organismos no es homogénea entre los puntos de muestreo, pues algunos pueden tener bastantes individuos de determinada familia, mientras que otros puntos pueden reportar ausencia (0 individuos) del mismo taxón. En el río Playitas se encontraron dos órdenes menos que en el río Corralitos (Gráfica 4.3.1).

La materia orgánica del río Playitas, contraria a los valores de abundancia, presenta una desviación estándar baja, indicando que los valores obtenidos en los diferentes puntos de muestreo son homogéneos. Por otro lado, la desviación estándar correspondiente a la cantidad de materia orgánica del río Corralitos es muy alta, de nuevo indicando que los datos obtenidos en los puntos de muestreo son altamente heterogéneos.

Teniendo en cuenta los valores de desviación estándar, varianza y promedio reportados en la tabla 4.3.2 podemos observar que las desviaciones estándar tienen valores muy altos (un poco más de la mitad del valor del promedio) al compararlos con el promedio de abundancia para cada una de las familias de dípteros presentes en los ríos. Esto indica que las abundancias no están agrupadas cerca al promedio y que no es constante la presencia de los organismos en las zonas de muestreo de cada río, es decir que a pesar de estar separadas una estación de otra por menos de 30 metros, las abundancias varían drásticamente, fenómeno que ocurre también con los órdenes. Además, se observa que el río Playitas presenta menores valores de desviación estándar, promedio y varianza que el río Corralitos debido a una menor abundancia de individuos en comparación con este último.

En cuanto al análisis de diversidad (Tabla 4.3.5), no se presenta una dominancia significativa en ninguno de los dos ríos pues se observan valores muy bajos (menores a 0,6). Aun así, el río Playitas presenta una mayor dominancia debido al gran número de dípteros encontrado, en comparación con los demás órdenes. En el orden Díptera, de los 2019 individuos, 1676 son quironómidos, lo cual indica una baja abundancia de las demás familias en estos ambientes (Gráfica 4.3.2), debido probablemente a que Chironomidae es una familia distribuida en un rango ambiental muy amplio y que habita varios tipos de hábitats acuáticos (Cranston, 1995). Se puede ver que la segunda familia con mayor abundancia es Simuliidae, que presenta hábitos filtradores, lo cual genera que tengan alta

deriva, ampliando su distribución y su abundancia (Bernal, *et al.*, 2006); también se sabe que las bajas temperaturas favorecen su presencia (Rivera, *et al.*, 2008). A pesar de esto, se encontró que dicha familia presenta una abundancia baja con respecto a lo que se esperaba, posiblemente debido a otros factores ambientales como la velocidad del agua, la inclinación del terreno o la oxigenación.

En cuanto al índice de Shannon, no hay una diversidad alta ya que se considera alta cuando los valores están por encima de 2.5 (para subsistemas bentónicos) y en este caso, ninguno alcanza dicho valor. El índice de Margalef corrobora el resultado arrojado por el índice de Shannon pues tampoco presenta valores altos. Cabe resaltar que a pesar de la baja diversidad, el río Corralitos presenta un valor superior al de Playitas en ambos índices, lo cual puede ser resultado de las condiciones de temperatura. Cerca al nacimiento de un río no se presenta un rango amplio de variación de temperatura, lo cual reduce la cantidad de especies que podrían habitar allí (Vannote, *et al.*, 1980). Debido a que el lugar de muestro del río Playitas se encuentra muy cerca a su nacimiento (originado por deshielo), su promedio de temperatura es muy bajo, generando que solo las especies adaptadas a estas condiciones puedan sobrevivir allí, presentándose una baja diversidad. Adicionalmente a estos motivos, es importante tener en cuenta que al realizarse los índices de diversidad a nivel de orden, es de esperarse que no tengan un resultado alto por ser grupos muy generales. Por este motivo, se recomienda un estudio de diversidad a nivel de familia o incluso género, en especial de los órdenes más abundantes.

Finalmente, se observó que la equitatividad fue alta en el río Corralitos y media en el río Playitas, pues en este último solo hay un orden con abundancia alta (Diptera, más de 800 individuos) y los demás órdenes presentan abundancias inferiores a 300 individuos (Gráfica 4.3.1), lo cual corrobora que la distribución de abundancias en los diferentes órdenes no es equitativa.

En cuanto a la correlación que se planteó en el trabajo, se observó por medio de los datos obtenidos en el muestreo que la cantidad de individuos registrados para cada orden no demuestra una correlación con la cantidad de materia orgánica obtenida en cada zona. Es decir, los datos no demuestran que la cantidad de macroinvertebrados se vea alterada por la cantidad de materia orgánica. Como se observa en la tabla 4.3.4, al hacer la correlación de Spearman con una significancia del 5%, ningún orden presenta un p-valor significativo.

Esto llevó a considerar que los datos tomados fueron insuficientes o que era necesario tomar la materia orgánica de diferentes fuentes, ya que en trabajos realizados en otros lugares (Neiff y Neiff, 2006, Velásquez y Miserendino, 2003 y Chará *et al.* 2010) se observa que esta relación sí ocurre. En algunos casos, la materia orgánica alóctona debe ser tomada en cuenta ya que es importante como recurso alimenticio de los organismos (Chará *et al.* 2010) y según Velásquez (2003), la biomasa de macroinvertebrados acuáticos se ve



afectada por la materia orgánica, por lo cual los datos y las correlaciones llevadas a cabo en este trabajo presentaron cierta discordancia con lo que se esperaba encontrar.

Sin embargo, cabe aclarar que estos antecedentes de relación entre materia orgánica y abundancia de macroinvertebrados se realizaron en varios ríos donde las temperaturas no suelen ser tan bajas. Este es un factor que presenta cierta incidencia tanto en la abundancia como en el tipo de macroinvertebrados que se encuentran, ya que en aguas dulces la temperatura determina en gran medida la distribución de los macroinvertebrados béticos (Füreder, 1999). Esto implica que en el río Playitas no se puede confirmar una relación estrecha entre la abundancia de estos animales y la materia orgánica porque el factor de la temperatura del agua tiene una incidencia, en teoría, más fuerte. Esto resultaría en que, a pesar de la materia orgánica que se pueda encontrar, no tendría suficiente influencia sobre la abundancia de los macroinvertebrados. Cabe resaltar que la alta abundancia de Chironomidae (Gráfica 4.3.2) puede deberse a estrategias de tolerancia a bajas temperaturas que posee esta familia (Irons, et. al. 1993).

En el caso del río Corralitos, la incidencia de la temperatura no es tan alta como para que se descarte la incidencia de la materia orgánica, lo cual indica que es necesario realizar un muestreo teniendo en cuenta otros tipos de materia orgánica diferente a la que pueda encontrarse en el sedimento del río, ya que la materia orgánica alóctona también incide sobre la abundancia (Velásquez, *et al.*, 2003). La riqueza y abundancia de macroinvertebrados también se ven influenciadas por la composición de macrófitas flotantes que se puedan encontrar en el río (Neiff et.al. 2006), lo que hace que también sea necesario tomar en cuenta este tipo de materia orgánica.

## CONCLUSIONES

No se observó una relación entre la abundancia de órdenes de macroinvertebrados y el porcentaje de materia orgánica, por lo cual es necesario llevar a cabo un muestreo incluyendo otros tipos de materia orgánica y aumentando la cantidad de zonas muestreadas.

El orden más abundante en ambos ríos es Diptera, debido en gran parte a su amplia distribución y adaptación a diferentes hábitats. La familia que presentó mayor abundancia del orden Diptera fue Chironomidae, probablemente por sus adaptaciones a bajas temperaturas. También se observó que no hay homogeneidad en la distribución de los individuos a lo largo de las zonas de muestreo, tanto para órdenes, como para familias de dípteros. No se encontraron altos valores de diversidad, especialmente en el río Playitas debido a la proximidad con el nacimiento del río y al rango reducido de variación de temperaturas, pero principalmente porque fueron índices hechos a nivel de orden.

## BIBLIOGRAFÍA

BERNAL, E., GARCIA, D., NOVOA, M. A., PINZON, A. 2006. *Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados de la quebrada Paloblanco de la cuenca del río Otún (Risaralda, Colombia)*.

CHARÁ-SERNA, A.M., CHARÁ, J.D., ZUÑIGA, M. C., PEDRAZA, G.X., GIRALDO, L.P. 2010. *Clasificación trófica de insectos acuáticos en ocho quebradas protegidas de la ecorregión cafetera colombiana*. Universitas Scientiarum, Vol. 15 N° 1: 27-36.

CRANSTON, P. S. 1995. *The Chironomidae. The biology and ecology of non-biting midges*. Chapman & Hall, London, pp. 62-84.

DOMÍNGUEZ, E., FERNÁNDEZ, H.R. 2009. *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo. Tucumán, Argentina.

FERNÁNDEZ, H.R., DOMÍNGUEZ, E. 2001. *Guía para la determinación de artrópodos bentónicos sudamericanos*. Editorial Universitaria de Tucumán. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina.

FÜREDER, L. 1999. *High alpine streams: cold habitats for insect larvae*. Springer, First Edition.

IRONS, J.G., MILLER, L.K., OSWOOD, M.W. 1993. *Ecological adaptations of aquatic macroinvertebrates to overwintering in interior Alaska (U.S.A.) subarctic streams*. Canadian Journal of Zoology. Volume 71, Number 1, January 1993.

MERRIT, R.W., CUMMINS, K.W., BERG, M.B. *An introduction to the aquatic insects of North America*. Kendall Hunt Publishing; 4<sup>th</sup> edition.

NEIFF, A., NEIFF, J. 2006. *Riqueza de especies y similaridad de los invertebrados que viven en plantas flotantes de la planicie de inundación del río Paraná (Argentina)*. INCI, mar. 2006, vol.31, no.3, p.220-225.

RANGEL-CH, J.O. 2000. *COLOMBIA DIVERSIDAD BIOTICA III: La región de vida paramuna de Colombia*. Editorial Unibiblos. Bogotá, Colombia. p. 32

RIVERA-USME, J., CAMACHO-PINZON, A., BOTERO-BOTERO, A. 2008. *Estructura numérica de la entomofauna acuática en ocho quebradas del departamento del Quindío - Colombia*. Acta biol. Colomb., Vol. 13 No.2, 2008 133 - 146.

ROLDÁN, G. 1988. *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*, Primera Edición. Presencia Ltda., Colciencias, Universidad de Antioquia.

ROLDÁN, G. 2003. *Bioindicación de la Calidad del Agua en Colombia. Uso del Método BMWP/Col.* Ed Universidad de Antioquia. 170pp. Medellín, Colombia.

VANNOTE, R. L., MINSHALL, G. W., CUMMINS, K. W., SEDELL, J. R., CUSHING, C. E. 1980. *The river continuum concept.* Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37: 130-137.

VELÁSQUEZ, S., MISERENDINO, L. 2003. *Análisis de la materia orgánica alóctona y organización funcional de macroinvertebrados en relación con el tipo de hábitat en ríos de montaña de Patagonia.* Ecología Austral vol.13 n. 1 Córdoba. Ene/Jun. 2003.

#### **4.4 COMPARACIÓN DEL FICOPERIFITON DEL RÍO LAGUNILLAS Y LAS LAGUNAS LA PINTADA Y LA CUADRADA DEL PARQUE NACIONAL NATURAL EL COCUY (BOYACÁ, COLOMBIA)**

DANIEL FERLEY RAMÍREZ, MARÍA PAULA BARBERO, ANAMARIA MORALES  
Departamento de Biología, Facultad de Ciencias  
Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá

#### **RESUMEN**

Se seleccionaron dos sistemas lénticos (lagunas La Cuadrada y La Pintada) y uno lótico (río Lagunillas) del Parque Nacional Natural El Cocuy, muestreando en tres zonas de cada sitio, para evaluar en cada sistema la variación de las comunidades algales perifíticas a partir de los índices de riqueza y abundancia. Un análisis de diversidad y abundancia de las divisiones taxonómicas algales de cada sitio, y un análisis no paramétrico establecieron que no hay diferencias significativas en los sistemas. Se encontraron representantes de Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Chrysophyceae, Cyanophyceae, Ulvophyceae y Zignematophyceae, tanto en los ambientes lénticos como en los ambientes lóticos. Para la laguna La Cuadrada la división con mayor abundancia fue Cyanophyceae (68,3%). En la laguna La Pintada la división más abundante también fue Cyanophyceae (49%), seguida de Chlorophyceae (23,5%) y Bacillariophyceae (16,2%). Para el río Lagunillas antes de ingresar a la laguna La Pintada (post-Cuadrada), la división más abundante fue Cyanophyceae (50,5%), seguida de Chrysophyceae (29,8%); cuando este río se convierte en el efluente de la laguna, los grupos más abundantes fueron Cyanophyceae (33,5%) y Bacillariophyceae (32,7%). Los factores fisicoquímicos, el pH y el caudal fueron determinantes de la similitud de los grupos encontrados, así como la ausencia de grandes variaciones hidrológicas y morfométricas, influyen en la baja diversidad (88 sp) de estas zonas.

**PALABRAS CLAVE:** perifiton, sistemas lóticos, sistemas lénticos, Parque Nacional Natural El Cocuy.

#### **ABSTRACT**

This study analyzes two lentic systems (La Cuadrada and La Pintada lakes) and one lotic system (Lagunillas stream) of the National Park El Cocuy, sampling in three areas of each site for recognizing the variation of periphytic algal communities in each system, from its richness index and abundance. An analysis of diversity and abundance of algal taxonomic divisions of each site, and a nonparametric analysis established that there are no significant differences in the systems. Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Chrysophyceae, Cyanophyceae, Ulvophyceae and Zignematophyceae were found in both environments. Cyanophyceae was more abundant in La Cuadrada Lake (68.3%). Cyanophyceae (49%)

and Chlorophyceae (23.5%) and Bacillariophyceae (16.2%) were the abundant groups for La Pintada lake. For Lagunillas stream before entering La Pintada Lake (post-Cuadrada), the most abundant division was Cyanophyceae (50.5%), followed by Chrysophyceae (29.8%); when stream becomes effluent of the lake, the most abundant groups were Cyanophyceae (33.5%) and Bacillariophyceae (32.7%). Physicochemical factors, pH and flow rate determining the similarity of the groups found, and the absence of hydrological and morphometric variations influence the low diversity (88 species) in these areas.

**KEY WORDS:** periphyton, lotic system, lentic system, National Park El Cocuy.

## INTRODUCCIÓN

Colombia presenta una de las principales reservas mundiales de agua dulce natural, tanto superficial como subterránea (IDEAM, 2010). Dentro de la amplia gama de ecosistemas acuáticos continentales colombianos, la presencia y abundancia de las algas perifíticas ocurre en prácticamente todos los cuerpos de agua del país. Su composición y abundancia responde a la combinación de diversos factores, característicos de cada región, lo que hace necesario realizar muestreos a fin de conocer e identificar la diversidad de las especies para análisis ecológicos a nivel regional. Debido a la gran variedad de ecosistemas acuáticos, y de los diversos ambientes ecológicos que los rodean, las algas se convierten en un grupo de organismos lo suficientemente organizado, tanto para concentrar información importante de las condiciones físicoquímicas que establecen con el medio en el que viven, como para ser indicadoras de la asociaciones ecológicas que se puedan presentar, dependiendo por ejemplo, de la diversidad y abundancia de algunos grupos taxonómicos (Stevenson *et al.*, 1996).

El Parque Nacional Natural El Cocuy (PNNEC) ofrece variedad de ambientes acuáticos (lagunas, ríos y quebradas) que hacen parte de una serie de 48 microcuencas, que drenan sus aguas a los ríos Chicamocha, Casanare y Arauca (Morales *et al.*, 2007), convirtiéndose así en zonas para conocer y comprender la diversidad de algas asociadas a sustratos disponibles (rocas, troncos, plantas, detritos). Uno de los términos que se ha usado para describir el perifiton es la palabra biofilm o biopelícula, los cuales consideran a ésta comunidad como el agregado de microorganismos y productos extracelulares asociados a un sustrato (Marshall, 1991). La alta producción de agua de esta zona debida a la precipitación y retención de humedad, y el aporte de la masa glacial (aproximadamente 26,2 km<sup>2</sup>), convierten esta zona en una constante recarga de acuíferos por escorrentía superficial a los valles intermontanos, y por ende a los ríos, quebradas y lagunas que allí se originan. Debido a estas condiciones hidrológicas, se vuelve una zona de gran interés para el estudio de los organismos acuáticos.

El estudio de algas bentónicas permite conocer la diversidad de vida microscópica de los ambientes lénticos y lóticos de los ecosistemas. Debido a la gran variación que pueden presentar estos ambientes en la composición química y sus características físicas, existe una enorme variedad de hábitats que puedan ser colonizados por las algas. El estudio de las comunidades algales perifíticas (llamadas ficoperifiton) (Foerster y Schlichting, 1965) en Colombia se ha desarrollado principalmente en algunos embalses (Moreno, 1989; Sierra y Ramírez, 2000), lagos (Donato *et al.*, 1996) y ríos (Ramírez y Viña, 1998; Hernández-Atilano *et al.*, 2005; Montoya y Ramírez, 2007). Estos ambientes difieren entre sí por su profundidad, tamaño, transparencia, condiciones de nutrientes, pH, contaminación, y otros factores importantes, que permiten a las algas convertirse en organismos capaces de indicar las condiciones naturales y alteradas en determinados ambientes acuáticos (Biggs y Kilroy, 2000).

Si bien existen algunos informes regionales sobre el tema, la falta de bibliografía adecuada y específica de la zona, con datos sobre las poblaciones locales (diversidad de especies, distribución) sigue siendo una de las principales dificultades para la comprensión del papel de las algas en los ecosistemas acuáticos del PNNEC. En general, son organismos de difícil identificación microscópica ya que presentan grandes variaciones morfológicas según el ambiente en que se encuentren. Además, la mayoría de la bibliografía disponible es de difícil acceso, no incluye información ecológica y taxonómica completa, y se deben buscar referencias ecosistémicas que reflejen a los morfotipos comunes, como algunas guías de identificación americanas (Wehr y Sheath, 2003; Bellinger y Siege, 2010).

El objetivo principal de este estudio fue caracterizar las comunidades perifíticas algales de dos ambientes lénticos (Laguna La Cuadrada y Laguna La Pintada) y un ecosistema lótico (Río Lagunillas) que conecta estos dos cuerpos de agua, ubicados en el Suroccidente del parque. La hipótesis que se planteó es que deben existir cambios en la composición y abundancia de los grupos algales del perifiton tanto en las lagunas como en el río Lagunillas, luego de que éste atraviesa la Laguna La Pintada, con el fin de conocer el cambio de especies respecto al tipo de ambiente (léntico u lótico), a raíz de la conexión hidrológica que presentan estos cuerpos de agua.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Las lagunas La Pintada y La Cuadrada se encuentran en el suroccidente del PNNEC, del departamento de Boyacá (figura 4.4.1). Forman parte de un sistema de cuatro lagunas (junto con La Atravesada y La Parada) que se conectan a través del río Lagunillas y otras quebradas afluentes. La Laguna La Cuadrada (6°12'54" latitud Norte, 72°12'3.6" longitud Occidente) se encuentra a una altura de 4054 m.s.n.m. La laguna La Pintada (6°13'15.6"

latitud Norte, 72°12'3.6'' longitud Occidente) se encuentra aguas debajo de La Cuadrada, a una altura de 3980 m.s.n.m.

El muestreo del perifiton se realizó el día 11 de Septiembre de 2011. Los sitios de muestreo se localizaron en tres puntos diferentes y distantes de cada laguna, y en 3 puntos del río Lagunillas, antes y después de pasar por la laguna La Pintada, aproximadamente a 100 metros de distancia. Se estimaron *in situ* variables hidrológicas físicas y químicas, tales como turbidez, oxígeno disuelto, sólidos totales, conductividad eléctrica, caudal, temperatura y pH, y se complementó con información obtenida de Parques Nacionales Naturales de Colombia, respecto a la profundidad, volumen, longitud, área y perímetro de los sitios.

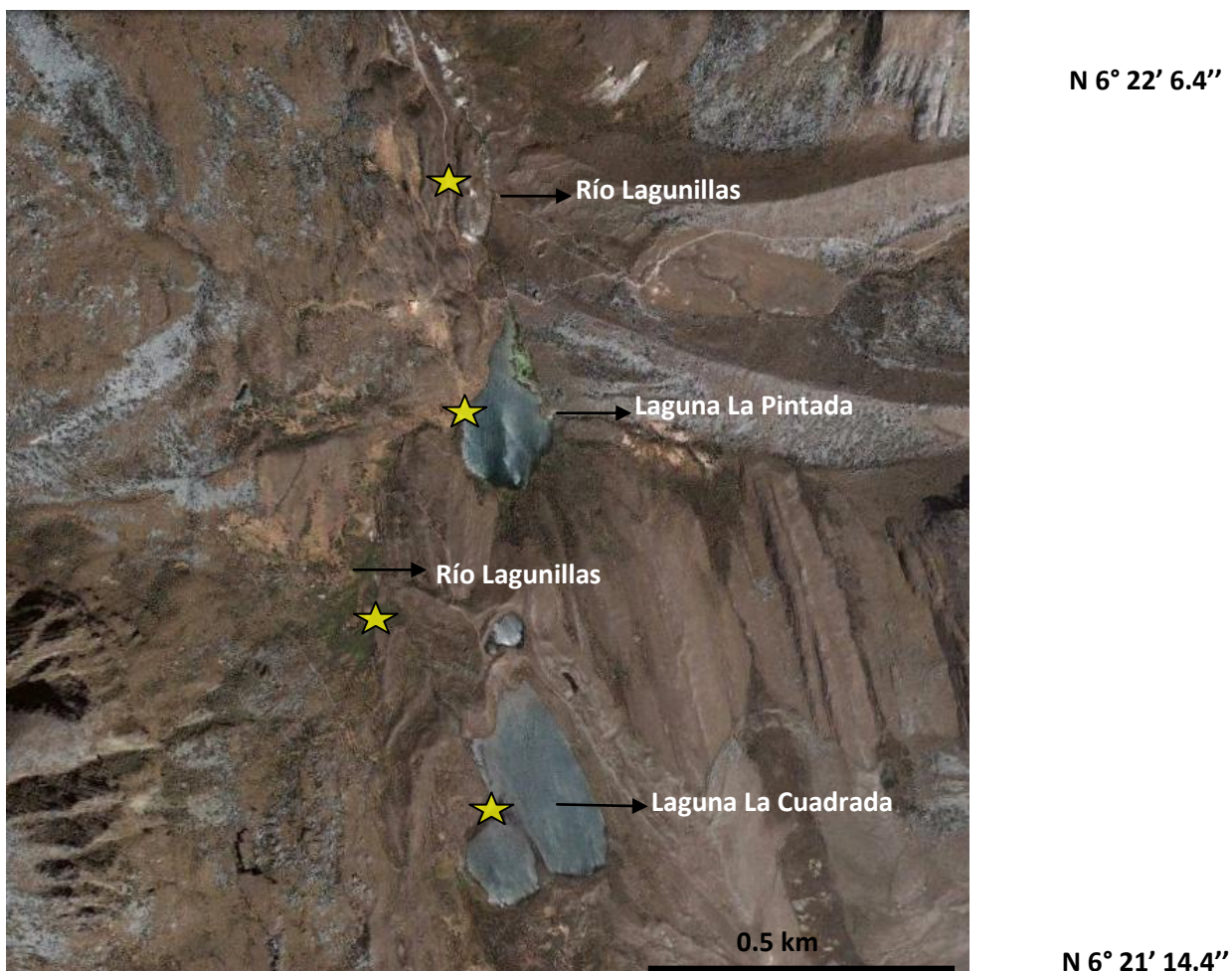
En cada sitio se escogieron zonas diferentes con variación de corriente o pendiente, y se recolectaron muestras de diversos sustratos (rocas, troncos y hojas sumergidos) a lo largo de un transecto longitudinal. Se aseguró que el sustrato muestreado estuviera sumergido, que presentara alta radiación solar, y que presentara diferente coloración de biofilms para asegurar un muestreo representativo. Para la colecta se utilizó un marco de diapositiva con un área de 782 mm<sup>2</sup> como plantilla para realizar 20 raspados por muestra, empleando cepillos de dientes para remover los organismos perifíticos. La muestra recolectada en cada uno de los sitios es de tipo simple y discreta. En total se tomaron 12 muestras de perifiton y se conservaron en solución Transeau en frascos plásticos oscuros de 200 mL (Biggs y Kilroy, 2000; APHA *et al.*, 2005).

En el laboratorio de ecología de la Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá) se procedió a identificar a los organismos hasta el máximo nivel taxonómico posible, empleando para ello bibliografía específica (Rossell *et al.*, 1982; González, 1988; Wehr y Sheath, 2003; Bellinger y Siege, 2010). Se realizaron conteos en placas de sedimentación y en cámaras Sedgewick-Rafter en aumentos de 10 X y 40 X. Se realizaron transectos a lo largo de la placa en forma de zig-zag hasta obtener una densidad cercana a 200 individuos de la especie más abundante. Se realizó un registro fotográfico para complementar la identificación de las especies.

Los datos obtenidos se sometieron a análisis estadísticos mediante el uso del programa PAST (PAleontological STatistics) para establecer los índices de dominancia (Simpson, 1949), diversidad (Shannon y Weaver, 1963) y equitatividad (Pielou, 1969). Se graficaron las distribuciones de abundancia de los grupos encontrados a fin de realizar un análisis comparativo entre sitios. Para establecer las diferencias entre los sitios establecidos (lénticos y lóticos) se tomaron las variables biológicas (abundancia, número de especies, diversidad) y se realizaron pruebas no paramétricas de ANOVA y Kruskal-Wallis (Zar, 1999). Ésta prueba se llevó a cabo mediante el uso del programa R commander (The R commander, 2010).

W 72° 20' 31.2''

W 72° 19' 39.36''



**Figura 4.4.1.** Mapa del Suroccidente del PNN Cocuy-Güicán. Se marcan los sitios de muestreo (estrellas amarillas) (tomado y adaptado de Google Earth v.6.1).

## RESULTADOS

### Caracterización de los ambientes lénticos y lóticos

Las variables hidrológicas, morfológicas, físicas y químicas de los sistemas trabajados se muestran en la tabla 4.4.1. El pH fue neutro a ligeramente ácido (cercano a 7), excepto para la laguna La Cuadrada, que fue notablemente ácido (pH=5,99). La concentración y saturación de oxígeno fueron muy altas (mayor a 6,9 mg/L y 91,4 % respectivamente). Estas aguas son frías, con temperaturas que oscilaron entre los 5,86 - 11,7 °C (la más baja para La Pintada). La conductividad fue muy baja (9.19 - 19.562  $\mu$ S/cm, con el registro más alto en La Pintada). En correspondencia con la conductividad, los valores de sólidos totales



disueltos fueron muy bajos (entre 5.81-13.492 mg/L, el mayor corresponde a La Pintada). La profundidad de la columna de agua fue en promedio de 3,2 m (sin incluir los valores de profundidad mayores para las Lagunas). El mayor volumen de agua lo tiene La Cuadrada (235838 m<sup>3</sup>), en comparación con La Pintada (116750 m<sup>3</sup>).

### **Algas perifíticas**

Para la laguna La Cuadrada la división con mayor abundancia fue Cyanophyceae (68,3%), mientras que los otros grupos no presentaron abundancias mayores al 10%. En la laguna La Pintada la división más abundante también fue Cyanophyceae (49%), seguida de Chlorophyceae (23,5%) y Bacillariophyceae (16,2%). Para el río Lagunillas antes de ingresar a la laguna La Pintada (post-Cuadrada), la división más abundante fue Cyanophyceae (50,5%), seguida de Chrysophyceae (29,8%); cuando este río se convierte en el efluente de la laguna, los grupos más abundantes fueron Cyanophyceae (33,5%) y Bacillariophyceae (32,7%). Se encontraron representantes de Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Chrysophyceae, Cyanophyceae, Ulvophyceae y Zignematophyceae, tanto en los ambientes lénticos como en los ambientes lóticos. En las muestras analizadas sólo se encontró una morfoespecie de Xanthophyceae en la laguna La Pintada, que no fue posible identificar. El grupo Euglenophyceae sólo se encontró en la laguna La Cuadrada y en el río Lagunillas (tabla 4.4.2).

En las identificaciones realizadas de las 12 muestras se encontró un total de 88 morfoespecies, pertenecientes a 9 grupos algales La división Bacillariophyceae presentó la mayor riqueza de morfoespecies identificadas (22), seguida de Zignematophyceae (20), Cyanophyceae (19), Chlorophyceae (15), Chrysophyceae y Ulvophyceae (4), Trebouxiophyceae (2), Euglenophyceae y Xanthophyceae (1) (tabla 4.4.3).

La gráfica 4.4.1 que compara los ambientes lénticos, muestra que en las lagunas La Cuadrada y en La Pintada el grupo Cyanophyceae fue el de mayor abundancia, predominando en la primera, mientras que otros grupos, como Chlorophyceae y Bacillariophyceae alcanzan una mejor representación en La Pintada. El grupo Euglenophyceae no se encontró en la laguna La Pintada, mientras que el grupo Xanthophyceae no se presentó en la laguna La Cuadrada.

En las identificaciones realizadas de las 12 muestras se encontró un total de 88 morfoespecies, pertenecientes a 9 grupos algales La división Bacillariophyceae presentó la mayor riqueza de morfoespecies identificadas (22), seguida de Zignematophyceae (20), Cyanophyceae (19), Chlorophyceae (15), Chrysophyceae y Ulvophyceae (4), Trebouxiophyceae (2), Euglenophyceae y Xanthophyceae (1) (tabla 4.4.3).

La gráfica 4.4.1 que compara los ambientes lénticos, muestra que en las lagunas La Cuadrada y en La Pintada el grupo Cyanophyceae fue el de mayor abundancia, predominando en la primera, mientras que otros grupos, como Chlorophyceae y

Bacillariophyceae alcanzan una mejor representación en La Pintada. El grupo Euglenophyceae no se encontró en la laguna La Pintada, mientras que el grupo Xanthophyceae no se presentó en la laguna La Cuadrada.

PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS, HIDROLÓGICOS Y MORFOLÓGICOS														
SITIO DE ESTUDIO	pH	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Saturación de Oxígeno (%)	Temperatura (°C)	Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	Conductividad (µS/cm)	Altura (m.s.n.m.)	Presión (mbar)	Velocidad corriente (m/s)	Área superficie (m <sup>2</sup> )	Profundidad media (m)	volumen (m <sup>3</sup> )	Longitud (m)	Ancho (m)
La Cuadrada	5,99	7,838	115,74	11,7	6,272	9,796	4054	629,8	N.A.	71874,54	3,3	235838	409,25	286,85
La Pintada	6,598	7,732	91,46	5,86	13,492	19,562	3980	636,9	N.A.	36392,23	3,2	116750	380,49	199,54
Lagunillas	7	6,91	101,59	11,25	5,81	9,19	3964	639,4	0,8	N.A.	3,18	-	N.A.	-

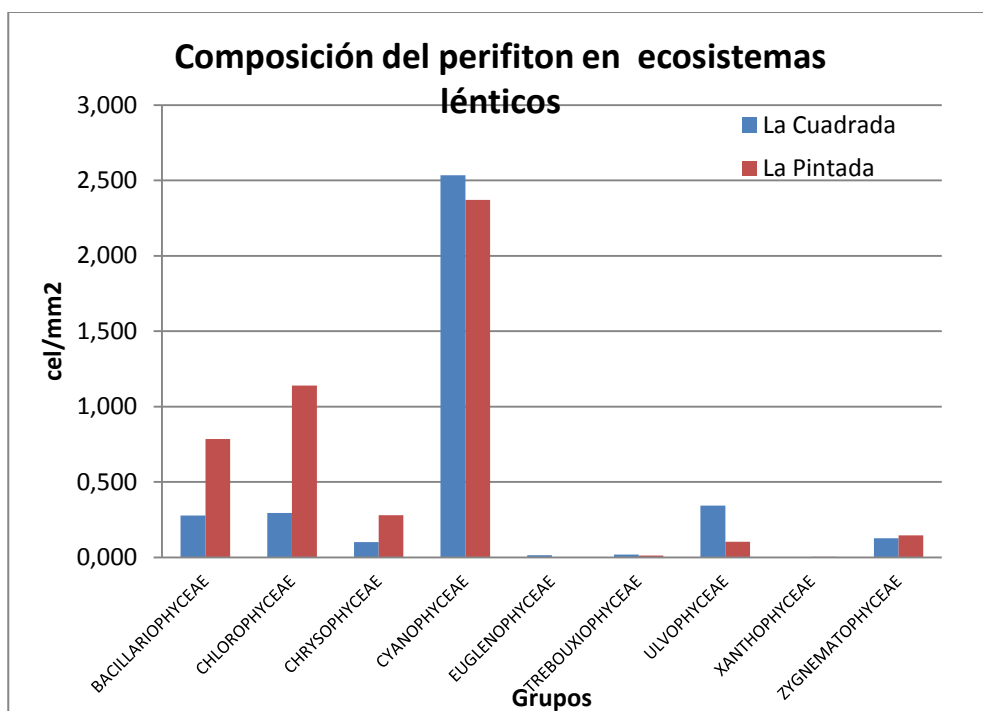
**Tabla 4.4.1.** Datos hidrológicos y fisicoquímicos del río Lagunillas y de las lagunas La Pintada y La Cuadrada. N.A.= no aplica.

GRUPOS	AMBIENTE		
	La Cuadrada	La Pintada	Lagunillas después de La Cuadrada
BACILLARIOPHYCEAE	0,075	0,162	0,069
CHLOROPHYCEAE	0,079	0,235	0,069
CHRYSOPHYCEAE	0,028	0,058	0,298
CYANOPHYCEAE	0,683	0,490	0,505
EUGLENOPHYCEAE	0,004	0	0,002
TREBOUXIOPHYCEAE	0,005	0,003	0,007
ULVOPHYCEAE	0,092	0,022	0,022
XANTHOPHYCEAE	0	0,001	0
ZYGNEMATOPHYCEAE	0,034	0,030	0,028
			0,042

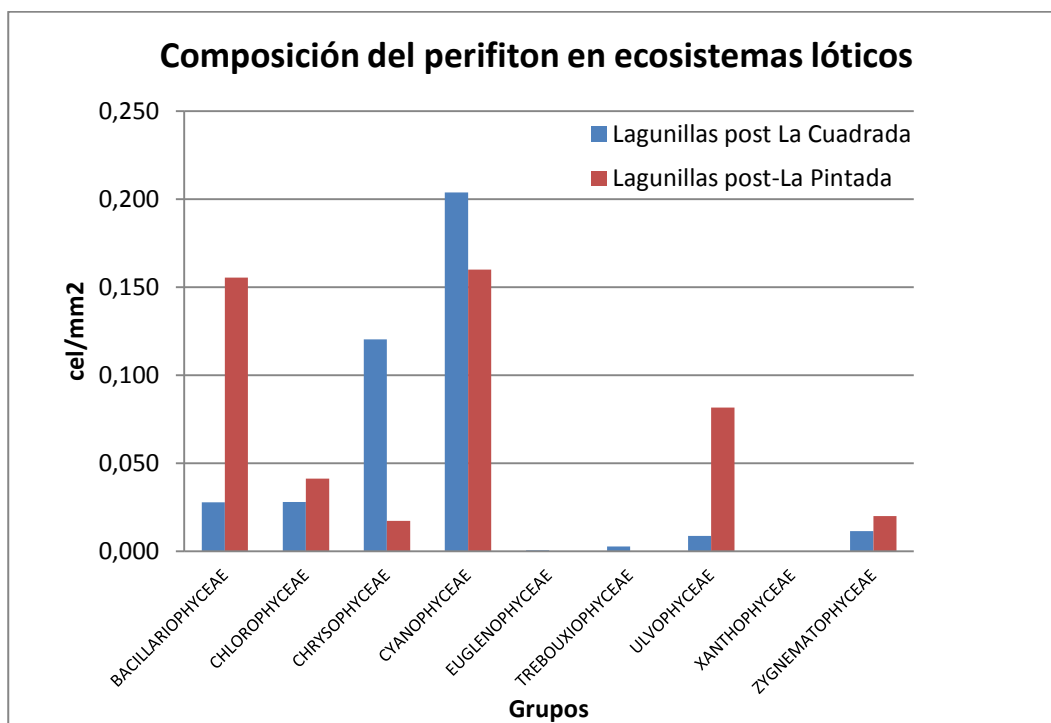
**Tabla 4.4.2.** Porcentaje de los principales grupos taxonómicos algales del perifiton en La Cuadrada, La Pintada y el río Lagunillas después de La Cuadrada y después de La Pintada.

<b>BACILLARIOPHYCEAE</b> <i>Cymbella</i> sp 1 <i>Cymbella</i> sp 2 <i>Diatoma elongatum</i> <i>Diploneis ovalis</i> <i>Eunotia arcus</i> <i>Fragilaria construens</i> <i>Fragilaria</i> sp 1 <i>Fragilaria</i> sp 2 <i>Gomphonema</i> sp <i>Navicula radiosa</i> <i>Neidium</i> sp <i>Nitzschia linearis</i> <i>Nitzschia sigmoidea</i> <i>Nitzschia</i> sp 1 <i>Nitzschia</i> sp 2 <i>Nitzschia</i> sp 3 <i>Nitzschia</i> sp 4 <i>Pinnularia gibba</i> <i>Pinnularia viridis</i> <i>Synedra</i> sp 1 <i>Synedra</i> sp 2 <i>Surirella</i> sp	<b>CHLOROPHYCEAE</b> <i>Ankistrodesmus spiralis</i> <i>Asterococcus</i> sp <i>Bulbochaete</i> sp <i>Chaetophora</i> sp <i>Gloeocystis</i> sp 1 <i>Gloeocystis</i> sp 2 <i>Microspora</i> sp 1 <i>Microspora</i> sp 2 <i>Microspora</i> sp 3 <i>Oedogonium</i> sp 1 <i>Oedogonium</i> sp 2 <i>Pandorina</i> sp <i>Pediastrum tetras</i> <i>Scenedesmus</i> sp <i>Sphaerocystis schroeteri</i>	<b>CYANOPHYCEAE</b> <i>Anabaena flos-aquae</i> <i>Anabaena sphaerica</i> <i>Chamaesiphon incrustans</i> <i>Chamaesiphon polonicus</i> <i>Coelosphaerium</i> sp. <i>Coleodesmium wrangelii</i> <i>Eucapsis</i> sp 1 <i>Eucapsis</i> sp 2 <i>Gloeoetrichia echinulata</i> <i>Lyngbya limnetica</i> <i>Lyngbya splendens</i> <i>Microcystis comperei</i> <i>Microcystis pulchra</i> <i>Oscillatoria brevis</i> <i>Oscillatoria limnetica</i> <i>Phormidium inundatum</i> <i>Pleurocapsa</i> sp <i>Spirulina subsalsa</i> <i>Stigonema</i> sp	<b>TREBOUXIOPHYCEAE</b> <i>Oocystis</i> sp <i>Oocystis parva</i> <b>ULVOPHYCEAE</b> <i>Chlorohormidium</i> sp <i>Ulothrix</i> sp 1 <i>Ulothrix</i> sp 2 <i>Ulva</i> sp <b>XANTHOPHYCEAE</b> Xantophyceae n.i.*	<b>COSMARIUM</b> <i>Cosmarium</i> sp 4 <i>Cosmarium</i> sp 5 <i>Desmidium</i> sp <i>Gonatozygon brebissonii</i> <i>Netrium</i> sp <i>Staurastrum</i> sp 1 <i>Staurastrum</i> sp 2 <i>Staurastrum</i> sp 3 <i>Staurodesmus</i> sp 1 <i>Staurodesmus</i> sp 2 <i>Zygnema</i> sp
		<b>EUGLENOPHYCEAE</b> <i>Euglena</i> sp 1	<b>ZYGNEMATOPHYCEAE</b> <i>Arthrodesmus convergens</i> <i>Closterium lunula</i> <i>Closterium</i> sp 1 <i>Closterium</i> sp 2 <i>Cosmarium contractum</i> <i>Cosmarium laeve</i> <i>Cosmarium</i> sp 1 <i>Cosmarium</i> sp 2 <i>Cosmarium</i> sp 3	<b>TOTAL</b> 9 DIVISIONES 88 especies

**Tabla 4.4.3.** Lista de los grupos y las especies encontradas en los ambientes lenticos y loticos. \*especie no identificada (n.i)



**Gráfica 4.4.1.** Comparación de la distribución de los principales grupos algales en las lagunas La Pintada y La Cuadrada.



**Gráfica 4.4.2.** Comparación de la distribución de los principales grupos algales en el río Lagunillas después de la Cuadrada y La Pintada.

Sitio	Muestra	Riqueza	Dominancia	Simpson	Shannon	Equitatividad (Shannon)
La Cuadrada 45 sp	1	35	0,234	0,766	2,301	0,647
	2	30	0,400	0,600	1,773	0,521
	3	23	0,460	0,540	1,327	0,423
La Pintada 46 sp	4	24	0,192	0,808	2,243	0,706
	5	21	0,111	0,889	2,478	0,814
	6	27	0,198	0,802	2,179	0,661
Lagunillas post-Cuadrada 37 sp	7	18	0,324	0,676	1,793	0,620
	8	24	0,232	0,768	2,013	0,633
	9	21	0,302	0,698	1,783	0,586
Lagunillas post-Pintada 49 sp	10	36	0,116	0,884	2,78	0,776
	11	13	0,341	0,659	1,528	0,596
	12	11	0,675	0,325	0,854	0,356

**Tabla 4.4.4.** Valores encontrados para algunos índices de diversidad y riqueza para cada una de las muestras analizadas.

VARIABLE	AMBIENTE			
	Lótico		Léntico	
	ANOVA	Kruskall-Wallis	ANOVA	Kruskall-Wallis
Simpson	0.05396	0.04953	0.6086	0.5127
Shannon	0.1665	0.2752	0.8149	0.5127
Equitatividad	0.1625	0.2752	0.7916	0.5127

**Tabla 4.4.5.** Análisis de varianza de los índices de diversidad, obtenidos a partir de las pruebas no paramétricas.

La gráfica 4.4.2 muestra que el río Lagunillas presentó un patrón similar de abundancia de la división Cyanophyceae al de los ambientes lénticos. Los grupos Chrysophyceae y Cyanophyceae presentaron una disminución de la abundancia después de La Pintada, donde las divisiones Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Ulvophyceae y Zignematophyceae aumentaron su abundancia. Asimismo, los grupos Euglenophyceae y Trebouxiophyceae sólo se encontraron en el río Lagunillas antes de entrar a La Pintada.

La tabla 4.4.4 muestra que la laguna La Cuadrada presentó una riqueza similar a la de la laguna La Pintada, con 45 especies frente a 46 especies. El río Lagunillas, por el contrario, aumentó su riqueza luego de atravesar la laguna La Pintada, pasando de 37 especies a 49 especies. Esto está en concordancia con los valores del índice de dominancia y de

diversidad Shannon, según los cuales una de las muestras del río Lagunillas post-La Pintada tuvo el valor más alto de diversidad (2.780), seguida de la laguna La Pintada (2.478), la laguna La Cuadrada (2.301), y por último el río Lagunillas post-La Pintada (0.854). Este último valor de diversidad puede deberse a que en la zona de muestreo del río Lagunillas después de La Pintada se presentó una alta velocidad del caudal, mostrando que el grupo Ulvophyceae fue el más abundante. El índice de equitatividad de Shannon indica una relación muy alta entre las especies y su abundancia con la riqueza para cada sitio de muestre, ya que los valores estuvieron cerca a 1 en varios sitios (Magurran, 2004).

La tabla 4.4.5 presenta los valores  $p$  de comparación entre los dos sistemas lóticos y los dos sistemas lénticos, a través de los análisis no paramétricos de Kruskal-Wallis y ANOVA hechos con los datos de los índices de diversidad. Los resultados indican que no hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las zonas muestreadas con respecto a los índices de diversidad y dominancia escogidos (Simpson, Shannon y Equitatividad).

Las densidades de algas perifíticas se muestran en la tabla 4.4.6 (sistemas lénticos) y tabla 4.4.7 (sistemas lóticos), indicando que la laguna La Pintada tiene 4,844 cel/mm<sup>2</sup>, mayor a la de La Cuadrada con 3.713 cel/mm<sup>2</sup>. En el río Lagunillas las densidades algales son de 0.404 cel/mm<sup>2</sup> (antes de La Pintada) y de 0.476 cel/mm<sup>2</sup> (después de La Pintada).

## DISCUSIÓN

La variación de las comunidades algales perifíticas entre las lagunas La Pintada y la Cuadrada y el río Lagunillas están influenciadas por las condiciones ambientales predominantes de cada sitio (Graham y Wilcox 2000). Debido a que los resultados de las tablas 4.4.6 y 4.4.7 (ver anexos) muestran pocas diferencias entre cada uno de los sistemas lóticos y lénticos, y muestran densidades algales bajas, esto indica que la mayor parte de los biofilms sobre los sustratos están muy dispersos, poco colonizados, y se puede inferir que los organismos heterótrofos y la materia inorgánica y orgánica (primordialmente) son los principales componentes de éstos ambientes. Estas características son muy comunes en el perifiton de alta montaña debido a varias condiciones, como las bajas temperaturas, pocos sólidos disueltos totales, bajas conductividades, pH neutros y un amplio espejo de agua sin cobertura vegetal (observaciones de campo y tabla 4.4.1). Adicionalmente, se conoce que las tasas de crecimiento de las algas en condiciones adversas son muy bajas, así se tengan buena disponibilidad de luz solar o de nutrientes (González, 1988; Stevenson *et al.*, 1996; Barsanti Y Gualtieri, 2006; Lee, 2008).

Los valores altos de O<sub>2</sub> y su baja variación entre las muestras, obedece principalmente a la morfología del cauce en el río Lagunillas y la forma de las lagunas La Cuadrada y La Pintada, su baja turbidez y la contaminación nula de estos sistemas acuáticos, ya que no se reconoció ninguna descarga domestica o agrícola en el tramo muestreado. Se considera que

se encontraron pocas especies (88 sp) en los ambientes debido a las condiciones ambientales poco variables en estos sistemas de alta montaña, como la estabilidad del pH debida a la poca cantidad de materia orgánica que puede provenir de la vegetación circundante. Al ser ecosistemas de páramo, tanto las lagunas La Pintada y La Cuadrada, así como el río Lagunillas, no presentan altas coberturas de vegetación, están rodeados por suelos de bajo grado de desarrollo (Rangel, 2000), que junto a las características químicas de la tabla 4.4.1, determinan la baja riqueza de las comunidades algales. Esto se reporta también en algunos estudios de ríos andinos de alta montaña como Martínez & Donato (2003), Díaz-Quiros y Rivera-Rondon (2004) y Ramírez y Plata-Díaz (2008).

Para el presente estudio se puede inferir que el bajo desarrollo de las comunidades algales, principalmente en el río Lagunillas, se debe a condiciones de un alto caudal con alta velocidad y baja temperatura, lo que dificulta que las algas perifíticas se puedan fijar en los sustratos disponibles. Es decir, las muestras perifíticas encontradas se pueden localizar en todo el cauce, por la alta transparencia del agua, teniendo así toda la zona fótica disponible para la fotosíntesis, pero la corriente y la poca disponibilidad de sustratos que no sean de fácil desprendimiento por la fuerza del agua, reducen ampliamente la disponibilidad de hábitats, determinando la baja diversidad y densidad del perifiton (Margalef, 1983; Biggs, 1989). Estudios han reportado esta relación de alta corriente y alto caudal con la baja diversidad y densidad del perifiton, explicando así la disminución de la riqueza en el río aguas debajo de La Pintada, y la abundancia de Ulvophyceae, por su morfología y fácil adherencia al sustrato (Ghosh y Gaur, 1998; Ryder *et al.*, 2006).

A diferencia del río Lagunillas, las lagunas presentaron densidades algales más altas, debido a que sus condiciones ambientales son un poco más estables y continuas, como la baja velocidad de corriente que no remueve la comunidad de los sustratos de crecimiento. Sin embargo las bajas temperaturas, la competencia por nutrientes con otras comunidades fotosintéticas, y la mayor depredación por parte de organismos raspadores (zooplancton o microinvertebrados) limitan el crecimiento del perifiton, incluso en los sistemas lénticos (O'sullivan y Reynolds, 2004).

En general, cuando se comparan los índices de diversidad y abundancia de las lagunas La Pintada y La Cuadrada, se observa que las Cyanophyceae dominan, lo cual se puede deber a que toleran unos bajos contenido de nutrientes (en especial nitrógeno), bajas temperaturas, alta radiación y poca turbulencia del viento. Todo esto les permite formar fácilmente masas sobre las hojas, rocas y tallos de otras plantas, aunque con el tiempo pueden convertir un sistema oligotrófico en uno eutrófico. Se infiere que los ambientes acuáticos del PNNEC son típicamente oligotróficos, si se comparan con otros sistemas de alta montaña (Donato *et al.*, 1996).

Aunque los resultados no muestran diferencias significativas entre los índices de diversidad de las especies algales perifíticas de los ambientes lóticos y lénticos estudiados, se puede



ver en la tabla 4.4.2 y las gráficas 4.4.1 y 4.4.2 que en ciertos grupos hay ligeros cambios. Este es el caso de la abundancia de los grupos Bacillariophyceae, Chrysophyceae y Ulvophyceae en el río Lagunillas luego de pasar por La Pintada, y de los grupos Chlorophyceae y Bacillariophyceae en las lagunas. Al no mostrar tendencias de cambio importantes en las comunidades, se pueden caracterizar estos ambientes como zonas muy estables para la diversidad y abundancia de aquellos grupos algales del perifiton, adaptados a las condiciones ambientales estresantes de la alta montaña. Además, esto podría relacionarse con estudios de otros organismos acuáticos que utilizan energía captada por el perifiton, como los macroinvertebrados (Wetzel y Likens, 1991; Graham y Wilcox, 2000).

Como lo señaló Wetzel (1983), el perifiton es una comunidad que actúa como una interfase entre el sustrato y el agua, por lo que el estudio y las relaciones de la productividad perifítica de estos ecosistemas a lo largo del tiempo, serán una vía de conocimiento que permitirá aproximarse al entendimiento de los flujos de energía en la cadena trófica de estos ambientes y de otros con los que se pudieran conectar.

Finalmente, si se comparan los cambios de la composición de los grupos taxonómicos encontrados en el río Lagunillas antes y después de un sistema léntico (laguna La Pintada), y dos sistemas lóticos (laguna La Cuadrada y La Pintada), se encuentra que no existen variaciones significativas. Por el contrario, se puede inferir que las condiciones ambientales, fisicoquímicas, hidrológicas y morfológicas de cada sitio al ser parecidas, determinan la similitud de la diversidad en las comunidades algales perifíticas. También se pueden atribuir estos resultados a la cercanía de los sitios, la conexión hídrica que presentan, la historia de los ecosistemas, y la ausencia de factores antrópicos que alteren los biofilms, y a su vez, los sistemas acuáticos.

Se recomienda realizar estudios que permitan comprender si los índices aquí reportados varían entre estos ambientes lóticos y lénticos, para establecer relaciones más definidas entre los cambios temporales que se presentan en el río Lagunillas, las lagunas La Cuadrada y La Pintada, las condiciones fisicoquímicas del agua, y las comunidades algales perifíticas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

APHA-AWWA-WPCF. Methods for the examination of Water. 21th edition. American Public Health Association (APHA), American Methods Water Work Association (AWWA), Water Pollution Control Federation (WPCF) USA. 2005.

BARSANTI L y GUALTIERI P. Algae. Anatomy, biochemistry, and biotechnology. Taylor & Francis Group. 2006.

BELLINGER E, SIGEE D. Freshwater algae: identification and use as bioindicators. London: John Wiley & Sons, Ltd; 2010.

BIGGS B. Biomonitoring of organic pollution using periphyton, South Branch, Canterbury, New Zealand. *New Zealand J. of Marine and Freshwater Research* **23**:263-274. 1989.

BIGGS B, KILROY C. Stream periphyton monitoring manual. NIWA, Christchurch, New Zealand. The New Zealand Ministry for the Environment. 2000.

DÍAZ-QUIROS C, RIVERA-RONDON C. Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadoras de condiciones ambientales. *Caldasia* **26**(2): 381-394. 2004.

DONATO J, GONZÁLEZ G y RODRÍGUEZ M. Ecología de dos sistemas acuáticos de páramo. Universidad Javeriana, Santafé de Bogotá, Colombia. 1996.

FOERSTER J y SCHLICHTING H. Phyco-periphyton in an oligotrophic lake. *Transactions American Microscopical Society* **84**:485-502. 1965.

GHOSH M, GAUR J. Current velocity and the establishment of stream algal periphyton communities. *Aquat Bot.* **60**(1):1-10. 1998.

GONZÁLEZ A. El plancton de las aguas continentales. OEA. Caracas, Venezuela. 1988.

GRAHAM L y WILCOX L. *Algae*. Prentice-Hall. 2000.

HERNÁNDEZ-ATILANO E, AGUIRRE N, y PALACIO J. Variación espacio-temporal de la estructura de la comunidad de algas perifíticas en la microcuenca de la quebrada La Vega, municipio de San Roque (Antioquia), Colombia. *Actualidades Biológicas* **27** (82): 67-77. 2005.

IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2010. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C. 2010.

LEE R. *Phycology*. Cambridge University Press. 2008.

MAGURRAN A. *Measuring Biological Diversity*, Blackwell Science Ltd., 2004.

MARGALEF, R. *Limnología*. Ediciones Omega. S. A. Barcelona, España. 1983.

MARSHALL W. *Biología de las algas (Enfoque fisiológico)*. Ed. Limusa. México. 237 p. 1991.

MARTÍNEZ L, DONATO J. Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). *Caldasia* **25**(2): 337-354. 2003.

MONTOYA M y RAMÍREZ J. Variación estructural de la comunidad perifítica colonizadora de sustratos artificiales en la zona de rital del río Medellín, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 55 (2): 585-593. 2007.

MORALES M, OTERO J, Van Der HAMMEN T. Atlas de páramos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C. 208 p. 2007.

MORENO L Colonización del perifiton en tres embalses del oriente Antioqueño. Tesis de pregrado, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 1989. 130 p.

O'SULLIVAN P, REYNOLDS C. *The Lakes Handbook - Limnology and limnetic ecology*. Vol. 1. Blackwell Science Ltd. 2004.

PIELOU E. *An Introduction to Mathematical Ecology*. NY: Wiley Interscience. 1969.

RAMÍREZ A, PLATA-DÍAZ Y. Diatomeas perifíticas en diferentes tramos de dos sistemas lóticos de alta montaña (páramo de Santurbán, Norte de Santander, Colombia) y su relación con las variables ambientales. *Acta Biológica Colombiana* 13(1): 199-216. 2008.

RAMÍREZ G, VIÑA V. *Limnología Colombiana*. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 292 p. 1998.

RANGEL-CH J, editor. *Colombia Diversidad Biótica III. La región de vida paramuna de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia. 2000.

ROSSELL A, GONZÁLEZ J. *Técnicas de Muestreo y Análisis de Plancton y Perifiton SARH*. México, D.F. 1982.

RYDER D, WATTS R, NYE E, BURNS A. Can flow velocity regulate epixilic biofilm structure in a regulated floodplane river? *Marine and Freshwater Research*. 57(1):29-36. 2006.

SHANNON C, WEAVER W. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana: University of Illionois Press. 1963.

SIERRA O. y RAMÍREZ J. Variación espacio-temporal de biopelículas en la represa La Fe, el Retiro, Antioquia (Colombia). *Actual Biol*. 22: 153-168. 2000.

SIMPSON E. Measurement of diversity. *Nature* 163:688. 1949.

STEVENSON R, BOTHWELL M, LOWE R. *Algal-ecology freshwater benthic ecosystems*. Elsevier USA, 1996.

The R Commander: A Basic-Statistics GUI for R [programa de ordenador]. Version 1.6. Hamilton (ON): McMaster University; 2010.

WEHR J y SHEATH R. Freshwater algae of Norteamerica, Ecology and classification. Elsevier USA. 2003.

WETZEL R. Periphyton of aquatic ecosystem. B. V. Junk. Publishers, The Hague, The Netherlands. 346 p. 1983.

WETZEL R y LIKENS E. Limnological Analyses. Springer-verlag, Nueva York, EEUU. 1991.

ZAR J. Biostatistical analysis. 3 ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA. 1996.

ANEXOS

MUESTRA	La Cuadrada						La Pintada								
	1		2		3		S	1		2		3		S	□
	Conteo	cel/mm2	Conteo	cel/mm2	Conteo	cel/mm2		Conteo	cel/mm2	Conteo	cel/mm2	Conteo	cel/mm2		
BACILLARIOPHYCEAE	31	0,336	32	0,384	8	0,112	0,145	46	0,563	95	1,189	48	0,602	0,351	0,785
CHLOROPHYCEAE	54	0,585	19	0,228	5	0,070	0,264	80	1,002	92	1,152	101	1,267	0,133	1,140
CHRYSOPHYCEAE	15	0,162	4	0,048	7	0,098	0,057	14	0,175	32	0,401	21	0,263	0,114	0,280
CYANOPHYCEAE	272	2,944	204	2,448	158	2,212	0,374	337	4,220	88	1,102	143	1,793	1,638	2,372
EUGLENOPHYCEAE	3	0,032	0	0,000	1	0,014	0,016	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000	0,000
TREBOUXIOPHYCEAE	3	0,032	1	0,012	1	0,014	0,011	1	0,013	1	0,013	1	0,013	0,000	0,013
ULVOPHYCEAE	26	0,281	11	0,132	44	0,616	0,248	17	0,213	3	0,038	5	0,063	0,095	0,104
XANTHOPHYCEAE	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000	1	0,013	0	0,000	0	0,000	0,007	0,004
ZYGNEMATOPHYCEAE	16	0,173	9	0,108	7	0,098	0,041	15	0,188	4	0,050	16	0,201	0,083	0,146
<b>TOTAL</b>	<b>420</b>	<b>4,546</b>	<b>280</b>	<b>3,360</b>	<b>231</b>	<b>3,234</b>	<b>0,724</b>	<b>511</b>	<b>6,386</b>	<b>315</b>	<b>3,944</b>	<b>335</b>	<b>4,201</b>	<b>1,342</b>	<b>4,844</b>

Tabla 4.4.6. Conteos de las algas del perifiton en ambientes lénticos.

MUESTRA	Lagunillas post La Cuadrada										Lagunillas post-La Pintada									
	1		2		3		S	□	1		2		3		S	□				
	Conteo	cel/mm2	Conteo	cel/mm2	Conteo	cel/mm2			Conteo	cel/mm2	Conteo	cel/mm2	Conteo	cel/mm2						
BACILLARIOPHYCEAE	43	0,056	9	0,016	7	0,011	0,025	0,028	183	0,442	9	0,015	8	0,010	0,248	0,155				
CHLOROPHYCEAE	14	0,018	18	0,033	21	0,033	0,008	0,028	30	0,072	21	0,035	14	0,017	0,028	0,041				
CHRYSTOPHYCEAE	159	0,208	47	0,086	43	0,067	0,076	0,120	16	0,039	6	0,010	3	0,004	0,019	0,017				
CYANOPHYCEAE	46	0,060	153	0,280	174	0,271	0,125	0,204	55	0,133	200	0,331	14	0,017	0,159	0,160				
EUGLENOPHYCEAE	0	0,000	1	0,002	0	0,000	0,001	0,001	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000	0,000				
TREBOUXIOPHYCEAE	0	0,000	2	0,004	3	0,005	0,002	0,003	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000	0,000				
ULVOPHYCEAE	5	0,007	10	0,018	1	0,002	0,009	0,009	7	0,017	11	0,018	176	0,210	0,111	0,082				
XANTHOPHYCEAE	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000	0,000				
ZYGNEMATOPHYCEAE	6	0,008	12	0,022	3	0,005	0,009	0,011	25	0,060	0	0,000	0	0,000	0,035	0,020				
<b>TOTAL</b>	<b>273</b>	<b>0,357</b>	<b>252</b>	<b>0,462</b>	<b>252</b>	<b>0,393</b>	<b>0,053</b>	<b>0,404</b>	<b>316</b>	<b>0,763</b>	<b>247</b>	<b>0,408</b>	<b>215</b>	<b>0,257</b>	<b>0,260</b>	<b>0,476</b>				

Tabla 4.4.7. Conteos de las algas del perfiton en ambientes lóticos.

#### **4.5 RELACIÓN ENTRE LA COMPOSICIÓN Y LA COBERTURA DE MACRÓFITAS CON DATOS FÍSICOQUÍMICOS EN LAS LAGUNAS PINTADA Y CUADRADA DEL VALLE DE LAGUNILLAS (PNN-EC, BOYACÁ-COLOMBIA)**

DANIEL JOSÉ DUARTE ROJAS<sup>1</sup>, FELIPE CASTIBLANCO ÁLVAREZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Estudiante pregrado Biología, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias  
djduarter@unal.edu.co, fcastiblancoa@unal.edu.co

#### **RESUMEN**

Las lagunas de alta montaña presentan escasos estudios en cuanto a diversidad y ecología de macrófitas y muy pocos han abordado las relaciones entre las variables físicas y químicas con las plantas allí presentes. En este trabajo se buscan las diferencias en la cobertura y el área foliar de las macrófitas presentes en las lagunas La Cuadrada y La Pintada del Valle de Lagunillas y su relación con las variables fisicoquímicas medidas en diez puntos de muestreo. Comparando las variables medidas se encuentran leves diferencias en cuanto a temperatura y porcentaje de saturación de oxígeno. Los análisis de varianza para las variables físico-químicas y coberturas, muestran que no hay diferencias significativas de estas medidas entre las dos lagunas pero si hay diferencias en las áreas foliares. Estas diferencias se pueden deber más que a las variables del agua, a otras variables tales como competencia por espacio, radiación solar y la reproducción vegetativa.

**Palabras clave:** macrófitas, área foliar, datos fisicoquímicos, lagunas de alta montaña, páramo

#### **ABSTRACT**

High mountain lakes have few studies concerning diversity and ecology of macrophytes and only few have studied relationships between physico-chemical variables and it's plants. In this paper we look for differences in coverage and leaf area of the macrophytes present in La Cuadrada and La Pintada lakes, located at the Valle de Lagunillas and its relationship to physicochemical variables measured in ten-point sampling. Comparing the measured variables are slight differences in temperature and oxygen saturation percentage. Analysis of variance for physico-chemical variables and coverage showed that there is no significant difference in these measures between the two lakes but there are differences in leaf areas. These differences may be due more to the variables of water, other variables such as competition for space, sunlight and vegetative reproduction.

**Key words:** macrophytes, leaf area, physicochemical data, high mountain lakes, páramo

## INTRODUCCIÓN

Los páramos son ecosistemas de gran riqueza ecológica y, a su vez, juegan un importante papel en la economía de sociedades andinas por su valor agrícola e hídrico. Su importancia ecológica, genética y científica se basa en sus paisajes únicos y flora endémica, la cual se ha acondicionado a sus extremas condiciones climáticas y a las características de sus suelos (Díaz-Granados *et al.* 2005). La región paramuna de Colombia posee la mayor expresión de especies con área de distribución restringida,; cerca del 40 % de su flora de espermatófitos exhibe esta condición. Además, la mayor expresión de la fitodiversidad y el mayor número de especies con área de distribución restringida se presenta en la franja de ecotonía alto andino-subpáramo (3000-3200 msnm); seguida del páramo bajo o subpáramo (Miranda-Esquivel *et al.* 2003).

Haciendo parte de estos ecosistemas, se encuentran distribuidas numerosas lagunas, así como represas que abastecen de agua a las ciudades más cercanas. Muchas de estas lagunas, ubicadas por encima de los 4000 msnm de altitud son de origen glaciar. Tal es el caso del conjunto de cuatro lagunas que hacen parte del Valle de Lagunillas, en el costado suroccidental de la Sierra Nevada del Cocuy o Güicán. Estas lagunas, que se hallan intercomunicadas en entre sí, son, en sentido sur-norte, La Parada, La Atravesada, La Cuadrada y La Pintada (Bonilla 2005) (Anexo 1).

Las lagunas de zonas altas en Latinoamérica han sido poco estudiadas en términos de composición de su vegetación acuática. Algunos trabajos efectuados en lagunas de zonas altas en México, Venezuela y Perú muestran que éstas son refugios de 66 especies de plantas acuáticas en el Parque Nacional Lagunas de Zampoala en México, y 55 especies en las zonas altas del Perú (Kahn *et al.* 1993, Velásquez 1994, Novelo & Bonilla 1995, todos citados en Terneus 2002). En general, muchas de las plantas acuáticas se producen esporádicamente en zonas extensas, siendo abundantes en un lago o un grupo de lagos, y en algunos casos ausentes en otros cuerpos de agua muy cercanos. Su distribución no muestra un patrón claro explicable por los sistemas fluviales o la topografía. A pesar de que están inexplicablemente ausentes de algunos cuerpos de agua, varias de estas plantas tienen una distribución circumboreal o en ocasiones mundial (Keddy 1976).

Son escasos los estudios que registran datos ambientales, físicos y químicos del agua, para tratar de encontrar posibles relaciones entre las condiciones del medio líquido con la composición vegetal. Terneus (2002) encontró en lagunas de los páramos del norte y sur del Ecuador diferencias en la composición florística y factores ambientales, de manera que el tipo de sustrato y la concentración de  $SO_4$  fueron los parámetros ambientales que explicaron mejor los cambios en la composición florística, mientras que el pH, la altitud y la temperatura del agua tuvieron menos impacto. Terneus (2002), también destaca que todas las plantas acuáticas tienen preferencias por ocupar espacios ricos en nutrientes, poco



profundos e intensamente iluminados. Por otra parte, Kiersch *et al.* (2004) afirman que el valor de la bioindicación de las especies de macrófitas en los lagos altoandinos estudiados es bajo, debido a que solo unas pocas especies están presentes, y algunas de ellas no son específicas para las condiciones ambientales. Existen trabajos en los que es más importante el estudio del sustrato que las características físico-químicas del agua circundante (Misra 1938, Bristow & Whitcombe 1971, Barko & Smart 1983, Sorrel 2002).

Para el caso de Colombia, también son pocos los estudios de macrófitas, destacándose los llevados a cabo por Schmidt-Mumm (1988), Rangel-Ch. y Aguirre (1983) en la laguna de Tota en Boyacá, y más recientemente el de Durán-Suárez *et al.* (2011) en una represa altoandina en Santander.

En este estudio se intentan relacionar las características físico-químicas del agua con la composición, cobertura y área foliar de las especies presentes en las Lagunas La Pintada y La Cuadrada, del Valle de Lagunillas (Parque Nacional Natural El Cocuy). La hipótesis planteada es que existen diferencias en las variables físico-químicas entre las dos lagunas y éstas a su vez determinan la presencia de macrófitas, siendo importantes tamaño y cobertura.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La laguna La Cuadrada está ubicada entre los 6°21'21'' - 6°21'34'' N y los 72°19'55'' - 72°20'04'' W, a una altitud de 4054 msnm; tiene un área de 71 874,54 m<sup>2</sup>, un volumen de 235 838 m<sup>3</sup> y una profundidad máxima de 8,8 m y promedio de 3,3 m. La laguna La Pintada se localiza entre los 6°21'46'' - 6°21'58'' N y los 72°19'59'' - 72°20'04'' W, a una altitud de 3974 msnm; tiene un área de 36 392,23 m<sup>2</sup>, un volumen de 116 750 m<sup>3</sup> y una profundidad máxima de 8,1 m y promedio de 3,2 m (Anexo 2).

### Muestreo

El muestreo se llevó a cabo durante los días 13 y 14 de septiembre de 2011. El primer día se trabajaron los primeros cuatro puntos de la laguna La Cuadrada y el segundo día los cinco puntos de la laguna La Pintada y el quinto punto de la laguna La Cuadrada.

En cada uno de los puntos de muestreo se tomaron datos físicoquímicos del agua (pH, temperatura, oxígeno disuelto, sólidos disueltos y conductividad eléctrica) utilizando un equipo multiparamétrico HACH. Posteriormente, en un área de 1 m<sup>2</sup> se realizó la recolección de muestras vegetales de las especies presentes que estaban creciendo dentro de la laguna; no se consideraron aquéllas que estuvieran tanto en la laguna como en tierra. Con el fin de evitar la presencia de estas últimas, cada muestreo se llevó a cabo aproximadamente a 0,5-1 m de la orilla de la laguna, donde su incidencia era menor. Las muestras vegetales se secaron y se identificaron en el Herbario Nacional Colombiano del

Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Las familias y los géneros se catalogaron con base en la Flora Genérica de Páramos (Sklenár *et al.* 2005).

La cobertura de cada una de las especies recolectadas se evaluó colocando un cuadrante con marco plástico de PVC de 0,5 x 0,5 m (con subdivisiones en nylon de 0,05 x 0,05 m) sobre la superficie del agua, seguido de toma de fotos hasta completar el área. En la mayoría de los casos el área correspondió a cuadrados de 1 x 1 m, pero en algunos casos, dada la profundidad de la laguna a más de 1 m de la orilla, se midieron rectángulos de 0,5 x 2 m. Estos datos se registraron tanto en cm<sup>2</sup> como en porcentaje. Además, las plantas recolectadas se fotografiaron con una escala conocida con el fin de obtener el área de las hojas.

### **Análisis de datos**

Tanto los tamaños y porcentajes de coberturas como las áreas de las hojas de las especies recolectadas se hallaron con el software ImageJ 1.44 para Windows (Rasband 2011). Para los análisis estadísticos se realizaron análisis de varianza de una vía (ANOVA) para los datos físico-químicos y los datos de coberturas, y pruebas t de Student suponiendo varianzas diferentes para todas las áreas foliares en las dos lagunas. Para estos análisis se utilizó el software Past 2.12 para Windows (Hammer *et al.* 2001).

## **RESULTADOS**

### **Datos fisicoquímicos**

Las dos lagunas presentan valores semejantes para pH, ya que de los 10 sitios muestreados, 9 están entre 6,06 y 6,96. Únicamente el sitio 2 de la laguna La Cuadrada arrojó un resultado menor. De manera que puede decirse que el agua de dichas lagunas en general presenta un pH ligeramente ácido a neutro. Para el caso del oxígeno disuelto, la mayoría de los valores están entre 7,21 y 8,38 mg/l. En la laguna La Pintada éste fue mucho mayor para el sitio 1 (9,55 mg/l) y mucho menor para el sitio 3 (5,70 mg/l). El % de saturación de oxígeno presenta valores más altos para La Cuadrada que para La Pintada (Anexo 3), con los valores más altos de 135,9% y 105,9%, respectivamente. Por otra parte, la temperatura muestra una gran variación en la laguna La Cuadrada (8,2 a 16,8 °C), contrario a lo que ocurre en la laguna La Pintada, donde los datos no oscilan más allá de 2 °C. Para el caso de los sólidos disueltos, los valores registrados en los sitios 3 y 4 de la laguna La Pintada (18,07 y 27,8 mg/l respectivamente) son mucho mayores que en los demás sitios de las dos lagunas, donde dichos sólidos estuvieron entre 4,61 y 8,25 mg/l. Por último, la conductividad eléctrica muestra un comportamiento similar que el de los sólidos disueltos ya que a excepción de los sitios 3 y 4, con valores mucho mayores (27,1 y 37,5 µS/cm), este parámetro estuvo entre 6,59 y 12,72 µS/cm (Anexo 3).

### Composición y cobertura de la vegetación acuática.

Se encontraron 4 especies, cada una perteneciente a una familia distinta. Éstas fueron *Egeria* sp. (Hydrocharitaceae), Pontederiaceae, *Hydrocotyle* sp. (Apiaceae) y *Lachemilla* sp. (Rosaceae). Todas las especies registradas pertenecen a las angiospermas. Todas las especies se encontraron en la laguna La Pintada, mientras que las tres primeras se encontraron en la laguna La Cuadrada. Sin embargo, la especie adicional (*Lachemilla* sp.) sólo fue registrada en un sitio (Anexo 4).

La especie más predominante en las dos lagunas es *Egeria* sp., ya que es la de mayor valor en cobertura. Pontederiaceae en la sumatoria de la laguna La Cuadrada presenta una cobertura algo mayor a la de *Hydrocotyle* sp. Sin embargo, esto sucede por la gran área que tiene Pontederiaceae en el sitio 1, ya que en términos generales *Hydrocotyle* sp. tiene una cobertura mucho mayor en los sitios 2 y 4, donde también aparece Pontederiaceae. En la laguna La Pintada *Hydrocotyle* sp. presenta una cobertura mucho mayor en los sitios 2, 3 y 4, donde también aparece Pontederiaceae. Comparando los valores totales de cobertura para las dos lagunas, se destaca que en la laguna La Pintada los porcentajes superan el doble que aquéllos de la laguna La Cuadrada.

### Análisis estadísticos

Las comparaciones de las variables físico-químicas mediante el ANOVA muestran que no hay diferencias significativas de las variables en cada una de las réplicas realizadas, pero las hay en las variables y las muestras (Tabla 1). En cuanto a las áreas foliares, el ANOVA señala que hay diferencias significativas para cada laguna y en todos los puntos de muestreo correspondientes (Tabla 2). En los datos de coberturas, se obtuvo que sólo haya diferencias en las especies de ambas lagunas y que las coberturas en los dos sistemas sean muy similares (Tabla 3).

En la prueba t realizada con los datos de áreas foliares para ambas lagunas (Tabla 4) muestra que el promedio de esta variable es significativamente diferente entre las lagunas, siendo más alta y con una varianza mayor en La Pintada ( $p = 0.0006$ ).

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	439,73442	1	439,73442	2,950015	0,090712311	3,990923772
Columnas	3296760,45	7	470965,7789	3159,534	1,05289E-78	2,15642397
Interacción	4604,25172	7	657,7502457	4,412602	0,000474401	2,15642397
Dentro del grupo	9539,9532	64	149,0617688			
Total	3311344,39	79				

**Tabla 4.5.1.** Análisis de varianza para los datos físicoquímicos de las lagunas Pintada y Cuadrada.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	15469,5903	1	15469,59026	6,515906412	0,01566378	4,14909745
Columnas	40551,61	3	13517,20333	5,693546526	0,00305757	2,90111958
Interacción	73690,782	3	24563,59401	10,34636839	6,485E-05	2,90111958
Dentro del grupo	75972,0685	32	2374,127141			
Total	205684,051	39				

**Tabla 4.5.2.** Análisis de varianza para las áreas foliares de las lagunas Pintada y Cuadrada.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	259,863003	1	259,863003	2,55184099	0,12325013	4,25967727
Columnas	4181,79961	3	1393,9332	13,6883506	2,0756E-05	3,00878657
Interacción	666,988534	3	222,329511	2,18326408	0,11619952	3,00878657
Dentro del grupo	2444,00498	24	101,833541			
Total	7552,65612	31				

**Tabla 4.5.3.** Análisis de varianza para las coberturas vegetales de las lagunas Pintada y Cuadrada.

Laguna	La Pintada	La Cuadrada
Media	107,6393725	50,59043268
Varianza	16354,86975	5017,854285
Observaciones	51	51
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	78	
Estadístico t	2,786780272	
P(T<=t) dos colas	0,006682146	
Valor crítico de t (dos colas)	1,990847036	

**Tabla 4.5.4** Prueba t para dos muestras de áreas foliares suponiendo varianzas desiguales de las lagunas estudiadas.

	F	Valor crítico para F	Probabilidad
<b>pH</b>	3,54886525	5,317655063	0,096334306

<b>O2 (mg/l)</b>	0,02462696	5,317655063	0,879188408
<b>mg/l</b>	2,93725839	5,317655063	0,124906219
<b>µS/cm</b>	3,04428164	5,317655063	0,119173954
<b>%</b>	7,92521093	5,317655072	0,022661662
<b>°C</b>	7,73790725	5,317655072	0,02386154
<b>mV</b>	3,33530446	5,317655072	0,105234883

**Tabla 4.5.5.** Valores de F calculado, F tabular y p-valor de las variables fisicoquímicas de las dos lagunas

## DISCUSIÓN

Los ANOVAs generales de las dos lagunas muestran que hay diferencias significativas entre las diferentes variables fisicoquímicas pero no hay diferencias para los datos entre las dos lagunas. Esto se puede explicar ya que las dos lagunas están conectadas y una de las lagunas es afluente de la otra. Para observar si esto sólo ocurría con algunas de las variables medidas, se realizaron ANOVAs de una vía para cada una de las variables, comparando los datos de ambas lagunas. Se encontró que los datos de temperatura y el porcentaje de saturación de oxígeno son significativamente diferentes entre lagunas y las demás variables son similares entre ambos sitios (Tabla 5). Las variables consideradas como potencialmente explicativas en las características foliares no mostraron diferencias significativas, y no hay estudios en donde las variaciones en el porcentaje de saturación de oxígeno sean importantes para el crecimiento de plantas acuáticas.

En las coberturas no se encontró ninguna diferencia significativa tanto para las especies presentes como para los porcentajes entre éstas. Esto puede obedecer a que los cambios en coberturas no simplemente se dan por factores fisiológicos (asimilación de nutrientes o estrés fisiológico), sino que factores como la competencia por el espacio entre las especies, la radiación solar y la capacidad de reproducción por estolones o esquejes pueden generar este tipo de cambios (Keddy, 1976).

Debido a las diferencias significativas en áreas y su falta de relación con las variables físico-químicas, es posible que estas diferencias sean dadas por concentraciones de solutos tales como nitratos, nitritos, hierro, manganeso y sulfuros (parámetros que no se midieron), o tal vez estas diferencias se basen en otras variables tales como cantidad y concentración de nutrientes en sustrato y/o adaptaciones particulares de cada una de las especies en cada uno de los puntos muestreados. Para estudios posteriores es necesario reconocer si las especies obtienen los elementos inorgánicos del sustrato o del agua, lo cual estaría en relación directa con el área foliar y el crecimiento de las plantas (Barko & Smart, 1983).

Los pocos datos tomados, tanto de variables fisicoquímicas como de áreas foliares y coberturas, no permiten observar la relación que se esperaba encontrar entre las lagunas

Cuadrada y Pintada en materia de coberturas, la cual está documentada en algunos artículos (Misra 1938, Barko & Smart 1983).

Posiblemente a partir de las comparaciones de las tasas de crecimiento y teniendo en cuenta las plantas flotantes y sumergidas se pueda observar la relación entre las variables del agua y las plantas que allí crecen. Es posible que el crecimiento, establecimiento y desarrollo de plantas enraizadas de borde que se trabajaron, esté más asociado a características del sustrato como cantidad de nutrientes, materia orgánica y tipo de sustrato.

## BIBLIOGRAFÍA

BARKO J. W., SMART R. M. 1983. Effects of organic matter additions to sediment on the growth of aquatic plants. *Journal of Ecology*. 71: 161-175.

BONILLA O. 2005. Batimetría complejo de lagunas del valle del lagunillas. Parque Nacional Natural El Cocuy. Proyecto: Plan de recursos hídricos del valle de lagunillas en el PNN El Cocuy para los municipios de Güicán, el Cocuy y Panqueba. Bogotá.

BRISTOW J. M., WHITCOMBE M. 1971. The role of roots in the nutrition of aquatic vascular plants. *American Journal of Botany*. 58, (1): 8-13

DIÁZ-GRANADOS M.A., NAVARRETE J.D., SUÁREZ T. 2005. Páramos: hidrosistemas sensibles. *Revista de Ingeniería, Universidad de los Andes*. (22):64-75

DURÁN-SUÁREZ L. R., TERNEUS-JÁCOME H. E., GAVILÁN-DÍAZ R. A., POSADA-GARCÍA J. A. 2011. Composición y estructura de un ensamble de plantas acuáticas vasculares de una represa alto andina (Santander), Colombia. *Actual Biol* 33 (94): 51-68.

HAMMER Ø., HARPER D., RYAN, P. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp.

KEDDY P. A. 1976. Lakes as islands. The distribution and ecology of two aquatic plants, *Lemna minor* L. and *L. trisulca* L. *Ecology*. 57: 353-359.

KIERSCH B., MÜHLECK R., GUNKEL G. 2004. Las macrófitas de algunos lagos alto-andinos del Ecuador y su bajo potencial como bioindicadores de eutrofización. *Revista de Biología Tropical* vol. 52 no. 4

MIRANDA-ESQUIVEL D. F., RANGEL-CH. J.O., ROA L. 2003. Endemismo en páramos colombianos con base en la distribución de espermatófitos y el análisis de parsimonia de

endemismo (PAE). Resúmen. Congreso Mundial de páramos. Gente Nueva Editorial. 1: 256-266

MISRA R. D. 1938. Edaphic Factors in the Distribution of Aquatic Plants in the English Lakes. *Journal of Ecology*. 26 (2): 411-451.

RANGEL-CH. O, AGUIRRE J. 1983. Comunidades acuáticas altoandinas I. Vegetación sumergida y de ribera en el lago de Tota, Boyacá, Colombia. *Caldasia*, 13: 725-742.

RASBAND W. 2011. ImajeJ 1.44, software para Windows. NIH.

SCHMIDT-MUMM U. 1988. Notas sobre la vegetación acuática de Colombia I: estructura. *Revista de la Facultad de Ciencias Universidad Javeriana*, 1 (2): 107-122.

SKLENÁR P.; LUTEYN J., ULLOA C., JORGENSEN P., DILLON M. 2005. Flora genérica de los páramos. Guía ilustrada de plantas vasculares. The New York Botanical Garden Press. 2005. 503p.

SORRELL B. K., TANNER C. C., SUKIAS J. P.S. 2002. Effects of water depth and substrate on growth and morphology of *Eleocharis sphacelata*: implications for culm support and internal gas transport. *Aquatic Botany*. 73 (2): 93-106

TERNEUS E. 2002. Comunidades de plantas acuáticas en lagunas de los páramos del norte y sur del Ecuador. *Caldasia* (2): 379-391.

Von KUROWSKI, U. S. 1986. Aspectos fitosociológicos de un estanque en la Cordillera oriental de Colombia (Albán, Cundinamarca). Tesis de grado para optar el título de biólogo. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias Básicas.

## ANEXOS

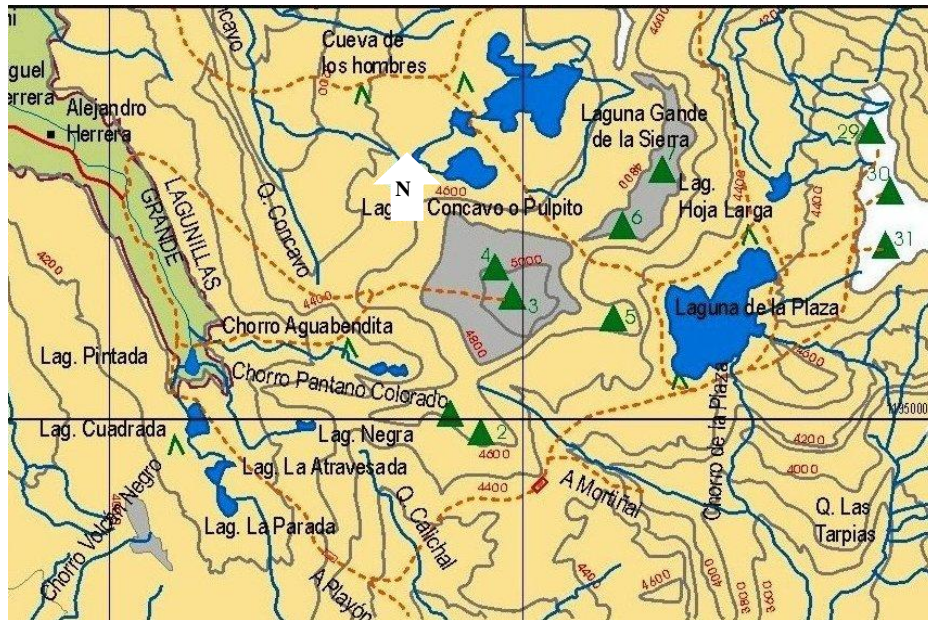
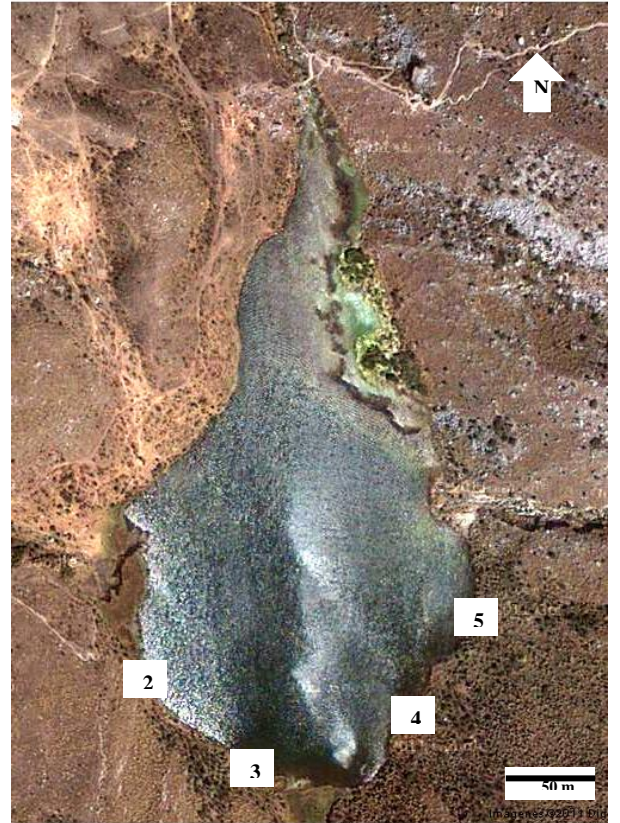
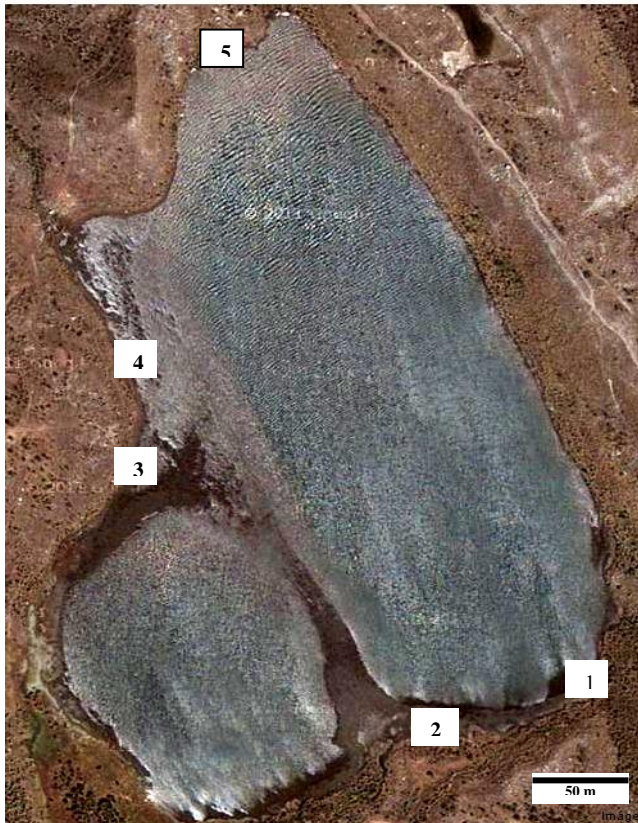


Figura 4.5.1.. Ubicación general del Valle de Lagunillas (Costado inferior izquierdo). Mapa tomado de PNNEC.





**Figura 4.5.2.** Sitios de muestreo en las lagunas La Cuadrada (izquierda) y La Pintada (derecha).  
Imágenes tomadas de Google Earth.

aguna	Sitio	Parámetro evaluado					
		pH	O <sub>2</sub> (mg/l)	% Sat. Ox.	°C	Sol. Dis. (mg/l)	Conduc. μS/cm
La Cuadrada	1	6,40	8,41	116,7	10,9	5,35	8,48
	2	4,87	7,21	119,9	16,1	7,72	13,7
	3	6,41	8,23	135,9	16,8	5,43	9,86
	4	6,06	7,32	95,8	6,5	4,61	6,59
	5	6,21	8,02	110,4	8,2	8,25	10,35
La Pintada	1	6,41	9,55	86,5	5,1	7,03	12,72
	2	6,30	7,51	94	5,2	7,24	10,22
	3	6,37	5,7	72,7	6,5	18,07	27,1
	4	6,95	8,38	105,9	5,5	27,8	37,5
	5	6,96	7,52	98,2	7	7,32	10,27

**Tabla 4.5.6.** Datos fisicoquímicos para cada uno de los sitios de muestreo en las lagunas La Cuadrada y La Pintada.

Laguna	Sitio	Cobertura (cm <sup>2</sup> ) - %			
		<i>Egeria</i>	<i>Pontederiaceae</i>	<i>Hydrocotyle</i>	<i>Lachemilla</i>
La Cuadrada	1	703,629 - 7,04	586,211 - 5,86	0 - 0	0 - 0
	2	2 744,665 - 27,45	2,544 - 0,03	125,443 - 1,25	0 - 0
	3	1 105,787 - 11,05	0 - 0	235,955 - 2,36	0 - 0
	4	2 359,343 - 23,59	7,109 - 0,07	74,541 - 0,75	0 - 0
	5	2 137,654 - 21,37	37,582 - 0,36	0 - 0	0 - 0
	<b>Total</b>	9 051,068	633,446	435,939	0 - 0
La Pintada	1	4 491,927 - 44,92	73,281 - 0,73	0,703 - 0,01	0 - 0
	2	5 951,838 - 59,51	11,912 - 0,11	28,007 - 0,28	0 - 0
	3	4 797,026 - 47,97	2,289 - 0,02	68,569 - 0,68	0 - 0
	4	0 - 0	62,226 - 0,62	1 167,723 - 11,68	141,495 - 1,41
	5	5 334,559 - 53,34	0 - 0	6,630 - 0,06	0 - 0
	<b>Total</b>	20 575,35	149,708	1 271,632	141,495

**Figura 4.5.7.** Cobertura (en tamaño por cm<sup>2</sup> y porcentaje) de las macrófitas en cada uno de los sitios de muestreo en las lagunas La Cuadrada y La Pintada

#### 4.6 PATRONES DE DISTRIBUCIÓN DE ARTROPODOS Y DEPREDACIÓN EN INFLORESCENCIAS DE *Espeletia lopezii* EN EL VALLE DE LAGUNILLAS.

CARLOS MORANTES-ARIZA\*, LAURA E. HOLGUÍN\*

\* Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

##### RESUMEN

Se examinó la presencia y posible efecto de distintos tipos de insectos en las inflorescencias de *Espeletia lopezii* (Asteraceae) ubicadas en el valle de Lagunillas en el PNN El Cocuy, Colombia. La muestra fue dividida en los estratos herbáceo (<1,5 m) y arbustivo (>1,5 m) con 25 inflorescencias reportadas para cada estrato (N= 50). Se realizaron conteos y determinación de taxas para cada inflorescencia además del registro en campo de la presencia de artrópodos en la superficie floral o en las partes vegetativas de las plantas. Se encontraron diferencias significativas entre las áreas necrosadas de ambos estratos y las abundancias de los depredadores asociados a estas. La preferencia de los depredadores por un estrato fue asociada con el radio de la inflorescencia. Se determinó que los lepidópteros son los principales responsables de la afectación de las inflorescencias de *E. lopezii* por efectos de depredación. Los coleópteros y dípteros responden en menor medida a este fenómeno, sin embargo las consecuencias de la mayor abundancia de coleópteros son discutidos en la literatura como reductores de la efectividad reproductiva por de depredación pre-dispersión y como facilitadores de la dispersión al mediar en los procesos de senescencia de las semillas.

**Palabras clave:** artrópodos, depredación, *Espeletia lopezii*, inflorescencia, patrones, Valle de Lagunillas,

##### ABSTRACT

We examine the presence and possible effect of several kinds of insects in *Espeletia lopezii* (Asteraceae) from Lagunillas valley in El Cocuy National Park, Colombia. Sample was divided into low (<1,5 m) and high (>1,5 m) heights. 25 inflorescences were collected for each level (N=50). Identification and counting of the taxas were made also *in situ* register of arthropods presence on the floral surface or non-reproductive parts of the plants. Necrotic area was measured in each inflorescence. Significant differences were found between both height levels and necrotic area and predators associated to them. Predator's preference was related to inflorescence radius. Lepidoptera larvae were found to be the main responsible for predation affectation on *E. lopezii* inflorescence. Coleoptera and Diptera did not show a significant role in this phenomenon. Nevertheless their impact may be involved in pre dispersal seed predation specifically.

**Keywords:** arthropods, *Espeletia lopezii*, inflorescence, patterns, predation, Valle de Lagunillas.

## INTRODUCCIÓN

Los páramos son ecosistemas que han evolucionado alrededor de una historia de glaciaciones, con un comportamiento insular, la vegetación vive bajo condiciones de estrés hídrico debido a que las bajas temperaturas vuelven el agua más densa y la absorción se vuelve muy lenta a pesar de que el ambiente es muy húmedo. Otra de las dificultades es la alta radiación debida a la altura en la que se encuentran estos ecosistemas, pero la principal dificultad la encuentran en la disponibilidad de nutrientes en el suelo ya que aunque hay una gran cantidad de biomasa acumulada en el suelo casi no existen organismos que realicen el proceso de transformación de la misma causando un estrés por nutrientes en la plantas, por estas condiciones tan extremas de frío y carencia de nutrientes las plantas que habitan estos sitios presentan distintas adaptaciones que les permiten vivir y evolucionar allí, esto hace que sus biotipos sean únicos y sus ritmos fenológicos también. Esta vegetación aloja artrópodos que se desarrollan en distintos microambientes que ofertan estas plantas, estos existen por la arquitectura, fisionomía y adaptaciones vegetales (conservar la mayor proporción de necromasa, alta producción de flores, semillas y disposición arrosada de las hojas) (Rangel-Ch 2000).

La alta riqueza de artrópodos en algunas plantas de páramo se explica a través de la gran cantidad de microhábitats que presentan a su vez condiciones microclimáticas más favorables para la vida animal; por ejemplo, las plantas del género *Espeletia* o *Espeletiopsis* presentan las anteriores características y a lo largo del tronco ofertan un gradiente de microambientes y cada uno con condiciones características en los cuales habita una gran variedad de artrópodos (Amat-G & Vargas 1991).

Se han referenciado microhábitats para artrópodos definidos de acuerdo al sustrato vegetal como los que se encuentran en las inflorescencias, además de metapoblaciones en hojas y necromasa sobre el tallos de *Espeletia* sp., donde se han reportado cerca de 39 especies las cuales se distribuyen de acuerdo al estado de vitalidad o senescencia de las rosetas. Las principales familias encontradas en *Espeletia* sp. son: Curculionidae, Thripidae, Anthorcoridae y algunos microlepidopteros. En el tallo monocaule y necromasa habitan Ácaros, Arañas, Tisanopteros y Hemípteros, hacia las hojas verdes habitan Coleópteros y algunos Dípteros, mientras que en la inflorescencia se encuentran principalmente Dípteros, larvas de Lepidopteros y Heterópteros sobre los ejes florales (Amat-G y Vargas, 1991).

La composición de artrópodos del abrigo de hojas muertas difiere en riqueza y composición de los de la hojarasca, ya que los primeros gozan de un clima menos extremo y menor humedad que los del suelo, adicional a las especies que viven en esta zona existen otros que son visitantes pero que son importantes ya que forman parte de la dieta de habitantes o

participan en procesos de descomposición. Por otro lado a nivel de particiones más pequeñas de microhábitat se encuentra que hay una variación gradual en la humedad y que la necromasa del tallo se hace más húmeda hacia el suelo albergando también fauna edáfica (Sturm, 1990).

La fauna de la roseta se alimenta principalmente de sabia o de las hojas, esta es un oferta importante en este ecosistema pero no es exclusiva de plantas como *Espeletiasp.*, por lo tanto no presenta una gran riqueza y abundancia de especies de artrópodos, su importancia radica en un comportamiento de migración que presentan los artrópodos de la necromasa hacia la roseta en la noche presentando un intercambio entre sí y con el suelo, garantizando de esta forma la presencia de individuos en esta área (Sturm, 1990).

Las inflorescencias de las Asteraceas como *Espeletiasp.* están conformadas por cientos de flores que ofertan néctar a visitantes florales que polinizan pero principalmente son refugio de larvas y juveniles de algunos insectos pequeños, esta fauna tiene muy poco intercambio con la de la roseta. La presencia de la fauna visitante es fundamental para la reproducción de este género y esta asociada a la fenología de la planta, son especies que tienen adaptaciones para que sus generaciones superen el tiempo en el que la planta no presenta floración aunque, por otro lado hay fauna que afecta negativamente causando daños en la inflorescencia o en los frutos (Sturm, 1990).+

## MATERIALES Y MÉTODOS

Cinco inflorescencias fueron recolectadas de cinco frailejones (*Espeletia lopezii*) en cada uno de los dos estratos. Las inflorescencias fueron montadas sobre un soporte plástico de 4.5 cm de diámetro, cada una fue digitalizada utilizando una cámara digital Samsung de 2 Mp.

*Medición de áreas:* la medición de las áreas de los capítulos y áreas necrosadas fueron medidas utilizando el software TPSDig 2.0 (Rohlf 2004).

*Análisis estadísticos:* Normalidad y homoscedasticidad fueron verificadas por la prueba de Shapiro y Levene respectivamente. Las diferencias entre el área afectada de ambas muestras fueron exploradas usando ANOVA.

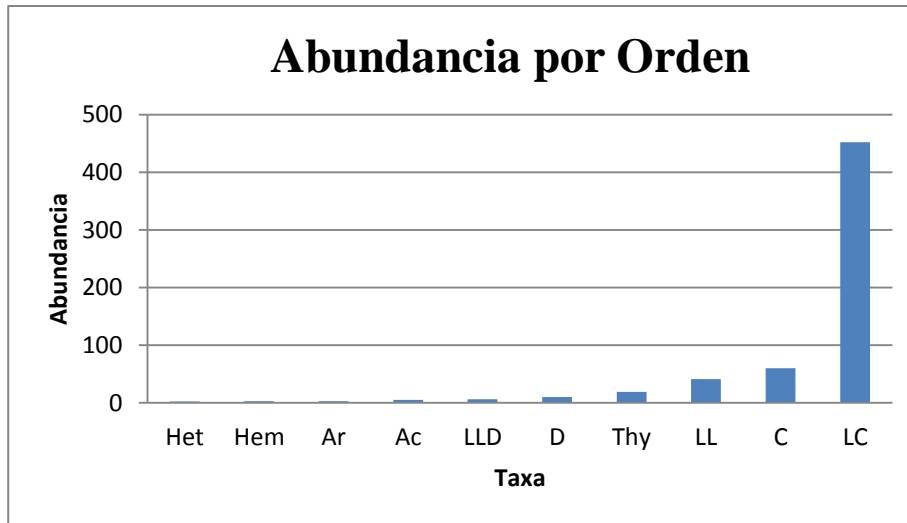
*Correlación:* se realizaron análisis de correlación de Spearman entre el área afectada y el número de individuos de cada uno de los órdenes encontrados en las inflorescencias; además de un análisis de correlación entre los distintos órdenes para buscar relaciones de asociación o exclusión. Se obtuvieron diferencias significativas entre las varianzas y medias de las áreas necrosadas de los dos estratos, y los Valores de r y p

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

*Composición y distribución de los taxa:* Se encontraron siete órdenes de artrópodos, de los cuales había estadios larvales y adultos pertenecientes a dípteros, lepidópteros y coleópteros. Estos artrópodos se distribuyen en distintas partes de la inflorescencia y realizando diferentes actividades como: cópula sobre las flores más externas de la inflorescencia, uso como hábitat al interior de la flor acompañado de depredación y dispersión y visita o refugio temporal relacionado con dietas de néctar y polinización. En la Tabla 4.6.1, se presenta la composición de la artropofauna de las inflorescencias de *E. lopezii* en cada estrato muestreado, el porcentaje promedio de depredación por cada orden, la abundancia y el servicio que le presta la inflorescencia. Se observa que Lepidoptera solo está presente en estadio larval, Coleoptera se encuentra únicamente en el estrato arbustivo, así como Acari, Araneae, Diptera y Hemiptera; por el contrario en el estrato herbáceo se encuentran Heteroptera y Thysanoptera como ordenes exclusivos.

	<b>Orden</b>	<b>Porcentaje de depredación</b>	<b>Abundancia</b>	<b>Uso de la inflorescencia</b>
<b>Estrato arbustivo</b>	Coleoptera	0	46	Cópula
	Coleoptera	0	14	Cópula
	Larvas de Coleoptera	82	716	Depredación de semilla
	Larvas de Diptera	10	3	Depredación de semilla
	Larvas de Lepidoptera	29	20	Depredación de semilla
	Acari	0	5	Visita
	Araneae	0	5	Visita
	Diptera	0	5	Visita
	Hemiptera	0	3	Visita
<b>Estrato Herbáceo</b>	Larvas de Coleoptera	61	95	Depredación de semilla
	Larvas de Diptera	25	3	Depredación de semilla
	Larvas de Lepidoptera	62	21	Depredación de semilla
	Heteroptera	0	2	Visita
	Thysanoptera	0	19	Visita

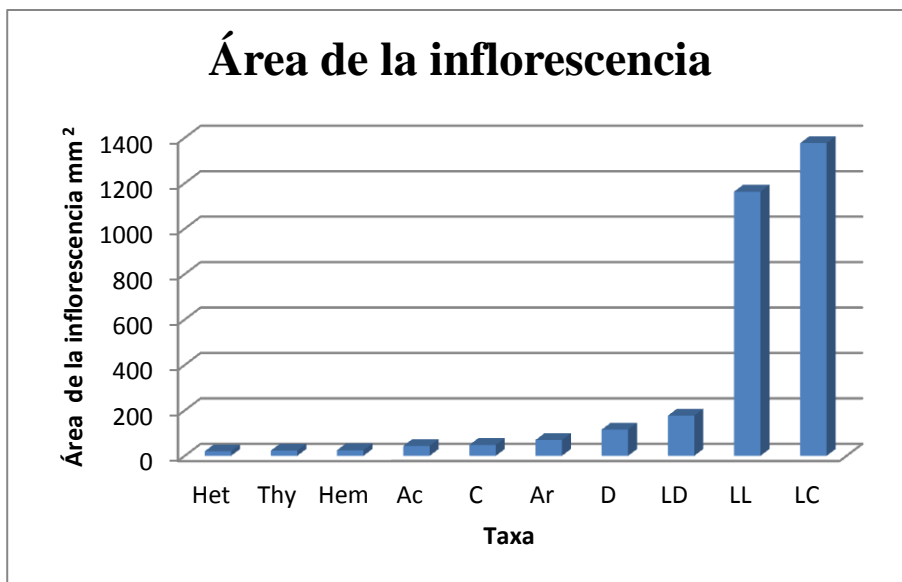
**Tabla 4.6.1.** Composición de la artropofauna de *E. lopezii* en el Valle de Lagunillas.



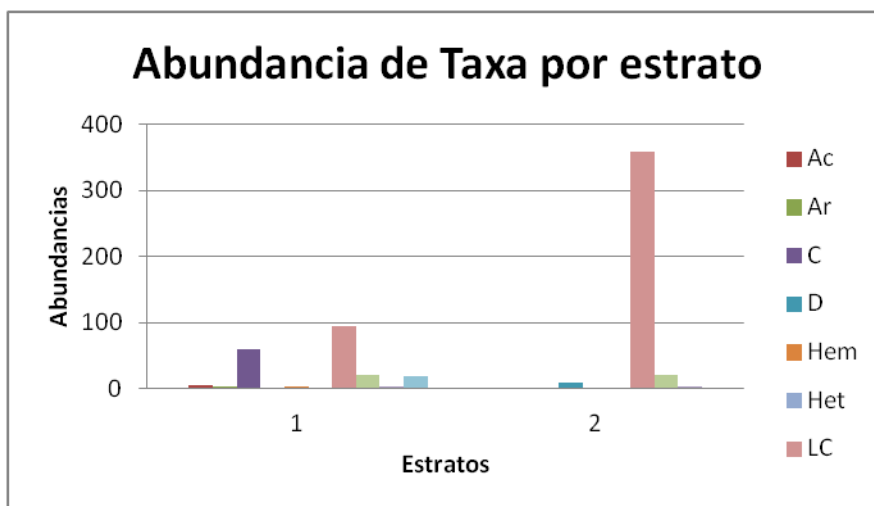
**Figura 4.6.1.** Abundancia de individuos en cada Taxa (Het: Heteróptera, Hem: Hemíptera, Ar: Aranaeae, Ac: Acari, LLD: larvas de Díptera, D: Díptera, LL: larvas de Lepidoptera, C: Coleóptera, LC: larvas de Coleóptera, Thy: Thysanoptera).

Los órdenes que tienen una mayor abundancia son Coleoptera y Lepidoptera, principalmente el estadio larval de los primeros. La abundancia del estadio adulto de Díptera es mayor que el estadio larval de la misma, lo anterior se muestra en la Figura 4.6.1. El área de la inflorescencia influye en la presencia de los taxa de manera similar a la ocurrencia de la abundancia; en la Figura 4.6.2 se observa que los grupos que habitan en las flores que tienen mayor área de superficie son las larvas de Coleoptera, Lepidoptera y Díptera.

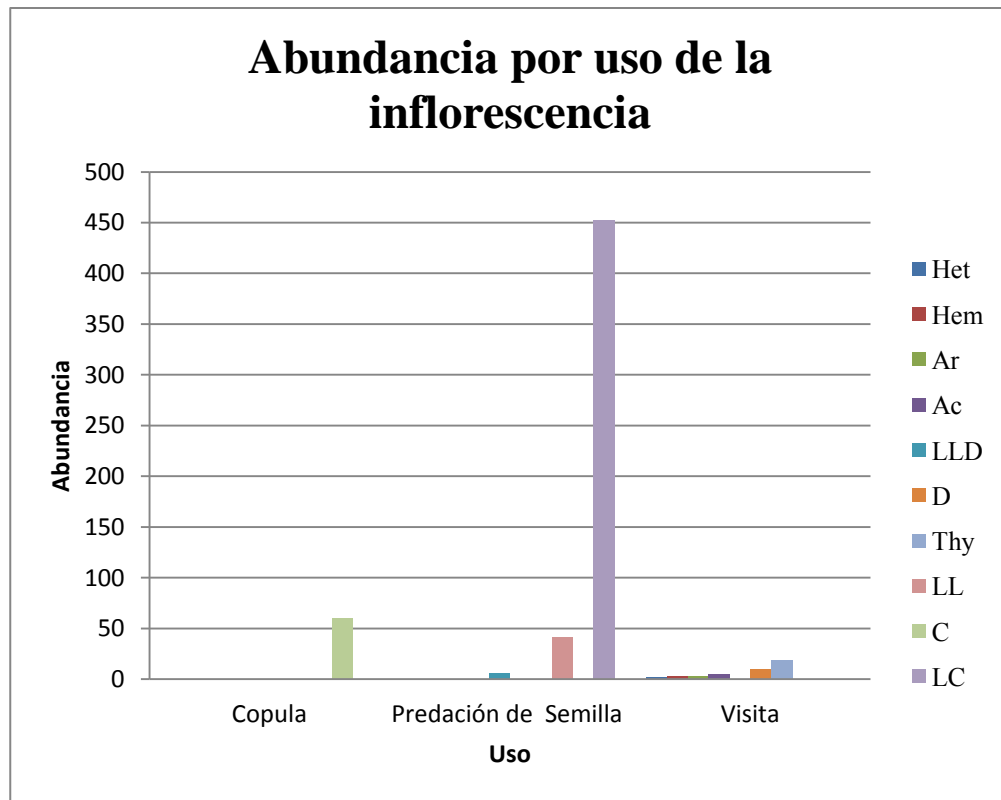
Los órdenes que tienen una mayor abundancia son Coleoptera y Lepidoptera, principalmente el estadio larval de los primeros. La abundancia del estadio adulto de Díptera es mayor que el estadio larval de la misma, lo anterior se muestra en la Figura 4.6.1.



**Figura 4.6.2.** Relación entre el área de la inflorescencia y la presencia de los taxa (Het: Heteróptera, Hem: Hemíptera, Ar: Aranaeae, Ac: Acari, LLD: larvas de Díptera, D: Díptera, LL: laarvas de Lepidoptera, C: Coleóptera, LC: larvas de Coleóptera, Thy: Thysanoptera).



**Figura 4.6.3.** Influencia del estrato en la distribución de abundancia (Het: Heteróptera, Hem: Hemíptera, Ar: Aranaeae, Ac: Acari, LLD: larvas de Díptera, D: Díptera, LL: laarvas de Lepidoptera, C: Coleóptera, LC: larvas de Coleóptera, Thy: Thysanoptera).



**Figura 4.6.4.** Beneficios de la asociación a inflorescencias de *E. lopezii* (Het: Heteróptera, Hem: Hemíptera, Ar: Aranaeae, Ac: Acari, LLD: larvas de Díptera, D: Diptera, LL: laarvas de Lepidoptera, C: Coleóptera, LC: larvas de Coleóptera, Thy: Thysanoptera).

Los artrópodos establecen interacciones con las plantas de páramo, que incluyen refugio y alimento para los insectos, depredación, polinización y protección respecto a las plantas (Mena 2005). Entre las interacciones encontradas están las relacionadas con el servicio de refugio temporal y alimento de néctar a cambio de polinización; los órdenes encontrados fueron: Thysanoptera, Diptera, Acari, Aranaeae y Hemiptera (Figura 4.6.4). Es interesante que no se hayan encontrado himenópteros interactuando con los frailejones debido a que este es uno de los polinizadores más comunes de este género, que se ven recompensados por la producción de néctar que produce la planta (Fagua & Gonzales 2007), en el caso del Páramo del Valle de Lagunillas debido a las condiciones de aislamiento y climáticas extremas en la evolución de estos ecosistemas puede no verse favorecido este grupo de insectos, sin embargo esta función también puede ser realizada también por especies del género Diptera y Coleoptera (Fagua & Gonzales 2007), los datos son congruentes en parte con esta interacción pues los dípteros mostraron un comportamiento de visitantes florales posiblemente relacionado con consumo de néctar, polinización o refugio; en cuanto a los Thysanópteros presentes como visitantes puede ser que parte de su dinámica diaria incluye la migración desde otros micro-ecosistemas de *Espeletia* hacia las flores por búsqueda de radiación, elementos para depredar o agua fresca como se indica lo indica Sturm (1990), ya



que no se ha reportado como nectarofago o polinizador para los Frailejones según Fagua & Gonzales (2007), esto puede estar indicando dinámicas propias del ecosistema estudiado que por tratarse de un páramo, desarrolla dinámicas distintas a la de otros biomas similares.

Los órdenes de las larvas presentadas en la Tabla 4.6.1 están directamente relacionados con la depredación de semillas o de capítulos florales, pues la abundancia de estos grupos según las Figuras 4.6.1 y 4.6.2 es la más alta y coincide con su presencia en aquellas flores que presentan mayor porcentaje de necrosis. Estos organismos tienen un rango de desplazamiento a nivel del interior de la inflorescencia en el piso de los capítulos florales donde hay abundante producción de néctar y de proteína cuando están formadas las semillas, por otro lado en la figura 4.6.4 se observa que las larvas se encuentran limitadas a este uso, aparentemente pueden ser relaciones de tipo parasitismo pero según Denno y colaboradores (2005); las larvas de Coleoptera tienen importancia en la dispersión de semillas debido a que consumen la base de la inflorescencia causando senescencia y dando el estímulo de la liberación de semillas. Las arañas y ácaros tienen un papel importante en el control de las poblaciones depredadoras de *Espeletia* pues se alimentan de larvas mediante la captura y consumo o mediante el parasitismo (Romero *et al.* 2008).

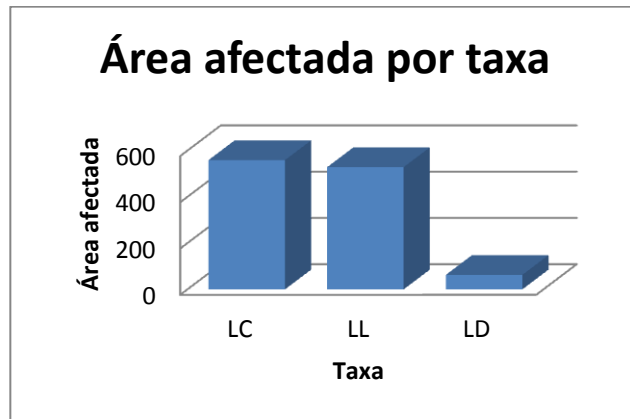
El área de la inflorescencia influye en la presencia de los taxa de manera similar a la abundancia; en la Figura 4.6.2, se observa que los grupos que habitan en las flores que tienen mayor área de superficie son las larvas de Coleoptera, Lepidoptera y en menor proporción se encuentran Acari, Aranae y Diptera. El mejor sitio de la postura de huevos para los dos grupos más abundantes es el interior de la inflorescencia debido a que brinda protección mecánica, aislamiento térmico y nutrición a las pequeñas larvas (Amat-G & Vargas 1991), el hecho de que la mayor abundancia sea en Coleoptera y no en Lepidoptera se debe a la cantidad de crías que pueden depositar, generalmente los últimos depositan un único descendiente o pares de descendientes mientras que la cantidad de huevos que ponen los Coleópteros es mucho mayor a 10.

La diferencia de altura y por tanto de desarrollo o madurez de *Espeletia* tiene una relación con los taxa presentes lo cual se evidencia en la Figura 4.6.3 donde la diferencia en abundancias puede estar relacionada con la cantidad y calidad del producto que es nutriente para las larvas de Coleoptera y que más bien la altura es un sitio estratégico para la cópula pues no se está al fácil alcance de predadores como es el caso de los coleópteros adultos.

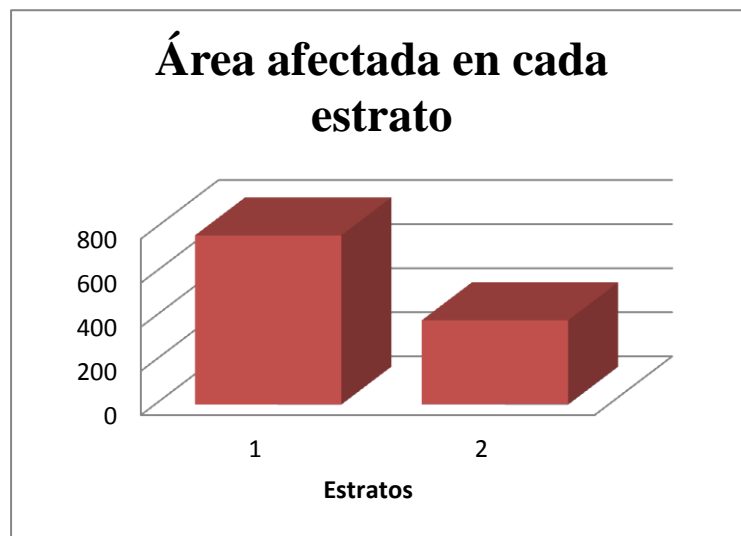
Los lepidópteros de páramo suelen ser nocturnos y debido a esto no se capturaron individuos adultos de este grupo o posiblemente su dinámica es diferencial en cuanto al uso de las inflorescencias, tal como se observa en los resultados de Fagua & Gonzales (2007), donde muestran una interacción entre la planta con mariposas o polillas, las cuales son conocidas por ser polinizadores nocturnos, en este caso sus larvas fueron consumidoras de

semillas lo cual pueda ser un punto de vista más completo de la interacción entre estos dos organismos que no pudieron ser observados de noche.

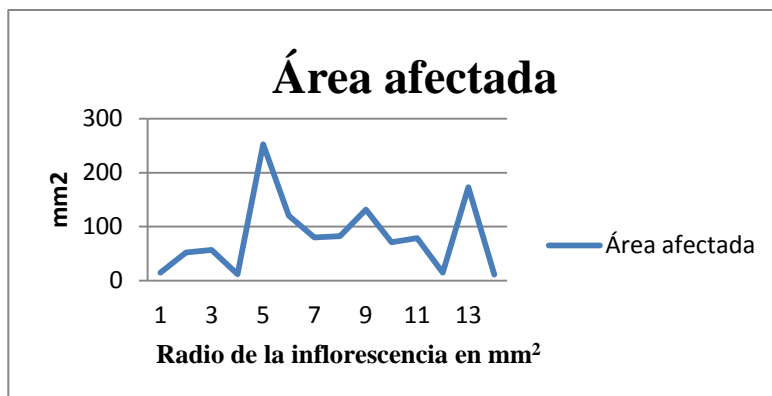
Los patrones de uso de la flor tienden a ser mayormente como alimento y protección para larvas y potencialmente como sitio de descanso o albergue temporal de adultos para la cópula, *Espeletia lopezii* ofrece un microhábitat que permite la existencia de una riqueza de artrópodos estableciendo unas interacciones que seguramente sustentan el ecosistema mediante la dispersión y polinización de estas plantas.



**Figura 4.6.5.** Taxa de mayor impacto en la necrosis de la inflorescencia (LC: larvas de Coleoptera , LL: larvas de Lepidoptera, LD: larvas de Diptera).



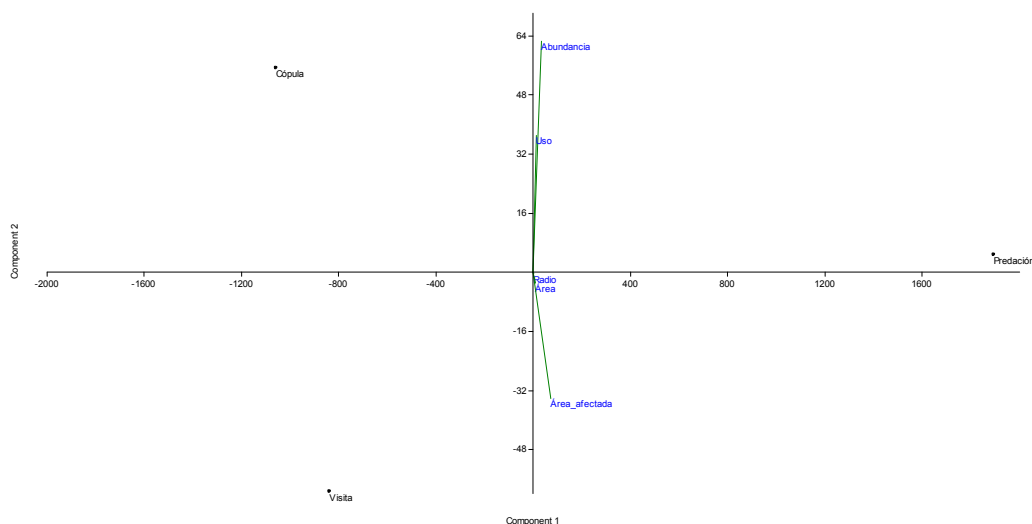
**Figura 4.6.6.** Preferencia de depredación por estrato.



**Figura 4.6.7.** Influencia del tamaño en la inflorescencia en los patrones de necrosis

*Patrones de depredación:* Las Figuras 4.6.5 a 4.6.7 ilustran la relación entre el grado de afectación de las inflorescencias por parte de los taxones encontrados. Las larvas de Lepidoptera son las que producen un mayor daño, concentrándose este en el estrato inferior. Esto se debe a su actividad depredadora no solo sobre los tejidos de la inflorescencia sino sobre los tejidos vegetativos asociados a la misma, mientras que el efecto de los coleópteros es más tenue debido a su actividad de consumo de semillas. Las larvas de los dípteros fueron muy escasas para determinar un impacto significativo sobre la muestra estudiada, sin embargo en abundancias mayores el efecto de estas larvas puede ser similar al de los lepidópteros.

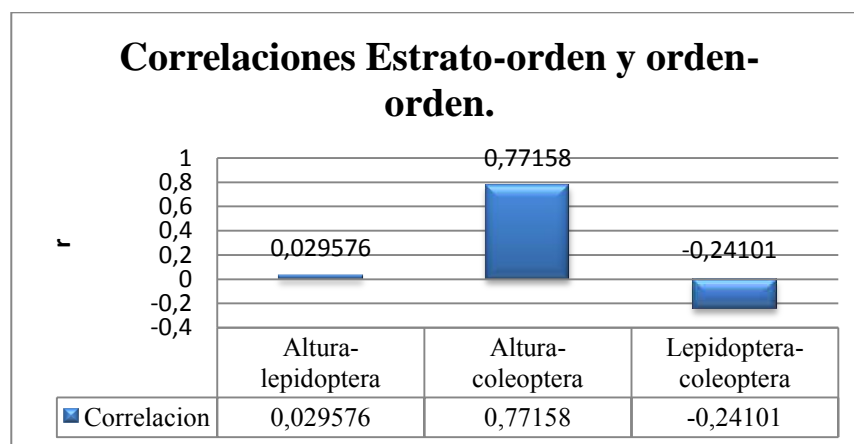
El estrato mas afectado fue el herbáceo, que contó con una mayor cantidad de larvas de lepidópteros en contraste con las de coleópteros y dípteros.



**Figura 4.6.8.** Análisis de componentes principales de las variables florales respecto al uso de la inflorescencia de *Espeletia* sp.

*Análisis de parámetros:* La normalidad de las áreas afectadas y ordenes presentes en la muestra fue normal ( $p > 0.05$ ,  $W = 0.95, 0.57, 0.92$ ) así como la homogeneidad ( $p < 0.01$ ). El análisis de la varianza mostró diferencias significativas entre la magnitud de las áreas afectadas en cada inflorescencia y el estrato en que estas se encontraban ( $p = 0.001$ ).

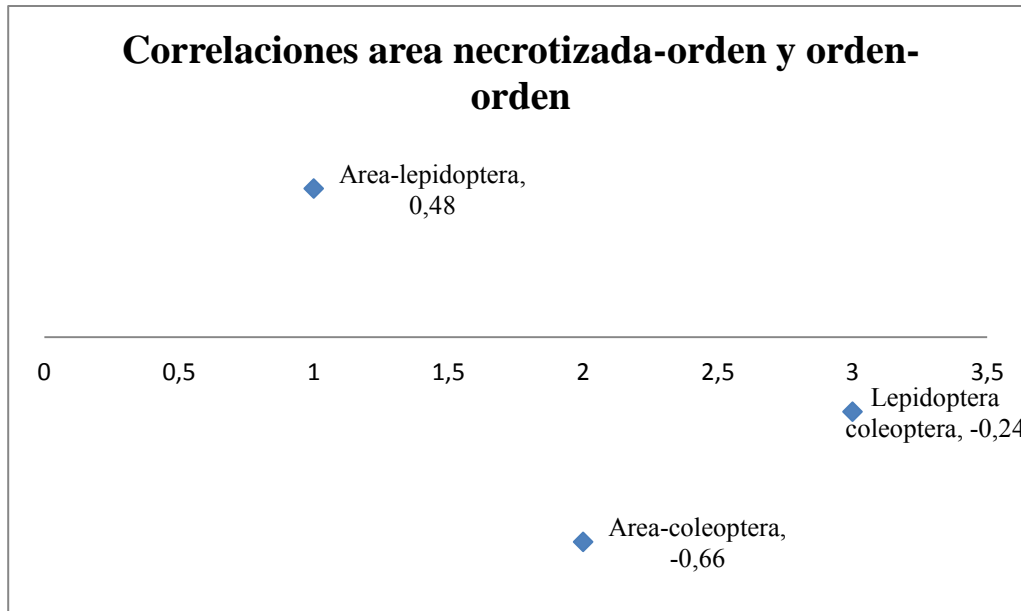
Una correlación moderada fue encontrada entre el área necrosadas y la abundancia de larvas de Lepidoptera ( $r = 0.48$ ,  $p = 0.004$ ), mientras que hubo una correlación negativa entre la abundancia de curculiónidos y dicha área ( $r = -0.66$ ,  $p = 0.001$ ). Una leve correlación negativa fue encontrada entre la presencia de Coleópteros y Lepidópteros en ambos estratos, sin embargo esta no fue significativa ( $r = -0.24$ ,  $p = 0.09$ ).



**Figura 4.6.9.** Valores de correlación entre la altura del estrato y los dos órdenes encontrados en las inflorescencias.

Los datos anteriores sugieren que el uso de la inflorescencia por parte de las larvas de Lepidoptera genera un impacto negativo sobre la misma, mientras que inflorescencias con mayor área saludable cuentan con una mayor concentración de Coleópteros. La correlación negativa entre lepidópteros y coleópteros puede resumir una asociación competitiva leve debido a la dependencia del tipo de recursos que explotan y a la plasticidad de los coleópteros respecto a la parte de los frailejones en que desarrollan distintas actividades. Varias parejas de coleópteros fueron vistas copulando cerca a los cálices de las inflorescencias y viviendo al interior de las flores, mientras que las larvas de lepidópteros siempre se ubicaron al interior de los capítulos e incluso dentro de los cálices y el estípite.

A pesar de la aparente inocuidad de los coleópteros al interior de las inflorescencias, es probable que su efecto de depredación pre-dispersión sobre las semillas ocurra en espeletia como ocurre en otros grupos vegetales (2) afectando de distinta manera a la población. Esta estrategia se puede articular con comportamientos de comunidades de coleópteros en la necromasadedichas.



**Figura 4.6.10.** Correlaciones entre el área necrosada y los órdenes con mayor presencia dentro de la muestra, además de la correlación entre las abundancias de dichos órdenes.

Estas interacciones entre la inflorescencia y los grupos de insectos que de ella se alimentan tienen efectos a nivel poblacional al limitar no solamente el número de descendientes viables de la planta sino su capacidad de dispersión en términos de distancia y resistencia a las condiciones climáticas (Louda 1982), sin embargo Denno (2005), encuentra un impacto positivo por parte de los coleópteros al facilitar el proceso de maduración de la semilla y su posterior desprendimiento. La composición de dichas comunidades varía en función de las distintas especies de plantas disponibles a lo largo de toda la región andina (Jensen 1976), la elevación y sus correspondientes propiedades climáticas son un factor determinante en la arquitectura de dichas comunidades al limitar los recursos disponibles (alimento, refugio, agua) (White 2008). La baja cantidad de depredadores encontrados llama particularmente la atención, pues no corresponde a hallazgos en estudios anteriores en la familia Asteraceae (Romero 2004), sin embargo las abundancias de los grupos depredadores de las inflorescencias se mantuvieron dentro de un rango normal (Romero 2004).

El papel de *E. lopezii* en procesos de vida de las especies encontradas va más allá de la consecución de los recursos alimentarios, ya que se presta como escenario para la copula, refugio para la maduración de individuos y estructuración de las distintas comunidades (Alzáte 2010)

## CONCLUSIONES

Los invertebrados de la inflorescencia de *E. lopezii* se distribuyen entre los visitantes florales, los refugios para cópula y los habitantes de la inflorescencia de los cuales la mayoría son depredadores.

La depredación es la actividad más frecuente pues hay una relación entre la mayor abundancia concentrada en los órdenes predadores y el porcentaje de inflorescencias necrosadas.

Los ecosistemas de páramo constituyen un ambiente hostil para las distintas especies de artrópodos que en ellos habitan, sin embargo microecosistemas como el frailejón son el escenario de una amplia gama de interacciones de distintas comunidades.

La especie de frailejón *Espeletia lopezii* conforma un microhabitat donde los recursos y la protección a las condiciones climáticas del valle Lagunillas en el PNNEC sostienen una comunidad compleja con una amplia gama de interacciones que en el caso de los lepidópteros tiene un efecto negativo sobre los tejidos reproductivos de la planta, mientras que en los coleópteros la relación positiva o negativa con las inflorescencias no es comprobada y su efecto como depredador pre-dispersión es discutido como nocivo o como facilitador de una parte del proceso.

## BIBLIOGRAFÍA

ALZATE F. 2010. Insectos asociados a la necromasa de frailejón (*Espeletia hartwegiana* Cuatrec), en un páramo de Villamaría, Caldas. *Agronomía*: 1(59-68).

AMAT G, VARGAS O. 1991. Caracterización de microhabitats de la artropofauna en páramos del Parque Nacional Natural Chingaza, Cundinamarca, Colombia. *Caldasia*. 16: 539-550.

BONILLA M. A., GUILLOT G. 2003. Prácticas de ecología. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D. C.

JENSEN D. 1976. Changes In The Arthropod Community Along an Elevational Transect In The Venezuelan Andes. *Biotropica*: 8(3).

LOUDA S. 1982. Limitation Of The Recruitment Of The Shrub *Haplopappus squarrosus* (Asteraceae) By Flower and Seed-Feeding Insects. *Journal of Ecology*: 70 (43-53).

OSPINA D. 2001. Páramos de Colombia. Banco de Occidente.

RANGEL-CH., J.O. (Ed.). 2000. Colombia, diversidad biótica III. La región de vida paramuna. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Naturales. Bogotá, Colombia.

ROMERO G. 2004. Beneficial effects of flower-dwelling predators on their host plant. *Ecology*: 85(2).

SENDOYA S.F., BONILLA M.A. La Necromasa de *Espeletia grandiflora* como hábitat de la artropofauna del páramo. En: BONILLA M.A. 2005. Estrategias adaptativas de plantas de páramo y del bosque altoandino en la Cordillera Oriental de Colombia. Ed. Unibiblos. 197 – 224.

STURM 1990. Contribución al conocimiento de las relaciones entre los frailejones (Espeletiinae, Asteraceae) y los animales en la región del páramo andino. *Revista Acad. Colomb. Ci. Exact.* 17(67): 667-685.

TRIPLEHORN C.A. & JOHNSON N.F. 2005. Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects. Thompson Brooks/Cole, USA, 864 pp.

WHITE T. 2008. The role of food, weather and climate in limiting the abundance of animals. *Biological Review*: 83.

WOLFF E. M. 2006. Insectos de Colombia: Guía básica de familias. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 460 pp.

#### 4.7 DIFERENCIAS EDÁFICAS EN EL SUELO ENTRE EL BOSQUE ALTOANDINO Y EL BOSQUE SEMBRADO DE PINO EN EL P.N.N EL COCUY (BOYACÁ, COLOMBIA).

LINA MARCELA FIERRO ROJAS<sup>1</sup>, PAULA VICTORIA FONTANILLA RAMÍREZ<sup>1</sup>

Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

##### RESUMEN

La investigación se realizó en el Parque Nacional Natural El Cocuy (Boyacá) sobre la franja altitudinal entre los 3530 y 3680 msnm y tuvo como propósito analizar los efectos producidos en el suelo por la presencia de plantaciones de pino (*Pinus patula*). Se tomaron muestras de suelo para medir la densidad aparente y el contenido hídrico del suelo actual, también se tomaron muestras de suelo rizosférico para hacer las mediciones correspondientes a materia orgánica. Los datos se analizaron estadísticamente mediante la prueba T-Student, encontrándose diferencias significativas a nivel de porcentaje de agua actual y de agua en saturación, siendo mayor en el bosque nativo; sin embargo no se encontraron diferencias significativas a nivel de densidad aparente. Se concluyó que las plantaciones de pino ejercen un efecto negativo en estos ecosistemas a nivel hídrico.

**Palabras Clave:** *Pinus patula*, Bosque alto Andino, contenido hídrico, suelo.

##### ABSTRACT

The research was carried out in the national natural park El Cocuy (Boyacá) on the altitudinal belt between 3530 and 3680 above sea level, and aimed to analyze the effects on the soil for the presence of pine crops (*Pinus patula*). Soil samples were taken to measure the bulk density as well as soil water content. Rhizosphere soil samples were taken to make measurements in organic matter. Data were analyzed statistically using T-Student test; we found significant differences at the level of percentage of water and water saturation, being higher in the native forest. Also, no significant differences were found in bulk density. It was concluded that pine plantations have a negative effect on these ecosystems at hydric level.

**Keywords:** *Pinus patula*, high Andean forest, water content, soil.



## INTRODUCCIÓN

Debido al choque de la placa del pacífico, contra la placa suramericana y la placa de Cocos en el Caribe se formó una cordillera en Suramérica, Los Andes, importante por su variedad de ecoclimas y diversidad biológica tanto a nivel macro como micro. Se destaca en uno de estos ecoclimas, el bosque altoandino (1.000 a 4.000 m.s.n.m) caracterizado por una alta humedad donde crecen una muy alta variedad de especies vegetales: árboles, arbustos y epífitas. Sustentadas a su vez por un suelo rico en materia orgánica y mineral, lo que son principalmente andisoles; dichos suelos son renovados constantemente por las lluvias, la meteorización de la roca madre y los microorganismos capaces de descomponer, solubilizar e integrar al medio diferentes materiales, indispensables para la vida.

Desde hace varias décadas las actividades relacionadas con plantaciones forestales comerciales de especies exóticas, principalmente de pinos y eucaliptos, han generado controversia en el país sobre la naturaleza y magnitud de sus efectos ambientales, (Sicard. 1998). En lo que tiene que ver específicamente con el establecimiento de especies exóticas, principalmente forestales, en ecosistemas altoandinos, Hofstede (1997) menciona que en muchos países esto ha llegado a ser poco aceptado ecológica, social y políticamente, especialmente con respecto al impacto ambiental que éstas causan y en cuanto a la conservación de la biodiversidad.

Aunque no existe un consenso sobre el impacto de la forestación con especies exóticas, varios estudios han demostrado que las plantaciones de pinos provocan graves impactos ambientales, entre estos efectos se encuentra la transformación del suelo, alterando su estructura y sus funciones, especialmente su función hidrológica. Dichos impactos dependen de la región, el uso anterior de la tierra y el manejo actual de las plantaciones (Hofstede, 2000).

En general, los suelos con plantaciones de pinos se tornan más secos, menos orgánicos, más ácidos y más gruesos; la capacidad de retención y producción de agua disminuye, así como la diversidad vegetal, especialmente la diversidad de plantas epífitas. La alteración en las condiciones microclimáticas y edáficas provoca, a su vez, cambios importantes en la estructura y diversidad de la vegetación natural (Hofstede y Aguirre, 1991). En este sentido Jaramillo *et al.*, (1996) afirman que las acículas de los pinos tienen algún grado de transformación para que le impriman al suelo hidrofobicidad, pero lo más importante es que las raíces tienen incluso mayor hidrofobicidad potencial que las acículas.

El suelo es considerado un espacio heterogéneo definido por sus propiedades físicas, biológicas y químicas que bajo condiciones naturales tiende a desarrollar un equilibrio dinámico entre sus diferentes atributos, lo que genera condiciones adecuadas para una diversidad de organismos transformadores y descomponedores de sustratos. En general se considera que la microbiota del suelo conformada principalmente por bacterias y hongos,

juega un papel importante en la fertilidad, reciclaje de nutrientes, evolución, estructura y conservación del mismo. El suelo del bosque alto andino se caracteriza por tener un contenido alto de materia orgánica y una alta humedad, lo que permite la permanencia de una elevada diversidad de organismos descomponedores y fijadores de determinados nutrientes.

Con este estudio se pretende comprobar el impacto que tiene la introducción de una especie de pino (*Pinus patula*) a nivel de materia orgánica, contenido de agua y estructura del suelo en la franja de bosque altoandino de la Sierra Nevada del Cocuy y se espera encontrar déficit de agua, menos capacidad de retención de la misma y menos cantidad de materia orgánica en el suelo del bosque de pino.

## METODOLOGIA

### Área de estudio

El bosque altoandino estudiado está ubicado en el Parque Nacional Natural el Cocuy, en las coordenadas 06° 26'56.8" N, 072° 21'46.7" W a una altura entre 3530 y 3680 m.s.n.m. El bosque de plantaciones de pinos (*Pinus patula*) está sobre la misma franja altitudinal, a solo unos 500 m de distancia.

### Muestreo

Para medir la densidad aparente y el contenido hídrico del suelo actual y en su punto de saturación, se tomaron diez muestras de suelo con cilindros metálicos de 7 cm de diámetro por 3,3 cm de altura, en cada ecosistema. Luego se almacenaron en bolsas herméticas para conservar lo mejor posible la humedad y se guardaron en una nevera de icopor procurando no alterar la estructura del suelo. También se tomaron dos muestras de suelo rizosférico de ambos ecosistemas a 10 cm de profundidad para hacer las mediciones correspondientes a contenido de materia orgánica y se almacenaron en la misma nevera.

### Procedimientos

Las propiedades hídricas del suelo que se evaluaron fueron la densidad aparente, la cual es una medida de estructura del suelo, el porcentaje de agua actual que es la cantidad de agua presente en el suelo en el momento del levantamiento, y el porcentaje de agua en el punto de saturación. Primero se tomó el peso en fresco de las muestras de suelo con volumen conocido. Para medir el porcentaje de saturación del suelo, es decir, la cantidad de agua que es capaz de retener el suelo, se colocó cada muestra sobre un papel filtro humedecido y este a su vez dentro de un embudo. Se procedió a regar agua con una pipeta de Pasteur, lentamente sobre el suelo hasta observar la primera gota filtrada, que indica su punto de saturación, para entonces tomar de nuevo el peso. Finalmente se dejaron las muestras en un horno a 70°C durante 72 horas. Las anteriores variables edáficas se calcularon según las siguientes formulas:

$$\text{Densidad aparente (DA)} = \text{Peso seco} / \text{Volumen}$$

$$\% \text{ Agua Actual (AA)} = (\text{Peso fresco} - \text{Peso seco}) / (\text{Peso fresco}) \times 100$$

$$\% \text{ Agua en saturacion (AS)} = (\text{Peso saturado} - \text{Peso seco}) / (\text{Peso saturado}) \times 100$$

De las muestras de suelo de la rizosfera, se tomaron 50 g de suelo de cada ecosistema, se depositaron en crisoles y se secaron en el horno a 70°C, se cometieron a peróxido de hidrogeno hasta que reaccionara con todo el CO<sub>2</sub> presente en el suelo y después se introdujeron a una mufla a 600°C durante dos horas. Al final se tomó el peso. La diferencia entre el suelo fresco y el suelo sometido a todo el proceso anterior corresponde a la cantidad de materia orgánica.

### **Análisis de datos**

Se realizó una prueba de T-student a través del paquete de R-commander del programa R versión 2.13.1, para encontrar las diferencias significativas entre las medias de las propiedades hídricas de los suelos en ambos tipos de bosque, el bosque alto andino y el bosque de pinos. Se realizaron previamente los procedimientos estadísticos necesarios como la prueba de Levene para validar la homogeneidad de varianzas. Se realizó un análisis de componentes principales con el *software* PAST 2.12 para Windows para las variables edáficas.

## **RESULTADOS**

Al analizar una comparación del comportamiento de los datos de factores edáficos entre bosque altoandino y bosque sembrado de pino, las desviaciones estándar en las propiedades hídricas son similares, contrarrestado con la cantidad de materia orgánica donde los valores oscilan más, Cortés *et al.*, (1990) reporta que debajo de plantaciones exóticas, principalmente de pino, en Neusa (Cundinamarca), a 3.000 msnm, los suelos son más secos, menos humíferos y la descomposición de la materia orgánica es inhibida por la hojarasca ácida cuticulosa, lo que explica que los valores de materia orgánica en bosque de pino sean menores que en bosque alto andino (Tabla 4.7.1). Debe señalarse que debido a que el tamaño muestral no es suficiente para realizar una inferencia estadística significativa, los resultados arrojados pueden estar muy sesgados y que es necesario tomar más muestras si se desea comprobar esta hipótesis.

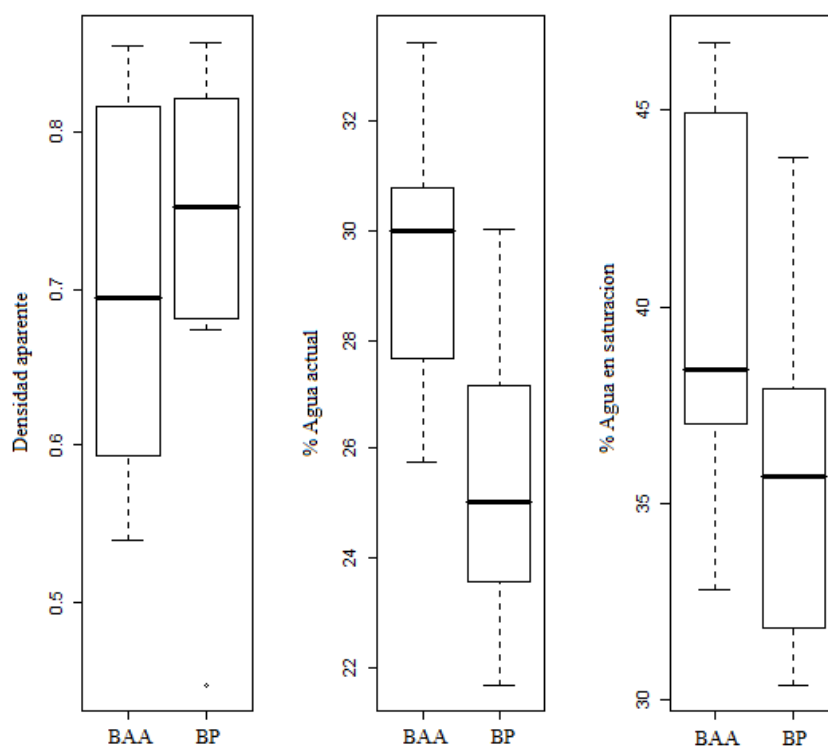
}

BAA: Bosque altoandino; BP: Bosque de pinos, DA: Densidad aparente; AA: % de agua actual; AS: % de agua en saturación; MO: Materia Orgánica (en 50 g de suelo)

	BAA				BP			
	DA	AA	AS	MO	DA	AA	AS	MO
Media	0.702	29.644	39.886	46.035	0.733	25.216	35.693	45.705
Mediana	0.695	29.991	38.405	46.035	0.752	25.014	35.675	45.705
Desviación estándar	0.109	2.491	4.711	5.565	0.119	2.532	3.958	0.007

**Tabla 4.7.1.** Resumen estadístico de las variables edáficas de ambos tipos de bosque

A través de diagramas de cajas (Fig. 4.7.1) podemos observar las medias y las varianzas, y determinar en qué tipo de bosque cada variable es mayor. Se puede apreciar que la densidad aparente parece ser mayor en el bosque de pinos, mientras que el porcentaje de agua actual y de agua en el suelo saturado parece ser mayor en el bosque nativo.



**Figura 4.7.1.** Comparación de medias de las diferentes variables edáficas evaluadas (densidad aparente, % de agua actual, % de agua en saturación) en bosque alto andino (BAA) y bosques de pinos (BP)

Para proceder a comprobar si existen diferencias significativas entre las medias de cada tipo de bosque respecto a la densidad aparente, el porcentaje de agua actual en el suelo y el porcentaje de agua en saturación, se comprobó homogeneidad por medio de una prueba de Levene, robusta al supuesto de normalidad. Los resultados para cada variable se observan en la tabla 4.7.2.

Con grados de libertad $g.l = (n-2)$ , con un intervalo de confianza de 0,95.				
	g.l	Valor F	P- valor	Homogeneidad de varianzas
Densidad aparente	18	0.0490	0.8273	Si
% Agua actual	18	7.00E-04	0.9786	Si
% Agua en saturación	18	0.2769	0.6052	Si

**Tabla 4.7.2.** Prueba de Homogeneidad de varianzas para cada variable evaluada

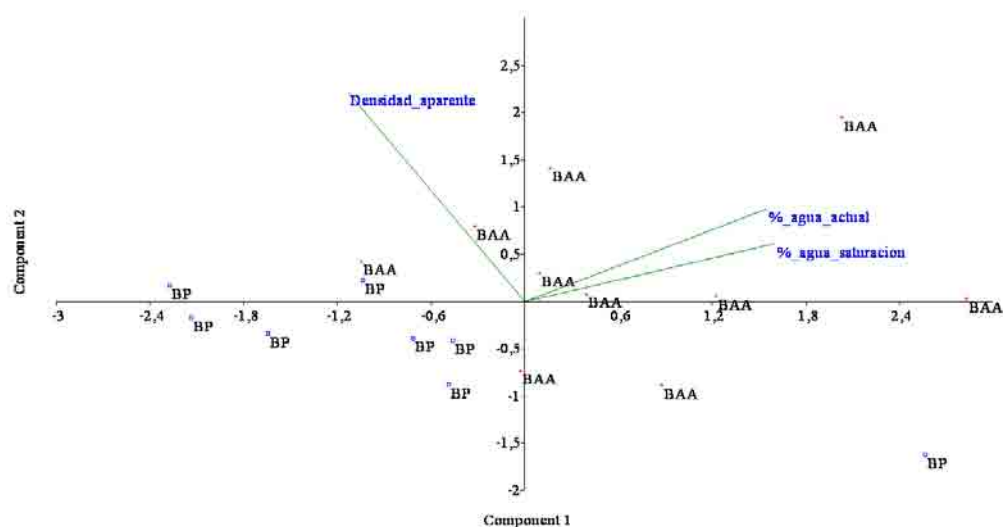
Los resultados en la prueba de T-student (Tabla 4.7.3), comprueban que hay diferencias significativas en los factores de porcentaje de agua actual y en saturación, entre bosque sembrado de pino y bosque alto andino nativo, mientras que a nivel de densidad aparente no. La densidad aparente se refiere a la relación entre el peso y la unidad de volumen de una masa de suelo, incluyendo su espacio poroso, que a su vez se relaciona directamente con la textura, estructura, retención y movimiento de agua y calor específico. Un valor alto en la densidad aparente es un índice del grado de compactación del suelo (Amézquita y Navas, 1993). La razón por la que no hay diferencias significativas en la densidad aparente puede deberse a pérdidas en la textura, estructura y compactación del suelo por el método de transporte de las muestras, pero es más probable que simplemente se requiera un mayor número de muestras. Como se esperaba, el suelo de pino contiene menos agua y su capacidad de retención es significativamente menor que en el bosque nativo

Valor  $C_{\text{crítico}} = 2,101$ . Con grados de libertad  $g.l = (n-2)$ , asumiendo homogeneidad de varianzas, con un nivel de confianza de 0,95.

	g.l	Valor T	P- valor	Diferencias significativas entre medias
Densidad aparente	18	-0.61	0.5495	NO
% Agua actual	18	3.942	0.000955	SI
% Agua en saturación	18	2.155	0.04496	SI

**Tabla 4.7.3.** Resultados prueba T-student para cada variable edáfica evaluada

En el análisis de componentes principales (CCA) de las variables edáficas (Figura 4.7.2) se evidencia la correlación que hay entre porcentaje de agua actual y porcentaje de saturación, mientras que la densidad aparente se relaciona negativamente. Se puede ver que los factores edáficos son variables explicativas del bosque altoandino, mas no del bosque de pinos. Esto debido a la variabilidad existente en el primero respecto al segundo.



**Figura 4.7.2.** Análisis de componentes principales (CCA) de las variables edáficas

## DISCUSIÓN

Las elevadas tasas de transpiración de las especies utilizadas en las plantaciones, debido a sus estomas de gran tamaño y bajos potenciales osmóticos, conducen la pérdida de la capacidad hídrica del suelo. Cortés *et al.* (1990) y Hofstede (1997) coinciden en afirmar

que las especies como el pino, durante su crecimiento, consumen demasiada agua y disminuyen el rendimiento hídrico, secando finalmente el suelo. Posiblemente, de acuerdo a Boch & Hewlet (1982), porque las plantaciones forestales presentan una evapotranspiración mayor y una escorrentía reducida en comparación con vegetación baja. Según Calder (1996) el efecto de la transpiración aumentada se da también por el sistema radical más profundo.

El hecho de que el suelo tienda a secarse por el efecto de las plantaciones implica que los suelos pierden la conexión entre partículas minerales y orgánicas, se disminuye el contenido de materia orgánica y los suelos se transforman de retenedores de agua a repelentes (Hofstede y Aguirre, 1999). En este sentido, Jaramillo *et al.* (1996) afirman que las acículas de los pinos tienen algún grado de transformación para que le impriman al suelo hidrofobicidad, pero lo más importante es que las raíces tienen incluso mayor hidrofobicidad potencial que las acículas.

No solamente las hojas, raíces y semillas, sino el tronco y en general toda la planta es completamente resinosa; la resina según Chacón (1997) no es tan problemática, el problema son los fenoles, compuestos que todavía no están estudiados y que afectan la biota del suelo. Eso es lo que limita el crecimiento de otras especies y degrada el suelo. En lo que tiene que ver con la materia orgánica, se espera que la descomposición de la hojarasca de *Pinus* spp. sea lenta por la pobre calidad, como alta relación C/N y altos contenidos de polifenoles del material (Hofstede & Aguirre 1999).

También existe un impacto en la dinámica de la materia orgánica. El cambio en la calidad del material orgánico muerto de una vegetación herbácea de los páramos hasta la hojarasca de árboles de una plantación, puede modificar procesos de descomposición y formación del suelo. En Alaska se ha encontrado que la formación de suelos en cenizas recientes bajo un régimen de temperatura crítica condujo a dos distintos tipos de suelo: en bajo bosque fueron encontrados podzoles, mientras que en una vegetación de pastos resultó la formación de andisoles (Shoji *et al.*, 1988), que es el tipo de suelo que determina los beneficios del páramo (Hofstede y Mena, 2000). En el caso del establecimiento de plantaciones con árboles con una calidad de la hojarasca pobre (como el caso de las coníferas) en áreas anteriormente cubiertas por una vegetación de pastos, se observó la degradación de andisoles hacia podzoles. Efectivamente, en las plantaciones de Pinos en Ecuador edafólogos han identificado micropodzoles (Sevink, com. pers.).

En las revisiones de la literatura no hay una tendencia clara de los efectos de silvicultura (incluyendo preparación del sitio y manejo por fuegos) sobre la reserva de carbono en el suelo, existen tantos estudios que indican una disminución como los que reportan un aumento (Cannel, 1996).

Generalmente se espera que la descomposición de hojarasca de *Pinus spp.* es lenta, por la pobre calidad (relación C/N alta, altos contenidos de polifenoles) del material. Son, sin embargo, características que también están reportadas para especies de bosques nativos de la alta montaña. Hay muy pocos estudios comparativos de descomposición de plantaciones respecto a vegetación natural a gran altura. Pero si existe una preocupación relacionada a las características típicas de los suelos del páramo en buen estado de conservación. En los Andisoles existen complejos entre partículas minerales y orgánicas que retienen el agua y que protegen el humus a descomposición. Por esto, estos suelos tienen un alto contenido de materia orgánica y retienen tanto el agua (Podwojeski, 2000). Sin embargo, ya que las plantaciones de *Pinus sp.* tienen un mayor uso de agua, el suelo tiende a secarse. Así el costo de tener un beneficio económico por lo que se cultiva encima del suelo, es la pérdida de dos importantes beneficios ambientales del suelo del páramo agua y carbono (Hofstede y Aguirre, 1999).

## BIBLIOGRAFÍA

AMÉZQUITA, C.E. & J. NAVAS. 1993. Métodos para la determinación de algunas propiedades físicas de los suelos. En: Rojas, L.A. (Ed.) Manual de suelos plantas y aguas para riego.

ICA. Bogotá. pp. 103 - 134.

HOFSTEDE, R. 1997. *El impacto ambiental de plantaciones de Pinus en la Sierra del Ecuador. Resultados de una investigación comparativa.* Amsterdam: Proyecto EcoPar - Universidad de Amsterdam. 54 pp.

HOFSTEDE, R. & N. AGUIRRE. 1999. biomasa y dinámica del carbón en relación con las actividades forestales de la sierra del ecuador. en: g. medina, p. mena (eds.).

HOFSTEDE, R. 2000. Aspectos técnicos ambientales de la forestación en los páramos. En: Medina G., C. Josse y P. Mena (Eds.). La forestación en los páramos. Serie Páramo 6. GTP/Abya Yala. Quito

JARAMILLO, J. & O. F. HERION.1991. Evaluación de la repelencia al agua de algunos andisoles de Antioquia bajo cobertura de *Pinus patula*. Acta Agronómica 41 (4): 79-85.

SICARD L. T.; SUÁREZ C., A. Y CASTAÑEDA T., A. 1998. *Efectos sobre el suelo de plantaciones comerciales de Pinus patula y Ecalyptus grandis en crecimiento.* Informe preliminar del componente Suelo y Aguas del Proyecto de evaluación del Impacto Ambiental de las Plantaciones Forestales en Colombia. Santafé de Bogotá: CONIF. 51 pp.



#### **4.8 ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE ALTURAS EN UNA POBLACIÓN DE *Espeletia lopezii*, ASOCIADA A LA CAPACIDAD DE CAMPO Y DENSIDAD APARENTE DEL SUELO, EN DOS SITIOS DEL RIO PLAYITAS.**

NICOLÁS MOLANO GONZALEZ<sup>1</sup>, FABIAN GIOVANNY MARQUEZ NIÑO<sup>1</sup>

Biología, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias  
Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

##### **RESUMEN**

En este trabajo se estudiaron las distribuciones de alturas de una población de *Espeletia lopezii* ubicada en la ribera del Río Playitas en el municipio de Güicán, cercano a su nacimiento. Se levantaron dos transectos ubicados en diferentes sitios y con diferentes regímenes de inundación y en cada uno se realizaron censos de los individuos y se midieron sus alturas. Adicionalmente se tomaron muestras de suelo en ambos sitios y la capacidad de campo y densidad aparente fueron determinadas. Los resultados muestran que los dos sitios estudiados poseen diferencias significativas en términos de las dos variables edáficas estudiadas y en términos de la densidad de individuos con alturas menores a 50cm. Es posible que dichas diferencias se deban a condiciones diferenciales en ambos sitios, las cuales afectan la tasa de germinación de la población de *Espeletia lopezii*.

**Palabras clave:** *Espeletia lopezii*, Capacidad de campo, Densidad aparente, Río Playitas.

##### **ABSTRACT**

In this work we studied the distributions of heights of a population of *Espeletia lopezii* located on the riverside in Playitas River, Güicán Township, near its birth. Two transects were located in different sites with different flooding regimes and in each one the number of individuals were obtained and their heights were measured. Additionally soil samples were taken at both sites and field capacity and bulk density were determined. The results shows that the two sites studied have significant differences in terms of the two studied soil variables and in terms of the density of individuals with heights less than 50cm. It is possible that these differences are due to differential conditions at both sites, which affect the germination rate of the population of *Espeletia lopezii*.

**Keywords:** *Espeletia lopezii*, bulk density, field capacity, Playitas River

##### **INTRODUCCIÓN**

Las características edáficas tienen un papel importante en el tipo de comunidades vegetales establecidas, por ejemplo, la separación espacial de las especies de plantas de acuerdo con los factores del suelo es bien conocida (Warming 1909; Ellenberg 1939; Yang & Lowe 1956; Whittaker & Niering 1965; Austin & Austin 1980; Goldberg 1982; Nagy & Proctor

1997; Bigelow & Canham. 2002), a su vez dichas propiedades tienen relaciones entre sí que derivan de la dinámica del suelo y dependen de las condiciones geomorfológicas y climáticas.

La densidad aparente es un parámetro usado para medir el estado de compactación del suelo y se define como la masa de suelo seco en un volumen de suelo determinado (Brady 1984; Avnimelech *et al.* 2001); en suelos que presentan mayor estado de compactación se registran mayores valores de densidad aparente con una consecuente reducción en la porosidad, lo que tiene implicaciones en la capacidad de retención de agua y en la cantidad de oxígeno disuelto. La densidad aparente está relacionada, directa o indirectamente con la consistencia del sedimento, su vulnerabilidad de erosión, suspensión y otras propiedades mecánicas, además tiene una relación inversa con la concentración de carbono orgánico (Avnimelech *et al.* 2001).

El concepto de capacidad de campo ha permitido una aproximación empírica al flujo de agua en el suelo a una macroescala; es una medida del contenido de humedad en el que las fuerzas de gravedad y capilaridad están exactamente balanceadas en un volumen macroscópico de suelo dado (Gabrielle & Bories, 1999); por otra parte, el contenido de materia orgánica también tiene una fuerte influencia en la capacidad de retención de agua por parte del suelo, y se manifiesta en una relación directa que mantiene con la capacidad de campo, además la textura limita la aplicación del concepto de capacidad de campo ya que éste difícilmente aplica para suelos arenosos debido que estos tienen una alta conductividad hidráulica, aunque da buenos resultados en suelos de textura fina (Gabrielle & Bories, 1999), donde la retención es mayor.

En este trabajo estudiamos las posibles relaciones entre las distribuciones de alturas de dos poblaciones de *Espeletia lopezii*, asociando las variables edáficas de capacidad de campo y densidad aparente, las cuales diferencian ampliamente las dos poblaciones de estudio. Se encontró que estas diferencias son mayores en términos de densidad de individuos en alturas bajas (de 0 a 50 cm) mientras que en individuos con mayores alturas no se encontraron diferencias entre las dos poblaciones.

## MATERIALES Y MÉTODOS

*Área de estudio:* el Parque Nacional Natural Nevado del Cocuy (PNNEC) es una zona protegida que se encuentra en la cordillera oriental en el departamento de Boyacá, tiene alturas que varían entre 600 y 5.330 m.s.n.m, en el flanco occidental de la sierra se pueden distinguir los biomas: Super páramo, páramo, bosque altoandino y zonas con intervención antrópica. Se muestrearon dos sectores de páramo cerca al río Playitas

Rivera del río playitas (T1): zona pantanosa bajo la influencia del río playitas, junto al camino de ascenso a los Ritakuwas desde las cabañas Kanwara cerca al pluviómetro de la red de observación glaciaria sierra nevada del Cocuy, Güicán o Chita, IDEAM. Se observa gran cantidad de briófitos y escasa presencia de gramíneas.

Explayación de la ladera (T2): el sector presenta una mayor elevación que en el que se realizó el transecto 1, adicionalmente no se encuentra bajo el efecto del río por lo que no es pantanoso, hay una menor cantidad de briófitos en comparación con el otro sector, así como la presencia de rosetas con espinas. Se encontraron rastros de caballo por lo que posiblemente está bajo efectos de pastoreo.

*Muestro de las poblaciones de Espeletia Lopezii:* en cada una de las áreas de estudio se realizaron transectos de 36 x 3 m<sup>2</sup> los cuales se dividen en cuadrantes de 3x3 m<sup>2</sup>, dando un total de 12 cuadrantes consecutivos en cada sitio. Dichos cuadrantes se ubicaron en dirección paralela al río para evitar gradientes de humedad o de pendiente en los transectos estudiados. En cada cuadrante se realizó un censo de todos los individuos encontrados, registrando para cada uno su altura en centímetros. De esta forma se obtienen conteos de individuos y una distribución de alturas para cada cuadrante.

*Muestras de suelo:* se recolectó una muestra de suelo cada 3 cuadrantes, para un total de 4 por transecto utilizando un palin para remover la vegetación y un tubo de PVC para contener cada muestra, que fueron posteriormente almacenadas en bolsas resellables.

En el laboratorio se determinó la densidad aparente de cada muestra mediante la determinación del peso seco de un volumen conocido de suelo y calculándola con la siguiente ecuación: Densidad aparente = Peso seco/vol. Se determinó la capacidad de campo de cada una de las muestras utilizando la siguiente fórmula: capacidad de campo = (peso a capacidad de campo – peso seco)/peso seco. Una parte de la muestra fue puesta en un embudo con papel filtro humedecido y se le adicionó agua con una pipeta hasta llevarla a capacidad de campo (cuando goteara desde el embudo), en ese momento se tomó el valor del peso a capacidad de campo; la misma masa de suelo se secó en una estufa, después de lo cual se midió el peso seco.

Para los análisis estadísticos, todas las rutinas estadísticas se realizaron en el software R versión 2.13.1

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

*Caracterización de los suelos por medio de la capacidad de campo y densidad aparente.*

Los resultados de la caracterización de los dos lugares de estudio se presentan en la

Medidas	Estadísticas	T1	T2
CC	Min.	5,937	3,283
	1st Qu.	5,981	3,723
	Median	7,514	3,957
	Mean	7,588	3,912
	3rd Qu.	7,997	4,146
	Max.	10,508	4,449
	desv	1,8714281	0,48442739
DA	Min.	0,09857	0,1971
	1st Qu.	0,11571	0,2154
	Median	0,13571	0,225
	Mean	0,132	0,2275
	3rd Qu.	0,15	0,2371
	Max.	0,17	0,2629
	desv	0,02824095	0,02713972

Tabla 4.8.1.

Medidas	Estadísticas	T1	T2
CC	Min.	5,937	3,283
	1st Qu.	5,981	3,723
	Median	7,514	3,957
	Mean	7,588	3,912
	3rd Qu.	7,997	4,146
	Max.	10,508	4,449
	desv	1,8714281	0,48442739
DA	Min.	0,09857	0,1971
	1st Qu.	0,11571	0,2154
	Median	0,13571	0,225
	Mean	0,132	0,2275
	3rd Qu.	0,15	0,2371
	Max.	0,17	0,2629
	desv	0,02824095	0,02713972

**Tabla 4.8.1.** Estadísticas de resumen para la capacidad de campo (cc) y densidad aparente (DA) en los transectos 1 y 2 (T1 y T2)

Para determinar si existen diferencias significativas en los sitios de estudio se realizaron diferentes pruebas estadísticas para poner a prueba esta hipótesis. A continuación presentamos los resultados (Tabla 4.8.2).

Prueba	p-valor
ANOVA en CC	0,006893
ANOVA en DA	0,00136
Kruskal-Wallis en CC	0,01431
Kruskal-Wallis en DA	0,01431
Hotelling T2	4,23E-02

**Tabla 4.8.2.** Pruebas estadística poniendo a prueba la hipótesis de igualdad de medias o distribuciones entre los dos sitios estudiados. (En los ANOVA se evaluaron los supuestos del modelo con éxito)

Todas las pruebas confirman, al menos con un 95% de confianza, que los suelos difieren en las medidas de capacidad de campo y densidad aparente. La capacidad de campo es más del doble en el sitio 1 que en el sitio 2 y la densidad aparente del sitio 1 es mucho menor a la del sitio 2. También cabe destacar el hecho de que la variación en las medidas tomadas en menor el sitio 2 que en el 1 (ver

Medidas	Estadísticas	T1	T2
CC	Min.	5,937	3,283
	1st Qu.	5,981	3,723
	Median	7,514	3,957
	Mean	7,588	3,912
	3rd Qu.	7,997	4,146
	Max.	10,508	4,449
	desv	1,8714281	0,48442739
DA	Min.	0,09857	0,1971
	1st Qu.	0,11571	0,2154
	Median	0,13571	0,225
	Mean	0,132	0,2275
	3rd Qu.	0,15	0,2371
	Max.	0,17	0,2629
	desv	0,02824095	0,02713972

Tabla 4.8.1)

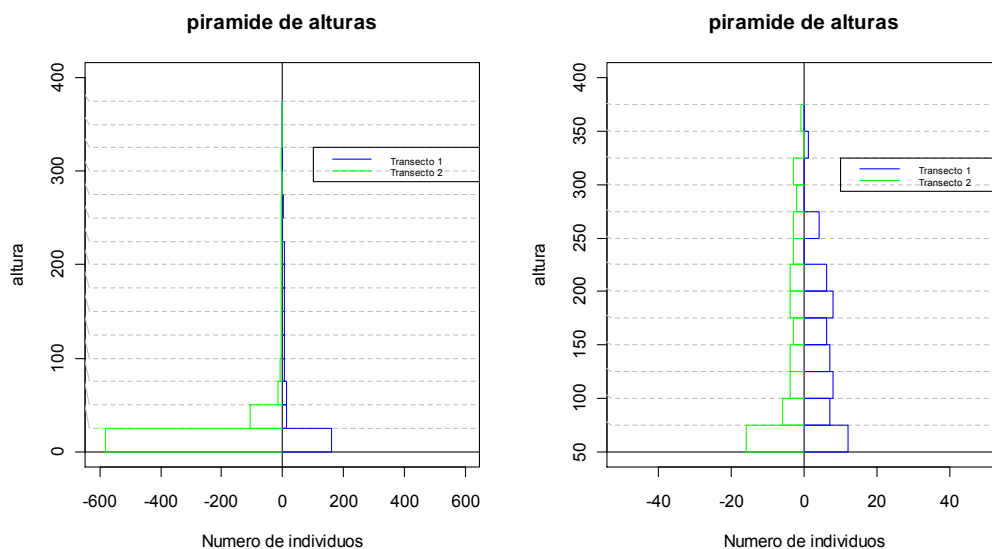
*Caracterización de los frailejonales en los sitios de estudio.*

A continuación se presentan las estadísticas descriptivas del porcentaje de suelo desnudo (Psd) tomados por cuadrante y las alturas registradas en los dos transectos de estudio. En la Tabla 4.8.3 se observa como el transecto 1 posee una mayor cobertura vegetal en sus suelos (bajos Psd's) en comparación al transecto 2 en los cuales se observan mayores valores de Psd. también se observa cómo hay una mayor densidad de individuos en el transecto 2 en relación al transecto 1. Por otro lado las grandes diferencias entre la media y la mediana de las alturas en ambos sitios revelan que las distribuciones son bastante sesgadas lo que amerita un estudio más detallado de estas alturas.

Estadísticas	Psd		Altura (cm)		Conteos	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Min.	0	1	0	0	6	35
1st Qu.	0,75	1,75	3	6	13,75	49,75
Median	2	5	6	14	20	57,5
Mean	2,5	9,25	41,02	23,46	19,5	61,92
3rd Qu.	2,225	10	50,5	23	24,75	75,5
Max.	10	50	340	362	30	97
desv	3,030152	13,605647	67	42,88119	7,267612	17,80939

**Tabla 4.8.3.** Estadísticas de resumen para el porcentaje de suelo desnudo (Psd), las alturas y los conteos de individuos por cuadrante registradas en los transectos de estudio.

La estructura de alturas de las muestras obtenidas en cada transecto se presentan en la Figura 4.8.1. Se observa que en ambos transectos las alturas predominantes están entre 0 y 75 cm, sin embargo la cantidad de individuos en estas alturas en el transecto 2 es mucho mayor a la del transecto 1.



**Figura 4.8.1.** pirámides de altura para cada transecto estudiado, los grupos de altura formados son grupos de 25 cm de amplitud. Azul corresponde a los datos del transecto 1 (valores a la derecha) y el verde a los del transecto 2 (valores a la izquierda). Izquierda: todos los grupos de alturas, Derecha: grupos de altura mayores a 50 cm de altura.

Sin embargo en el transecto 1 es mayor la cantidad de individuos entre alturas de 100 a 225 cm es algo mayor con respecto al transecto 2, aunque este mismo transecto presenta más individuos en grupos de alturas superiores a 225 cm que el transecto 1 en el cual estas grandes alturas son escasas.

Los resultados en las variables de estudio parecen sugerir diferencias estructurales en los dos sitios por lo cual usamos la prueba de Kruskal-Wallis (no se usan pruebas paramétricas por que los supuestos de normalidad no se cumplen en estas variables) en las 3 variables para poner a prueba estas diferencias, los resultados se presentan en Tabla 4.8.4. Todas las variables parecen tener diferencias significativas en los 2 sitios de estudio.

Variable	p-valor Kruskal-Wallis
Psd	0,04388
alturas	0,005246
conteos	3,19E-05

**Tabla 4.8.4.** p-valores para la prueba de Kruskal-Wallis en las 3 variables de estudio. El factor de estudio son los dos sitios

Adicionalmente para probar si existen diferencias significativas en las densidades de individuos en uno y otro lugar, hicimos pruebas sobre las densidades en cuatro categorías de alturas, para cada categoría se obtienen el número de individuos encontrados en cada uno de los 12 cuadrantes muestreados en cada uno de los 2 transectos. Con estos datos para cada categoría de altura se pone a prueba la hipótesis de diferencias entre las densidades de individuos en uno y otro transecto. Adicionalmente para cada categoría se construyó una regresión lineal entre las densidades de individuos y las variables CC y DA, con el fin de asociar las estructuras de alturas directamente a las variables edáficas. Los resultados se presentan en la

Categoría de altura (cm)	Kruskal-Wallis	ANOVA	
		CC	DA
0-50	3,17E-05	0,02096	0,03637
50-100	0,66942626	0,8305	0,9282
100-200	0,03082648	0,1675	0,1161
200-400	0,4485691	0,2823	0,9188

Tabla 4.8.5

Categoría de altura (cm)	Kruskal-Wallis	ANOVA	
		CC	DA
0-50	3,17E-05	0,02096	0,03637
50-100	0,66942626	0,8305	0,9282
100-200	0,03082648	0,1675	0,1161
200-400	0,4485691	0,2823	0,9188

**Tabla 4.8.5.** Pruebas estadísticas evaluando el efecto del lugar y las variables edáficas en la densidad de individuos en 4 diferentes categorías de alturas. En la prueba de Kruskal-Wallis se toma como factor los 2 transectos. El Anova se realiza sobre un modelo de regresión en el cual se asocia la variable dependiente densidad de individuos con las variables edáficas capacidad de campo (CC) y densidad aparente (DA). (En los ANOVA se evaluaron los supuestos del modelo con éxito)

Como se puede apreciar las diferencias en estructura de alturas, reflejadas en la densidad de individuos se presentan en el grupo de alturas bajas (0-50 cm), mientras que en las otras categorías el efecto del transecto o de las variables edáficas no es significativo en la densidad de individuos.

En el transecto 1 la cercanía al río y la pendiente cercana a cero hacen que sea un sector propenso a inundaciones y por tanto que presente unas características edáficas derivadas de este hecho, en estos sedimentos hidratados hay solo un pequeño porcentaje de materia seca en un volumen dado y la densidad aparente es apreciablemente más baja. Esto explicaría por qué los valores de densidad aparente son menores en dicho transecto, la alta humedad del suelo también permite el asentamiento de una mayor cantidad de criptógamas en relación con el transecto 2, lo que da como resultado un menor porcentaje de suelo desnudo y una mayor acumulación de materia orgánica. Además, la densidad en el transecto 1 también permite una mayor capacidad para retener agua gracias a una mayor porosidad.

Las diferencias en las características edáficas de los dos transectos se pueden relacionar con observaciones geomorfológicas, en especial la notable influencia del río playitas en uno de ellos, a su vez estas variables están correlacionadas con la densidad de individuos pero solo en las alturas más pequeñas, sin embargo no es posible demostrar si esta correlación es causal, en términos conceptuales por la ausencia de estudios fisiológicos en los que se relacione el crecimiento con estas variables. Por otro es posible hipotetizar que las diferencias en la densidad de individuos con alturas menores a 50 cm son el resultado de diferentes tasas de germinación, viabilidad de semillas y mortalidad de individuos; Pannier muestra que ciclos repetidos de secado y mojado aumentan los valores de germinación en *Espeletia timatensis*. (Guariguata y Azocar. 1988), si asumimos una tendencia similar para *Espeletia Lopezii* y dado que en el transecto 1 la influencia del río no permite un periodo de secado y que en el T2 el suelo puede ser fácilmente secado por el sol y el viento y



posteriormente humedecido por la lluvia o la niebla, se puede señalar que es posible que la tasa de germinación del T1 sea menor que la del T2 y que esta condición sea la responsable de la diferencia en la densidad de individuos de alturas menores a 50 cm entre los dos transectos, en adición se podría decir que no hay argumentos para pensar que la mayor capacidad de campo y menor densidad aparente del T1 son responsables de una menor tasa de germinación, y que la correlación entre las variables edáficas y la densidad de individuos es más una consecuencia de la estructura geológica de los sitios de estudio que un efecto causal, que resaltando la importancia de el efecto que tiene el rio directamente tanto en las variables edáficas como en las variables bióticas estudiadas. Se sugiere hacer estudios de tipo fisiológico para determinar la verdadera causa de los patrones observados.

## BIBLIOGRAFÍA

AUSTIN, M.P. & AUSTIN, B.O. Behaviour of experimental plant communities along a nutrient gradient. *Journal of Ecology* (68) 891 -918.1980.

AVNIMELECH YORAM, RITVO GAD, LEON MEIJER E., KOCHBA MALKA. Water content, organic carbon and dry bulk density in flooded sediments. *Aquacultural Engineering* (25) 25–33. 2001.

BIGELOW SETH W., CANHAM CHARLES D. Community organization of tree species along soil gradients in a northwestern USA forest. *Journal of Ecology* (90) 188-200. 2002.

ELLENBERG H. On composition, site, and productivity in mixed Beech-Oak forests on moist soils in northwest Germany. *Ebenda* (5), 3-155. 1939.

GABRIELLE B and BORIES S. Theoretical Appraisal of Field-Capacity Based Infiltration Models and their Scale Parameters. *Transport in Porous Media*( 35) 129–147. 1999.

GOLDBERG, D.E. The distribution of evergreen and deciduous trees relative to soil type: an example from the Sierra Madre, Mexico, and a general model. *Ecology*, (63) 942-951. 1982.

GUARIGUATA M., AZOCAR A. 1988. Seed Bank Dynamics and Germination Ecology in *Espeletia timotensis* (Compositae), an Andean Giant Rosette. *Biotropica*. Vol 20. No 1. 54-59.

MONTGOMERY D., PECK E.Y., VINING G. 2006.Introduction to linear regression analysis. John Wiley and son.

NAGY, L. & PROCTOR, J. 1997. Soil Mg and Ni as causal factors of plant occurrence and distribution at the Meckle Kilrannoch ultramafic site, Scotland. *New Phytologist* (135) 561-566.

R Development Core Team (2011). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

RENCHE, ALVIN C. *Multivariate Statistical Inference and Applications*. John Wiley & Sons. 1998.

WARMING E. *Oecology of Plants*. Clarendon Press, Oxford. 1909

YANG, T.W. and LOWE, C.H. Jr. Correlation of major vegetation climaxes with soil characteristics in the Sonoran Desert. *Science*, 123, 542. 1956.

#### **4.9 RELACION ENTRE PLANTAS CASMOFITAS Y COMOFITAS EN ESCARPE FRENTE A CABAÑAS KANWARA (PNNEC)**

FREDY MORENO BARRAGÁN\*

\*Estudiante. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

## **RESUMEN**

Para un área de 5 m<sup>2</sup> en un escarpe situado a 4089 msnm y con una pendiente de aproximadamente 80% en un ecosistema de subpáramo se estudio la relación entre las plantas casmófitas y comófitas con el fin de establecer interacciones entre los tipos de plantas y como se relacionan con la sucesión de suelos. Queda claro que las casmófitas son el sustento de las comófitas y el principal aportante de materia orgánica a los escasos suelos del escarpe.

## **ABSTRACT**

A 5 m<sup>2</sup> area, located in an escarpment at 4089 m and 80% slope, in subpáramo ecosystem. The relationship between comophytes and casmophytes plants to establish interactions between the types of plants and as relate to the succession of soils. It is clear that casmophytes are the lifeline of the comophytes and the main contributor of organic matter to poor soils of the escarpment.

## **INTRODUCCIÓN**

En los escarpes la presencia y tipo de vegetación esta sujeta a numerosas variables. La geología, el clima, la insolación, la pendiente y la estabilidad del sustrato son los determinantes de la distribución de vegetación en estas zonas. En el Parque Nacional El Cocuy (PNNEC) se llevo acabo un estudio sobre la relación entre la vegetación casmófitas y comófitas en un escarpe situado a 4089 msnm y con una pendiente de cerca del 80%. En un ambiente de sub paramo y con un escaso suelo se esperarían una muy poca diversidad en la vegetación sin embargo se encontró una alta diversidad teniendo en cuenta el tamaño del área muestreada.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se tomaron 20 cuadrantes de 50x50 cm en los cuales se estableció los porcentajes de área cubierta por vegetación y el área descubierta. Se identificaron las especies encontradas y se

estableció el área de cobertura de cada una para el área total de estudio. El área cubierta por cada individuo se halló aproximando con el área de una elipse mediante la medición del diámetro mayor y el diámetro menor. Una vez medida la cobertura por individuo se sumaron por cada especie para toda el área estudiada. Las especies identificadas se clasificaron en casmófitas y comófitas según sus adaptaciones para la vida en roquedales, escarpes o acantilados. Con los datos de individuos, área de cobertura y número de especies se estimaron los índices de diversidad.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El área total estudiada fue 5 m<sup>2</sup> correspondiente a los 20 cuadrantes cada uno de 2500 cm<sup>2</sup>. El 52,6 % del área descubierta, el restante 47,4% se lo reparten entre 15 especies encontradas sin que haya una dominancia marcada por parte de ninguna especie.



**Figura 4.9.1** Porcentajes de las especies presentes en el área de estudio

Al clasificar las plantas en casmofitas y comofitas según sus adaptaciones para supervivencia en ambientes de escarpes, roquedales o acantilados podemos ver otra tendencia, en donde dominan claramente las comofitas. El 22.6 % de la cobertura vegetal es de casmofitas y el 77.4% de comofitas. La diversidad de comofitos es mucho mas alta cuenta con 13 diferentes especies, frente a las dos especies de casmófitas. Se observa que las características de las plantas casmófitas del escarpe son comunes; plantas pequeñas con un crecimiento paralelo a la superficie que ofrece muy poca resistencia a las condiciones climáticas (viento, lluvia) y a la escorrentía, un crecimiento en capas en donde las capas mas recientes cubren necromasa de la planta.

area total 25.000cm	% para toda el area
1. asteracea	2,07
2. bortraminaceae	6,21
3. espeletia juvenil	1,90
4. acaena elongata	5,23
5. cyperaceae	4,04
6. asteraceae	3,76
7. osplenium	1,20
8. polipedium-pleopeltis macrocarpa	1,67
9. senecio sp1	3,40
10. polytrichium jumipernum	2,02
11. senecio sp2	3,98
12. geranium	3,10
13. Polytrichum	5,28
14. crasulacia-ecchevetia bicolor	1,3
15. brasicaceae- drava	3,2

Figura 4.9.1. Porcentaje de cobertura de las especies caracterizadas en el escarpe.

Para las plantas comófitas el índice de dominancia de Simpson D es mas alto debido a comprenden la mayoría de la vegetación del área. La equitatividad es mas alta para las casmófitas ya que son solo dos especies que se reparten equitativamente su presencia. La equitatividad de las comofitas es mas baja debido a que hay una mayor variedad en la cobertura de cada especie.

Dentro del área que se conto como descubierta hay aproximadamente un 10% que tiene restos de plantas casmófitas muertas. Al mirar la estructura de las muestras de suelo obtenidas se encontró que tienen una textura granular, con fragmentos rocosos altamente meteorizados y frecuentemente vestigios de estructuras vegetales correspondientes a las especies casmófitas.

1. asteracea	comofitos
2. bortraminaceae	casmofoitos
3. espeletia juvenil	comofitos
4. acaena elongata	comofitos
5. cyperaceae	comofitos
6. asteraceae	comofitos
7. osplenium	comofitos
8. polipedium-pleopeltis macrocarpa	casmofoitos
9. senecio sp1	comofitos
10. polytrichium jumipernum	comofitos
11. senecio sp2	comofitos
12. geranium	comofitos
13. Polytrichum	casmofoitos
14. crasulacia-ecchevetia bicolor	comofitos
15. brasicaceae- drava	comofitos

**Tabla4.9.2.** Clasificación de las plantas encontradas según su anclaje al sustrato.

El *Polytrichium juperinum* y el *Bortraminaceae* componen el sustrato de la mayoría de las plantas comofitas del área, tanto en vida como cuando mueren estas plantas soportan las raíces de las restantes 13 plantas caracterizadas. El *Polytrichium* se acumula en capas en donde la superficial es la única viva y las capas posteriores son acumulación de necromasa que conforma un alto porcentaje del suelo o sustrato de ambientes de este tipo.

Los restos vegetales encontrados siempre correspondían a plantas casmófitas. La sucesión de los suelos para el área estudiada comienza con la acción de líquenes crustáceos representados en la roca con tonalidades claro-oscuros y algunos tonos amarillos y naranja (escasos milímetros) estos líquenes se constituyen en un factor de meteorización biológica.

Luego le siguen los líquenes laminares representados en la roca con tonos claros y una estructura laminar ondulada (pocos milímetros). Acto seguido aparecen las plantas casmófitas las cuales aprovechan lo abonado a la superficie por los líquenes y se sustentan en las fisuras. La acumulación de materia orgánica proveniente mayoritariamente de la muerte de las especies casmófitas presentes son el sustento para las 13 especies comófitas encontradas en el área.

Entre la vegetación encontrada hay una dominancia de plantas con hábitos herbáceos y arbustivos. En su mayoría encontramos juveniles de plantas arbustivas de gran dispersión en el área (*espeletias*), vemos plantas como la *Acaena elongata* la cual se dispersa de manera paralela a la superficie del escarpe encontrando así una mayor estabilidad y captando la mayor cantidad de recursos posibles. Dentro de las plantas comofitas las menos dependientes de un sustrato vivo o suelo son la *cyperaceae*. El poco tamaño de la mayoría de las plantas permite que puedan compartir varias un mismo punto de enraizamiento, esto generalmente en plantas juveniles y pastos. Otra tendencia en la plantas comofitas encontradas es tener poca altura y ser arrosetadas.

0	Casmofitos	Comofitos
Taxa_S	2	13
Individuos	38	279
Dominance_D	0.122	0,245
Shannon_H	3	2,121
Equitability_J	0.823	0,734

**Tabla 4.9.3.** Índices de diversidad para los dos tipos de vegetación

### CONCLUSIONES

El área ocupada por los organismos casmófitas es una quinta parte de la cobertura total sin embargo los restos de estos son el sustento del 100% de las plantas comófitas. Los puntos sobre la roca donde hay mayor dispersión de vegetación son los que proporcionan cierto nivel de protección a las plantas de la escorrentía y los vientos y que además estén muy diaclasados.

La mayoría de la materia orgánica que compone el suelo del escarpe estudiado proviene de las plantas casmófitas. Aunque la mayor diversidad esta representadas por las plantas comófitas son dependientes en su totalidad de la presencia o no de las casmófitas.

El *Polytrichum juperinum* y el *Bortraminaceae* se comportan en vida como el sustrato de gran parte de las plantas comofitas presentes en el área, la mayoría de la vegetación del escarpe no depende de las fisuras de la roca, depende de las dos plantas casmófitas para anclarse.

### REFERENCIAS

- ALCARAZ, F. Las plantas de los ambientes rupestres en Yecla. *Athene*, 13: 38-48.
- RIVAS MARTÍNEZ, S.; DÍAZ, T.E.; FERNÁNDEZ PRIETO, J.A.; LOIDI, J. Y PENAS, A. 1984. *La vegetación de la alta montaña cantábrica. Los Picos de Europa*. Ed. Leonesas, León, pp: 159-171.