

**RELACIÓN ENTRE LA COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA VEGETACIÓN  
PRESENTE POR ENCIMA DE LOS 4.500 MSNM Y EL FENÓMENO DEL  
RETROCESO GLACIAR EN DOS LUGARES DE LA PARTE SUR DE LA  
SIERRA NEVADA DE GÜICÁN, COCUY Y CHITA EN BOYACÁ, COLOMBIA.**

**IVÁN RICARDO CUÉLLAR CORONADO**

**Trabajo de grado para optar por el título de**

**Ecólogo**

**Director:**

**Armando Sarmiento**

**Codirector:**

**Jorge Jácome**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES  
CARRERA DE ECOLOGÍA  
BOGOTÁ  
MAYO DE 2013**

## RESUMEN

El cuarto informe del panel intergubernamental de expertos sobre cambio climático (AR4) reportó un incremento en la temperatura media global de alrededor de 1°C por decenio. Tal incremento, además de los eventos ENSO, ha inducido a un retroceso en la mayoría de las masas de hielo y nieve en el mundo induciendo la exposición de sustratos propiciando procesos de colonización vegetal. La Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita ubicada entre los 6° 21' 20" N y 72° 17' 41" O y los 6° 31' 04" y 72° 17' 14" O, poseía la mayor extensión en área de cobertura glaciar en Colombia con 17 km<sup>2</sup> calculada para el año 2007, sin embargo desde hace 50 años los glaciares colombianos han perdido aproximadamente el 50% de su área y en los últimos 15 años ésta tasa se ha incrementado entre un 10% - 15%, acumulando una pérdida de un 41% de cobertura durante el período 1989 - 2007. El presente trabajo estudió la colonización vegetal, por medio de la composición y estructura encontrada en la Laguna Grande de la Sierra y los Cerros de la Plaza del Parque Nacional Natural Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita, estableciendo transectos a 4.500 msnm y a 4.600 msnm en cada vertiente. Se encontraron un total de 28 especies de plantas vasculares. Se obtuvo una cobertura total de 8.4 m<sup>2</sup> en un área de muestreo de 400 m<sup>2</sup> distribuidos en cuatro transectos de los cuales se establecieron dos en la vertiente Oeste y dos en la vertiente Este siendo cada transecto de 100 m<sup>2</sup>. Para la vertiente Oeste se encontró una cobertura acumulada de 7.04 m<sup>2</sup> y para la vertiente este 1.35 m<sup>2</sup>. Para las briófitas se encontró una cobertura total de 3.72 m<sup>2</sup>, siendo el transecto LG/Sierra 4.500 el que más cobertura de este tipo presentó con 3.01 m<sup>2</sup>. La especie vegetal vascular más dominante fue *Vaccinium floribundum* con una cobertura total de 1.65 m<sup>2</sup>, encontrándose la mayor cobertura en el transecto LG/Sierra 4.600 con 1.14 m<sup>2</sup>. La especie más rara fue *Castilleja fissifolia* con una cobertura total de 8 cm<sup>2</sup>, encontrados en el transecto LG/Sierra 4.500. Se analizaron los datos por medio de índices de similitud de Jaccard para los datos cualitativos encontrando que todos los transectos eran diferentes y Bray-Curtis para dos datos cuantitativos encontrando que los transectos C/Plaza 4.500 y LG/Sierra 4.600 eran similares debido a su cobertura relativa. El transecto LG/Sierra 4.500 fue el más diferente por su diversidad, pues presentó la riqueza más alta con 20 especies de plantas vasculares y la mayor abundancia medida en cobertura por especie.

A los habitantes de la montaña, su gente, su flora y fauna.  
A las generaciones futuras, en especial a mi hijo Joaquín.

*“La soledad es una fuerza que te aniquila si no estás preparado para superarla,  
pero que te lleva más allá de tus posibilidades si sabes aprovecharla para tu  
propio beneficio.” Reinhold Messner*

*“Quien ha escuchado alguna vez la voz de la montaña, nunca la podrá olvidar.”*  
Proverbio Tibetano

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia por estar presente en todo momento y apoyar cualquier idea que he tenido aunque pareciese descabellada.

A Ana María Sanabria quien ha sido mi mano derecha y me ha brindado su apoyo incondicional.

A Andrés Hurtado García y Hernán González por enseñarme un camino más vertical, menos masivo, más sublime. Sobre todo a aquél por mostrarme, con su ejemplo, que se puede trabajar en lo que más se ama, haciendo del trabajo una pasión; evitando cualquier conformismo superficial.

A mis compañeros de cordada Manuel Sánchez, Andrés Vásquez y Alejandro Bahamón que siempre estuvieron conmigo en la montaña.

A los profesores Jorge Jácome y Armando Sarmiento por sus enseñanzas y ser mis guías en este proceso.

A Alejandro Herrera y Mario Arturo Valderrama por las charlas, el alojamiento y guía dentro del Parque.

A Víctor Ortega, Juan Camilo Ramírez y Jorge Mancera por la información previa al muestreo que me ayudó a planear una buena logística en la Sierra.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....	3
Pregunta General:.....	3
Preguntas Específicas .....	3
OBJETIVOS .....	4
Objetivo General .....	4
Objetivos Específicos.....	4
MARCO REFERENCIAL.....	5
Antecedentes en Colombia.....	5
Glaciares y Glaciaciones.....	7
Sucesión Ecológica y Colonización Vegetal en ambientes de Alta Montaña .....	11
Ecosistemas de Alta Montaña en los Andes Tropicales: El Páramo y el Superpáramo .....	12
ÁREA DE ESTUDIO.....	15
MATERIALES Y MÉTODOS .....	17
RESULTADOS.....	21
Caracterización a nivel de composición de las plantas vasculares muestreadas .....	22
Caracterización de la estructura en las comunidades de plantas encontradas..	25
Comparación de estructura y composición .....	30
Dinámica del retroceso glaciario.....	33
DISCUSIÓN .....	35
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	40
BIBLIOGRAFÍA .....	42

## LISTA DE TABLAS

**Tabla 1.** Fotografías aéreas utilizadas para aproximar el límite inferior de la nieve en diferentes años en la parte sur de la Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia).

**Tabla 2.** Listado del total de especies de plantas vasculares encontradas en 4 transectos ubicados a 4.500 msnm y 4.600 msnm en los Cerros de la Plaza y la Laguna Grande de la Sierra realizados en el PNN Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia).

**Tabla 3.** Listado de Presencia-Ausencia de las especies de plantas vasculares encontradas en 4 transectos ubicados a 4.500 msnm y 4.600 msnm en los Cerros de la Plaza y la Laguna Grande de la Sierra realizados en el PNN Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia).

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** Diagrama Conceptual

**Figura 2.** Mapa de la ubicación del PNN Sierra Nevada de Güicán, Cocuy Chita en el departamento de Boyacá (Colombia).

**Figura 3.** Mapa de la ubicación de los transectos en la parte sur de la Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita en el departamento de Boyacá (Colombia).

**Figura 4.** Diagrama Metodológico

**Figura 5.** Número de especies de plantas vasculares encontradas a 4.500 msnm y 4.600 msnm. En gris oscuro está representada la zona de los Cerros de la Plaza y en gris claro la zona de la Laguna Grande de la Sierra.

**Figura 6.** Comparación de la importancia relativa entre plantas vasculares y briófitas para 4 transectos ubicados a 4.500 msnm y 4.600 msnm realizados en el PNN Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia).

**Figura 7.** Importancia de las especies de plantas vasculares para el transecto C/Plaza 4.500 realizado en el PNN Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia).

**Figura 8.** Importancia de las especies de plantas vasculares para el transecto C/Plaza 4.600 realizado en el PNN Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia).

**Figura 9.** Importancia de las especies de plantas vasculares para el transecto LG/Sierra 4.500 realizado en el PNN Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia).

**Figura 10.** Importancia de las especies de plantas vasculares para el transecto LG/Sierra 4.600 realizado en el PNN Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia).

**Figura 11.** Dendrograma de afinidad para los 4 transectos en el PNN Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia), obtenido por el índice de Jaccard.

**Figura 12.** Figura 9. Dendrograma de afinidad para los transectos de la Laguna Grande de la Sierra y los Cerros de la Plaza realizados en el PNN Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia) obtenido por el índice de Jaccard.

**Figura 13.** Dendrograma obtenido por el índice de Bray – Curtis en el que se cruzan datos de abundancias relativas para 4 transectos realizados en el PNN Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia).

**Figura 14.** Mapa de la parte sur de la Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia) donde se muestran coberturas aproximadas de nieve en diferentes años. Tomado del libro de la Expedición del Año Geofísico Internacional (1959) y modificado por el autor. En verde año 1938, en negro año 1958, en azul año 1981, en fucsia año 1985, en rojo año 2000 y en naranja líneas de transectos (sin relación con la escala del mapa) y puntos de muestreo por fotografías.

## INTRODUCCIÓN

Las montañas son una fuente importante de agua, energía y diversidad biológica además de proveer recursos minerales, forestales, de agricultura y esparcimiento; sin embargo éste es un ecosistema que cambia rápidamente y es susceptible a la acelerada erosión edáfica lo que trae pérdidas de hábitat y de diversidad genética por lo que se constituyen como ecosistemas frágiles (United Nations, 1992). La alta montaña, en especial los glaciares, son unas de las áreas más sensibles a los cambios climáticos a causa de variaciones en la temperatura, precipitación, incidencia lumínica (brillo solar), nubosidad, etc., las cuales controlan el comportamiento de un glaciar (Lemke et al, 2007). A pesar de que los glaciares en el mundo se han estudiado desde 1850 aproximadamente, los glaciares colombianos cuentan con poca información sobre dinámicas y evolución dejando así un panorama donde no existen registros directos antiguos donde se observe el comportamiento de las masas glaciares del país. Sólo hasta el año 1986, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC-, en convenio con el gobierno alemán (a través de la Universidad de Osnabrueck), desarrolló una metodología con el fin de determinar la dinámica de los nevados existentes (a través de mediciones directas) y la evolución de éstos utilizando fotografías aéreas (IDEAM, 2012). Las medidas directas e indirectas han sido y son en la actualidad la metodología básica para el desarrollo del estudio (IDEAM, 2001). Además existe un vacío de conocimiento sobre si los glaciares son un ecosistema como tal o son un componente importante de otros ecosistemas debido principalmente a la falta de estudios ecológicos en estas zonas (IDEAM, 2012).

Según el Cuarto Informe de Evaluación (AR4) de el Panel Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático (IPCC, 2007) durante el último siglo la temperatura del aire en la superficie global se ha incrementado en  $0.75^{\circ}$ , lo cual ha tenido como efecto en la alta montaña colombiana un proceso de deglaciación constante desde la Pequeña Edad del Hielo (Euscátegui-Collazos & Ceballos-Liévano, 2002; Kaser, 1999). Además, la condición de cercanía a la línea del ecuador los hace muy sensibles a cambios climáticos globales tal como ocurre con

otros glaciares tropicales como el Irian Jaya en Indonesia Nueva Guinea, el Monte Kenya, el Kibo (Kilimanjaro) y el Rwenzori en el este Africano y en los Andes suramericanos entre Venezuela y Bolivia (Haeberli, 2001; Kaser, 1999) por lo que sus dinámicas glaciares son más fuertes que las de glaciares ubicados fuera del trópico lo que ha traído como consecuencia un marcado y rápido retroceso glaciar en el territorio nacional (Euscátegui-Collazos & Ceballos-Liévano, 2002). Sumado a esto las tasas de aumento de la temperatura ambiente en la región de alta montaña son significativamente más altos que los observados en las estaciones meteorológicas de tierras bajas (Ruiz et al, 2008). Recientemente el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) publicó una secuencia de estudios glaciares en los que demostró que la línea de equilibrio altitudinal está subiendo debido al incremento de la temperatura lo que hace que haya menos espacio para la acumulación de nieve y más para la fusión en los nevados colombianos (IDEAM, 2012). Siguiendo ésta cadena circunstancial de causas y efectos se plantea que relacionado al incremento en la temperatura también hay un incremento altitudinal en líneas ecotonales de otros ecosistemas, efecto que puede ser medido con la observación de plantas colonizadoras en ambientes recientemente expuestos por la pérdida de cobertura nival. Además se tiene la necesidad de iniciar el establecimiento de información de línea base para monitorear la dinámica de procesos de sucesión primaria en ambientes de la alta montaña colombiana.

El propósito de este estudio es caracterizar y determinar las variaciones a través de un gradiente altitudinal por encima de los 4.400 msnm de la composición y estructura de plantas vasculares presentes en la actualidad en zonas donde hubo lenguas glaciares en épocas pasadas cercanas (entre 70 y 30 años aproximadamente) en las dos vertientes de la parte sur de la Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita en Boyacá Colombia, contrastando su ubicación altitudinal con aerofotografías y fotografías de campo de años anteriores donde se evidencia la presencia de nieve y/o hielo para entender los tiempos de colonización vegetal según características propias de cada especie.

## **PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

### **Pregunta General:**

¿Cuál es la composición y estructura de conjuntos de vegetación recientemente establecidos en áreas deglaciadas por encima de los 4.500 msnm en el Parque Nacional Natural Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita en el departamento de Boyacá, Colombia?

### **Preguntas Específicas**

¿Cuáles especies de plantas están presentes a lo largo del gradiente altitudinal?

¿Cómo están estructuradas las comunidades de plantas en cada una de las vertientes de la sierra a diferentes alturas por encima de los 4.500 msnm?

¿En qué se diferencian la estructura y composición de las comunidades vegetales presentes en ambas vertientes por encima de los 4.500 msnm?

¿Cuánto tiempo de exposición por deshielo tienen los lugares muestreados y cuál es su relación con la composición de las comunidades vegetales presentes?

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Conocer la composición y estructura de conjuntos de vegetación recientemente establecidos en áreas deglaciadas por encima de los 4.500 msnm en el Parque Nacional Natural Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita en el departamento de Boyacá, Colombia

### **Objetivos Específicos**

Caracterizar a nivel de composición las comunidades de plantas vasculares presentes por encima de los 4.500 msnm en las dos vertientes de la parte sur de la sierra.

Caracterizar la estructura de las comunidades de plantas vasculares en las dos vertientes de la sierra por encima de los 4.500 msnm.

Comparar la estructura y composición de las comunidades vegetales presentes por encima de los 4.500 msnm en las dos vertientes de la sierra.

Relacionar la composición y estructura de las comunidades de vegetación con el tiempo de exposición por deshielo de las áreas muestreadas.

## MARCO REFERENCIAL

### **Antecedentes en Colombia**

Los primeros estudios que se realizaron en zonas de glaciares en Colombia fueron con Kruger (1918), Friedlader (1926-1927), V. Wolf Golay (1939) y Cuatrecasas (1934), realizando estudios y colectas de fauna y flora; pero los estudios glaciológicos en Colombia empezaron con Thomas Van der Hammen y Erwin Krauss (1934) quienes dieron el paso inicial con la expedición del Año Geofísico Internacional donde capturaron en imágenes el momento de los glaciares colombianos. Se reanudaron estudios sobre glaciares desde el año 1981 con una publicación llamada Glaciares y glaciaciones en las altas montañas colombianas realizada por Cesar Humberto Arias Pabón del HIMAT (hoy IDEAM). Luego para 1984 hubo publicaciones al respecto de Brunnschweiler, Kunry, Thouret, Rabassa y Thomas Van der Hammen. Fue finalmente en 1986 cuando se desarrolló una investigación nacional por medio del IGAC y la Universidad Osnabrueck Abteilung Veitcha de Alemania en donde se realizaron estudios de fotointerpretación y se determinó la metodología de estudio de los glaciares a largo plazo con el fin de tener una secuencia cronológica de datos que ayudara a comprender las dinámicas glaciares en Colombia. El año siguiente se inició el proyecto Glaciares donde se implementó un monitoreo de lenguas glaciares en los volcanes Ruiz y Sta. Isabel y la sierra del Cocuy por medio de la Sección de Geografía Física y con la dirección del Dr. Antonio Flórez. Dentro del proyecto Glaciares la Fundación Volkswagen implementó en 1988 una estructura de cuantificación de ablación en una microcuenca glaciar del volcán nevado de Sta. Isabel (en la vertiente occidental) y en la cumbre una estación meteorológica; esta estación sufrió daños por las dinámicas propias del glaciar por lo que se reubicó en una morrena. En 1993 se hizo una elaboración de un mapa litoestratigráfico (plancha N° 225-II-C) en el área de los volcanes El Cisne y Sta. Isabel con el fin de conocer los materiales geológicos propios del lugar; se publicó el documento Los nevados de Colombia Glaciares y Glaciaciones (Flórez, 1992) y Pérdidas en las masas de hielo en el nevado del Ruiz causadas por procesos climáticos y eruptivos durante los últimos 50 años (Linder, 1993). En 1994 el IGAC publicó el

Proyecto caracterización de los glaciares colombianos, informes finales y el IDEAM publicó un Informe Técnico de Avance ejecutado en 1993 donde se hace una caracterización de los glaciares en el territorio nacional por medio de la Cuantificación, monitoreo, avance y retroceso glaciar en los volcanes del Ruiz y Sta. Isabel. Éste proyecto tuvo 4 etapas que fueron:

1. Investigación glaciológica en el volcán nevado del Ruiz y volcán nevado de Santa Isabel en el cual hubo monitoreo de ablación y retroceso de lenguas glaciares. En la sierra nevada del Cocuy y Güicán hubo monitoreo de retroceso de lenguas glaciares.
2. Ampliación del área de estudio al volcán nevado del Tolima y volcán Nevado del Huila
3. Investigación más profunda en la sierra nevada del Cocuy y Güicán.
4. Investigación en la sierra nevada de Santa Marta.

Las Etapas 2, 3 y 4 no se llevaron a cabo dentro del tiempo del estudio por lo que se dejaron como estudios inconclusos. Para estos estudios se tienen como metodologías de estudio (a realizar) las siguientes:

- Fotointerpretación de aerofotografías.
- Restituciones fotogramétricas de fotografías aéreas y terrestres.
- Modelos digitales de terreno.
- Trabajos de campo para mediciones glaciológicas periódicas y comprobaciones temáticas, cuantificación del retroceso y la ablación glaciar

En ese mismo año dentro del proyecto de caracterización de los glaciares en el territorio nacional se realizó una litoestratigrafía de los nevados del cisne y Santa Isabel volcanes del Ruiz y Sta. Isabel donde se correlacionaron los dos últimos eventos lávicos del volcán El Cisne con dos del volcán nevado de Santa Isabel, correspondientes a los tiempos Pleistoceno Medio y Holoceno Inferior respectivamente; además se encontró una variación composicional en la acidez

del magma en la dirección sur-norte, estando los productos del Santa Isabel (sur) representados por el rango Andesita-Andesita basáltica y los de El Cisne por dacita-andesita.

Luego la Universidad Nacional de Colombia en convenio con el IDEAM (1997) realizó el proyecto Geosistemas de Alta Montaña y se publicó la base de datos de variables climáticas, en las estaciones “Las Brisas”, “El Otún” y “El Cocuy” (IDEAM, 2002). En 1999 Ceballos, J. y C. Euscátegui hicieron una ponencia titulada El Cambio Climático sobre los glaciares colombianos en el V Congreso Colombiano de Meteorología y en el 2002 Euscátegui publicó Incidencias de las variaciones del brillo solar en la dinámica glacial del volcán nevado Santa Isabel en la Revista Meteorología Colombiana de Universidad Nacional de Colombia.

Finalmente en 2012 el IDEAM publicó el libro Glaciares de Colombia. Más que montañas con hielo en el que se tiene una secuencia de datos de deglaciación en los nevados de Santa Isabel y en los glaciares del Ritak’uwa blanco y negro en la sierra nevada del Cocuy y Güicán y se relacionaron los datos con precipitación, humedad, temperatura de la atmósfera de los lugares de muestreo y temperatura del pacífico

### **Glaciares y Glaciaciones.**

Un glaciar es una masa “permanente” de nieve que se acumula, compacta y recristaliza en hielo que arrastra detritos rocosos debido al movimiento provocado por la fuerza de gravedad y tiene un balance entre la acumulación y fusión (ablación) específico, determinado principalmente por el clima y el relieve en el que está ubicado (IDEAM y Universidad Nacional de Colombia, 1997). El balance de masa de nieve está determinado por la fluctuación de la Línea de Equilibrio que separa la zona de acumulación y la zona de ablación. La línea de equilibrio se mueve dependiendo principalmente del clima que domina la zona del glaciar, lo que produce una de las características principales de los glaciares que es la dinámica o capacidad de cambio en el tiempo (IDEAM, 2012) y las grietas transversales o longitudinales presentes en el glaciar son una evidencia de su movimiento (Marangunic, 2008a).

Existen diferentes tipos de glaciares que se pueden agrupar según tres criterios (Baranowski, 1977):

- Criterio Geográfico: donde las características a considerar son latitud y altitud, y si es continental o marino.
- Criterio Térmico: donde es la temperatura la característica utilizada, siendo un glaciar frío cuando la temperatura media es inferior a 0°C, templado cuando la temperatura es igual a 0°C en toda su masa y transicional cuando parte de la masa está por encima de 0°C y otra está por debajo de 0°C.
- Criterio de contenido en agua: donde la característica usada es si el hielo está seco o húmedo y en éste último caso se considera su drenaje (supraglaciario, endoglaciario o subglaciario).

En esta clasificación aparecen tres grupos de glaciares que son: grupo 1 o Polares, grupo 2 o Subpolares y grupo 3 o Templados; los cuales se subdividen en ocho subgrupos así:

- Subgrupo 1A: Polar se da en regiones árticas y antárticas marcadamente continentales. Frío en toda su masa durante el año. Completamente seco.
- Subgrupo 1B: Polar en bajas latitudes polares y continental en latitudes templadas. Frío en toda su masa durante el invierno y templado en verano sólo en la superficie de ablación. Generalmente seco.
- Subgrupo 2A: Subpolar en los casquetes helados de gran espesor. Transicional, templado sólo en la capa central junto al lecho de roca y en verano en la superficie de la zona de ablación; frío en el resto de la masa de hielo. Ligeramente húmedo con presencia periódica de agua en la superficie de la zona de ablación y en el sustrato central del fondo junto al lecho de roca.
- Subgrupo 2B: Subpolar en las altas montañas. Transicional, frío en la zona de acumulación y templado en la zona de ablación. Humedad

variable, seco en la zona de acumulación, húmedo en la zona de ablación. Circulación de agua supraglaciario y subglaciario.

- Subgrupo 2C: Subpolar, marítimo en altas latitudes. Transicional, templado en la zona de acumulación y frío en la zona de ablación excepto en verano. Húmedo en toda su masa o en gran parte de ella. Circulación de agua supraglaciario y endoglaciario, parcialmente subglaciario.
- Subgrupo 2D: Subpolar moderadamente continental. Transicional, templado cerca de la capa superficial de la zona de acumulación y en la mayoría del fondo y del interior glaciario. Humedad variable, presente donde el hielo es templado. Circulación de agua supraglaciario y endoglaciario.
- Subgrupo 2E: Subpolar continental. Transicional, templado sólo cerca a la superficie de la zona de acumulación y en verano en la zona de ablación. Humedad variable, existente sólo donde el hielo es templado. Circulación de agua superficial y parcialmente endoglaciario.
- Subgrupo 3: Templado, marítimo. Templado en toda la masa de hielo. Humedad en toda la masa de hielo; circulación de agua supraglaciario, endoglaciario y subglaciario.

Para los glaciares colombianos el subgrupo que los contiene es el 2B ya se encuentran actualmente en las altas montañas de la Sierra Nevada del Cocuy y Güicán, la Sierra Nevada de Santa Marta y volcanes como el Tolima, el Santa Isabel, el Ruiz y el Huila; y presentan humedad en la zona de ablación producto de la interacción atmosférica que causa fusión del hielo.

Existen condiciones físicas que conducen a períodos climáticos más fríos llamados glaciales (o glaciaciones) o menos fríos llamados interglaciales y cada uno propicia tanto la formación de glaciares como su retroceso, tales condiciones pueden ser terrestres o extraterrestres (IDEAM, 2012). Dentro de los factores externos al planeta se encuentran los ciclos solares y los ciclos de Milankovitch. Los ciclos solares asociados a las manchas solares que en promedio ocurren cada 11 años pueden condicionar la temperatura media de la Tierra debido a picos y

valles en la emisión de energía principalmente asociado a manchas solares. Un ejemplo de esta influencia fueron dos períodos fríos con bajo número de manchas solares llamados *Mínimo de Maunder* (1654 - 1715) y *Mínimo de Spörer* (1450 - 1534) que en conjunto son conocidos como la pequeña edad del hielo (González Coroas, 2000). En 1920 Milutin Milankovitch propuso una de las teorías más aceptadas actualmente y comprobadas geológicamente por estudios palinológicos y paleoecológicos. Ésta propone que la temperatura del planeta está sujeta a cambios por tres aspectos que son: Variaciones en la excentricidad de la órbita terrestre, cambios en el ángulo del eje terrestre con respecto a la órbita y la precesión de los equinoccios (Tarbuck & Lutgens, 1999). Estos tres aspectos explicados a continuación inciden en la cantidad de energía solar captada por la tierra.

Variaciones en la excentricidad de la órbita terrestre:

La Tierra gira alrededor del sol siguiendo una órbita elíptica, ésta órbita cambia cíclicamente aproximadamente cada 100.000 tendiendo a estar entre más circular o más elíptica. Actualmente entre el punto más alejado del sol (afelio) y el más cercano (perihelio) hay una diferencia de 5.1 millones de kilómetros lo que ocasiona una diferencia de radiación de 6.8%, cuando la órbita de la tierra es más alargada la diferencia de radiación puede llegar a ser de 23% entre el perihelio y el afelio. Así los períodos de mayor excentricidad en la órbita terrestre darían paso al avance glacial.

La inclinación del eje de rotación de la Tierra:

El eje de rotación de la tierra tiene actualmente una inclinación de  $23^{\circ} 45'$  con respecto al plano de la órbita. Esta inclinación favorece que haya estaciones en latitudes altas y que la radiación sobre las latitudes bajas no sea tan constante comparándolo con un caso donde el eje de rotación de la tierra fuera completamente perpendicular a la órbita terrestre. Dicha inclinación oscila entre los  $22^{\circ}$  y los  $24^{\circ}$  en un tiempo de 40.000 a 46.000 años aproximadamente, así cuando la inclinación es más pronunciada se hacen más extremas las estaciones teniendo inviernos más fríos y veranos más calurosos mientras que cuando la

inclinación es más débil se hacen menores los contrastes entre ambos hemisferios. Ésta última condición pudo propiciar el mantenimiento de períodos glaciales (IDEAM, 2012).

La precesión de los equinoccios:

Cada 26.000 años ocurre un ciclo conocido como la precesión de los equinoccios y se caracteriza por un cambio gradual en la orientación del eje de rotación de la tierra, movimiento circular similar a la oscilación de la cabeza de un trompo. En un momento del ciclo el eje apunta a la estrella vega y en el momento antagonista a la estrella polar, que en este momento es la estrella más brillante de la Osa Menor; este cambio de dirección es debido a la inclinación del eje de rotación terrestre sobre el plano de la elíptica y la torsión ejercida principalmente por el Sol sobre la protuberancia ecuatorial de la Tierra. Estas fuerzas tienden a llevar el exceso de masa presente en el ecuador hasta el plano de la elíptica y sus consecuencias son la modificación en la duración de los veranos e inviernos (Flórez, 1992).

### **Sucesión Ecológica y Colonización Vegetal en ambientes de Alta Montaña**

Existen cambios en la estructura de comunidades relativamente predecibles que ocurren en períodos de décadas o siglos como resultado de la sucesión sobre lugares alterados por un disturbio o porque han sido recientemente expuestos. Nuevos hábitats pueden llegar a ser colonizados como resultado de actividad tectónica, movimientos glaciares, cambio en el nivel del mar, erosión o deposición de sedimentos; el proceso del desarrollo de la comunidad luego de un disturbio o de un nuevo lugar expuesto es llamado *Sucesión Ecológica* (Schowalter, 2006). La sucesión ecológica se puede dividir en dos componentes principales: sucesión primaria y sucesión secundaria. La sucesión primaria es la colonización y el establecimiento de especies pioneras en zonas recientemente expuestas como laderas de volcanes luego de una erupción o retroceso glaciar y se caracteriza por un suelo poco desarrollado. La sucesión secundaria se caracteriza por un estadio de destrucción de la vegetación previa por causas naturales o antrópicas y un

proceso de regeneración a partir de las especies más resistentes al disturbio o a las que tienen más facilidades para la colonización (Alcaraz & Rivera, 2007). Las sucesiones pueden ser: *alógena* y se da cuando hay un cambio en las condiciones ambientales, y *autógena* que se da cuando hay un cambio del medio por las actividades de las plantas, ambos procesos son progresivos y llevan a un incremento en la biomasa (Alcaraz *et al*, 1999).

Los ambientes de alta montaña (incluidos los tropicales como páramos, punas y jalcas) están experimentando un incremento en la temperatura media de la baja atmósfera, lo que desencadena un efecto de deglaciación en las cumbres glaciadas liberando zonas para la colonización vegetal (Kullman, 2004). En los Andes del Norte, el páramo es el ecosistema de alta montaña preponderante y se extiende desde Venezuela hasta el norte del Perú en una distribución similar a islas que tienen lugar en las cumbres de los volcanes y montañas andinas, rodeado generalmente de bosques montanos (Cleef, 1981; Luteyn, 1999). Ecosistemas de páramo reportan una alta diversidad de especies (Ramsay, 1992), con especies de rango restringido y géneros monotípicos (Sklenář *et al.*, 2005). A partir de los 4.500 metros se presenta un incremento tanto en la radiación captada como en la exposición a vientos (deseccación) y una fluctuación térmica más alta, lo que conduce a una presión selectiva importante en las plantas que tienen que resistir tales condiciones (Sklenář, 2000).

### **Ecosistemas de Alta Montaña en los Andes Tropicales: El Páramo y el Superpáramo**

El Páramo es uno de los ecosistemas originales de la alta montaña del neotrópico, ecosistemas que son diferentes a cualquier otro ecosistema de alta montaña presente en zonas templadas debido a que presentan tanto vegetación como condiciones climáticas particulares (Fariñas, 1977). Este ecosistema se encuentra en el norte de los Andes, en el norte de Perú hasta Ecuador, Colombia y Venezuela y de manera aislada se presenta en Panamá y Costa Rica (IAVH,

2011). En Colombia se ubica generalmente por encima de los 3000 metros. Las condiciones biofísicas de este ecosistema lo convierten en una fuente de agua permanente, además tiene capacidad de almacenamiento y captación de carbono atmosférico por medio de la retención de materia orgánica en los suelos (Hofstede *et al.* 2003).

Según la descripción de Morales *et al.* (2007) las condiciones climáticas de los páramos son variadas, por encima de los 3300 msnm la temperatura es inferior a 6°C y en el superpáramo los valores están por debajo de los 3°C, las diferencias climáticas entre el día y la noche son bastante grandes pues tiene temperaturas extremas que en el día ascienden y en la noche puede nevar o helar. La precipitación varía aproximadamente entre 700 y 5000 mm y se presenta generalmente una estación seca durante el año y una húmeda. La humedad relativa es muy alta, con un porcentaje entre 80% y 98% y se presenta continuamente el fenómeno de niebla y lluvia horizontal (Rivera y Rodríguez, 2011).

El páramo es un ecosistema muy diverso pues posee unas 3400 especies de plantas vasculares y 1300 especies de plantas no vasculares (Luteyn 1999). Para Colombia en el año 2000 se reportaron 118 familias, 567 géneros y 3380 especies (Rangel, 2000). Dentro del páramo se pueden diferenciar varias zonas de vegetación: el subpáramo, el páramo medio, el superpáramo y por último la zona nival.

En el páramo se encuentran arbustos, gramíneas y la vegetación es bastante continua. En el superpáramo la vegetación es poco continua y las heladas nocturnas son bastante frecuentes lo que influye directamente en los suelos.

El ecosistema Superpáramo comprende la zona que ha sido más recientemente despojada por el hielo. Posee unas temperaturas extremas que llegan hasta los 50° y desciende a los -10°C, por estas condiciones tiene un estrés hídrico permanente. Gracias a que este ecosistema se ubica en la parte más alta de las

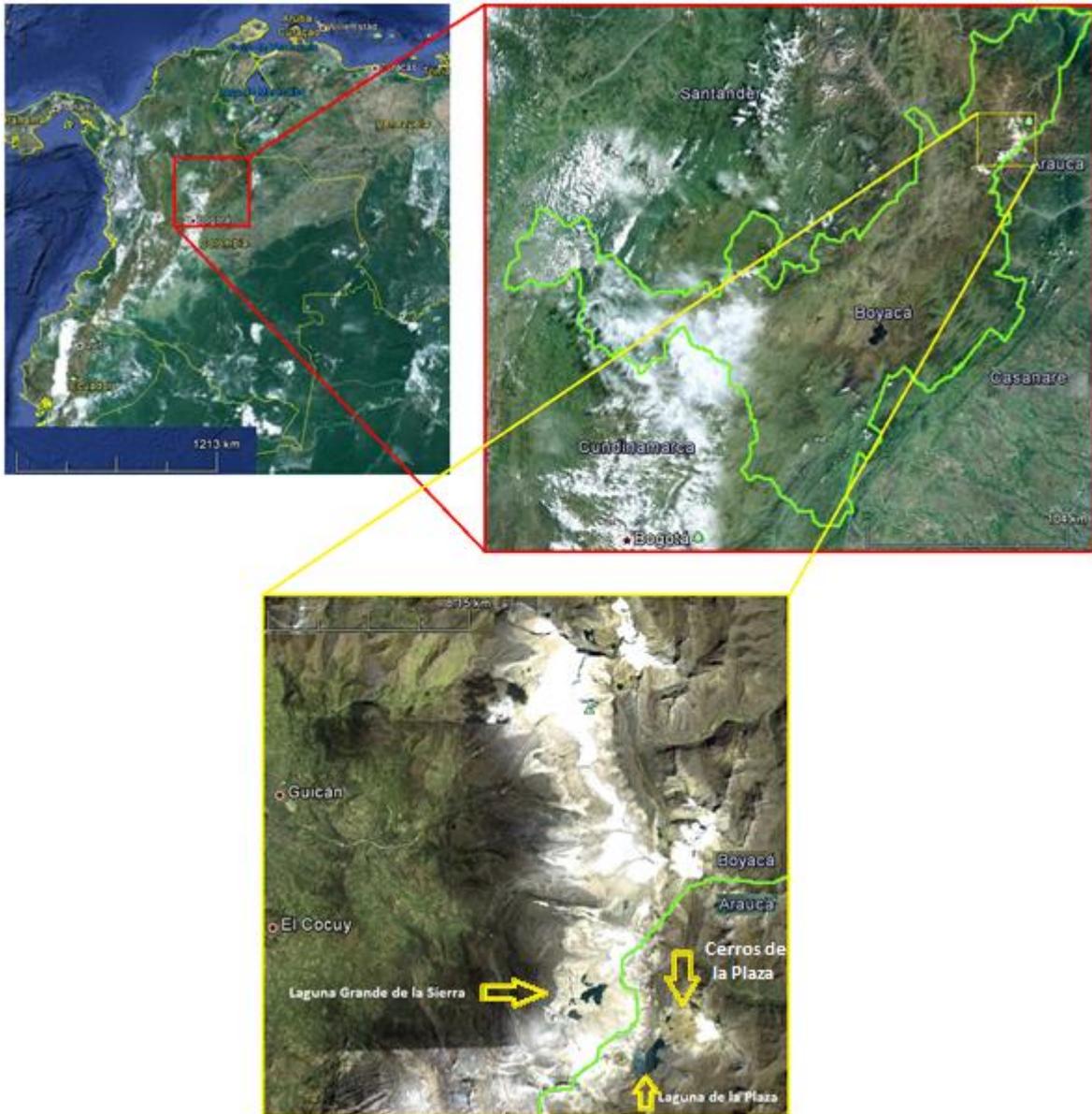
montañas, se encuentran endemismos y adaptaciones específicas como el género *Senecio* (Rivera et al 2001).



**Figura 1.** Diagrama Conceptual

## ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio es el Parque Nacional Natural El Cocuy y Güicán en dos puntos de la parte sur de la sierra nevada.



**Figura 2. Mapa de la ubicación del PNN Sierra Nevada de Güicán, Cocuy Chita en el departamento de Boyacá (Colombia).**

El Parque Nacional Natural el Cocuy es un sistema de alta montaña ubicado en la cordillera Oriental de Colombia entre los departamentos del norte de Boyacá, el oriente de Santander, el occidente de Arauca, el noroccidente de Casanare y el

sur de Norte de Santander, los municipios principales son Güicán, Chiscas y Tame. Tiene una extensión de 268.783 hectáreas, de los cuales la gran mayoría es Páramo. Su altitud va desde los 3100 hasta los 5340 msnm. Este complejo montañoso posee una temperatura media multianual de 6.4°C y un régimen de precipitación bimodal con dos periodos húmedos y dos secos, sin embargo esta zona se caracteriza por no tener deficiencia en cuanto a aguas a lo largo del año (CDMB 2002).

La geomorfología es un relieve montañoso de origen estructural erosional, fluviogravitacional y glacial. Los materiales son rocas de origen sedimentario (IGAC 2002).

La vegetación es propia de los bosques achaparrados, matorrales, pastizales pajonales y frailejones (Rodríguez *et al.* 2004) Las familias más representativas son Apiaceae, Asteraceae, Brassicaceae, Cyperaceae, Ericaceae, Fabaceae, Poaceae y Rosasea. Con respecto a la avifauna, el complejo del Cocuy hace parte del orobioma de páramos de la cordillera Oriental, la cual posee la mayor riqueza para este grupo de los biomas de zonas altas de los Andes colombianos (IAvH, 2004). En los páramos de este complejo se han reportado especies como *Aglaeactis cupripenis*, *Colibri coruscans*, *Lesbia victorae*, *Cinclodes fuscus*, entre otros (Delgado y Rangel-Ch 2000).

Las comunidades que habitan allí son los U'wa y los campesinos quienes han tenido una influencia directa en el paisaje del complejo montañoso. Las principales actividades económicas son la ganadería y la agricultura, a esto viene asociado las actividades como quemas para el rebrote de pasto para el alimento del ganado que en esta zona es ovino, bovino, equino y caprino (UAESPNN, 2005)

## MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología se dividió en tres fases así:

### Fase 1: Revisión bibliográfica.

Se realizó una revisión bibliográfica en las bases de datos del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) para conocer los antecedentes de la glaciología en Colombia (IDEAM, 2012, 2001; Euscátegui & Ceballos, 2002; Flórez, 1992) y los estudios ecológicos en zonas de glaciar. Además se revisaron artículos científicos de glaciología (Kaser, 1999) y retroceso glaciar relacionados con colonización vegetal en áreas recientemente expuestas en otras partes del mundo como en Escandinavia (Kullman, 2004).

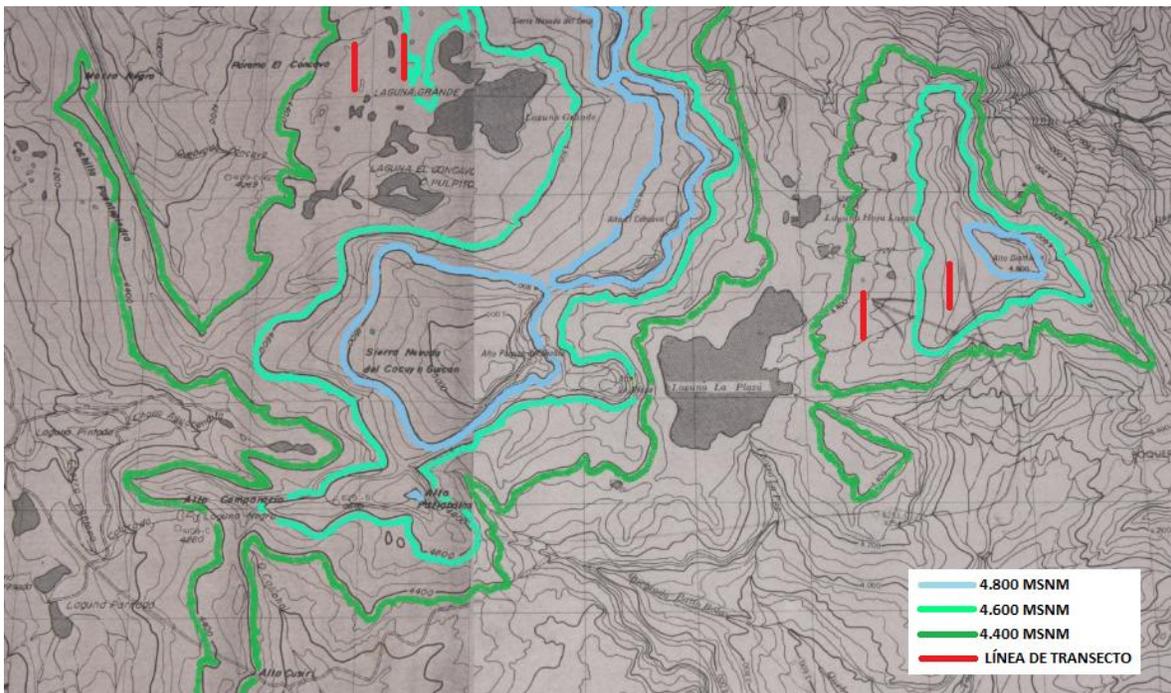
También se hicieron visitas al IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) para observar fotografías aéreas de la parte sur de la Sierra Nevada del Cocuy y Güicán con el fin de determinar los lugares más aptos para el muestreo e identificar morrenas recientemente expuestas, comparando éstas imágenes con fotografías tomadas en campo en 1959 por la expedición del Año Geofísico Internacional (Expedición A.G.I. realizada por Erwin Krauss y Thomas van der Hammen, entre otros) y otras publicadas en la revista PAN de 1938 determinando así la altura del límite inferior de lenguas glaciares en la Laguna Grande de la Sierra y en la Laguna de la Plaza.

**Tabla 1. Fotografías aéreas utilizadas para aproximar el límite inferior de la nieve en diferentes años en la parte sur de la Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia)**

Año	Sobre	N° Vuelo	N° Foto
1981	30746	C-1993	97
1985	32606	C-2174	26
1995	37412	C-2566	28
2000	38469	C-2669	256

## Fase 2: Trabajo de Campo

Se hizo una caminata de exploración entre el superpáramo y el límite inferior de las lenguas glaciares para identificar las alturas aproximadas con el fin de establecer la altura entre el superpáramo y del inicio del glaciar a la fecha, referenciando lugares principalmente con continuidad (mínimo de 50 metros) y baja pendiente. La diferencia entre alturas fue dividida en tres para determinar la distancia de separación entre transectos dejando un espacio entre el transecto ubicado a mayor altura y el límite inferior del glaciar. Y se establecieron las cotas de altura 4.500 y 4.600 msnm para los transectos en las dos zonas de muestreo, es decir, tanto en los Cerros de la Plaza (vertiente oriental) como en la Laguna Grande de la Sierra (vertiente occidental). La altura a la que se establecieron los transectos se midió con un GPS Garmin 60CSx y con un altímetro Thommen classic 6000.



**Figura 3. Mapa de la ubicación de los transectos en la parte sur de la Sierra Nevada de Güicán, Cocuy Chita en el departamento de Boyacá (Colombia).**

En total se realizaron cuatro transectos distribuidos así: dos levantamientos de información por cada vertiente de la parte sur de la Sierra Nevada del Cocuy y Güicán teniendo así dos en la Laguna Grande de la Sierra y dos en los Cerros de la Plaza respectivamente; cada transecto en una vertiente tuvo una réplica a la misma altura en la otra vertiente. Estos levantamientos se hicieron por medio de transectos lineales transversales a la montaña, paralelos a las cotas de altura, con una longitud de 50 metros y 2 metros de ancho siendo la línea del transecto la divisoria de la distancia de 1 m hacia arriba y 1 m hacia abajo; con una separación altitudinal entre cada transecto de 100 metros altitudinales. Lo que se busca con la separación entre los levantamientos es tener una distribución equidistante para diferenciar las comunidades que se encontrarán a diferentes alturas. Se marcaron en campo el inicio y el final del transecto con puntos de pintura de aceite para hacer réplicas futuras. Para efectos prácticos estos transectos se denominarán en adelante C/Plaza 4.500, C/Plaza 4.600, LG/Sierra 4.500 y LG/Sierra 4.600 indicando la zona y altura en metros sobre el nivel del mar a la que pertenecen. Se hizo un levantamiento de información por medio de fotografías a 4.700 msnm en los Cerros de la Plaza sin establecer un transecto definido debido a la presencia de escarpes a pocos metros de la pared que formaban corredores angostos sin continuidad longitudinal. En la Laguna Grande de la Sierra se registró el límite inferior de glaciar por debajo de los 4.700 msnm debido al clima invernal en el que se realizó el muestreo (Abril 21 - 27).

Los transectos se ubicaron en morrena recientemente descubierta por el retroceso glaciar dándole prioridad de observación a las grietas que se encuentren a lo largo del transecto, debido a que facilitan la fijación de semillas y esporas porque su relieve así lo permite. Se realizó un mapa de cada transecto señalando la ubicación y orientación de las grietas en la roca y se georreferenció la ubicación del transecto (Figura 3).

La recolección de los datos dentro del transecto se llevó a cabo por medio de fotografías de los individuos y coberturas vegetales presentes evitando así el deterioro por toma de muestras manuales para que las réplicas futuras en los

transectos puedan tener un buen seguimiento y se llenó una ficha de muestreo donde se registró: Colector, N° de colección, Vertiente, N° de transecto, Altura, N° de foto, morfoespecie y observaciones (donde se registraron las dimensiones de cada individuo o parche). Se tomaron dimensiones de altura y cobertura de los individuos encontrados en el transecto para tener un punto cero de observación del desarrollo vegetal. La cobertura se midió trazando dos líneas imaginarias perpendiculares entre sí cuyo punto de encuentro fuera en lo posible el centro del parche, teniendo así una medida para largo y otra para ancho.

Finalmente se hicieron tomas manuales de muestras de las especies encontradas dentro de los transectos, por fuera de ellos, para identificar las especies en el laboratorio.

### **Fase 3: Laboratorio**

La determinación de los ejemplares encontrados en los transectos se hizo por afinidad con los ejemplares del herbario nacional colombiano hallados para la misma localidad y con ayuda de claves taxonómicas como la clave para los géneros de hepáticas de Colombia de Jaime Uribe-M y Jaime Aguirre-C (1997).

Debido a que la metodología empleada en campo para hallar la cobertura por especie fue medir el largo por el ancho de cada individuo o parche de vegetación se espera que exista una desviación o sesgo puesto que casi ningún parche tiene forma cuadrada, por lo que para tener una medida de la cobertura en  $\text{cm}^2$  lo más cercana a la realidad se aplicó la fórmula del área de la elipse a las especies que lo necesitasen de la siguiente manera: la elipse tiene dos ejes de diferente magnitud, el más largo es el eje mayor y el menos largo es el eje menor (lo que en campo se midió como largo por ancho). Para hallar el área de la elipse se hace una analogía con el radio en el círculo dividiéndose ambos ejes en 2, teniendo así un semieje mayor y un semieje menor que se multiplican entre si y éstos a su vez con pi ( $\pi$ ).

$\text{Largo}/2 * \text{Ancho}/2 * \pi = \text{Cobertura elipsoidal del individuo o parche de vegetación.}$

Se analizaron los datos de cobertura vegetal en los transectos por medio del uso de índices de similitud de Jaccard para comparar las comunidades vegetales por levantamiento teniendo en cuenta presencia-ausencia y Bray-Curtis para ver la importancia de las especies en el transecto por medio de la cobertura encontrada para cada una de las especies.



**Figura 4. Diagrama Metodológico**

## RESULTADOS

Se realizaron levantamientos de información por medio de fotografías a 4.700 msnm en los Cerros de la Plaza en donde se encontró que la vegetación presente no era vascular y la mayoría de las briófitas estaban muertas o en estado de latencia.

### **Caracterización a nivel de composición de las comunidades de plantas vasculares encontradas en el muestreo.**

Se encontraron dentro de los transectos un total de 28 especies de plantas vasculares de las cuales 26 fueron determinadas por afinidad hasta especie y dos hasta género, agrupadas en 6 familias de angiospermas y 4 de pteridófitas entre las cuales se encuentran un licopodio y 3 helechos. (Tabla 1)

La familia con mayor representatividad en el muestreo general fue Asteraceae con 6 géneros dentro de los cuales había 14 especies encontradas en los transectos, le sigue la familia Poaceae con 1 género que agrupaba a 4 especies y en tercer lugar de representatividad se encuentran las familias Ericaceae y Scrophulariaceae con 2 géneros que agrupaban dos especies cada una, las demás familias sólo contaron con un género con su respectiva especie. El género más importante fue Senecio con 5 especies, seguido por Agrostis y Diplostegium cada uno con 3 especies, mientras que Baccharis y Pentacalia tenían 2 especies cada una; los demás géneros estuvieron representados por una sola especie.

En términos de distribución de las especies se encontraron para el transecto de los Cerros de la Plaza a 4.500 msnm (C/Plaza 4.500) 9 especies de plantas vasculares agrupadas en 7 familias de angiospermas y 2 de helechos. Para esta misma zona a 4.600 msnm (C/Plaza 4.600) se encontraron 3 especies de plantas vasculares. Para la Laguna Grande de la Sierra a 4.500 msnm (LG/Sierra 4.500) se encontraron 20 especies de plantas vasculares agrupadas en 5 familias de angiospermas y 2 de pteridófitas de las cuales una es Lycopodiaceae (licopodio) y una es Lomariopsidaceae (helecho). Mientras que para la Laguna Grande de la Sierra a 4.600 msnm (LG/Sierra 4.600) se encontraron 10 especies de plantas vasculares agrupadas en 5 familias de angiospermas y una pteridófitas que es Melpomene (helecho). El lugar con mayor riqueza es LG/Sierra 4.500, seguido por LG/Sierra 4.600, luego aparece C/Plaza 4.500 y por último está C/Plaza 4.600 siendo éste el que presenta menor número de especies (Tabla 2).

**Tabla 2. Listado del total de especies de plantas vasculares encontradas en 4 transectos ubicados a 4.500 msnm y 4.600 msnm en los Cerros de la Plaza y la Laguna Grande de la Sierra realizados en el PNN Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia).**

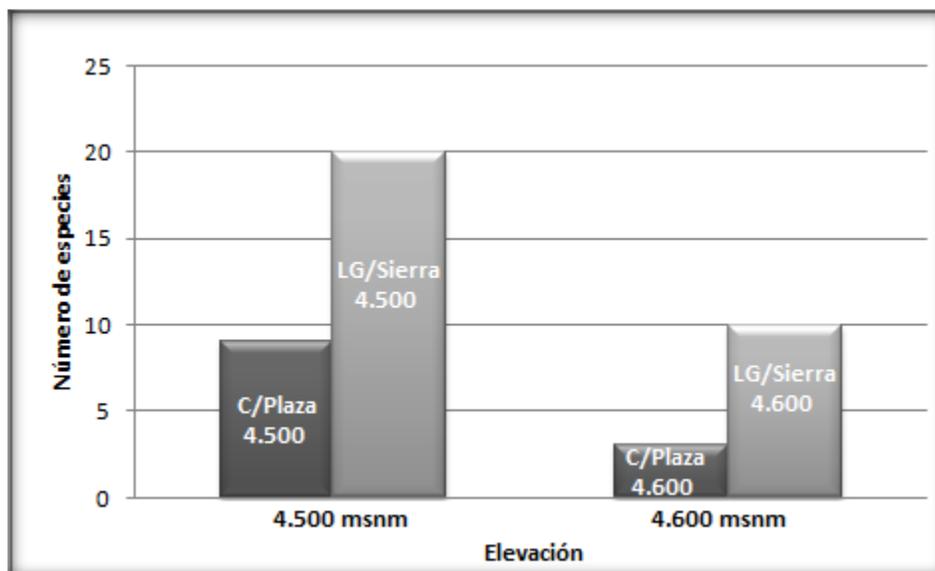
Listado General de especies (Plantas vasculares)					
N°	Familia	Especie	N°	Familia	Especie
1	Asteraceae	<i>Baccharis prunifolia</i>	15	Cyperaceae	<i>Oreobolus cleefii</i>
2	Asteraceae	<i>Baccharis prunifolia</i> var. <i>Subprunifolia</i>	16	Ericaceae	<i>Pernettya prostata</i>
3	Asteraceae	<i>Diplostephium alveolatum</i>	17	Ericaceae	<i>Vaccinium floribundum</i>
4	Asteraceae	<i>Diplostephium rhomboidale</i>	18	Juncaceae	<i>Luzula racemosa</i>
5	Asteraceae	<i>Diplostephium</i> sp.	19	Lomariopsidaceae	<i>Elaphoglossum castaneum</i>
6	Asteraceae	<i>Erigeron ecuadoriensis</i>	20	Lycopodiaceae	<i>Lycopodium crassum</i>
7	Asteraceae	<i>Hypochaeris sessiliflora</i>	21	Poaceae	<i>Poa trivialis</i>
8	Asteraceae	<i>Pentacalia güicanensis</i>	22	Poaceae	<i>Agrostis</i> sp.
9	Asteraceae	<i>Pentacalia vaccinioides</i>	23	Poaceae	<i>Agrostis boyacensis</i>
10	Asteraceae	<i>Senecio canescens</i>	24	Poaceae	<i>Agrostis trichodes</i>
11	Asteraceae	<i>Senecio cleefii</i>	25	Polypodiaceae	<i>Melpomene moniliformis</i>
12	Asteraceae	<i>Senecio cocuyan</i>	26	Pteridaceae	<i>Jamesonia imbricata</i>
13	Asteraceae	<i>Senecio formosus</i>	27	Scrophulariaceae	<i>Bartisia laniflora</i>
14	Asteraceae	<i>Senecio niveoaureus</i>	28	Scrophulariaceae	<i>Castilleja fissifolia</i>

Las especies más frecuentes fueron *Vaccinium floribundum* de la familia Ericaceae (encontrada en todos los transectos) y *Luzula racemosa* de la familia Juncaceae (presente en C/Plaza 4.500, LG/Sierra 4.500 y LG/Sierra 4.600). *Pentacalia vaccinioides*, *Senecio niveoaureus*, *Pernettya prostata* y *Bartisia laniflora* se encontraron sólo en la zona de la Laguna Grande de la Sierra, aunque estuvieron presentes en ambos transectos (LG/Sierra 4.500 y LG/Sierra 4.600), mientras que *Oreobolus cleefii* sólo estuvo presente en los Cerros de la Plaza también en los dos transectos (C/Plaza 4.500 y C/Plaza 4.600).

**Tabla 3. Listado de Presencia-Ausencia de las especies de plantas vasculares encontradas en 4 transectos ubicados a 4.500 msnm y 4.600 msnm en los Cerros de la Plaza y la Laguna Grande de la Sierra realizados en el PNN Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia).**

Especie	C/Plaza 4.500	C/Plaza 4.600	LG/Sierra 4.500	LG/Sierra 4.600
<i>Baccharis prunifolia</i> var. <i>Subprunifolia</i>	-	-	X	-
<i>Baccharis prunifolia</i>	-	-	X	-
<i>Diplostegium alveolatum</i>	-	-	X	-
<i>Diplostegium rhomboidale</i>	-	-	X	-
<i>Diplostegium</i> sp.	-	-	X	-
<i>Erigeron ecuadoriensis</i>	-	-	-	X
<i>Hypochaeris sessiliflora</i>	-	-	X	-
<i>Pentacalia güicanensis</i>	-	-	-	X
<i>Pentacalia vaccinioides</i>	-	-	X	X
<i>Senecio canescens</i>	X	-	X	-
<i>Senecio cleefii</i>	X	-	-	-
<i>Senecio cocuyanus</i>	X	-	X	-
<i>Senecio formosus</i>	-	-	X	-
<i>Senecio niveoaurus</i>	-	-	X	X
<i>Oreobolus cleefii</i>	X	X	-	-
<i>Pernettya prostata</i>	-	-	X	X
<i>Vaccinium floribundum</i>	X	X	X	X
<i>Luzula racemosa</i>	X	-	X	X
<i>Elaphoglossum castaneum</i>	-	-	X	-
<i>Lycopodium crassum</i>	-	-	X	-
<i>Poa trivialis</i>	-	-	-	X
<i>Agrostis</i> sp.	-	-	X	-
<i>Agrostis boyacensis</i>	-	X	X	-
<i>Agrostis trichodes</i>	X	-	-	-
<i>Melpomene moniliformis</i>	X	-	-	X
<i>Jamesonia imbricata</i>	X	-	-	-
<i>Bartisa laniflora</i>	-	-	X	X
<i>Castilleja fissifolia</i>	-	-	X	-

Las especies presentes sólo en C/Plaza 4.500 fueron *Senecio cleefii*, *Agrostis trichodes* y *Jamesonia imbricata*. Mientras que *Baccharis prunifolia*, *Baccharis prunifolia* var. *Subprunifolia*, *Diplostegium alveolatum*, *Diplostegium rhomboidale*, *Diplostegium* sp., *Hypochaeris sessiliflora*, *Senecio formosus*, *Elaphoglossum castaneum*, *Lycopodium crassum*, *Agrostis* sp. y *Castilleja fissifolia* se encontraron sólo en LG/Sierra 4.500. En cuanto a las especies únicas para LG/Sierra 4.600 se registraron *Erigeron ecuadoriensis*, *Pentacalia güicanensis* y *Poa trivialis* (Tabla 2).



**Figura 5. Número de especies de plantas vasculares encontradas a 4.500 msnm y 4.600 msnm. En gris oscuro está representada la zona de los Cerros de la Plaza y en gris claro la zona de la Laguna Grande de la Sierra.**

En el número de especies encontradas por transecto se evidenciaron diferencias tanto entre las alturas como en las zonas de muestreo, pues entre las alturas 4.500 msnm y 4.600 msnm se observa una disminución de 66% de número de especies para los Cerros de la Plaza y del 50% para la zona de la Laguna Grande de la Sierra. Por otro lado entre las zonas de muestreo la Laguna Grande de la Sierra es la que tiene mayor riqueza en las dos alturas, pues LG/Sierra 4.500 tiene más del doble de especies que C/Plaza 4.500 y a la altura de 4.600 msnm LG/Sierra 4.600 tiene aproximadamente 3 veces más especies que C/Plaza 4.600 (Figura 5).

### **Caracterización de la estructura en las comunidades de plantas encontradas en el muestreo.**

Para caracterizar la estructura de las especies vegetales encontradas en los transectos, se tiene en cuenta la importancia de las especies de plantas vasculares y no vasculares encontradas en campo dependiendo de la cobertura relativa (Anexo 1).

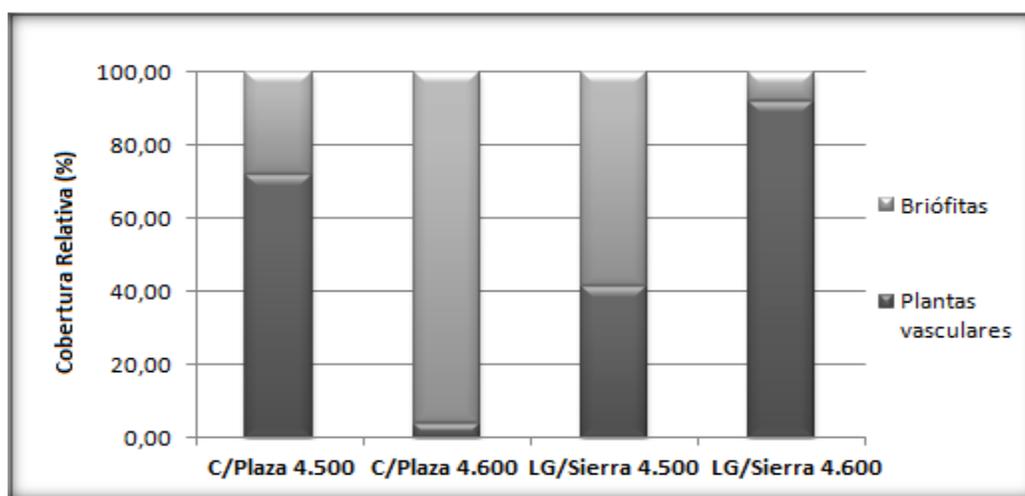
Se midió un total de 400 m<sup>2</sup> de los cuales cada transecto aportaba 100 m<sup>2</sup> de área, encontrando un total de 8.4 m<sup>2</sup> de cobertura vegetal. Así se tiene que el 2.1% del área muestreada se encuentra cubierto de especies vegetales. De los 8.4 m<sup>2</sup> de cobertura total 3.72 m<sup>2</sup> corresponden a briófitas mientras que 4.67 m<sup>2</sup> corresponden a cobertura de plantas vasculares lo que significa una importancia de 44,34% y 55,66% respectivamente (Anexo 1).

En términos de cobertura total para C/Plaza 4.500 (100 m<sup>2</sup>) hubo una cobertura vegetal de 1.09 m<sup>2</sup> (1.09% de cobertura) de los cuales 0.78 m<sup>2</sup> eran de plantas vasculares y 0.31 m<sup>2</sup> eran de briófitas lo que equivale al 0.78% y 0.31% del área del transecto; mientras que para C/Plaza 4.600 (100 m<sup>2</sup>) hubo una cobertura total de 0.26 m<sup>2</sup> (0.26% de cobertura) de los cuales 0.01 m<sup>2</sup> (106 cm<sup>2</sup>) eran de plantas vasculares y 0.25 m<sup>2</sup> eran de cobertura de briófitas lo que corresponde al 0.01% y 0.25% del área del transecto. Por otro lado, para LG/Sierra 4.500 se encontró una cobertura total de 5.11 m<sup>2</sup> (5.1%) de los cuales 2.11 m<sup>2</sup> eran de plantas vasculares y 3.0 m<sup>2</sup> eran de briófitas, lo que equivale al 2.1% y 3% del área del transecto; mientras que para LG/Sierra 4.600 se encontró una cobertura total de 1.93 m<sup>2</sup> (1.9% de cobertura) de los cuales 1.77 m<sup>2</sup> eran de plantas vasculares y 0.15 m<sup>2</sup> eran de briófitas, lo que equivale a 1.7% y 0.15% del área del transecto.

En cuanto a la importancia relativa de los grupos por transecto se encontró en C/Plaza 4.500 un 71,64% de plantas vasculares frente a 28.36% de briófitas. En C/Plaza 4.600 se encontró que la importancia de las plantas vasculares era de 4,02% frente a 95,98% de briófitas. En LG/Sierra 4.500 la importancia de las plantas vasculares era de 41.22% frente a 58.78% de briófitas. Y para LG/Sierra 4.600 se encontró que la importancia de las plantas vasculares fue de 91,89% frente a 8,11% de las briófitas (Figura 6).

Las especies de plantas vasculares que mayor importancia tuvieron en el muestreo general fueron quienes presentaban los valores más altos para las sumatorias del total de las coberturas en los transectos, teniendo así a *Vaccinium floribundum* como la especie vascular más importante con una cobertura total de 16.570 cm<sup>2</sup>, seguida por *Pernettya prostata* con 7.786 cm<sup>2</sup>, *Pentacalia vaccinooides*

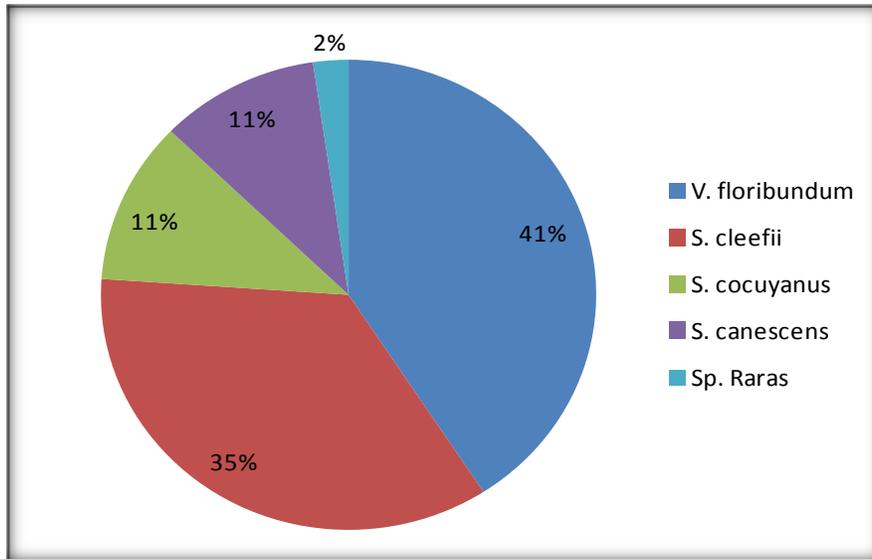
con 5.442 cm<sup>2</sup>, *Senecio niveoaurus* con 3.349 cm<sup>2</sup>, *Diplostephium rhomboidale* y *Senecio cleefii* con 2.757 cm<sup>2</sup> cada uno, *Baccharis prunifolia* con 2.227 cm<sup>2</sup>, *Senecio cocuyanus* con 1.418 cm<sup>2</sup> y *Poa trivialis* con 1.008 cm<sup>2</sup>. Las demás especies tuvieron coberturas totales por debajo de 1.000 cm<sup>2</sup> siendo *Senecio formosus*, *Diplostephium sp.* *Agrostis trochodes*, *Elaphoglossum castaneum*, *Agrostis sp.* y *Castilleja fissifolia* las 6 especies más raras representadas con 44 cm<sup>2</sup>, 28 cm<sup>2</sup>, 27 cm<sup>2</sup>, 16 cm<sup>2</sup>, 11 cm<sup>2</sup> y 8 cm<sup>2</sup> respectivamente (Anexo 1).



**Figura 6. Comparación de la importancia relativa entre plantas vasculares y briófitas para 4 transectos ubicados a 4.500 msnm y 4.600 msnm realizados en el PNN Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia).**

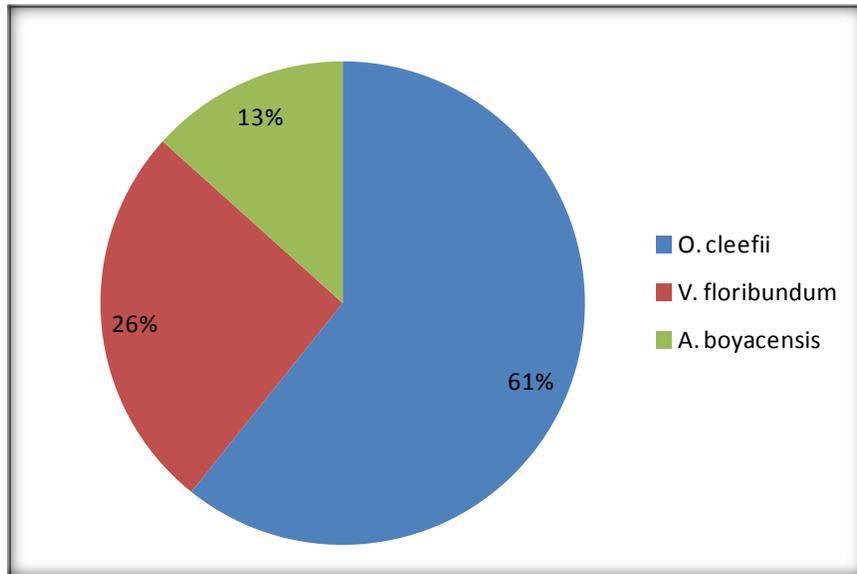
Dentro las coberturas de las plantas vasculares por transecto tenemos que para C/Plaza 4.500 las especies más importantes fueron *Vaccinium floribundum*, *Senecio cleefii*, *Senecio cocuyanus* y *Senecio canescens*; las especies más raras fueron *Jamesonia imbricata*, *Luzula racemosa*, *Melpomene moniliformis*, *Agrostis trichodes* y por último *Oreobolus cleefii* (Figura 7).

Para C/Plaza 4.600 las especies más importantes fueron *Oreobolus cleefii*, *Vaccinium floribundum* y *Agrostis boyacensis* (Figura 8).

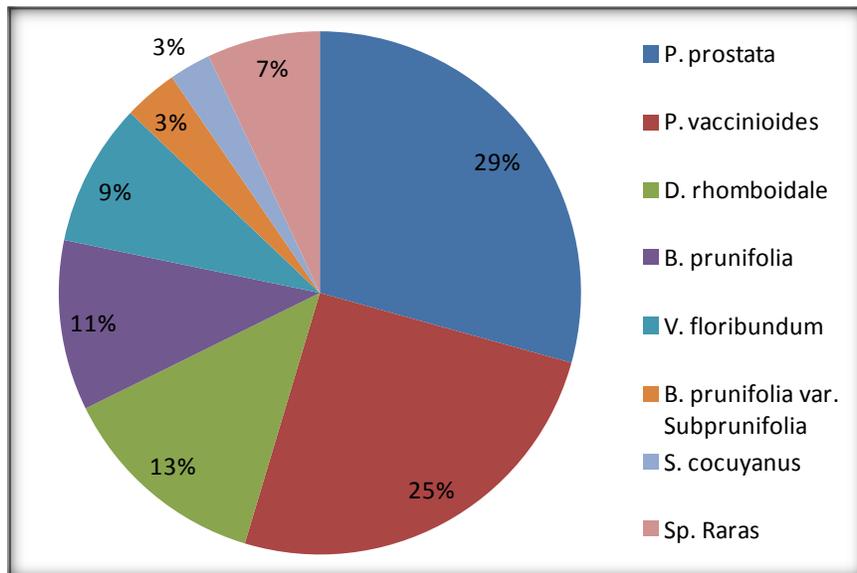


**Figura 7. Importancia de las especies de plantas vasculares para el transecto C/Plaza 4.500 realizado en el PNN Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia).**

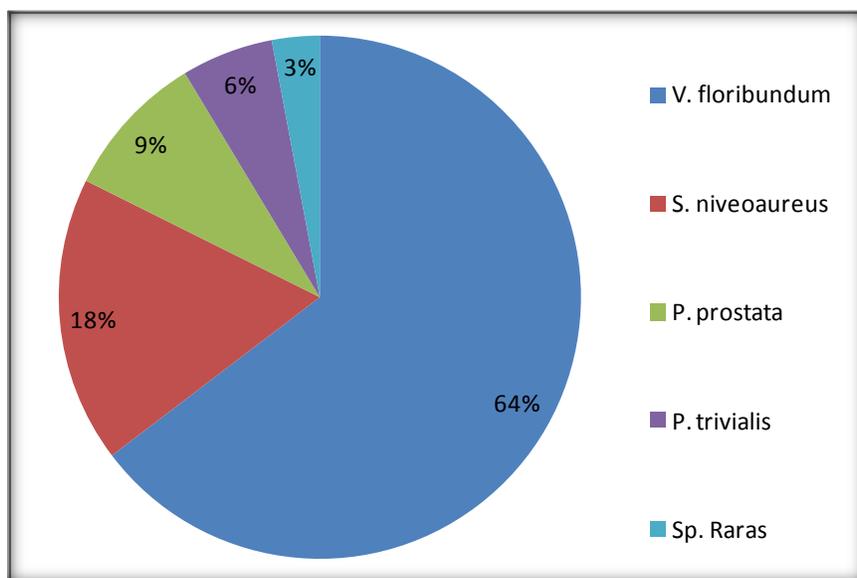
Por otro lado, para LG/Sierra 4.500 las especies más importantes ordenadas por jerarquía fueron *Pernettya prostata*, *Pentacalia vaccinoides*, *Diplostephium rhomboidale*, *Baccharis prunifolia*, *Vaccinium floribundum*, *Baccharis prunifolia var. subprunifolia* y *Senecio cocuyanus*, las especies más raras fueron *Diplostephium alveolatum*, *Agrostis boyacensis*, *Senecio niveoaureus*, *Luzula racemosa*, *Hypochaeris sessiliflora*, *Lycopodium crassum*, *Bartsia lanosa*, *Senecio canescens*, *Senecio formosus*, *Diplostephium sp.*, *Elaphoglossum castaneum*, *Agrostis sp.* y por último *Castilleja fissifolia*.(Figura 9). Y para LG/Sierra 4.600 las especies más importantes fueron *Vaccinium floribundum*, *Senecio niveoaureus*, *Pernettya próstata* y *Poa trivialis*, mientras que *Erigeron ecuadoriensis*, *Luzula racemosa*, *Pentacalia vaccinoides*, *Melpomene moniliformis*, *Pentacalia güicanensis* y *Bartsia lanosa* fueron las más raras (Figura 10).



**Figura 8. Importancia de las especies de plantas vasculares para el transecto C/Plaza 4.600 realizado en el PNN Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia).**



**Figura 9. Importancia de las especies de plantas vasculares para el transecto LG/Sierra 4.500 realizado en el PNN Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia).**



**Figura 10. Importancia de las especies de plantas vasculares para el transecto LG/Sierra 4.600 realizado en el PNN Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia).**

### **Comparación de estructura y composición entre las comunidades de plantas vasculares.**

El dendrograma obtenido por medio del índice de similitud de Jaccard para los transectos muestra una marcada diferencia entre cada uno, con valores por debajo de 0.5 (Figura 11), lo que indica por medio de presencia-ausencia que la estructura entre cada transecto es diferente, teniendo valores de similitud de 0.2 para los transectos de los cerros de la Plaza, 0.19 para los transectos de la Laguna Grande de la Sierra y 0.1 para todos los transectos. Con el dendrograma obtenido por el índice de Jaccard para las dos zonas generales de muestreo que son la Laguna Grande de la Sierra y los Cerros de la Plaza (Figura 12), mostrando de igual forma que ambas zonas son diferentes en cuanto a su estructura con un valor de similitud de 0.2.

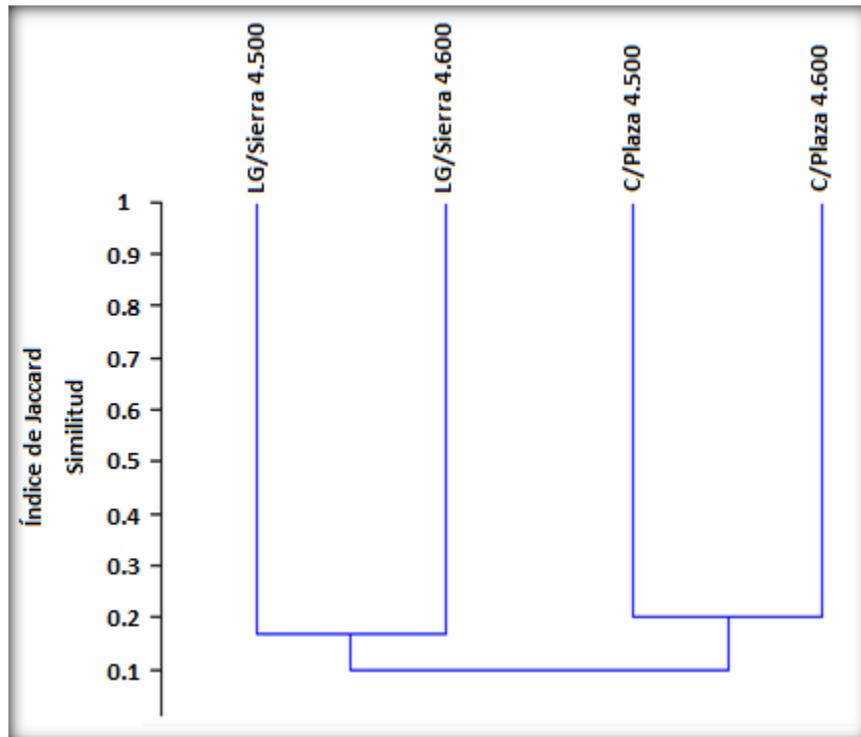


Figura 11. Dendrograma de afinidad para los 4 transectos en el PNN Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia), obtenido por el índice de Jaccard.

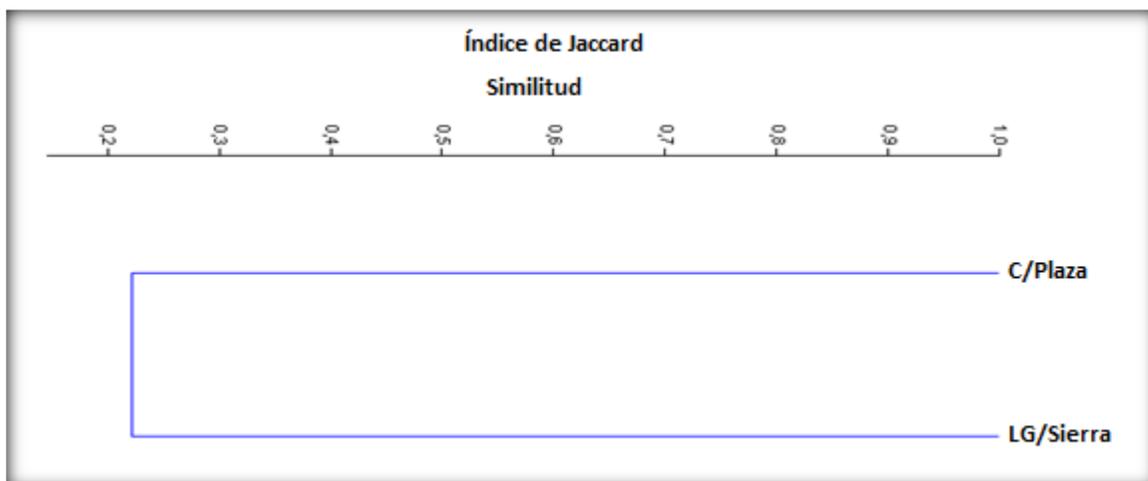
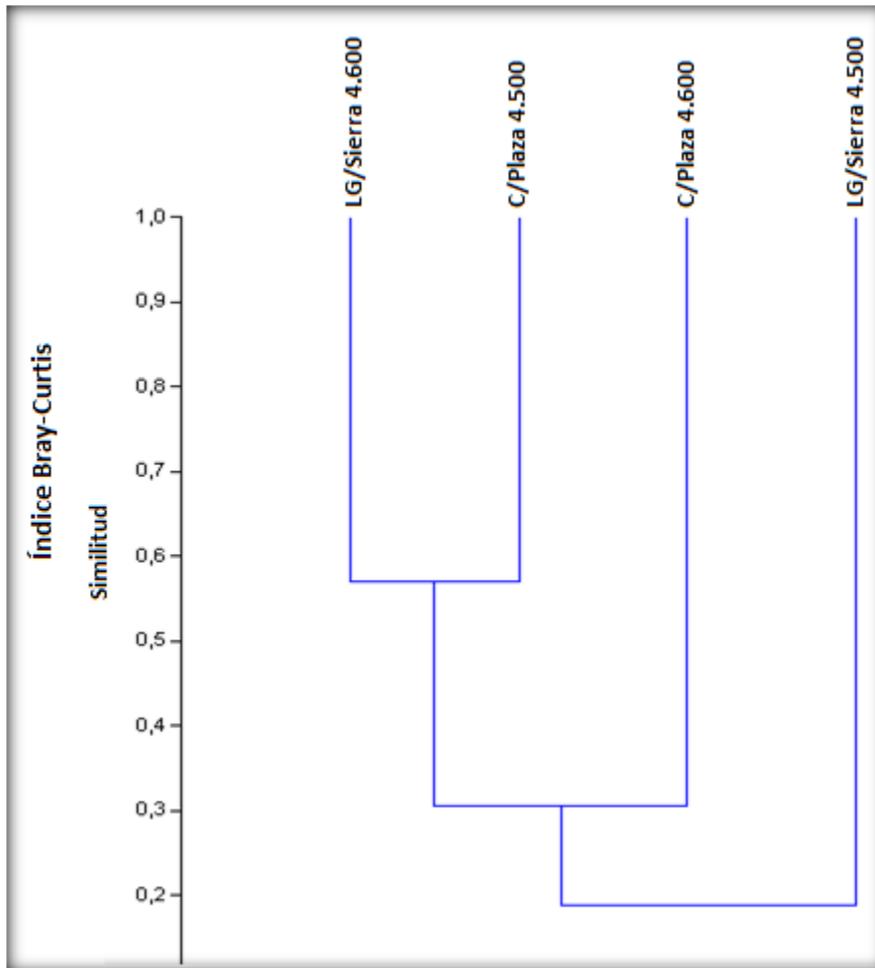


Figura 12. Dendrograma de afinidad para los transectos de la Laguna Grande de la Sierra y los Cerros de la Plaza realizados en el PNN Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia) obtenido por el índice de Jaccard.



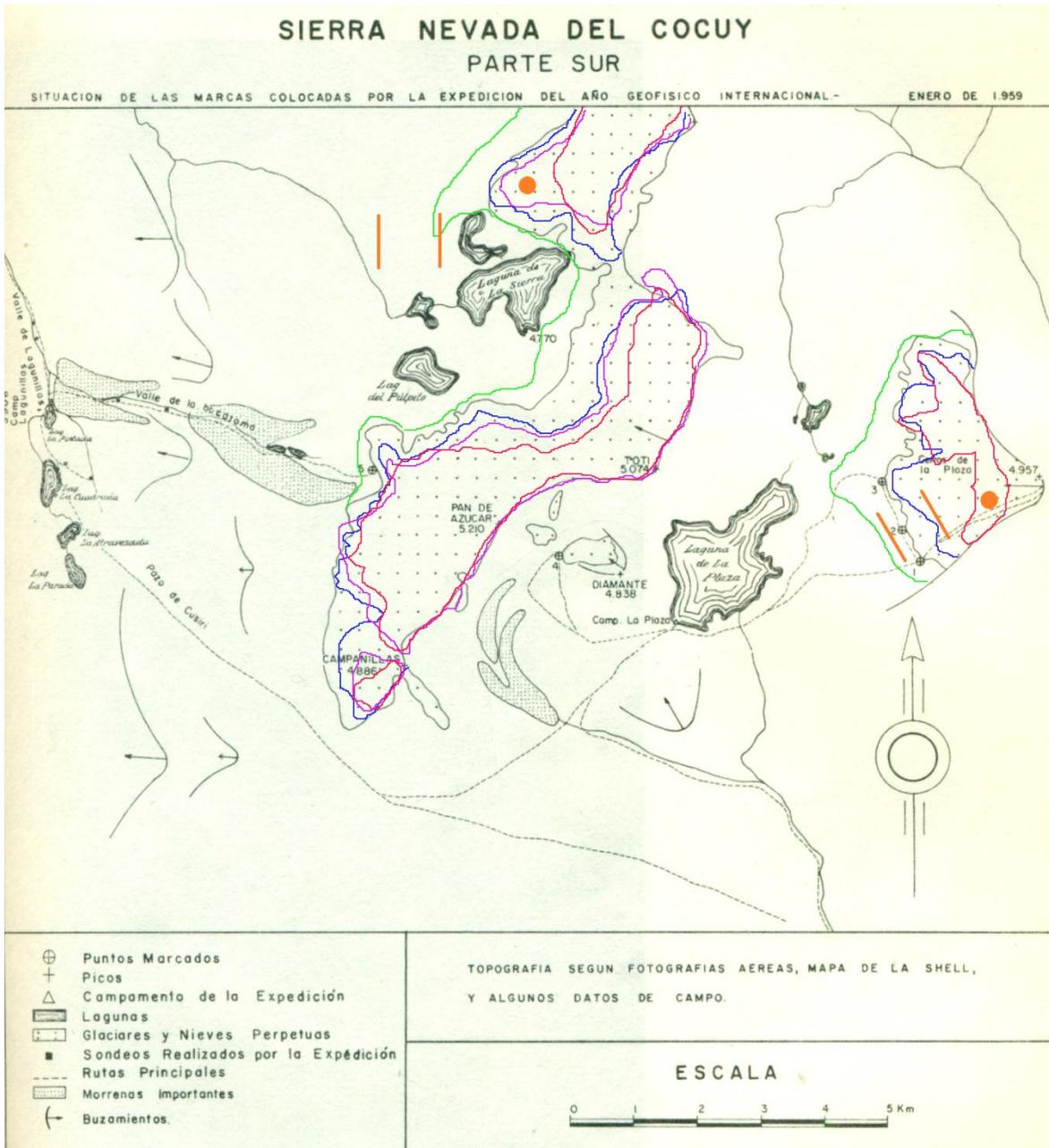
**Figura 13. Dendrograma obtenido por el índice de Bray – Curtis en el que se cruzan datos de abundancias relativas para 4 transectos realizados en el PNN Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia).**

Para el índice de Bray-Curtis se emplearon datos de abundancias relativas compartidas entre cada lugar de muestreo y el dendrograma arrojó que los transectos C/Plaza 4.500 y LG/Sierra 4.600 tienen una similitud de 0.57, mientras que C/Plaza 4.600 se unía con aquellos en 0.3 indicando que son diferentes. Por último LG/Sierra 4.500 fue la más diferente con 1.9 en el rango de afinidad de 0 a 1 (Figura 13).

### **Dinámica del retroceso glaciar.**

Se revisaron fotografías aéreas en el IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) con el fin de determinar la altura aproximada a la que estaban las lenguas glaciares en diferentes momentos recientes, sin embargo no se logró hacer un tratamiento adecuado de la información, como la ortorrectificación de las fotografías, debido a que el área de ventas en el IGAC estuvo cerrada durante el tiempo del estudio por lo que sólo se utilizaron las fotografías disponibles (Tabla 3) para hacer una aproximación de la cobertura de hielo y nieve en diferentes años (Figura 14). Además se revisaron fotografías tomadas en campo por Erwin Krauss y Anton Lampel en el año 1938, y Erwin Krauss y Thomas Van der Hammen en los años 1958 y 1959 como información de base de la Expedición del Año Geofísico Internacional, con el fin de establecer una datación aproximada de cobertura de nieve para los lugares de muestreo.

Así tenemos que en mayo de 1938 para la vertiente occidental (Laguna Grande de la Sierra) el límite inferior de la nieve estaba alrededor de los 4.600 msnm (Anexo 2), mientras que para la vertiente oriental (Laguna de la Plaza) estaba alrededor de los 4.500 msnm (Anexo 3).



**Figura 14. Mapa de la parte sur de la Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia) donde se muestran coberturas aproximadas de nieve en diferentes años. Tomado del libro de la Expedición del Año Geofísico Internacional (1959) y modificado por el autor. En verde año 1938, en negro año 1958, en azul año 1981, en fucsia año 1985, en rojo año 2000 y en naranja líneas de transectos (sin relación con la escala del mapa) y puntos de muestreo por fotografías.**

Se tiene entonces que los transectos C/Plaza 4.500 y parte de LG/Sierra 4.600 estuvieron cubiertos por nieve hacia el año de 1938 y para 1958 la cobertura de nieve había retrocedido exponiendo el sustrato para dar paso a la colonización vegetal. Por otro lado, el transecto C/Plaza 4.600 tiene un tiempo de exposición más corto que los anteriores descritos ya que para 1981 aun estaba cubierto de nieve y para el año 2000 la nieve había retrocedido dejando así libre el afloramiento rocoso. Para el transecto LG/Sierra 4.500 sólo se tiene el dato de la comisión corográfica dirigida por Agustín Codazzi en el que el límite inferior estaba a 4.500 msnm para el año de 1851.

## DISCUSIÓN

Se encontraron un total de 28 especies de plantas vasculares las cuales estuvieron representadas principalmente por la familia Asteraceae y Poaceae que como en otras áreas templadas (Compositae y Gramineae) son las familias con mayor representación y de lejos con más géneros (Cleef, 1981). Ericaceae por su parte tiene gran representatividad debido al cinturón de Ericaceas presente en la alta montaña colombiana por encima de los 3.000 msnm (Luteyn, 1999). Dentro de los géneros más representados en el muestreo fue *Senecio* de la familia Asteraceae, género con altos endemismos en la Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita, como *S. güicanensis*, *S. cocuyanus* y *S. vaccinoides*.

La especie más frecuente fue *Vaccinium floribundum* la cual presenta asociaciones con micorrizas y otras especies de plantas tanto vasculares como briófitas lo que pueda explicar en parte la presencia de esta especie en todos los transectos (Cleef, 1981; Cuatrecasas, 1934).

Según Cleef (1981) en zonas bajas del superpáramo la composición en la vegetación principalmente consiste en *Senecio vaccinoides*, asociado son *S. andícola*, *Diplostephium rhomboidale* y *D. alveolatum* los cuales son encontrados en morrenas jóvenes en el borde páramo-superpáramo (4.300 – 4.400 msnm)

sobre la vertiente seca (lado Oeste) de la Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita. En zonas medias del superpáramo, en la misma vertiente, la vegetación está compuesta principalmente por plantas vasculares como *Pernettya prostata* la cual es localmente dominante y las especies comunes son *Agrostis boyacensis*, *A. haenkeana*, *Bartsia sp.*, *Diplostephium colombianum*, *Draba litamo*, *Jamesonia goudotii*, *Lachemilla tanacetifolia*, *Luzula racemosa*, *Lycopodium crassum*, *Orithrophium cocuyense*, *Senecio güicanensis*, *Poa sp.*, entre otros. De los cuales *Agrostis boyacensis*, *Bartsia sp. (lanosa)*, *Luzula racemosa*, *Lycopodium crassum*, *Senecio güicanensis* y *Poa sp.* se encontraron en el muestreo. Y en zonas altas del superpáramo se encuentran especies como *Agrostis boyacensis*, *Luzula racemosa*, *Pernettya próstata*, *Poa sp.*, *Senecio güicanensis*, *S. cocuyanus*, *S. supremus*, *Andreaea rupestris*, *Bryum argenteum*, *Ditrichum gracile*, *Polytrichum juniperinum*, *Racomitrium crispulum* y *Stereocaulon vesuvianum*, de las cuales *Agrostis boyacensis*, *Luzula racemosa*, *Pernettya próstata*, *Poa sp.*, y *S. cocuyanus* tuvieron por lo menos una aparición en esta vertiente.

Por otro lado, para la vertiente húmeda (Este) del superpáramo de la sierra nevada de Güicán, Cocuy y Chita, Cleef (1981) reporta a *Senecio niveo aureus* como la especie más conspicua e incluye otras como *Erigerion chionophilus*, *E. ecuadoriensis*, *Valeriana plantaginea* y *Motia meridensis* entre otras, de las cuales *Senecio niveo aureus* se observó con frecuencia en la zona de la Laguna de la Plaza pero no estuvo presente en ningún transecto de los Cerros de la Plaza y *Erigerion ecuadoriensis* estuvo presente sólo en LG/Sierra 4.600.

Se observó que el número de especies se va reduciendo considerablemente cuanto más altura se alcanza a nivel del mar coincidiendo con observaciones pasadas (Cleef, 1981; Cuatrecasas, 1934), sin embargo el número de especies por vertiente no coincide con la literatura, pues para la vertiente Este (Cerros de la Plaza) que es más húmeda que la vertiente Oeste (Laguna Grande de la Sierra) se reportan más número de especies, lo que puede deberse en primer lugar al sustrato en el que se encontraron las especies, ya que en la Laguna Grande de la Sierra el sustrato presente en los dos transectos era arenoso mientras que en los

Cerros de la Plaza era laja (roca sólida), lo que dificultaba el establecimiento de las especies y restringía su distribución a las grietas; y en segundo lugar a que en los Cerros de la Plaza hubo una exposición del sustrato por retroceso glaciar más reciente que en la Laguna Grande de la Sierra. Teniendo así mayor número de especies en ambos transectos de la Laguna Grande de la Sierra.

Observando la importancia de las especies para las dos vertientes se tiene que las briófitas tienden a ser más importantes cuanto más alto está el transecto, lo que se puede explicar teniendo en cuenta que son las especies pioneras en la colonización vegetal (Cleef, 1981). Las especies de plantas vasculares más importantes *Vaccinium floribundum*, *Pernettya próstata*, *Pentacalia vaccinoides*, *Senecio niveoaureus*, *Diplostephium rhomboidale* y *Senecio cleefii* son de las familias más representativas en zonas de páramo y superpáramo que son Asteraceae y Ericaceae. La cobertura total para C/Plaza 4.500 fue de 10.916 cm<sup>2</sup>, para C/Plaza 4.600 fue de 2.636 cm<sup>2</sup>, para LG/Sierra 4.500 fue de 51.159 cm<sup>2</sup> y para LG/Sierra 4.600 fue de 19.335 cm<sup>2</sup> lo que coincide con el número de especies encontradas por transecto pero que no se relaciona con la literatura, hecho mencionado anteriormente.

El dendrograma obtenido por medio del índice de similitud de Jaccard por presencia ausencia muestra que todos los transectos son diferentes, siendo los transectos que comparten vertiente los menos diferentes; lo que posiblemente se deba a que las especies presentes a una altura determinada se dispersen a lugares cercanos implicando a los transectos cercanos a compartir especies, sin embargo no todas las especies llegan a colonizar en el mismo tiempo y espacio.

El dendrograma obtenido por medio del índice de Bray-Curtis usando datos cuantitativos de importancia de las especies (cobertura relativa) muestra dos transectos con similitud que son C/Plaza 4.500 y LG/Sierra 4.600. Este resultado se debe en gran parte a la similitud de la cobertura total de ambos transectos (10.916 cm<sup>2</sup> y 19.335 cm<sup>2</sup> respectivamente) frente a los demás (C/Plaza 4.600: 2.636 cm<sup>2</sup> y LG/Sierra 4.500: 51.159 cm<sup>2</sup>). La diferencia entre éstos y C/Plaza 4.600 radica en la poca cobertura de éste último y el bajo número de especies

encontradas, a pesar de que *Vaccinium floribundum* y *Oreobolus Cleefii* sean comunes para C/Plaza 4.600 y C/Plaza 4.500 y *Agrostis boyacensis* sea común para C/laza 4.600 y LG/Sierra 4.500. En cuanto que LG/Sierra 4.500 es el transecto más diferente por la gran cantidad de especies encontradas y los valores altos de cobertura total con relación a los demás transectos, además de que se presentan especies como *Diplostephium rhomboidale* y *Baccharis prunifolia* con coberturas de 2757 cm<sup>2</sup> y 2227 cm<sup>2</sup> respectivamente y *Baccharis prunifolia* var. *subprunifolia* y *Diplostephium alveolatum* con coberturas de 704 cm<sup>2</sup> y 495 cm<sup>2</sup> respectivamente dentro de las más importantes únicamente en éste transecto (Anexo 1).

Se estima que la vegetación encontrada en LG/Sierra 4.500, LG/Sierra 4.600, C/Plaza 4.500 y C/Plaza 4.600 tenga tiempos diferentes de colonización debido al retroceso glaciar que liberó tales zonas. Puesto que se tiene, por medio de información secundaria, que en la vertiente Oeste el límite inferior de la nieve estaba a 4.500 msnm aproximadamente para el año 1851 (Patiño Molina, nd) y para el año 1938 se ubicaba entre 4.500 msnm y 4.600 msnm, se puede inferir que el transecto LG/Sierra 4.600 tiene un tiempo de exposición aproximado de 70 años, mientras que para LG/Sierra 4.500 el tiempo de exposición estaría entre los 100 y 70 años por lo que no se puede aproximar aunque sea *grosso modo* debido principalmente a la falta de información; sin embargo se puede decir que la comunidad vegetal presente en la vertiente Oeste de la parte sur de la Sierra ha tenido más tiempo de permanencia debido a que el sustrato lleva más tiempo expuesto por deshielo que la vertiente Este. Para la vertiente Este de la Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita se tiene que el área del transecto C/Plaza 4.500 estuvo cubierta de nieve hacia el año 1938 y descubierta para 1959 por lo que podría decirse que el tiempo de exposición luego del retroceso glaciar del área en cuestión es de 60 años aproximadamente. Mientras que para el transecto C/Plaza 4.600 se tiene que el tiempo de exposición es de aproximadamente de 30 años. Los tiempos de exposición luego del retroceso glaciar de los lugares muestreados pueden constituirse como un factor muy relevante para explicar la composición y estructura de la vegetación encontrada en cada transecto. Las observaciones que

se hicieron a los 4.700 msnm reflejaron que sí hay plantas que suben hasta esa altura, sin embargo a pesar de que todas las plantas eran briófitas, para la época en la que se realizó el muestreo ninguna estaba con vida; lo que lleva a la hipótesis de plantas colonizadoras principalmente briófitas que entran en etapas de latencia por temporadas o que no resisten la alta radiación, los vientos fuertes y las condiciones climáticas extremas.

Los glaciares colombianos alcanzaron su mayor extensión hace 35.000 años, descendiendo hasta los 3.000 msnm cubriendo un área aproximada de 17.109 km<sup>2</sup> (Van der Hammen, 1985); sin embargo el último gran avance de los glaciares ocurrió durante la pequeña edad del hielo, entre 1600 y 1850 d.C. cubriendo un área aproximada de 374 km<sup>2</sup> (Flórez, 2002) y con el límite inferior de la nieve ubicado entre 4.200 y 4.400 msnm en los Andes centrales colombianos y 4.600 msnm en la Sierra Nevada de Santa Marta (Flórez, 1992). Muchos glaciares colombianos han desaparecido desde entonces y los que quedan han perdido entre el 60% y 80% de cobertura entre 1850 y 2000 (IDEAM, 2000)

Dentro de los primeros registros de glaciología para el área de estudio se tienen además de la segunda expedición de Agustín Codazzi realizada en enero de 1851 al “Nevado del Cocuy” (Patiño Molina, nd.) en donde registra el límite inferior de la nieve a 4.500 msnm en la vertiente Oeste de la sierra, sin embargo no realizó la medición para la vertiente Este (Reyes & Iriarte, 1996), las fotografías de Erwin Krauss publicadas en la revista PAN en 1938 y los de la Expedición de Año Geofísico Internacional realizada en 1959 por Erwin Krauss y Thomas van der Hammen como principales autores. Para 1938 se tiene una medida aproximada del límite inferior de la nieve gracias a fotografías tomadas en campo, en la que en años anteriores se denominó la “Laguna de los Témpanos” debido a que había témpanos de hielo flotando en su superficie y la nieve limitaba con los bordes Norte y Este de la laguna, hoy llamada Laguna Grande de la Sierra (Anexo 2).

Poveda y Pineda (2009) estimaron para la Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita un área glaciar de 28.66 km<sup>2</sup> en 1989, 22.9 km<sup>2</sup> en 2000 y 17 km<sup>2</sup> en 2007; lo que indica una pérdida del 41% de la masa glaciar durante el período 1989-

2007 con una tasa de retroceso de 64.8 ha/año, sin embargo luego del 2000 ésta tasa se incrementó pasando a ser de 84.3 ha/año.

El capítulo sobre Latinoamérica del cuarto reporte (AR4) del panel intergubernamental de expertos sobre cambio climático del 2007 (IPCC, 2007) reporta tendencias intensificadas en el retroceso glaciar de los Andes tropicales, observando condiciones críticas en Bolivia, Perú, Colombia y Ecuador. Para Colombia en particular el AR4 identificó tasas de retroceso glaciar por el orden de 10 – 15 metros por año indicando que los glaciares colombianos desaparecerían en los próximos 100 años, sin embargo Poveda y Pineda (2009) estimaron para Colombia el total del área glaciar en 45 km<sup>2</sup>, el límite inferior de los glaciares en 4.800 msnm y una tasa de retroceso de 3 km<sup>2</sup> por año. Asumiendo que éstas tendencias lineares se mantengan en el futuro, Poveda y Pineda (2009) concluyen que los glaciares colombianos desaparecerían alrededor del año 2022, ya que la ELA (línea de equilibrio altitudinal) se sitúa por encima de los 5.100 msnm, altura cercana a la elevación máxima de gran parte de los picos nevados colombianos con excepción de la Sierra Nevada de Santa Marta (5.770 msnm). Un estudio realizado por Ceballos et al. (2006) encontró que durante los últimos 50 años los glaciares colombianos han perdido el 50% de su extensión en área, sin embargo el retroceso glaciar se ha acelerado en los últimos 15 años, incrementando entre un 10% – 15% la pérdida de masa, lo que propicia la colonización vegetal en ambientes recientemente expuestos. Aunque no se puede dejar de lado la importancia de los glaciares como reguladores de ciclos hídricos en temporadas secas.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Las plantas vasculares encontradas en este trabajo fueron mayormente representadas por las familias Asteraceae y Poaceae, seguido por la familia Ericaceae. El género que más encontrado en este muestreo fue el *Senecio* y la especie más frecuente fue *Vaccinium floribundum*.

La vegetación está compuesta principalmente por plantas vasculares.

El número de especies se va reduciendo considerablemente a medida que va aumentando la altura a nivel del mar.

En los transectos de los Cerros de la Plaza el sustrato es roca sólida, por lo tanto se dificulta el establecimiento de las especies y restringe su distribución a grietas.

Las briófitas tienden a ser más importantes cuanto más alto está el transecto pues estas especies son las pioneras en la colonización vegetal.

Los transectos establecidos en la caras oriente y occidente de la sierra según el índice de similitud de Jaccard son diferentes.

Diversos factores son causas del acelerado retroceso glaciar en la alta montaña colombiana, dentro de los cuales están principalmente el incremento en la temperatura, el incremento en la amplitud del ciclo diurno de temperaturas, los eventos ENSO con anomalías positivas de temperatura y anomalías negativas de precipitación en El Niño facilitando el retroceso glaciar y para La Niña con anomalías negativas de temperatura y anomalías positivas de precipitación propiciando el avance glaciar, pero la mayor frecuencia de El Niño (3-4 años) con respecto a La Niña (5-6años) contribuye a la pérdida general de cobertura de nieve. Sin embargo cualquier extrapolación estadística debe ser confirmada con un estudio completo de monitoreo de balance de masa y energía en los glaciares tropicales colombianos.

El tamaño pequeño de los glaciares tropicales es una condición que maximiza su sensibilidad frente a la variabilidad climática en el corto plazo (Ceballos et al, 2006; Francou et al, 2003; Vuille et al, 2008) por lo que deben realizarse estudios que profundicen sobre el aporte hídrico de los glaciares para ecosistemas situados por debajo del límite inferior de la nieve tanto para épocas secas como para épocas de lluvia.

Como recomendación es importante ampliar este estudio a lo largo de la Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita obteniendo un inventario florístico más completo

realizando repeticiones de muestreo en diferentes alturas y diferentes épocas del año, pues existen plantas que viven períodos cortos de tiempo y que posiblemente no estén registradas en el presente trabajo.

Se recomienda realizar un futuro estudio que tenga en cuenta las propiedades químicas del sustrato recientemente expuesto para relacionarlo con las colonizaciones de las plantas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Alcaraz, F., Clemente, M., Barreña, J. A. & Álvarez Rogel, J. 1999. Manual de teoría y práctica de geobotánica. ICE Universidad de Murcia y Diego Marín. Murcia. España

Alcaraz, F. y Rivera, D. 2007. *Plantas herbáceas*. Enciclopedia Divulgativa de la Historia Natural de Jumilla-Yecla. Vol. 8. CAM.

Álvarez, G. 2011. Las áreas protegidas en Colombia. Universidad Externado de Colombia. Bogotá. Colombia. 203 p.

Baranowski, S. 1977. The subpolar glaciers of Spitsbergen seen against the climate of this region. Acta University Wratisl. Wroclaw

Bowen, D. Q., 1978. Quaternary Geology. A stratigraphic framework for multidisciplinary work. Pergamon press, 221 p.

Bray, J. R., 1968. Glaciation and solar activity since the fifth century be and the solar cicle. Nature, 220: 672-674.

Ceballos, J. L., Euscátegui, C., Ramirez, J., Cañon, M., Huggel, C., Wilfred, H., and Machguth, H. 2006. Fast shrinkage of tropical glaciers in Colombia, Ann. Glaciol., 43, 194–201.

Cleef A. 1981. The Vegetation of the Paramos of the Colombian Cordillera Oriental. Dissertationes Botanicae . Lubrecht & Cramer Ltd. 61. 1–320.

Cuatrecasas, J. 1934. Observaciones geobotánicas en Colombia. Trab. Mus. Nac. Cienc. Nat. Ser. Bot. Madrid. España. 27 p.

Cuesta F., P. Muriel, S. Beck, R. I. Meneses, S. Halloy, S. Salgado, E. Ortiz y M.T. Becerra. (Eds.) 2012. Biodiversidad y Cambio Climático en los Andes Tropicales - Conformación de una red de investigación para monitorear sus impactos y delinear acciones de adaptación. Red Gloria-Andes, Lima-Quito. Pp 180.

Díaz S, Fargione J, Stuart Chapin III F, Tilman D. 2006. Biodiversity loss threatens human well-being. PLoS Biol;4(8):e277. doi:10.1371/journal.pbio.0040277

Euscátegui-Collazos, C. & J. L. Ceballos-Liévano. 2002. Clima y deglaciación en el volcán Nevado Santa Isabel y su relación con el comportamiento climático (cordillera central, Colombia). IDEAM

FARINA, A., 2000. The cultural landscape as a model for the integration of ecology and economics. Bioscience, nº 50(4), págs. 313-320.

Fariñas, M. 1977. Análisis de la vegetación de páramo: ordenamiento, clasificación y correlación con factores edáficos - climáticos. Actas del IV Simposium Internacional de Ecología Tropical, Panamá. Tomo I: 346-378

Flint, R. F., 1971. Glacial and Quaternary Geology. Jhon Willey & Sons, N.Y. 852 p.

Flórez, A., 1992. Los Nevados de Colombia, Glaciales y Glaciaciones. Análisis Geográficos. Vol. 22. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá. Colombia. 95 pp.

Flórez, A. 2002. Movilidad altitudinal de páramos y glaciares en los Andes Colombianos, Memorias del Congreso Mundial de Páramos, Bogotá, 80–90.

Francou, B., Vuille, M., Wagon, P., Mendoza, J., and Sicart, J. E. 2003. Tropical climate change recorded by a glacier in the central Andes during the last decades of the twentieth century: Chacaltaya, Bolivia, 168S., J. Geophys. Res., 108(D5), 4154, doi:10.1029/2002JD002959.

González Coroas, A. A. 2000. ¿Existió realmente el mínimo de Maunder?. ASTRONOMÍA N° 10. Pp 32 - 41

Haeberli, W., 2001. Glacier Mass Balance Bulletin 6. World Glacier Monitoring Service. University and ETH. Hozle, Fraunfelder. Zurich.

Hallam, A., 1976. Une revolution dans les sciences de la Terre. Col. Points, SEUIL, 186 p.

Hays, J. D., J. Imbrie & N.J. Shackleton, 1976. Variation in the Earth's orbit: Pacemaker of the Ice Ages. Science, 194: 1121-1132.

Hofstede, R., Segarra, P. and Mena, P. V., 2003. Los Paramos del Mundo. Global Peatland Initiative/NC-IUCN/EcoCiencia, Quito.

IDEAM. 2000. Los glaciares Colombianos, expresión del cambio climático global, Bogotá, 19 p.

IDEAM. 2001. Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Bogotá. Colombia, 267 pp.

IDEAM. 2012. Glaciares de Colombia, más que montañas con hielo. Bogotá. Colombia. 344pp

IDEAM & Universidad Nacional de Colombia. 1997. Geosistemas de Alta Montaña. IDEAM, Subdirección de Geomorfología y Suelos. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá

Ingeominas. 1988. Mapa preliminar de amenaza volcánica del nevado del tolima, colombia. Ministerio de Minas y Energía. Instituto nacional de investigaciones geológico-mineras.

IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción

principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.

Kaser, G. 1999. A review of modern fluctuations of tropical glaciers. *Global and Planetary Change*. Vol 22. 93-103pp.

Kukla, G., 1989. Long continental records of Climate. An Introduction. *Paleography Palaeoclimacol.*, 72: 1-9.

Kukla, G., R. X. Matthews & J. M. Mitchell. 1972. The end of the present interglacial. *Quaternary Research*, 2: 261-269.

Kullman, L. 2004. The changing face of the alpine world. *Global Change Newsletter*. Vol 57.

Lambin, E. F., Geist, H. & Lepers, E. 2003. Dynamics of Land use and Land cover change in tropical regions. *Environmental resource*.

Le, G., Yannick, H., Krinner, G., & Ramstein, G. (2010). Toward the snowball earth deglaciation ..., 285–297. doi:10.1007/s00382-010-0748-8

Lemke, P., J. Ren, R.B. Alley, I. Allison, J. Carrasco, G. Flato, Y. Fujii, G. Kaser, P. Mote, R.H. Thomas and T. Zhang, 2007: Observations: Changes in Snow, Ice and Frozen Ground. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Linder, W. 1993. Pérdidas en la masa de hielo en el Nevado del Ruiz causadas por procesos climáticos y eruptivos durante los últimos 50 años: investigación basada en modelos altitudinales digitales. *Análisis Geográficos* Vol. 23. IGAC.

Luteyn J. 1999. Páramos: A checklist of plant diversity, geographical distribution, and botanical literature. New York Botanical Garden. New York.

Marangunic, C. 2008a. Manual de Glaciología. Volumen 2. Geoestudios Ltda, Ministerio de Obras Públicas de la República de Chile. Santiago de Chile.

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.

Morris, J. N., Poole, A. J., and Klein, A. G. 2006. Retreat of tropical glaciers in Colombia and Venezuela from 1984 to 2004 as measured from ASTER and Landsat images, In: Proc. 63rd Eastern Snow Conference, Newark, Delaware, USA. 181 – 191.

Parques Nacionales Naturales de Colombia. 2005. Plan de Manejo 2005 – 2009 del Parque Nacional Natural El Cocuy. Bogotá. Colombia.

Patiño Molina, C.(nd.). Agustín Codazzi: Precursor de la Geografía en Colombia. Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia.

Poveda, G. & Pineda, K. 2009. Reassessment of Colombia's tropical glaciers retreat rates: Are they bound to disappear during the 2010-2020 decade?. *Advances in Geosciences*, 22, 107-116.

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 D.C., 902 pp.

Ramsay, P. 1992. The páramo vegetation of Ecuador: The Community Ecology, Dynamics and Productivity of tropical Grasslands in the Andes. Unpublished Philosophiae. Doctor Thesis, University of Wales, Bangor (United Kingdom).

Reyes, P. & Iriarte, P. 1996. Erwin Krauss: Memoria viva de la Montaña Colombiana. En: El Páramo: Un ecosistema de Alta Montaña. Fundación Ecosistemas Andinos. Bogotá. Colombia

Rivera Ospina, D. 2001. Páramos de Colombia. Santiago de Cali, Colombia. I/M Editores. Banco de Occidente.

Rivera, D. y Rodríguez, C. 2011. Guía divulgativa de criterios para la delimitación de páramos de Colombia. 2011. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial e Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 68 págs.

Ruiz, D., Moreno, H., Gutierrez, M., Zapata, P., 2008. Changing climate and endangered high mountain ecosystems in Colombia. Science Direct. doi:10.1016/j.scitotenv.2008.02.038

Schowalter, T. 2006. Insect Ecology. An Ecosystem Approach. Second Edition. Academic Press. Baton Rouge. Luisiana. USA

Shackleton, N. J., & N. D. Opdyke, 1973. Oxygen Isotope and paleomagnetic stratigraphy of Ecuatorial Pacific Core. Oxygen isotopes temperatures and ice volumes 56 on a 10 years and a 10 years scale. Quaternary Research.

Sklenář P. 2000. Vegetation ecology and phytogeography of Ecuadorian superpáramos. Unpublished PhD Thesis, Charles University.

Sklenář P., Luteyn J., Ulloa C., Jørgensen P., Dillon M. 2005. Generic flora of the Páramo: Illustrated Guide of the Vascular Plants. New York.

Tarback, E. & Lutgens, F. 1999. Ciencias de la Tierra, una introducción a la geología física. Sexta Edición. Prentice Hall. Madrid

United Nations. 1992. Agenda 21. United Nations Conference of Environment & Development. Rio de Janeiro. Brazil.

Uribe-M., J. & J. Aguirre-C. 1997. Clave para los géneros de hepáticas de Colombia. Caldasia 19 (1-2): 13-27.

Van der Hammen, T. 1985. The plio-pleistocene climatic record of the tropical andes. J. Geol. Soc. London. 142, 483-489.

Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B. G., and Bradley, R. S. 2008. Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future, *Earth-Sci. Rev.*, 89, 79–96.

Walcott, R. I., 1972. Past sea levels Eustasy and deformation of the Earth. *Quaternary Research*.

Walker, L. R. 2005. Margalef y la sucesión ecológica. *Ecosistemas*. Vol 1. Pp 68-78.

Wijimsttra, T. A. & T. Van der Hammen, 1974. The last interglacial glacial cycle: state of affairs of correlation between data obtained from the land from ocean. *Geologie en Mijnbouw*, 53: 386-392.

URL Citadas:

<http://bni.igac.gov.co:81/home/srv/es/main.home> Consultada en abril de 2013.

<http://www.lablaa.org/blaavirtual/geografia/congresoparamo/cambio-climatico.htm>.

Consultada en abril de 2013

<http://www.ideam.gov.co/publica/glaciares/glaciares.pdf> Consultada en febrero de 2013.

[http://www.nevados.org/index.php/es/sierra-cocuy/info-general-sierra/140-0-](http://www.nevados.org/index.php/es/sierra-cocuy/info-general-sierra/140-0-klima.html)

[klima.html](http://www.nevados.org/index.php/es/sierra-cocuy/info-general-sierra/140-0-klima.html) Consultada en mayo de 2013.

<http://www.sciencemag.org/content/336/6079/353.full> Consultada en mayo de 2013.

<http://www.nature.com/nclimate/journal/v2/n2/full/nclimate1329.html> Consultada en mayo de 2013.

**Anexo 1. Cobertura total y relativa de las especies de plantas encontradas en 4 transectos ubicados a 4.500 msnm y 4.600 msnm en el PNN Sierra nevada de Güicán, el Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia).**

Especie	Cobertura en cm <sup>2</sup>					Cobertura Relativa (%)			
	C/Plaza 4.500	C/Plaza 4.600	LG/Sierra 4.500	LG/Sierra 4.600	TOTAL	C/Plaza 4.500	C/Plaza 4.600	LG/Sierra 4.500	LG/Sierra 4.600
<i>Briófitas</i>	3096	2531	30069	1568	37264	28,36	95,98	58,78	8,11
<i>Vaccinium floribundum</i>	3193	27	1868	11483	16570	29,25	1,04	3,65	59,39
<i>Pernettya prostata</i>	0	0	6184	1602	7786	0	0	12,09	8,29
<i>Pentacalia vaccinioides</i>	0	0	5336	106	5442	0	0	10,43	0,55
<i>Senecio niveoaureus</i>	0	0	198	3151	3349	0	0	0,39	16,30
<i>Senecio cleefii</i>	2757	0	0	0	2757	25,25	0	0	0
<i>Diplostephium rhomboidale</i>	0	0	2757	0	2757	0	0	5,39	0
<i>Baccharis prunifolia</i>	0	0	2227	0	2227	0	0	4,35	0
<i>Senecio cocuyanus</i>	874	0	544	0	1418	8,01	0	1,06	0
<i>Poa trivialis</i>	0	0	0	1008	1008	0	0	0	5,21
<i>Senecio canescens</i>	817	0	60	0	877	7,48	0	0,12	0
<i>Baccharis prunifolia</i> var. <i>Subprunifolia</i>	0	0	704	0	704	0	0	1,38	0
<i>Diplostephium alveolatum</i>	0	0	495	0	495	0	0	0,97	0
<i>Luzula racemosa</i>	47	0	125	124	296	0,43	0	0,24	0,64
<i>Agrostis boyacensis</i>	0	14	259	0	273	0	0,54	0,51	0
<i>Erigeron ecuadoriensis</i>	0	0	0	126	126	0	0	0	0,65
<i>Melpomene moniliformis</i>	35	0	0	79	114	0,32	0	0	0,41
<i>Hypochaeris sessiliflora</i>	0	0	90	0	90	0	0	0,18	0
<i>Bartisa lanosa</i>	0	0	65	22	87	0	0	0,13	0,11
<i>Oreobolus cleefii</i>	7	64	0	0	71	0,06	2,44	0	0
<i>Lycopodium crassum</i>	0	0	71	0	71	0	0	0,14	0
<i>Pentacalia güicanensis</i>	0	0	0	67	67	0	0	0	0,35
<i>Jamesonia imbricata</i>	63	0	0	0	63	0,58	0	0	0
<i>Senecio formosus</i>	0	0	44	0	44	0	0	0,09	0
<i>Diplostephium</i> sp.	0	0	28	0	28	0	0	0,06	0
<i>Agrostis trichodes</i>	27	0	0	0	27	0,25	0	0	0
<i>Elaphoglossum castaneum</i>	0	0	16	0	16	0	0	0,03	0
<i>Agrostis</i> sp.	0	0	11	0	11	0	0	0,02	0
<i>Castilleja fissifolia</i>	0	0	8	0	8	0	0	0,02	0
<b>TOTAL</b>	<b>10916</b>	<b>2637</b>	<b>51159</b>	<b>19335</b>	<b>84047</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

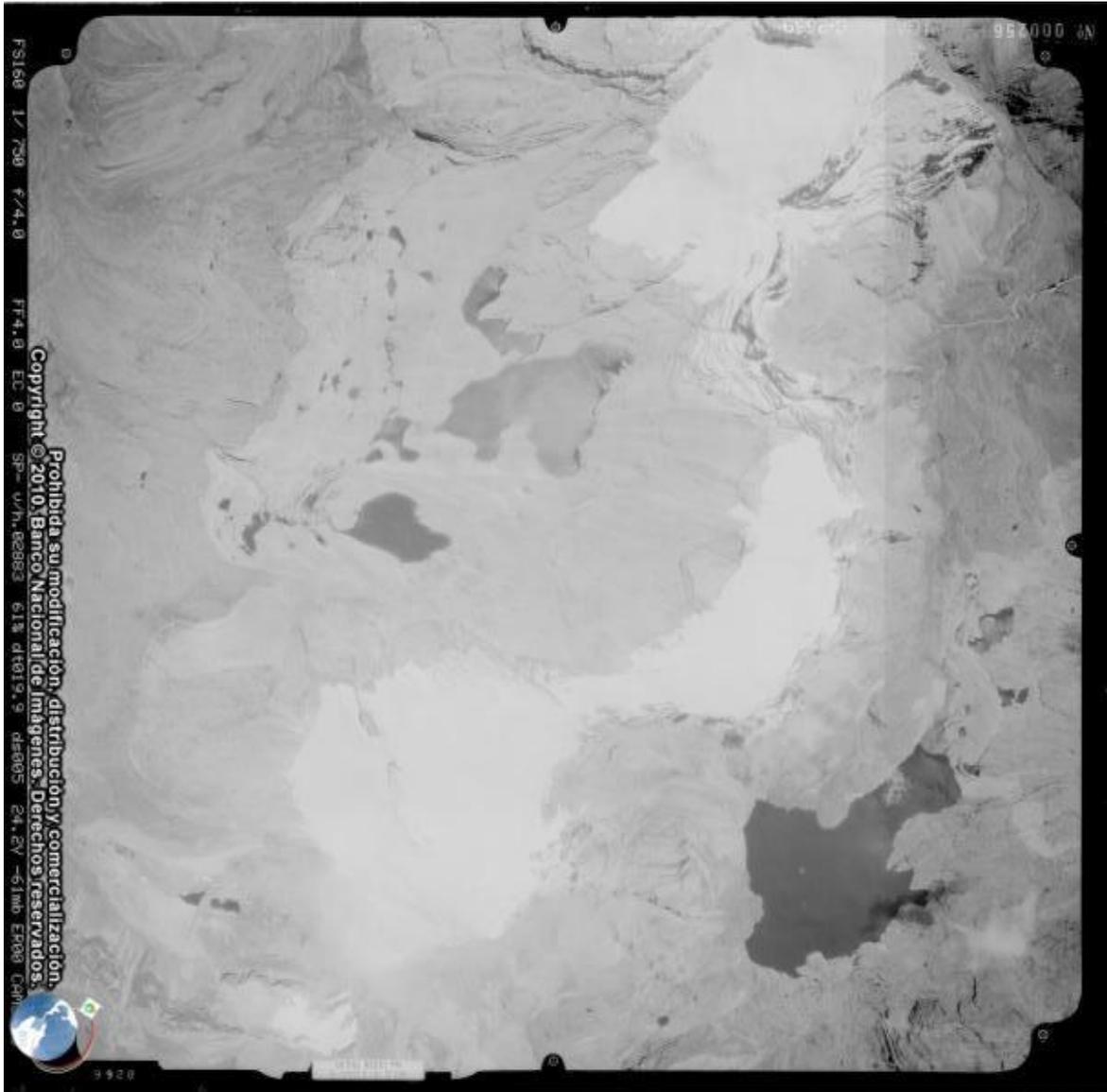
**Anexo 2. Fotografía de la Laguna Grande de la Sierra tomada en marzo de 1938, en la Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia). Publicada en la Revista PAN de 1938 por Erwin Krauss. Límite inferior de la nieve a 4.600 msnm aproximadamente.**



**Anexo 3. Fotografía de la Laguna de la Plaza tomada en marzo de 1938, en la Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita (Boyacá, Colombia). Publicada en la Revista PAN de 1938 por Erwin Krauss. Límite inferior de la nieve a 4.500 msnm aproximadamente.**



Anexo 4. Fotografía aérea bajada de la página web del Banco Nacional de Imágenes de la parte sur de la Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita en el departamento de Boyacá, Colombia. N° de vuelo: C-2669, Foto N° 256, Año 2000. (<http://bni.igac.gov.co:81/home/srv/es/main.home>)



Anexo 5. Fotografías de los Cerros de la Plaza, arriba del año 2000 tomada por Jesús Alfonso López y abajo del año 2009 tomada por Federico Kircher.



## CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES

(Licencia de uso)

Bogotá, D.C., 24 de Julio de 2013

Señores

Biblioteca Alfonso Borrero Cabal S.J.

Pontificia Universidad Javeriana

Cuidad

Los suscritos:

**Iván Ricardo Cuéllar Coronado**

, con C.C. No

**1026252025 Btá**

En mi (nuestra) calidad de autor (es) exclusivo (s) de la obra titulada:

**RELACIÓN ENTRE LA COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA VEGETACIÓN  
PRESENTE POR ENCIMA DE LOS 4.500 MSNM Y EL FENÓMENO DEL  
RETROCESO GLACIAR EN DOS LUGARES DE LA PARTE SUR DE LA  
SIERRA NEVADA DE GÜICÁN, COCUY Y CHITA EN BOYACÁ, COLOMBIA.**

Tesis doctoral

Trabajo de grado

Premio o distinción:

**Si**

**No**

cual:

presentado y aprobado en el año 2012, por medio del presente escrito autorizo

(autorizamos) a la Pontificia Universidad Javeriana para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mi (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autorizan a la Pontificia Universidad Javeriana, a los usuarios de la Biblioteca Alfonso Borrero Cabal S.J., así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado un convenio, son:

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La conservación de los ejemplares necesarios en la sala de tesis y trabajos de grado de la Biblioteca.	X	
2. La consulta física o electrónica según corresponda	X	
3. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer	X	
4. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet	X	
5. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previo convenio perfeccionado con la Pontificia Universidad Javeriana para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones	X	
6. La inclusión en la Biblioteca Digital PUJ (Sólo para la totalidad de las Tesis Doctorales y de Maestría y para aquellos trabajos de grado que hayan sido laureados o tengan mención de honor.)	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales

correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

De manera complementaria, garantizo (garantizamos) en mi (nuestra) calidad de estudiante (s) y por ende autor (es) exclusivo (s), que la Tesis o Trabajo de Grado en cuestión, es producto de mi (nuestra) plena autoría, de mi (nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy (somos) el (los) único (s) titular (es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Pontificia Universidad Javeriana por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, *“Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”*, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Pontificia Universidad Javeriana está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

**NOTA: Información Confidencial:**

Esta Tesis o Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de una investigación que se adelanta y cuyos

resultados finales no se han publicado.

Si

No

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta, tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

NOMBRE COMPLETO	No. del documento de identidad	FIRMA
Iván Ricardo Cuéllar	1026252025	Iván Cuéllar

FACULTAD: Estudios Ambientales y Rurales

PROGRAMA ACADÉMICO: Ecología

### ANEXO 3

#### BIBLIOTECA ALFONSO BORRERO CABAL, S.J. DESCRIPCIÓN DE LA TESIS DOCTORAL O DEL TRABAJO DE GRADO

#### FORMULARIO

TÍTULO COMPLETO DE LA TESIS DOCTORAL O TRABAJO DE GRADO
<p align="center"><b>RELACIÓN ENTRE LA COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA VEGETACIÓN PRESENTE POR ENCIMA DE LOS 4.500 MSNM Y EL FENÓMENO DEL RETROCESO GLACIAR EN DOS LUGARES DE LA PARTE SUR DE LA SIERRA NEVADA DE GÜICÁN, COCUY Y CHITA EN BOYACÁ, COLOMBIA.</b></p>
SUBTÍTULO, SI LO TIENE

<b>AUTOR O AUTORES</b>			
<b>Apellidos Completos</b>		<b>Nombres Completos</b>	
Cuéllar Coronado		Iván Ricardo	
<b>DIRECTOR (ES) TESIS DOCTORAL O DEL TRABAJO DE GRADO</b>			
<b>Apellidos Completos</b>		<b>Nombres Completos</b>	
Sarmiento		Armando	
Jacome		Jorge	
<b>FACULTAD</b>			
<b>Estudios Ambientales y Rurales</b>			
<b>PROGRAMA ACADÉMICO</b>			
<b>Tipo de programa ( seleccione con "x" )</b>			
Pregrado	Especialización	Maestría	Doctorado
X			
<b>Nombre del programa académico</b>			
<b>Ecología</b>			
<b>Nombres y apellidos del director del programa académico</b>			
<b>Nicolas Urbina</b>			
<b>TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:</b>			
<b>Ecólogo</b>			

<b>PREMIO O DISTINCIÓN</b> (En caso de ser LAUREADAS o tener una mención especial):						
<b>CIUDAD</b>		<b>AÑO DE PRESENTACIÓN DE LA TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO</b>			<b>NÚMERO DE PÁGINAS</b>	
Bogotá		2012			60	
<b>TIPO DE ILUSTRACIONES ( seleccione con "x" )</b>						
Dibujos	Pinturas	Tablas, gráficos y diagramas	Planos	Mapas	Fotografías	Partituras
x		x		x	x	
<b>SOFTWARE REQUERIDO O ESPECIALIZADO PARA LA LECTURA DEL DOCUMENTO</b>						
<p><b>Nota:</b> En caso de que el software (programa especializado requerido) no se encuentre licenciado por la Universidad a través de la Biblioteca (previa consulta al estudiante), el texto de la Tesis o Trabajo de Grado quedará solamente en formato PDF.</p>						
<b>MATERIAL ACOMPAÑANTE</b>						
<b>TIPO</b>	<b>DURACIÓN (minutos)</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>FORMATO</b>			
			CD	DVD	Otro ¿Cuál?	
Vídeo						

Audio					
Multimedia					
Producción electrónica					
Otro Cuál?					
<b>DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVE EN ESPAÑOL E INGLÉS</b>					
<p>Son los términos que definen los temas que identifican el contenido. <i>(En caso de duda para designar estos descriptores, se recomienda consultar con la Sección de Desarrollo de Colecciones de la Biblioteca Alfonso Borrero Cabal S.J en el correo <a href="mailto:biblioteca@javeriana.edu.co">biblioteca@javeriana.edu.co</a>, donde se les orientará).</i></p>					
<b>ESPAÑOL</b>			<b>INGLÉS</b>		
<b>RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS</b>					
(Máximo 250 palabras - 1530 caracteres)					
<p>El cuarto informe del panel intergubernamental de expertos sobre cambio climático (AR4) reportó un incremento en la temperatura media global de alrededor de 1°C por decenio. Tal incremento, además de los eventos ENSO, ha inducido a un retroceso en la mayoría de las masas de hielo y nieve en el mundo induciendo la exposición de sustratos propiciando procesos de colonización vegetal. La Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita ubicada entre los 6° 21' 20" N y 72° 17'41" O y los 6° 31' 04" y 72° 17' 14" O, poseía la mayor extensión en área de cobertura glaciar en Colombia</p>					

con 17 km<sup>2</sup> calculada para el año 2007, sin embargo desde hace 50 años los glaciares colombianos han perdido aproximadamente el 50% de su área y en los últimos 15 años ésta tasa se ha incrementado entre un 10% - 15%, acumulando una pérdida de un 41% de cobertura durante el período 1989 - 2007. El presente trabajo estudió la colonización vegetal, por medio de la composición y estructura encontrada en la Laguna Grande de la Sierra y los Cerros de la Plaza del Parque Nacional Natural Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita, estableciendo transectos a 4.500 msnm y a 4.600 msnm en cada vertiente. Se encontraron un total de 28 especies de plantas vasculares. Se obtuvo una cobertura total de 8.4 m<sup>2</sup> en un área de muestreo de 400 m<sup>2</sup> distribuidos en cuatro transectos de los cuales se establecieron dos en la vertiente Oeste y dos en la vertiente Este siendo cada transecto de 100 m<sup>2</sup>. Para la vertiente Oeste se encontró una cobertura acumulada de 7.04 m<sup>2</sup> y para la vertiente este 1.35 m<sup>2</sup>. Para las briófitas se encontró una cobertura total de 3.72 m<sup>2</sup>, siendo el transecto LG/Sierra 4.500 el que más cobertura de este tipo presentó con 3.01 m<sup>2</sup>. La especie vegetal vascular más dominante fue *Vaccinium floribundum* con una cobertura total de 1.65 m<sup>2</sup>, encontrándose la mayor cobertura en el transecto LG/Sierra 4.600 con 1.14 m<sup>2</sup>. La especie más rara fue *Castilleja fissifolia* con una cobertura total de 8 cm<sup>2</sup>, encontrados en el transecto LG/Sierra 4.500. Se analizaron los datos por medio de índices de similitud de Jaccard para los datos cualitativos encontrando que todos los transectos eran diferentes y Bray-Curtis para dos datos cuantitativos encontrando que los transectos C/Plaza 4.500 y LG/Sierra 4.600 eran similares debido a su cobertura relativa. El transecto LG/Sierra 4.500 fue el más diferente por su diversidad, pues presentó la riqueza más alta con 20 especies de plantas vasculares y la mayor abundancia medida en cobertura por especie.

he fourth report of the Intergovernmental Panel of Experts on Climate Change (AR4) reported an increase in global average temperature of about 1 ° C per decade. This increase, along with ENSO events, has led to a decline in most of the masses of ice and snow in the world exhibition substrates inducing promoting plant colonization processes. The Sierra Nevada de Güicán Cocuy and Chita located between 6 ° 21 '20" N and 72 ° 17'41" W and 6 ° 31' 04" and 72 ° 17 '14" W, had the greater length in glacier coverage area in Colombia with 17 km<sup>2</sup> calculated for the year 2007, but for 50 years the Colombian glaciers have lost about 50% of its area and in the last 15 years this rate has increased from 10 % - 15%, with a cumulative loss of a 41% coverage during the period 1989-2007. This paper studied plant colonization, through the composition and structure found in the Laguna Grande de la Sierra and the Cerros de la Plaza del Parque Nacional Sierra Nevada National Güicán Cocuy and Chita, establishing transects 4,500 m and 4,600 m on each side. We found a total of 28 species of vascular plants. We obtained a total coverage of 8.4 m<sup>2</sup> in a sampling area of 400 m<sup>2</sup> distributed in four transects which established two in the west side and two on the side with each transect This 100 m<sup>2</sup>. To the west side found a cumulative coverage of 7.04 m<sup>2</sup> and 1.35 m<sup>2</sup> the east slope. For bryophytes found a total coverage of 3.72 m<sup>2</sup>, being the transect LG / Sierra 4500 the

most coverage of this type introduced with 3.01 m<sup>2</sup>. The most dominant vascular plant species *Vaccinium floribundum* was covering a total of 1.65 m<sup>2</sup>, with the highest coverage in the transect LG / Sierra 4600 with 1.14 m<sup>2</sup>. The rarest species was *Castilleja fissifolia* with a total of 8 cm<sup>2</sup> coverage, found in the transect LG / Sierra 4500. Data were analyzed using Jaccard similarity indices for qualitative data found that all transects were different and Bray-Curtis quantitative data for two transects finding that C / 4,500 square LG / Sierra 4600 were similar because of their coverage relative. The transect LG / Sierra 4500 was the most different in its diversity, it presented the highest richness with 20 species of vascular plants and far more abundant species coverage.