

**EVALUACION DE LA TRANSPIRACIÓN DE *Espeletia pycnophylla* DURANTE  
LAS EPOCAS HUMEDA Y SECA EN LA ZONA DE PÁRAMO DEL SANTUARIO  
DE FLORA Y FAUNA GALERAS**

**SANDRA PATRICIA BEDOYA PANTOJA  
MONICA ESTELA MORILLO CORONADO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS  
PROGRAMA DE BIOLOGÍA  
SAN JUAN DE PASTO  
2001**

**EVALUACION DE LA TRANSPIRACIÓN DE *Espeletia pycnophylla* DURANTE  
LAS EPOCAS HUMEDA Y SECA EN LA ZONA DE PÁRAMO DEL SANTUARIO  
DE FLORA Y FAUNA GALERAS**

**SANDRA PATRICIA BEDOYA PANTOJA  
MONICA ESTELA MORILLO CORONADO**

**Trabajo de grado presentado para otra al título de BIÓLOGO CON ÉNFASIS  
EN ECOLOGÍA**

**Asesora:  
MARIA ELENA SOLARTE  
Profesora T.C. Departamento de Biología**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS  
PROGRAMA DE BIOLOGÍA  
SAN JUAN DE PASTO  
2001**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

MARIA ELENA SOLARTE DIRECTOR

---

MARTHA SOFIA GONZALEZ JURADO

---

OLGA INSUASTY JURADO

San Juan de Pasto, 10 de septiembre de 2001

## **DEDICATORIA**

A Dios por permitirme la culminación de este trabajo.

A mis padres Juan de Dios y Mariana por ser el lazo filial que me ha impulsado moral y sentimentalmente para la terminación de este trabajo.

A Javier por brindarme su apoyo moral incondicional.

**SANDRA PATRICIA**

**DEDICO A:**

A Dios quién ha sido mi guía espiritual en el transcurso de mi vida.

A mis padres Wilfredo y Cruz por su comprensión y por brindarme su apoyo constantemente.

A mis hermanos por los bellos momentos compartidos.

MONICA ESTELA

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos:

A la Dra. MARIA ELENA SOLARTE por su constante orientación y dedicación para la realización de este trabajo.

A PARQUES NACIONALES NATURALES (Sede CORPONARIÑO), por permitir la realización de este trabajo en el Santuario de Flora y Fauna Galeras.

Al Dr. ARSENIO HIDALGO, decano de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas por la atención brindada para el análisis estadístico.

A la Dra. MARTHA SOFIA GONZALEZ, Jefe de Laboratorios de la Universidad de Nariño, por su ayuda en la identificación de especies.

Al Dr. SANTIAGO DIAZ, por su ayuda en la identificación de la especie *Espeletia pycnophylla*.

Al Dr. LUIS EDUARDO MORA OSEJO, por la colaboración prestada.

A GERMAN CHAVEZ y WALTER VALLEJO, por su amistad y colaboración.

A JHAN CRISTHIAN MORENO, por la colaboración prestada.

A ANDRES VALENCIA, compañero de Biología, por su constante colaboración incondicional.

A todas las personas que de una u otra manera colaboraron en la realización de este trabajo.

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	18
1. OBJETIVOS	21
1.1 OBJETIVO GENERAL	21
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	21
2. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	22
2.1 CLIMA	25
2.2 SUELOS	27
2.3 VEGETACIÓN	29
2.3.1 Adaptación de plantas a climas fríos	33
2.3.2 Ecofisiología de las plantas de páramo	35
2.3.3 Descripción de <i>Espeletia pycnophylla</i>	39
2.3.3.1 Descripción morfológica y ecológica	40
2.4 TRANSPIRACIÓN	43
3. MATERIALES Y METODOS	51
3.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	51
3.2 FASES DE LA INVESTIGACIÓN	53

	Pág.	
3.2.1	Fase de campo	53
3.2.1.1	Descripción ecológica	53
3.2.1.2	Determinación de la transpiración	54
3.2.1.3	Determinación del factor edáfico	55
3.2.1.4	Determinación de factores de microclima	56
3.2.2	Fase de Laboratorio	56
3.2.2.1	Determinación del área foliar	56
3.2.2.2	Densidad estomática	57
3.2.2.3	Contenido hídrico	57
3.2.3	Análisis de la información	58
3.2.3.1	Consulta macroclimática	58
3.2.3.2	Medición de la transpiración	58
3.2.3.3	Análisis estadístico	59
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
4.1	DESCRIPCIÓN ECOLOGICA	60
4.2	CLIMA	72
4.3	FACTOR EDAFICO	82
4.4	TRANSPIRACIÓN	88
4.4.1	Capacidad de retención de agua de <i>Espeletia pycnophylla</i>	95
4.4.2	Densidad estomática – Area foliar	99
4.5	DISCUSIÓN GENERAL	102
5.	CONCLUSIONES	107

Pág.

6.	RECOMENDACIONES	109
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Listado general de las especies representativas del páramo del Galeras.	62
Tabla 2. Características físicas del suelo durante la época húmeda.	85
Tabla 3. Características físicas del suelo durante la época seca.	85
Tabla 4. Valores de temperatura del suelo durante la época húmeda.	87
Tabla 5. Valores de temperatura del suelo durante la época seca.	87
Tabla 6. Relación transpiración vs. Época.	90
Tabla 7. Relación transpiración vs. Temperatura – humedad relativa. Época húmeda.	92
Tabla 8. Relación transpiración vs. Temperatura – humedad relativa. Época seca.	92
Tabla 9. Contenido absoluto de agua de <i>Espeletia pycnophylla</i> durante las épocas húmedas y seca.	97

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. <i>Espeletia pycnophylla</i>	41
Figura 2. Ubicación geográfica del páramo del Galeras.	52
Figura 9-15. Datos climáticos (IDEAM)	75
Figura 16. Ciclo diurno de transpiración en <i>Espeletia pycnophylla</i> . Epoca seca.	89
Figura 17. Ciclo diurno de transpiración en <i>Espeletia pycnophylla</i> . Epoca húmeda.	89
Figura 18. Relación transpiración – temperatura en <i>Espeletia pycnophylla</i> . Epoca húmeda.	91
Figura 19. Relación transpiración – temperatura en <i>Espeletia pycnophylla</i> . Epoca seca.	91
Figura 20. Relación transpiración – humedad relativa en <i>Espeletia pycnophylla</i> . Epoca húmeda.	94
Figura 21. Relación transpiración – humedad relativa en <i>Espeletia pycnophylla</i> . Epoca seca.	94
Figura 22. Relación área foliar vs. Nivel. Epoca húmeda.	100
Figura 23. Relación área foliar vs. Nivel. Epoca seca.	100
Figura 24. Relación transpiración vs. Nivel. Época húmeda	101
Figura 25. Relación transpiración vs. Nivel. Época seca.	101

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO A.</b> Promedios de transpiración vs temperatura –humedad relativa. Epoca húmeda.	117
<b>ANEXO B.</b> Promedios de transpiración vs temperatura – humedad relativa. Epoca seca.	118
<b>ANEXO C.</b> Promedios de transpiración de <i>Espeletia pycnophylla</i> vs nivel. Epoca húmeda.	119
<b>ANEXO D.</b> Promedios de transpiración de <i>Espeletia pycnophylla</i> vs nivel. Epoca seca.	120
<b>ANEXO E.</b> Promedios de área foliar vs nivel en las dos épocas del año.	121
<b>ANEXO F – M.</b> Secuencia fotográfica.	

## GLOSARIO

CAULIRROSULAS: Especies que tienen forma arrosetada.

CONTENIDO ABSOLUTO DE AGUA: Cantidad de agua en términos absolutos que tiene un tejido en un momento dado.

CONSISTENCIA CORIACEA: Consistencia de las hojas semejantes al cuero, cuando se doblan se rompen.

DIAGRAMA DE PERFIL: Es una representación gráfica del perfil de la vegetación.

EDAFOGÉNESIS: Origen y evolución de los suelos.

EVAPOTRANSPIRACIÓN: Relación que existe de la pérdida de vapor de agua entresuelo – planta – aire.

HEMIXEROMÓRFICAS: Son las plantas que presentan gran capacidad para regular la transpiración.

**HIPOESTOMÁTICO:** Estomas localizados en el envés de la hoja.

**HOLOXEROMÓRFICAS:** Son aquellas plantas que presentan gran capacidad de almacenamiento de agua en los espacios celulares.

**MESOMORFICAS:** Son aquellas plantas que presentan medianamente la capacidad de regular la transpiración.

**MICROCLIMA:** Son las condiciones ambientales que inciden en la vegetación de un ecosistema.

**MONOCAULA:** Estructura que se presenta en algunas plantas, que sostiene el tallo y la parte aérea (Hojas – Inflorescencias).

**MONAXIALES:** Plantas que presentan un solo eje.

**NECROMASA:** Hojas muertas adheridas al tronco de la especie.

**PUBOSCENTE:** Velloidades largas un poco largas en la superficie de las hojas.

**SENESCENCIA:** Última fase del desarrollo de las plantas que incluye el decaimiento de las funciones fisiológicas.

TRANSECTO: Método utilizado para determinar un área en el muestreo de la vegetación.

UNIDAD MUESTREAL: Unidad sobre la cual va a concluir el estudio.

XEROMORFISMO: Adaptación de algunas especies vegetales a extremas condiciones de sequía.

## RESUMEN

Se realizó un estudio en el páramo del Galeras, ubicado en el Santuario de Flora y Fauna Galeras, entre los 3650 y 3950 m.s.n.m., con el fin de evaluar la tasa de transpiración de *Espeletia pycnophylla* y su relación con los factores del clima durante las épocas húmeda y seca.

La metodología contempló dos fases: Fase de campo que incluyó la descripción ecológica del lugar, determinación de la tasa de transpiración y sus componentes en las dos épocas del año, así como también el análisis del factor edáfico y factores de microclima. En la fase de laboratorio se determinó el área foliar, densidad estomática y contenido hídrico.

La descripción ecológica en el páramo del Galeras permitió identificar 53 especies donde el estrato que más se destaca es el herbáceo, sobresaliendo las familias Poaceae, Ericaceae y Rosaceae. Seguido por el estrato arbustivo representado especialmente por la familia Asteraceae y en tercer lugar está el estrato rasante donde se destacan las familias Sphagnaceae y Rosaceae.

En los resultados obtenidos se pudo observar la diferencia de la tasa de transpiración de *Espeletia pycnophylla* en las dos épocas del año, presentándose la mayor intensidad de transpiración en la época seca, esta intensidad se vio influenciada por factores climáticos los cuales para este estudio fueron relevantes la temperatura y la humedad relativa ya sea aumentando o disminuyendo dicha tasa.

Por otra parte se presentaron valores altos en el contenido absoluto de agua durante la época húmeda ya que esto atendió principalmente a factores físicos del suelo en dicha época. Cabe anotar que este parámetro no guardó una relación directamente proporcional con la transpiración ya que fue en ésta época donde se presentaron las menores tasas.

En general se puede decir que *Espeletia pycnophylla* difiere en cuanto a las tasas de transpiración durante las dos épocas del año, dicho fenómeno se puede atribuir al papel que desempeñan las reservas de agua almacenadas en la médula de todas las especies de *Espeletia*, por otra parte es el régimen diurno y las repentinas oscilaciones que experimentan los diferentes factores climáticos a lo largo de un solo día, las condiciones que más afectan al microclima y determinan las relaciones planta-medio y viceversa.

## ABSTRACT

A study was realized at the Galeras parameter ecological description was also included of the place and the determination of the transpiration rate of *Espeletia pycnophylla* in the two epochs of the year. The mayor intensity of transpiration in the dry epoch was presented influenced by factors as temperature and humidity related, with in addition to this is the capacity of the spieces of *Espeletia* to accumulated water in the modular parenquima.

On the other hand high values in the water content were presented in the wet epoch but this parameter didn't hold relation directly proportional with the transpiration.

## INTRODUCCION

Uno de los ecosistemas sobresalientes de la Región Andina son los páramos, por sus múltiples funciones ecológicas entre las que se destacan, su tipo de flora adaptada a condiciones de extrema humedad y temperatura. Su cobertura vegetal, particularmente las rosetas de frailejón (*Espeletia sp*), las macollas y los cojines, ofrecen una serie de beneficios tales como la capacidad de retención en los tejidos especiales, el proceso de descomposición entre las hojas, y en la intercesión de casi la totalidad de la radiación solar por su característica de vegetación abierta, de tal manera que aporta no sólo la regulación del ciclo hídrico sino también en el balance energético de la región.

Los estudios de vegetación en páramos son muchísimos, especialmente en aspectos de ecología, vegetación, suelos y clima, sin embargo en la dinámica y comportamiento de especies frente a factores climáticos o microclimáticos son pocos, hecho que debe tenerse en cuenta ya que estos estudios son importantes porque al profundizar en el funcionamiento de la dinámica de estos ecosistemas nos ayudan a entender como afectan la estructura y función de la vegetación en el tiempo.

A pesar de todas las funciones que presta el páramo, estos ecosistemas están sufriendo procesos de explotación, por la presión de actividades antrópicas, por la apertura de la frontera agrícola, las áreas de páramo han disminuido en el país y muchos páramos importantes han desaparecido para dar paso a áreas de cultivo o de ganadería.

Las especies que viven adaptadas a estas condiciones específicas sufren directamente estos efectos, por lo cual es urgente conocer sus características ecofisiológicas y de adaptación para entender mejor los efectos que causan todas las presiones y tener elementos de juicio que aportan a la conservación de estos ecosistemas. Si tenemos un conocimiento claro y profundo del comportamiento de nuestras especies amenazadas podemos buscar alternativas para su conservación.

La especie *Espeletia pycnophylla* es uno de los representantes típicos de las zonas de páramo. Su estudio nos puede ayudar a entender los efectos sobre la vegetación de páramo.

Específicamente el departamento de Nariño se caracteriza por la presencia de grandes extensiones de páramo en un 9% entre las que sobresale el sistema de páramos ubicados en el Santuario de Flora y Fauna Galeras. La conservación de estos sistemas naturales es muy importante no sólo por el patrimonio estético y

biológico que presenta, sino también por el servicio fundamental que presta a los habitantes de sus laderas.

Seis cabeceras municipales incluyendo a la ciudad de Pasto utilizan prácticamente toda su demanda de agua potable con las fuentes hidrográficas que se originan en la parte alta del volcán Galeras destacándose reservorios estratégicos como la laguna Negra, la laguna de Telpis y la laguna Verde, que contribuyen a la riqueza hídrica de la región.

El presente estudio pretende cuantificar el comportamiento de la transpiración de *Espeletia pycnophylla* frente a los factores climáticos y microclimáticos que soporta, de tal manera que contribuya al entendimiento de cómo la vegetación es vital en la regulación hídrica de una región.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar una evaluación de la transpiración de *Espeletia pycnophylla*, y su relación con los factores de clima durante las épocas húmeda y seca en la zona de páramo del Santuario de Flora y Fauna Galeras.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Cuantificar las tasas de transpiración de *Espeletia pycnophylla* en la zona de páramo del Santuario de Flora y Fauna Galeras.
  
- Determinar la relación existente entre el estado hídrico de las plantas y el proceso de transpiración.
  
- Establecer la relación existente entre los factores del macroclima y microclima con las tasas de transpiración de *Espeletia pycnophylla*, en las dos épocas del año.

## 2. REVISION BIBLIOGRAFICA

### ECOSISTEMA PARAMUNO

Los páramos son regiones de vegetación abierta que se presentan por encima del límite superior del bosque en las montañas de los trópicos húmedos de América. Comprenden el territorio que se encuentra a más de 3000 m. de altura sobre el nivel del mar, tienen una temperatura inferior a 12°C, el clima es húmedo, con promedios de precipitación anual entre 750 a 3000 mm, la humedad se refleja también en el alto grado de nubosidad y en los valores casi continuos de la humedad relativa (Ferguson et al, 1987).

Cuatrecasas (1958), define los páramos como extensas regiones desarboladas que coronan las cimas de las cordilleras por encima del bosque Andino. Son fríos y húmedos, sufren cambios meteorológicos bruscos, están casi cubiertos siempre por la niebla, reciben frecuentes precipitaciones y son a menudo azotados por los vientos.

Para Molano (1995), el páramo es un espacio de poder muy importante, bastante competido y vital para el país en la producción económica y el control geopolítico del territorio. Además, dice el autor: “Los páramos son esa rica síntesis y

diversidad de la vida”, características físicas, bióticas socioeconómicas y culturales que integran su mundo. El páramo hace milenios dejó de ser un espacio natural (primera naturaleza) desde cuando el pensamiento mítico lo escogió como espacio de sus representaciones; la producción social, como complemento de los ciclos ecológicos, de los recursos sobre las vertientes y la cultura como experiencia, vivencia, imaginación, razón y la elaboración a manera de una segunda naturaleza, la cual abrió la comprensión de los páramos.

Los páramos son ecosistemas reguladores de agua los cuales cuentan con una estructura y función definida, y como todo bioma presenta unos límites. De hecho las condiciones del suelo en estos ecosistemas está determinada por extrema acidez, alta susceptibilidad a los cambios, suelos jóvenes, bajas temperaturas, relieve quebrado y escarpado, entre otros. La vegetación presenta una fragilidad y la biodiversidad se ve amenazada por las extensiones de especies que en su mayoría son endémicas.( Galeano ,1996).

En general la zona de vida paramuna es propia de los trópicos continentales, sin embargo se atribuyen a las montañas de América Latina tropical ya que en ninguna otra región de la tierra alcanzan tal magnitud de extensión. Los páramos se extienden en América desde Costa Rica hasta Perú, alrededor de los 11° de latitud norte y los 8 ° de latitud sur,(Chamorro,1990).

De acuerdo con la clasificación de los páramos propuesta por Rangel (1985) estos ecosistemas se dividen en:

- **PÁRAMO BAJO O SUBPÁRAMO:** El cual se caracteriza por encontrarse altitudinalmente en las cotas, 3200 a 3600 m.s.n.m. predomina la vegetación arbustiva y matorrales de Asteraceae, Clusiaceae y Ericaceae.

El subpáramo puede considerarse como la faja transicional entre la selva subandina y el páramo. En algunos sitios del bosque cambia bruscamente a páramo, debido a condiciones topográficas o de protección, podría decirse que en muchos casos representa partes de la selva Andina destruida o degradada. (Rangel, 1985).

- **EL PÁRAMO PROPIAMENTE DICHO:** Desde los 3200 a 4100 m.s.n.m, la diversidad comunitaria es máxima y se encuentra casi todos los tipos de vegetación, aunque predominan los frailejones, pajonales y chuscales.
- **SUPERPÁRAMO:** El cual se encuentra por encima de los 4100 m.s.n.m. llegando hasta el límite inferior de las nieves perpetuas, se caracteriza por la discontinuidad de la vegetación y la apreciable superficie del suelo, se destacan algunas especies de *Draba*, *Azorella*, *Pentacalia* y *Cerastium*.

## 2.1 CLIMA

Los páramos de Colombia y Ecuador son influenciados por las masas de aire debido a la localización geográfica cerca al Ecuador. Son generalmente húmedos durante todos los meses del año, con una humedad continua en forma de lluvia, nubes y niebla, la mayor parte es debido a las elevaciones orográficas causadas por los Andes. Algunos páramos reciben más de 2000mm de lluvia anualmente, presentan alta humedad relativa alrededor de 70 y 85%, esto en contraste con los páramos más al norte de los Andes de Venezuela, la Sierra Nevada de Santa Marta en el norte de Colombia y en Costa Rica donde están enmarcados por una estación seca debido a la influencia de los vientos "Trade" al noreste, (Luteyn,1999).

El clima de una región esta determinado tanto por los fenómenos atmosféricos, temperatura, lluvia, humedad ambiental como por los vientos a través de su influencia sobre los anteriores, las características geográficas, especialmente, posición geo-astronómica y ubicación geográfica continental en estrecha relación con el relieve y la extensión total influyen sobre el clima (Chamorro, 1990).

Los páramos presentan un clima básicamente frío y húmedo, y la temperatura varia con la altitud. Los días soleados corresponden en su mayoría a la época de verano o sea entre diciembre y febrero en la Cordillera Oriental, mientras que en la Occidental y Central se presentan de junio a septiembre. La radiación es alta y

aumenta a medida que se asciende, pero con la neblina se controla un poco la duración de la radiación que es de 12 horas diarias. (Rangel, 1985).

En los altos Andes esta contiene el doble de la cantidad de energía que la que se recibe en las partes bajas, la limitada insolación por la nubosidad de las cumbres esta compensada por la intensidad, aspecto importante para la producción de coberturas herbáceas, que van a formar un grueso manto de absorción de agua, tanto de tejidos vivos como muertos, ya que la descomposición de la materia orgánica es inmensamente lenta permitiendo así una compacta y muy húmeda cubierta de humus crudo durante la mayor parte del año. (Guhl, 1995).

La precipitación pluvial en los páramos ha sido poco estudiada y por encima de los 3000 o 3200 m.s.n.m., tiende a disminuir a medida que aumenta la elevación sobre el nivel del mar. En investigaciones que se han realizado durante años, se ha establecido que ésta precipitación oscila entre 700 y 3000 mm anuales en la Cordillera Oriental, aunque esto es relativo de acuerdo con lugares y años. (Rangel, 1985).

Por otra parte el rocío puede ser importante por las grandes diferencias de temperatura entre el día y la noche (Hofstede, 1997). Las noches paramunas son siempre frías y usualmente claras con estrellas cubriendo el cielo. Durante algunos días del año se presentan lluvias, nieve y niebla que pueden alternar abruptamente con días soleados con elevadas temperaturas, (Luteyn, 1999). Las

nevadas nocturnas son usualmente entre los 3600 a 3800 m hacia arriba, y las lluvias están ligadas con la densidad y presencia del bosque andino que se extiende más debajo de la zona de los páramos (Rangel, 1985)

## **2.2 SUELOS**

Según Chamorro (1990) los suelos del páramo constituyen junto con la vegetación que cubren un sistema frágil como fundamental para la conservación de las fuentes de agua. Así mismo afirma que el suelo en los páramos se caracteriza por un material parental constituido por ceniza volcánica, son humíferos, es decir, altos en materia orgánica con gran capacidad de almacenamiento de agua, ácidos, produciéndose sequedad fisiológica, son rocosos y escarpados. Por lo cual están clasificados dentro de los Histosoles y generalmente están mezclados con cenizas volcánicas y otros materiales minerales(1990).

Todos los páramos poseen suelos jóvenes y poco meteorizados, por esto, la capacidad de intercambio catiónico es alta y la disponibilidad de nutrientes es baja. La mayoría de los nutrientes están presentes en formas no disponibles para las plantas, debido a las bajas temperaturas la descomposición se retarda y el contenido de material orgánico es alto (mayor 25%, pH menor 5). En áreas con actividad volcánica (pasado o reciente), esto puede influenciar fuertemente en la dinámica de los nutrientes, por ejemplo, en suelos derivados de cenizas volcánicas el material amorfo (alófono) forma complejos organometálicos con las

partículas de humus limitando así la mineralización, el fósforo se fija específicamente por estos complejos. Por otra parte, la densidad de los suelos paramunos es baja (menor  $0.8 \text{ gml}^{-1}$ ) y la disponibilidad del volumen poroso es alta, lo cual permite el almacenamiento de grandes cantidades de agua durante las épocas húmedas (mayor 100% de peso seco,  $80/\text{m}^2$  en los 10 cm superiores). (Hofstede, 1995).

Por la presencia de suelos porosos, la infiltración de agua en el páramo generalmente es alta. La baja incidencia de escorrentía superficial indica que la erosión pluvial no es importante son situaciones naturales en páramos. La erosión por salpicadura puede ocurrir dependiente de la presencia de superficie de suelo descubierto (Hofstede, 1995).

En las elevaciones más altas (es decir, superpáramo) los suelos del páramo son poco profundos, con un alto porcentaje de piedra y arena, hay baja o ninguna producción de materia orgánica y por consiguiente la retención de agua es baja. Los suelos del superpáramo son extremadamente infértiles, dentro de la materia orgánica los granos finos, no tienen prácticamente la habilidad para intercambiar cationes, además en el superpáramo la superficie de los suelos es perturbada por la actividad aguja-hielo (un tipo de escarcha en el suelo y fenómenos en el suelo como: El levantamiento de escarcha y el descongelamiento ordenado de materiales son comunes. (Luteyn, 1999). En esta parte del páramo las temperaturas anuales son siempre bajas ( $4-6 \text{ }^\circ\text{C}$ ), pero el frío no penetra muy

profundamente en el suelo. Las temperaturas del suelo a 30 cm, reflejan más o menos esas temperaturas anuales (Lauer, 1979). La temperatura del suelo, sin embargo, tiene un efecto profundo en los nutrientes y en la disponibilidad de agua, crecimiento de la raíz, supervivencia de la semilla y germinación (Luteyn,1999).

En elevaciones medias (es decir, páramo de pastizales), los suelos del páramos son relativamente profundos, húmicos, negro o negro parduscos y ácidos con un pH de 3.7 – 5.5. Están continuamente húmedos o incluso saturados de agua debido a la formación diaria de rocío o escarcha. El volumen de la capacidad de almacenamiento de agua es alto en suelos orgánicos y de turba (1999).

En la parte inferior del páramo (es decir, subpáramo) cerca de Bogotá (Colombia) y en el norte de los Andes, Sturm (1978) afirma que estos suelos tienen las siguientes propiedades: color oscuro con un pH moderadamente alto y por ende bajos niveles de Ca, volumen bajo de P libre, volumen relativamente alto de K y N, la captación de estos elementos por las plantas es reducida, el contenido orgánico es mayor del 10% en la capa superior y la capacidad de agua es alta (Luteyn,1999).

## **2.3 VEGETACION**

Las primeras descripciones sobre la vegetación y la flora de los páramos son debidas a Humbolt (1917) y la Goebel (1891), este último autor especialmente

para los páramos de Venezuela. Posteriormente, descripciones detalladas de la vegetación y la flora fueron realizadas por Weberbauer (1911,1937) para la Jalca Peruana y por Diles (1934, 1937) para los páramos del Ecuador. A partir de 1934 se inicia la serie de trabajos florísticos y biogeográficos de Cuatrecasas (1934-1978) que constituyen hasta ahora el mayor aporte del conocimiento de la flora paramera. Se menciona así mismo el trabajo de Smith y Kock (1935) sobre *Espeletia*. Citados por (Monasterio, 1980).

Para Cuatrecasas (1958) la flora básica de los páramos es de origen americano tropical, habiéndose diferenciado las principales estirpes de abajo hacia arriba, siguiendo las rutas del gradiente altitudinal. Las *Espeletias* (caulirrósulas) tienen sus ancestros en las formas arbóreas que se hallan en los bosques andinos.

De acuerdo con Rangel (1985), los páramos están dominados por cinco tipos de formaciones vegetales adaptadas a las condiciones ambientales propias de este ecosistema.

- Pajonales: Constituidos por vegetación herbácea dominada por gramíneas. Se distribuyen desde los páramos propiamente dichos hasta los superpáramos. Entre las comunidades mejor representadas se destacan *Calamagrostis effusa* en las tres Cordilleras Colombianas, *Calamagrostis erecta* en la Cordillera Central y *Agrostis toluensis* en la Cordillera Oriental.

- Frailejonales: Vegetación con un estrato arbustivo emergente conformado por *Espeletia*, se registra desde el páramo bajo hasta los límites entre el superpáramo y las nieves perpetuas. En la Cordillera Oriental de Colombia hay una amplia gama de comunidades dominadas por especies de *Espeletia*.
- Matorrales: Vegetación arbustiva con predominio de elementos leñosos, se establece desde el páramo bajo hasta el superpáramo, los matorrales con mayor área de distribución están dominados por especies de *Diplostephium*, *Pentacalia*, *Castilleja* e *Hypericum*.
- Prados: Vegetación con predominio de estrato rasante o en algunos casos con estrato herbáceo pobre de cobertura. Dentro de esta categoría se pueden incluir los cojines o colchones de plantas que crecen sobre cubetas, lagunas y lagunetas como los tremedales de *Plantago rígida*, *Azorella crenata*, *Disticha muscoides* y *Werneria humillis*.
- Chuscales: Vegetación dominada homogéneamente por el bambú paramuno donde sobresale *Chusquea tesellata* en sitios húmedos hasta pantanosos.
- Bosques Achaparrados: Vegetación con un estrato de arbolitos de 8 a 10 metros de altura dominados por una o dos especies, en algunos casos sus áreas de distribución se han fragmentado debido a la acción de los glaciales.

Los estudios realizados por Sturm y Rangel (1985) muestran una visión general de la vegetación de páramo en Colombia (Cordillera Oriental, Cordillera Central, Sierra Nevada de Santa Marta y algunos muestreos puntuales realizados en los volcanes Chiles y Cumbal).

Estos estudios muestran que en la mayoría de localidades visitadas, florísticamente predominan tres estratos (rasante, herbáceo y arbustivo), donde el área de cubrimiento varía para cada región. La altura para los distintos muestreos se ubicó entre 4475 m (Nevado del Cisne) y 3300 m Sierra Nevada de Santa Marta, costado sur.(1985).

La vegetación de la Cordillera Oriental presenta especies como: *Calamagrostis effusa*, *Rhynchospora macrochaeta*, *Espeletia hartwegiana*, *Blechnum loxense*, *Pernettya prostrata*, *Arcytophyllum nitidum* y *Vaccinium floribundum*. Estas especies muestran similitud florística con los volcanes Azufral y Galeras.(1985).

La Cordillera Central estuvo dominada por las especies: *Espeletia hartwegiana*, sp centro-andina, *Hypericum laricifolium*, *miconia salicifolia*, *Disterigma empetrifolium*, *Rhynchospora macrochaeta*, *Swallenocholoa tessellata*, *Pentacalia vaccinoides*, etc.

En la Sierra Nevada de Santa Marta se destacan las especies: *Stevia lucida*, *Hesperomeles heterophylla*, *Valeriana karstenii*, *Satureja caerulescens*, *Libanothamnus glossophyllus* y *Arcytophyllum nitidum*.(1985).

**2.3.1 Adaptación de plantas a climas fríos.** La Vegetación paramuna esta especialmente ajustada a resistir la sequedad fisiológica y el frío. Esta determinada por la disminución de la absorción que ocasiona la baja temperatura y elevada presión osmótica del suelo, en contraste con la intensa transpiración, en las horas soleadas. Así las plantas presentan estructuras xeromórficas (Cuatrecasas,1934).

Las características estructurales y funcionales de las plantas adaptadas a climas fríos tales como altas montañas han sido estudiadas. Los climas fríos no necesariamente son fríos para las plantas todo el tiempo y la influencia del clima sobre las formas de crecimiento del dosel son evidentes. Las bajas temperaturas extremas pueden causar disminución temporal de los procesos metabólicos o pérdida parcial de tejidos pero raramente presentan un problema esencial para las plantas nativas de las regiones frías. Las bajas temperaturas inducen cambios drásticos en la fisionomía y anatomía de la hoja, pero la distribución de materia seca para los diferentes comportamientos de la planta no muestran una tendencia uniformemente inconsistente con la amplia creencia que la capacidad fotosintética de las plantas de regiones frías no es esencialmente diferentes de aquellas regiones templadas cuando se consideran formas de vida comparables (Körner y Larcher,1988).

Las plantas tropicales que crecen en ambientes en donde las temperaturas de congelamiento ocurren en horas de la noche, han estado bajo una fuerte presión de selección para la evolución de mecanismos que evitan o toleran el frío. Estas

respuestas adaptativas específicas pueden depender del régimen de temperatura del microclima al cual están expuestas las plantas. En el hábitat donde las temperaturas nocturnas no caen debajo de 0°C, el principal mecanismo de resistencia podría ser la evasión al frío. En otros hábitats tropicales donde las temperaturas caen debajo de 0°C y permanecen así por varias horas, se evidencian mecanismos de resistencia (Azocar et al, 1988).

Rada (1985), estudiando especies de *Espeletia* (*Espeletia spicata* y *Espeletia timotensis*), encontró que ellas poseen mecanismos de protección al congelamiento de sus tejidos. Por otra parte, las temperaturas de la raíz permanecen siempre arriba de 0°C, y el tallo está bien aislado por hojas marescentes. Estas características son muy importantes como mecanismos de evasión al congelamiento.

Las yemas de ambas especies también muestran un proceso similar, estas se protegen con hojas jóvenes que forman una estructura cerrada, la cual presenta una alta capacidad de protección al enfriamiento.

Las hojas que están expuestas a las temperaturas bajas del ambiente evitan el congelamiento por un proceso de superenfriamiento, es decir, que evitan la formación de hielo intracelular incluso a temperaturas muy por debajo del punto de congelación teórico de los tejidos que se sitúa a 1.5°C, este también se conoce como mecanismo de evasión y ha sido detectado en tejidos de xilema, semillas, flores, yemas y hojas (Rada, 1985).

**2.3.2 Ecofisiología de las plantas de páramo.** La vegetación afecta el ciclo de agua y los intercambios de energía de muchas formas. Las ramas y las hojas atenúan la energía eólica, alteran la absorción de la radiación solar y aumentan la superficie de evaporación. Las plantas transportan el agua desde sitios profundos del suelo a la atmósfera, mediante las raíces, los tejidos conductores y los estomas.

En el caso particular del páramo los efectos benéficos de la cobertura vegetal se amplifican notoriamente debido a las siguientes características peculiares:

1. Capacidad de retención del agua en tejidos especiales y entre las hojas en proceso de descomposición, particularmente en los cojines, macollas y rosetas.
2. Exposición a la radiación solar de la casi totalidad de las superficies foliares por ser vegetación abierta.

Del mismo modo, cuando la cobertura vegetal desaparece por efecto de la acción humana o de causas naturales, los efectos negativos aumentan. En particular decrece marcadamente el flujo de vapor de agua hacia la atmósfera, desperdiciándose el efecto de la alta radiación en el aumento de la evapotranspiración; se pierde la capacidad de retención de aguas lluvias, lo cual

intensifica el flujo de la corriente que arrastra el suelo en las áreas de pendientes fuertes. (Mora-Osejo, 1994)

Dado que el páramo es un ecosistema tropical de altas elevaciones, ciertas características físicas, químicas y factores climáticos afectan el funcionamiento biológico de los organismos que ahí viven; por consiguiente, el crecimiento de las plantas en estas áreas presentan adaptaciones a las siguientes condiciones:

1. Aire frío de altas elevaciones (menor contenido de agua y presiones parcialmente bajas tanto de O<sub>2</sub> como de CO<sub>2</sub>)
2. Bajas temperaturas
3. Intensidad de la radiación ultravioleta (elevada en altas montañas ecuatoriales pero controlada por la frecuente niebla y cobertura fría)
4. Cambios rápidos en insolación dan como resultado una rápida absorción o pérdida de calor.
5. Efecto desecante del viento (puede incrementar la transpiración al punto de desecación).

Sequedad fisiológica (la combinación de bajas temperaturas, transpiración intensa durante períodos soleados, alta acidez del suelo, efectos desecantes del viento, y la alta presión osmótica del agua del suelo hacen difícil la absorción del agua por la raíz). Consecuentemente el crecimiento y la descomposición son bajas, la productividad primaria es baja y la sucesión natural de la vegetación es a largo

plazo especialmente cuando las especies leñosas están involucradas. Es importante recordar que aquí las temperaturas estacionales no son fuertes, no hay cambios marcados de verano a invierno como en las regiones templadas, más bien el crecimiento en el páramo es continuo durante casi todo el año (Luteyn,1999).

Recientes estudios muestran como las rosetas gigantes de los Andes (*Espeletia* y *Puya*) han desarrollado adaptaciones a favor del aislamiento de temperatura y el mantenimiento de un balance positivo de agua bajo las severas condiciones del ambiente de páramo. Adaptaciones a las bajas temperaturas incluyendo mecanismos al aislamiento al frío tales como el mantenimiento de hojas adultas, aislamiento por retención de hojas muertas; (hojas marchitas) las cuales protegen al tallo, hojas geométricamente parabólicas y movimientos nictinásticos de las mismas que resultan ser una protección a las yemas apicales contra el frío. Amortiguamiento termal por fluidos mucilaginosos secretados por las bases de las hojas que protegen la yema apical. Hojas densamente pubescentes que reducen la transpiración e incrementan la temperatura de la hoja, tallos aéreos altos que resguardan las yemas contra las temperaturas mínimas nocturnas a nivel del suelo, y raíces reducidas de plantas juveniles que estimulan el desarrollo del tallo,(1999).

Mora-Osejo (1994), encontró en el páramo del Granizo, región de Monserrate una gran diversidad en el grado de xeromorfismo en las hojas de las especies

estudiadas las cuales fueron agrupadas en tres patrones o grados principales: Mesomórficas, Hemixeromórficas y Holoxeromórficas :

\_ Mesomórficas: Presentan cutícula delgada, paredes de las células epidermales delgadas, ausencia de revestimientos, vainas de haces conductores delgadas, vainas de haces conductores parenquimáticos o ausentes, mesófilo laxo, parénquima en empalizada uniestratificado.

\_ Hemixeromórficas: Presencia de epidermis abaxial y adaxial, que pueden ser o no xeromórficas.

\_ Holoxeromórficas: Presencia de envoltura epidermal abaxial y adaxial altamente xeromórficas.

Así mismo encontró una tendencia estacional del régimen de precipitación en dos épocas, una seca y una lluviosa, así como una oscilación diaria de microclima. En su estudio se determinó que los parámetros microclimáticos que influyen de manera más directa en el estado hídrico de las plantas fueron: la radiación, precipitación, evaporación, temperatura y humedad relativa del ambiente, en cambio la humedad del suelo se mantuvo a saturación en las dos épocas. En cuanto a las determinaciones de transpiración, sobresalen las especies hemixeromórficas como *Espeletopsis corymbosa* CH & Cuatr, por sus altas tasas de transpiración las cuales se relacionan directamente con la radiación y la

temperatura, mientras que con la humedad relativa es inversamente proporcional. Así mismo se estableció que el rango de fluctuación de la tasa de transpiración propia de cada especie depende de los factores endógenos, pero la magnitud de la transpiración momentánea en cualquier día del año de una especie dada depende de las interacciones de los factores estructurales endógenos de las variaciones de los parámetros ambientales.

**2.3.3 Descripción de *Espeletia pycnophylla*.** Cronquist (1969), propone la siguiente clasificación para *Espeletia pycnophylla*:

Reino: Vegetal

División: Tracheophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Asteridae

Orden: Asterales

Familia: Asteraceae

Género: *Espeletia*

Especie: *Espeletia pycnophylla*

Las especies del género *Espeletia*, son frecuentemente las plantas que predominan en el medio ambiente páramo en altitudes de 2800 a 4500 m.s.n.m.

Aristeguieta (1964), señaló que el género *Espeletia* es endémico de los páramos andinos de Colombia, Venezuela y norte del Ecuador, solo una especie, *Espeletia*

*nerifolia* crece a 1200 m.s.n.m en la Cordillera de la costa venezolana, pues todas las demás son exclusivas de los páramos andinos.

El género *Espeletia* se extiende desde Venezuela hasta Ecuador pasando a través de los páramos colombianos. Es en éstos donde las formaciones de *Espeletia* alcanzan su mayor extensión, ocupando un área entre 10000 y 15000 km<sup>2</sup>. Se considera que en Mérida Venezuela es su centro de dispersión.

La mayor parte de las especies de *Espeletia* se localizan desde el límite superior del bosque andino hasta la zona inferior del superpáramo, concentrándose en el páramo propiamente dicho; pero por lo general la distribución altitudinal de las sabanas de *Espeletia* se presentan entre 3200 a 4300 m.s.n.m (Cuatrecasas, 1976; Cleef, 1977; Sturm, 1978).

Al género *Espeletia* pertenecen especies que se incluyen dentro del modelo arquitectónico de Corner, definido por Halle, Oldeman y Tolimson (1978), citados por Solarte et al (1998) como árboles monaxiales con crecimiento indefinido e inflorescencias laterales. Presentan una estructura monocaula constituida por un único meristemo aéreo apical el cual es responsable del crecimiento de toda la biomasa vegetativa aérea (tronco y hojas de la roseta).

### **2.3.3.1 Descripción morfológica y ecológica de *Espeletia pycnophylla***

Cuatrecasas (1934), describe de una manera detallada la especie *Espeletia pycnophylla*.



**Figura 1. *Espeletia pycnophylla***

Caulirosuletum con tallo de hojas muertas sobre los tallos forma una especie de estuche protector, que cumple varias funciones como son la de mantener la temperatura por encima de la del ambiente, la de formar una especie de trampa que recoge residuos de materia orgánica y la de actuar como almacenador de agua lluvia que será absorbida directamente por el tallo.(Cuatrecasas,1934).

De esta forma se crea, un microambiente en el cual la temperatura y la humedad son más favorables que la de el aire por lo cual reúne ciertas características adecuadas para la habitación de pequeños artrópodos (Salamanca,1988). Hojas rosulares gruesas, blandas, anchamente oblongo espatuladas, angostadas en la base en ancho pecíolo (2-2.25 cm.lat.), Bruscamente acumiadas en el ápice, de

40 cms. Long. X 10 cms. lat . Borde liso, irregular y levemente sinuoso. Haz densamente tomentoso lanoso, con abundantes pelos retorcidos muy compactos, crespo aterciopelados, con el nervio principal bien marcado y los secundarios apenas visibles. Envés más flotante tomentoso lanoso, con el nervio principal grueso y prominente, los laterales en ángulos de 45 grados, bien marcados, 8-10 por decímetro. Vaina de 5-6 cm long. por 7 cm lat., lampiña interiormente, abundantemente barbuda, blanquecina por fuera. Ramas floríferas más cortas o enrasando la roseta, de 45 cms. long., gruesas, robustas, gruesamente tomentoso-lanosas, en la base y en la mitad inferior sencillas, en la mitad o tercio superior cimosas. Salamanca (1988), afirma que la formación de cubierta de pelos en las hojas, ayudan a captar las gotas de lluvia o rocío, las cuales son absorbidas por las células de las paredes, los pelos cumplen, además, función de atenuar los efectos de las temperaturas mínimas, manteniendo la temperatura hasta varios grados por encima de la del ambiente, con la cual se crea un microclima que favorece el proceso de fotosíntesis y la colonización de las hojas por insectos.

Inflorescencia en dicasio bastante denso, de 8-12 capítulos; brácteas foliáceas, oblongadas, ensanchadas hacia arriba, acutiúsculas u oblongo espatuladas, hasta 13 cms. Long. X 3 cms. Lat. las inferiores, madres de la inflorescencia. Pedúnculos robustos, erguidos y curvados en su ápice, gruesamente lanosos, blanco amarillentos, más cortos o igual largos que las brácteas correspondientes (los inferiores 13 cms long., los superiores 3 cms long.), Llevando generalmente varios capítulos, raramente uno.

Capítulos grandes, inclinados, de 30-40 mm diám, densamente lanosos amarillentos. Involucro con 2-3 filas de brácteas exteriores de 13-18, las más externas hasta 25 mm long. x 15 mm lat,. Las internas de 11 mm long. x 5 mm lat., ovales, ovales oblongas, u obovales, densa y largamente lanosas en el dorso y bordes. Brácteas fértiles en tres filas, de unos 9 mm long. x 4 mm lat., ovales agudas, tomentoso hirsutas en el dorso y margen. Escamas del receptáculo 6mm long., abrasadoras, el ápice algo acapuchonado y dorso hirsuto y aquillado.

Lígulas en número de unas 60, en 2-3 filas, oblongo espatuladas, tridentadas, de 14.5 mm long. X 2.5-2.8 mm lat, con el tubito pelosito, de 2 mm long. delgadito. Aquenio de 2.5 mm long. Flósculos de 6mm long., lampiño, con el tubito de 2 mm long.

## **2.4 TRANSPIRACION**

El conocimiento de los factores implicados en la regulación de la transpiración es de gran trascendencia, no solamente por ser indispensable para develar los procesos implicados en la dinámica de la economía hídrica de la planta ya de suyo relevante, sino también en razón de las interrelaciones de la transpiración con la producción de biomasa (Mora-Osejo,1994).

La mayor parte del agua absorbida por la planta es perdida por ésta en estado de vapor por un proceso que recibe el nombre de transpiración. En el balance hídrico de la planta solo una parte pequeña del agua absorbida es retenida para

contribuir principalmente como medio dispersante al crecimiento de las partes jóvenes de la planta. Una porción mucho menor del agua absorbida es destruida, principalmente en la fotosíntesis. Una cantidad de agua aún menor se forma en los procesos respiratorios pero, globalmente consideradas, las pérdidas o formaciones de agua en los procesos metabólicos son insignificantes en el balance hídrico de la planta. Incluso el agua retenida y no transformada químicamente tiene en general un valor relativamente muy pequeño en el balance hídrico (Raven et al 1986).

El mismo autor sostiene que entre un 50 y un 85% del agua de lluvia que cae en un terreno con vegetación vuelve a la atmósfera por transpiración de las plantas. En general se estima que un terreno con vegetación pierde tres veces más agua en estado de vapor que la que perdería sin vegetación.

Mora-Osejo (2001) afirma que mediante la absorción del agua del suelo por las raíces y la simultánea regulación de la transpiración estomática las plantas mantienen el flujo continuo y regulado del agua a través de todos los órganos. El gradiente del potencial hídrico interno de plantas ( $\Psi_i$ ) impulsa el flujo del agua de las raíces a las hojas e impide que se interrumpa la columna interna del líquido. De tal manera que como lo sostiene Crafts (1968), el cuerpo de agua dentro de las plantas es continuo y como tal unitario. La transpiración, regula el desplazamiento ascendente de la columna interna de agua, promueve la apertura de los estomas y facilita la captura del  $\text{CO}_2$  para la fotosíntesis.

La transpiración es la fuerza impulsora de la columna continua de agua, suelo-planta-aire. La transpiración es afectada por los mismos factores externos que afectan el grado de la pendiente del gradiente de la presión del vapor de agua que exista, entre la superficie transpirante de la planta y el aire (2001).

La transpiración como proceso fisiológico es un mal inevitable, resultado de la necesidad que tienen las plantas terrestres de realizar un intercambio de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> en una atmósfera con bajo potencial hídrico. Para ello, la planta ha desarrollado unos sofisticados mecanismos de control y adaptaciones, que ahorran el máximo de agua. La transpiración parece ser el factor esencial en la ascensión del agua en el xilema, ascensión que juega un papel fundamental en la distribución de nutrientes en la planta. (Raven et al, 1986).

De allí que como lo expone Larcher (1995), la intensidad de la transpiración se eleve en la medida que aumente la sequedad del aire y aumente la temperatura de éste.

La transpiración incluye dos etapas:

1. Una evaporación del agua(mayoritariamente desde las paredes de las células del mesófilo a los espacios aéreos de éste).
2. Una difusión del agua en estado de vapor por los espacios aéreos del interior de la planta hasta el exterior.

Goebel (1981), menciona seis características limitantes de la transpiración, dada la dificultad para que las raíces absorban agua del suelo, en razón del frío nocturno intenso y el fuerte viento que de otra manera incrementaría la transpiración, a saber:

- a) Cubrimiento denso de pelos;
- b) Hojas coriáceas;
- c) Enrollamiento de las hojas;
- d) Hojas de tamaño reducido;
- e) Crecimiento congestionado o en forma de cojines de las plantas;
- f) Rosetas con estructuras subterráneas que acumulan reservas de agua.

Mora-Osejo (1994), en su estudio La regulación de la Transpiración Momentánea en Plantas del Páramo por factores endógenos y ambientales, encontró que las mayores tasas de transpiración la presentan las especies con hojas de envoltura epidermal de tipo hemixeromórfico, seguido en su orden, por los grupos de especies con hojas de envoltura epidermal de los tipos mesomórficos y holoxeromórficos.

Dentro de las especies hemixeromórficas sobresalen: *Espeletiosis corymbosa*, *Espeletia grandiflora* y *Valeriana pilosa*.

Cabe destacar que dentro de este grupo, *Espeletiosis corymbosa* es la especie con mayor tasa de transpiración, esto se explica por cuanto presenta un número

de estomas por  $\text{mm}^2$  (102 estomas por  $\text{mm}^2$ ) mayor que en las otras especies. En cuanto a las del tipo mesomórfico se destacan, *Solanum tuberosum*, *Rumex acetocella* y *Digitalis purpurea*; *Drimys granadensis* y *Befaria resinosa* sobresalen dentro de las holomórficas.

Raven et al (1986), considera que los principales factores externos que afectan la velocidad de transpiración son:

**- Humedad atmosférica:**

En la transpiración la última etapa consiste en la difusión del vapor de agua desde la cámara subestomática al exterior. Por las leyes de la difusión, el flujo de una sustancia es proporcional al gradiente de concentración de esa sustancia, en una forma aproximadamente proporcional en nuestro caso a la diferencia de la humedad entre la cámara subestomática y el exterior. Por lo tanto, un aumento de la humedad atmosférica determina una disminución de la transpiración porque disminuye la diferencia de humedad entre la cámara subestomática y el exterior.

**- Humedad del suelo:**

A mayor humedad del suelo mayor absorción de agua en consecuencia el potencial hídrico es más alto en general en la planta y específicamente en la célula oclusiva, mayor turgencia de ésta y el estoma está más abierto. La humedad exclusivamente del suelo no afecta sensiblemente al gradiente de

humedad a través del estoma; en consecuencia el único efecto de la mayor humedad del suelo favoreciendo mayor abertura de estomas determinará una mayor transpiración. Por las razones anteriores, aquellos factores que pueden afectar a la absorción de agua por las raíces (temperatura, ventilación, etc.) afectarán en el mismo sentido a la abertura estomática y a la transpiración.

**- Concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico:**

La concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera afecta sensiblemente a la transpiración. A mayor concentración de CO<sub>2</sub> menor abertura estomática y menor velocidad de transpiración. Una alta concentración CO<sub>2</sub> puede incluso cerrar totalmente el estoma. El significado fisiológico de esta respuesta parece residir en el papel que los estomas juegan en establecer un adecuado balance entre fotosíntesis y transpiración.

**- Iluminación:**

Un aumento de iluminación abre los estomas, y por lo tanto, aumenta la transpiración en una respuesta que requiere aproximadamente una hora. La disminución de luz cierra estomas en una respuesta algo más rápida que la anterior. El sentido fisiológico es bien aparente; en ausencia de luz no es posible la fotosíntesis no es necesario el CO<sub>2</sub> y por lo tanto se cierran los estomas para evitar la pérdida de agua. Una interpretación rápida de estas explicaciones podría

sugerir que la transpiración es un mal inevitable que acompaña al necesario intercambio gaseoso fotosintético y que dentro de lo posible la transpiración se evita al máximo.

#### **- Temperatura:**

En general las temperaturas elevadas favorecen la transpiración, sus efectos sobre la abertura estomática son complejas y variables de unas plantas a otras.

Al aumentar la temperatura disminuye rápidamente la humedad relativa, con lo cual aumenta el gradiente de difusión del vapor de agua entre la cámara subestomática (que siempre contiene una alta humedad relativa) y el exterior, y con ella la transpiración. Por otra parte al aumentar la temperatura, aumenta el coeficiente de difusión del vapor de agua y con ella de nuevo la velocidad de transpiración.

El efecto de la temperatura sobre la abertura estomática es compleja. En general aumenta la temperatura en el rango de 0°C a 30°C favorecen la abertura estomática. Temperaturas superiores a 30°C o 40°C en general, favorecen el cierre de los estomas. Parece ser que esto se debe a que con estas temperaturas se favorecen los procesos respiratorios más que los fotosintéticos, con lo que la cantidad de CO<sub>2</sub> aumenta y cierra el estoma. De todas formas temperaturas muy elevadas pueden provocar insensibilización del estoma al CO<sub>2</sub>,

con lo cual el estoma permanece abierto y el efecto refrigerante a la transpiración evita los efectos dañinos de las temperaturas en las hojas.

**- Velocidad del viento:**

La velocidad del viento no tiene un efecto directo sobre la abertura estomática pero tiene un gran efecto sobre la transpiración por afectar al gradiente de humedad a través del estoma. Junto a la abertura estomática, un factor que puede ser limitante es la velocidad de difusión del vapor de agua a través de la capa de aire inmóvil adherida a la superficie de la hoja.

En efecto, según su velocidad, el viento barre más o menos esa capa de aire inmóvil, de forma que a mayor velocidad del viento menor espesor de la capa inmóvil. En consecuencia, cuanto mayor es la velocidad del viento, mayor es la velocidad de transpiración.

Con respecto a los anteriores factores, Mora-Osejo (1994), concluyó en su estudio que la transpiración guarda relación directamente proporcional con la radiación y la temperatura; mientras que con respecto a la humedad relativa del aire, la relación es inversamente proporcional.

### 3. MATERIALES Y METODOS

El trabajo de investigación desarrollado es del tipo cuantitativo descriptivo porque en él se determinan las tasas de transpiración y sus componentes en la época húmeda que va de octubre hasta diciembre y en la seca que va de junio a agosto. Se realizó trabajo de campo que incluye características ecológicas generales del ecosistema, se realizó también trabajo de laboratorio.

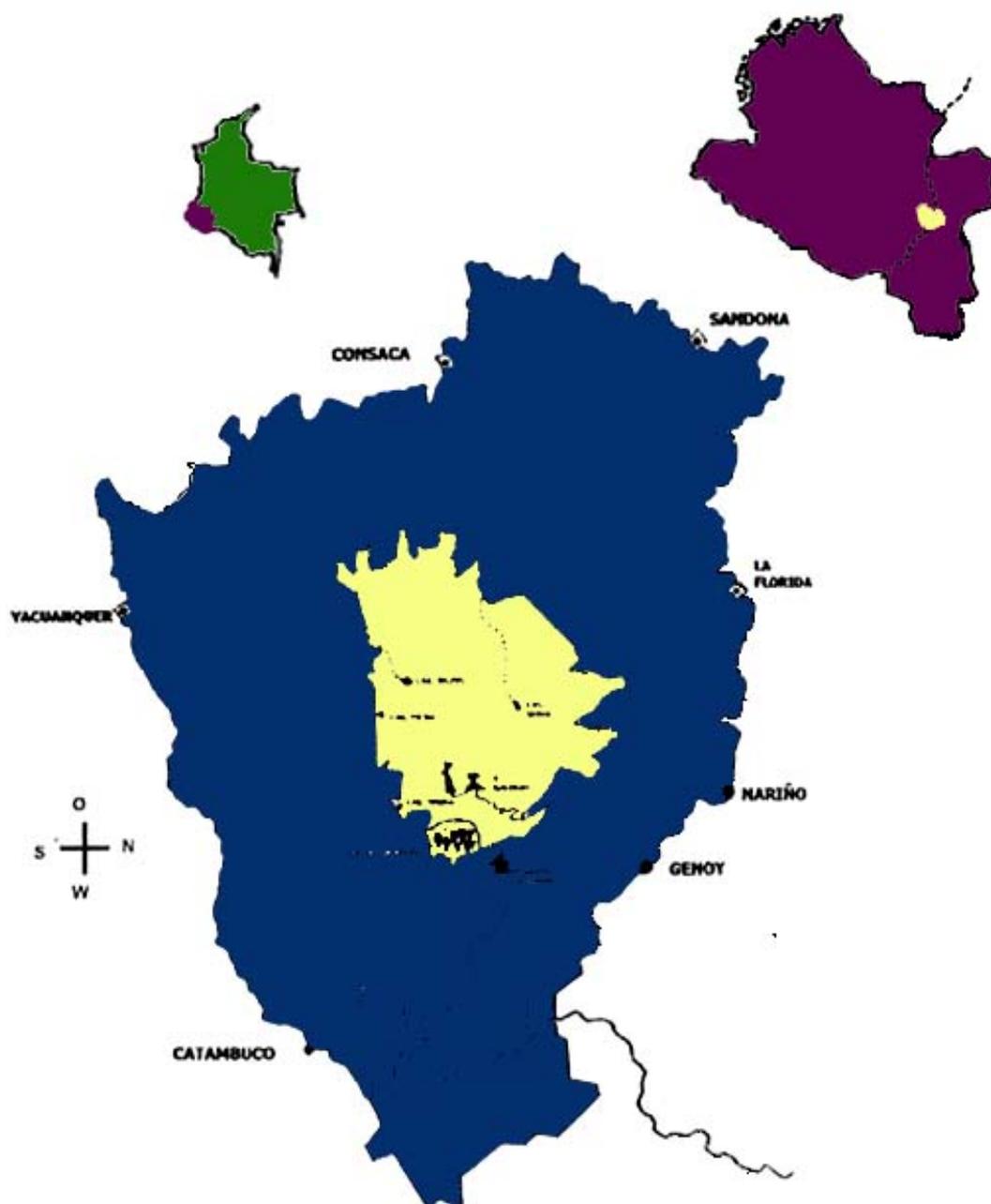
#### 3.1 LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

El Santuario de Flora y Fauna Galeras, hace parte del ramal centro oriental de la Cordillera de los Andes en el Nudo de los Pastos, en el extremo suroccidental de Colombia. Oficialmente cuenta con un área de 8.886 Ha. Su distribución altitudinal se encuentra entre los 1950m y 4276 m.s.n.m., medidos en la cima del volcán Galeras (Plan de manejo Santuario de Flora y Fauna Galeras, 1994).

Sus coordenadas geográficas son:

Latitud	Longitud
01° 15´ 41,16" norte	077° 26´ 28,73" oeste
01° 09´ 09,21" norte	077° 19´ 37,10" oeste

## Figura 2. Ubicación del área de estudio



 UBICACION ZONA DE ESTUDIO

FUENTE: PLANCHA TOPOGRAFICA A ESCALA 1:25000 DEL  
INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI IGAC N° 429

TOMADO DE: PLAN DE MANEJO DEL SANTUARIO DE FLORA Y  
FAUNA GALERAS

El estudio se realizó en la zona de páramo del Santuario de Flora y Fauna Galeras. En el páramo se distinguen tres zonas; el subpáramo, el páramo propiamente dicho y el superpáramo en límites con la región nival. El terreno es escarpado, de difícil acceso, de pendientes bien pronunciadas hasta de 70° de inclinación. Su clima se ve influenciado por variaciones de la vertiente pacífica, presenta nubosidad constante, la temperatura promedio es de 11°C y la humedad relativa promedio es del 67%. El área comprende alturas que van desde los 3360m hasta los 3910 m.s.n.m (Figura 2).

### **3.2 FASES DE LA INVESTIGACION**

**3.2.1 Fase de Campo.** Este estudio incluyó aspectos relacionados con:

**3.2.1.1 Descripción ecológica.** Con el fin de tener una aproximación del tipo de vegetación que se asocia a *Espeletia pycnophylla* objeto de nuestro estudio se realizó el levantamiento de dos perfiles de vegetación (Mateucci y Colma, 1982).

Los levantamientos se realizaron ubicando dos transectos escogidos al azar . Se seleccionaron dos sectores del área que incluyeron las dos formaciones dominantes: frailejonal-pajonal y frailejonal-arbustal. Se realizaron transectos de 2 x 50 m con la ayuda de un decámetro.

En cada levantamiento se determinaron las variables:

- Identificación provisional (del individuo) de la especie.
- Distancia o ubicación del individuo en el transecto
- Altura del individuo
- Cobertura o área basal.

Con estos datos se elaboraron los perfiles de vegetación del área de estudio. Se realizó un inventario de las especies vegetales que se encontraron dentro de los dos levantamientos, el que además se complementó con recorridos que se hicieron por el área de estudio.

La identificación de las muestras se llevó a cabo en el herbario (PSO) de la Universidad de Nariño, mediante la comparación de las mismas y con la revisión de la profesora Martha Sofía González. La especie *Espeletia pycnophylla* se identificó con la ayuda del especialista Santiago Díaz (2000).

#### **3.2.1.2 Determinación de la Transpiración.**

Se seleccionaron al azar seis individuos de *Espeletia pycnophylla* con diferentes alturas: 0-50 cm; 50-1 m; 1 m en adelante, teniendo en cuenta que los individuos se encontraban en estado de floración, con el fin de asegurar una muestra en un mismo estado de desarrollo, especies que se consideran maduras para este tipo de estudio. Cada individuo corresponde a una unidad muestral del cual se tomaron tres hojas por individuo ubicando cada hoja de acuerdo a su posición o

nivel así: H<sub>1</sub> nivel superior; H<sub>2</sub> nivel medio; H<sub>3</sub> nivel inferior. Para cada individuo se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros: altura, número de hojas, largo y ancho de la hoja y número de inflorescencias.

Para la medida de la transpiración se utilizó un porómetro adaptado que consistió en un recipiente con agua donde se colocó la hoja verticalmente y encima se derramó aceite hasta obtener una película uniforme para evitar la evaporación del agua del reservorio (Informes Técnicos La Planada, en Prensa).

Cada planta fue cortada e inmediatamente sumergida en agua para evitar la cavitación y entrada de aire a los vasos conductores del xilema. La transpiración se midió tomando como base la disminución del peso del agua tomada cada 15 minutos.

**3.2.1.3 Determinación del factor edáfico (Hofstede, 1993).** Se tomaron diferentes muestras de la zona de estudio hasta 45 cm de profundidad del suelo, se mezclaron y llevaron para ser analizadas en el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño. Los parámetros físicos que se analizaron nos permitieron evaluar el comportamiento hídrico del suelo y su relación con los procesos de absorción de agua en la planta y la transpiración. Las variables analizadas fueron: Densidad aparente, densidad real, porosidad, capacidad de campo y humedad higroscópica.

#### 3.2.1.4 Determinación de factores de microclima (Ortiz, 1996)

- Humedad relativa. Para su determinación se realizaron registros diarios cada 15 minutos en las dos épocas de estudio con la ayuda de un Termohigrómetro.
- Temperatura ambiental. En las dos épocas de estudio se tomaron registros diarios cada 15 minutos utilizando el Termohigrómetro.
- Temperatura del suelo: se ubicaron termómetros a diferentes profundidades (0-10-20-30 cm) en forma vertical. Los registros se determinaron diariamente cada hora.

### 3.2.2 Fase de laboratorio

**3.2.2.1 Determinación del área foliar.** El método utilizado fue el de la relación área/peso, para esto se dibujan las hojas en papel bond, se recortaron y se tomaron su peso. Igualmente se pesó una hoja de papel bond y se determinó su área (Solarte, 2000).

El área se calculó con la relación:

$$\text{Área } x = \frac{\text{peso } x \cdot \text{área de papel bond}}{\text{Peso papel bond}}$$

Peso x -> área x

Peso  $H_0$  -> área  $H_0$

Peso x · área hoja = área x

Peso hoja

Área x = área de la hoja que se desea calcular

Peso x = peso de la hoja después de ser dibujada y recortada.

**3.2.2.2 Densidad estomática.** Se determinó la densidad de estomas de cada hoja de la especie objeto de estudio, para esto se realizaron montajes de impresiones del envés de la hoja, sabiendo de antemano que *Espeletia pycnophylla* es hipoestomática, los montajes se realizaron a través de epidermis directa, con el fin de contar el número de estomas por campo, a un determinado aumento de 10X utilizando un microscopio compuesto de luz (Solarte, 2000).

**3.2.2.3 Contenido hídrico.** Se evaluó el contenido absoluto de agua de la hoja de *Espeletia pycnophylla*, para esto se obtuvieron muestras por duplicado de cada una de las especies, se les determinó el peso fresco (wf) y peso seco (wd), para este último el material fue llevado a una estufa ubicada en el Laboratorio de Microbiología de la Universidad de Nariño, a una temperatura de 80°C durante 72 horas, la diferencia de los dos pesos sobre el peso seco, nos da una medida de la cantidad de agua que acumulan estas plantas por unidad de peso. El contenido absoluto de agua se determinó por:  $CAA = ((wf - wd) / wd) \times 100$  (Turner, 1981).

### 3.2.3 Análisis de la información

**3.2.3.1 Consulta macroclimática.** Los resultados macroclimáticos están apoyados por los reportes meteorológicos del IDEAM, en la estación de Obonuco correspondientes a los diez últimos años. Se analizaron los siguientes parámetros: temperatura, humedad relativa, precipitación, brillo solar, nubosidad, velocidad del viento y evaporación.

Estos datos nos permiten ampliar el conocimiento y el comportamiento del clima en los últimos años y en el tiempo de desarrollo de la investigación.

**3.2.3.2 Medición de la transpiración.** Se calculó la tasa de cada curva de transpiración para determinar la transpiración en  $\mu\text{moles/m}^2 \cdot \text{minuto}$  en ciclos diurnos cada 15 minutos. (Informes Técnicos la Planada, en Prensa).

La tasa de transpiración se calculó mediante la siguiente relación:

$$\text{Tasa de transpiración} = \frac{\text{ml de agua perdidos}}{\text{Área foliar/tiempo}}$$

**3.2.3.3 Análisis estadístico.** La evaluación de las variables que se utilizaron en este estudio se determinaron mediante el test estadístico Kruskal-Wallis y el análisis de varianza ANOVA con la ayuda del programa STATGRAPH. Las

gráficas de la transpiración vs factores climáticos se hicieron con la ayuda del programa EXCELL.

Se correlacionaron las variables: transpiración-temperatura; transpiración-humedad relativa; transpiración-contenido hídrico; transpiración-nivel, con un nivel de confianza del 95%.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. DESCRIPCION ECOLÓGICA

El Santuario de Flora y Fauna Galeras, hace parte del ramal centro oriental de la Cordillera de los Andes en el Nudo de los Pastos, en el extremo suroccidental de Colombia. Oficialmente cuenta con un área de 8.886 Ha. Su distribución altitudinal se encuentra entre los 1950m y 4276 m.s.n.m., medidos en la cima del volcán Galeras (Plan de manejo Santuario de Flora y Fauna Galeras, 1994).

En general la vegetación del páramo corresponde a un tipo de vegetación abierta, típica de estas regiones climáticas. La comunidad se establece sobre terrenos escarpados, rocosos, de pendientes bien pronunciadas hasta de 70° de inclinación. Los suelos presentan una textura orgánica, coloración negra y muy ácidos, ésta acidez del suelo quizá esté relacionada con la descomposición lenta de la materia orgánica en situ, indicativo que hay alta acumulación de ésta.(Navas, 1990). Estos suelos no son fácilmente inundables y por lo tanto presentan alta capacidad de drenaje; sin embargo se presentan algunos sitios que forman pequeños valles facilitando así la acumulación de agua.

Bajo las drásticas condiciones ambientales propias del páramo, la vegetación asume ciertas adaptaciones morfológicas como: consistencia foliar coriácea y subcoriácea, (en el estrato rasante y herbáceo, respectivamente), para resistir las condiciones drásticas del frío, de igual manera la protección foliar pubescente (en *Espeletia* ), les permite que la temperatura de la hoja sea mayor que la temperatura ambiente (Sturm y Rangel, 1985), así mismo, para mantener la humedad muchas hojas permanecen semicerradas posiblemente para protegerse de la radiación solar y disminuir así la transpiración.

Cabe anotar que esta vegetación ha sido intervenida por el turismo debido a la presencia de senderos ecológicos, por lo que al inicio del sendero la vegetación es arbustiva y a medida que se asciende a los 3.650 m la franja altitudinal corresponde a frailejones y pajonales; cuando se llega al límite de la vegetación se encuentran plantas arrosetadas y en cojín. De lo anterior se deduce que hay zonas más intervenidas (cercasas al sendero) y zonas más conservadas.

El trabajo de campo y la elaboración de los diagramas de perfil permitió identificar tres tipos de estratos: arbustivo, herbáceo y rasante, de los cuales los dos inferiores fueron florísticamente abundantes en especies. (Tabla 1)

El estrato herbáceo es el que más se destacó, sobresaliendo las especies de la familia Poaceae como *Calamagrostis effusa* y *Agrostis araucana*, *Carex pichinchensis* y *Holcus lanatus*, varios géneros de la familia Rosaceae especialmente *Hesperomeles* y *Rubus*, Polypodiaceae con el género *Polypodium*, Lomariopsidaceae de los géneros *Elaphoglossum* y *Glaphoglossum*, Blechnaceae

con el género *Gonpichis*, Alstroemeriaceae como *Bomarea linifolia*, Aspinaceae como *Nephorolepsis excelsa*, Asteraceae con las especies *Gynoxys santi-antoni* y *Senecio formosus*, Bromeliaceae como *Pitcarnia pungens*, Cyperaceae como *Rynchospora macrochaeta*, *Vaccinium floribundum* de la familia Ericaceae, Gentianaceae como *Gentiana sp*, *Jamesonia pulchra* de la familia Gymnogramaceae, Lycopodiaceae con *Lycopodium clavatum*, *Miconia latifolia* de la familia Melastomataceae, Onagraceae como *Oenothera sp*, Plagiochillaceae como *Plagiochylla sp*, Polygalaceae como *Monina revoluta*, Polytrichaceae como *Polytrichum sp* y Scrophurialiaceae como *Bartsia santolinaefolia*.

En segundo lugar se encuentra el estrato arbustivo representado especialmente por la familia Asteraceae donde sobresalen las especies *Loricaria thuyoides*, *Diplostephium glandulosum*, *Diplostephium hartewegii*, *Baccharis genistelloides*, *Diplostephium floribundum*, *Hipochoeris radicata*, *Aequatorium sp*, *Fleischmannia sp*, *Diplostephium rhododendroides* y *Espeletia pycnophylla*; Ericaceae de los géneros *Gaultheria* y *Disterigma*; Melastomataceae con el género *Brachyotum*; Myrtaceae como *Myrcianthes rhopaloides*; Myricaceae como *Myrica parvifolia* y Clusiaceae como *Hypericum jussieui*.

El tercer lugar esta ocupado por el estrato rasante en donde se destacan las familias Sphagnaceae con la especie *Sphagnum sanctajosephense* y Rosaceae con *Lachemilla orbiculata* y *Hesperomeles pernetioides*.

En la Tabla 1 se presenta un estado general de las especies representativas del PÁRAMO DEL GALERAS, organizadas en familias y de acuerdo a su estrato.

TABLA 1. Listado de familias y especies por estrato páramo Galeras

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMUN	ESTRATO
ALSTROEMERACEAE	<i>Bomarea linifolia</i>	Bejuco sapo	Herbáceo
ASPINACEAE	✓ <i>Nephorolepsis excelsa</i>		Herbáceo
ASTERACEAE	✓ <i>Loricaria thuyoides</i> ✓ <i>Diplostephium glandulosum</i> ✓ <i>Baccharis genistelloides</i> ✓ <i>Diplostephium floribundum</i> ✓ <i>Hipochoeris radicata</i> ✓ <i>Aequatorium sp</i> ✓ <i>Gynoxis santi-antoni</i> ✓ <i>Senecio formosus</i> ✓ <i>Fleischmannia sp</i> ✓ <i>Diplostephium rhododendroides</i> ✓ <i>Espeletia pycnophylla</i>	chilca chilca negra chilca - pulisa  chilca blanca  chilca blanca Frailejón	Arbusto Arbusto Arbusto Arbusto Arbusto Arbusto Arbusto Arbusto Arbusto Arbusto Arbusto Arbusto
BLECHNACEAE	✓ <i>Blechnum loxense</i> ✓ <i>Blechnum auratum</i>	Helecho Helecho	Herbáceo Herbáceo
BROMELIACEAE	✓ <i>Pitcarnia pungens</i>		Herbáceo
CLUSIACEAE	✓ <i>Hypericum jussieui</i>	Romerillo verdadero	Arbusto
CYPERACEAE	✓ <i>Rynchospora macrochaeta</i>		Herbáceo
ERICACEAE	✓ <i>Vaccinium floribundum</i> ✓ <i>Gaultheria foliosa</i> ✓ <i>Disterigma codonanthum</i> ✓ <i>Gaultheria cordifolia</i>	Mortiño	Herbáceo Arbusto Arbusto Arbusto
GENTIANACEAE	✓ <i>Gentiana sp</i>		Herbáceo
GYMNOGRAMACEAE	✓ <i>Jamesonia pulchra</i>		Herbáceo
LOMARIOPSIDACEAE	✓ <i>Af. Elaphoglossum engelii</i> ✓ <i>Glaphoglossum sp</i>		Herbáceo Herbáceo
LYCOPODIACEAE	✓ <i>Lycopodium clavatum</i>		Herbáceo
MELASTOMATACEAE	✓ <i>Myconia latifolia</i> ✓ <i>Brachyotum sp</i> ✓ <i>Brachyotum ledifolium</i>		Herbáceo Arbusto Arbusto
MYRICACEAE	✓ <i>Myrica parvifolia</i>	Laurel	Arbusto
MYRTACEAE	✓ <i>Myrcianthes rhopaloides</i>	Arrayán del páramo	Arbusto
ONAGRACEAE	✓ <i>Oenothera sp</i>		Herbáceo
ORCHIDACEAE	✓ <i>Gonpichis foliosa</i>	Orquindia	Herbáceo
PIPERACEAE	✓ <i>Peperomia saligna</i>		Herbáceo
PLAGIOCHILLACEAE	✓ <i>Plagiochylia sp</i>		Herbáceo
POACEAE	✓ <i>Calomagrostis effusa</i> ✓ <i>Agrostis araucana</i> ✓ <i>Holcus lanatus</i> ✓ <i>Carex pichinchensis</i>	Paja	Herbáceo Herbáceo Herbáceo Herbáceo
POLYGALACEAE	✓ <i>Monnina revoluta</i>		Herbáceo
POLYPODIACEAE	✓ <i>Polypodium sp</i> ✓ <i>Polypodium monosorum</i>		Herbáceo Herbáceo
POLYTRICHACEAE	✓ <i>Polytrichum sp</i>		Herbáceo

Continuación Tabla 1

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMUN	ESTRATO
ROSACEAE	✓ <i>Af. Hesperomeles pernetioides</i>	Cerote	Rasante
	✓ <i>Hesperomeles sp</i>		Herbáceo
	✓ <i>Af. Hesperomeles heterophylla</i>		Herbáceo
	✓ <i>Rubus coriaceus</i>		Herbáceo
	✓ <i>Lachemilla orbiculata</i>		Rasante
SCROPHULARIACEAE	✓ <i>Bartsia santolinaefolia</i>	Verbena	Herbáceo
SPHAGNACEAE	✓ <i>Sphagnum sanctajosephense</i>	Musgo	Rasante

Fuente: Este estudio

De los diagramas de perfil elaborados, sobresalen las formaciones pajonal – frailejonal; frailejonal – arbustal y pajonal unido a pequeños cojines; de los cuales se pueden concluir que:

Las especies *Espeletia pycnophylla* y *Calamagrostis effusa* se encuentran siempre juntas. En cuanto a la formación frailejonal – arbustal, sobresalen las especies de *Brachyotum ledifolium* e *Hypericum jussieui* unidas a *Espeletia pycnophylla*.

Finalmente se encuentran los representantes del estrato rasante donde *Sphagnum sanctajosephense* y *Lachemilla orbiculata* se unen a *Calamagrostis effusa*.

Comparando nuestros resultados con otros estudios podemos mencionar que Salazar (1984), encontró en la zona de páramo del Volcán Galeras 84 especies, de las cuales afines a nuestro estudio son: *Hesperomeles sp*, *Agrostis araucana*, *Bartsia santolinaefolia*, *Espeletia pycnophylla*, *Jamesonia pulchra*, *Diplostegium floribundum* y *Calamagrostis efusa*; y se tienen especies diferentes como: *Werneria humillis*, *Taraxacum officinale*, *Ornithrophium peruvianum*, *Hipochoeris*

*sessiliflora*, *Lasiocephalus gargantanos*, *Arcytophyllum nitidum*, *Ourisia chamaedryfolia*, *Ranunculos guzmanii* y *Lozola racemosa*.

Esto nos indica de alguna manera la evolución que ha tenido la vegetación la cual no es estática y va cambiando en el tiempo con respecto al tipo de manejo que ha tenido en los últimos 20 años, lo anterior es debido posiblemente a que a partir de 1985 el Santuario de Flora y Fauna fue declarado como Parque Nacional Natural y por ende se han adoptado medidas tendientes a mantener un estricto manejo de estas áreas para su conservación.

Igualmente con el trabajo de Eraso et al (1991) se encontraron especies afines como: *Loricaria thuyoides* y *Lachemilla orbiculata*.

La vegetación de otros páramos cercanos al Galeras permite hacer una comparación con el trabajo de Solarte et al (1998) en los páramos de la Piscicultura y Peñas Blancas coincidimos con las especies : *Lycopodium clavatum*, la familia Sphagnaceae como *Sphagnum*; polytrichaceae como *Polytrichum*; Asteraceae como *Diplostephium* y *Gynoxis*; Piperaceae con el género *Peperomia*; Poaceae como *Carex*; Bromeliaceae como *Pitcarnia* y Melastomataceae como *Miconia*.

En cuanto a los páramos bajos los trabajos de Solarte et al (1998) y Martínez y Meneses (1999), nos pueden indicar que existen muchas diferencias en cuanto a la diversidad florística ya que en éstos páramos la vegetación ha venido

presentando una reducción progresiva debido a la intervención severa por las quemadas causadas por los habitantes locales, eliminando especialmente arbustos y rosetas.

Hay una gran diferencia en cuanto a la diversidad de los resultados de este estudio y los obtenidos por Muñoz (1996) en el páramo del Bordoncillo, el cual reportó en su mayoría la existencia de vegetación de tipo herbáceo y rasante perteneciente a la familia Gramínea destacándose los géneros *Bromus*, *Festuca*, *Glyceria*, *Stipa* y *Swallenochloa*, asociada principalmente con *Espeletia pycnophylla* y algunos de la familia Bromeliaceae de los géneros *Greigia* y *Puya*.

Los estudios realizados por Sturm, y Rangel (1985) permiten hacer un análisis comparativo con otras regiones del país: Cordillera Oriental, Cordillera Central y Sierra Nevada de Santa Marta, en donde la vegetación de la Cordillera Oriental alto grado de similitud florística con relación al páramo del volcán Galeras, cuyas especies características fueron: *Calamagrostis effusa*, *Rynchospora macrochaeta*, *Espeletia hartwegiana*, *Blechnum loxense*, *Pernettya prostrata*, *Arcytophyllum nitidum* y *Vaccinium floribundum*.

#### **4.2. CLIMA**

En general el Santuario de Flora y Fauna Galeras presenta las siguientes características:

- Temperatura: Las temperaturas medias anuales en el área oscilan entre 3 y 13°C. Las más bajas corresponden a los meses de octubre y noviembre. Las oscilaciones anuales son mínimas de más o menos 15°C entre los meses más fríos y más calurosos. (Parques, 1994)

Sin embargo las oscilaciones diarias de temperatura son bastantes notorias alcanzando hasta 25°C ( -8°C en horas de la madrugada y 17°C al medio día, en los días soleados). Estos cambios bruscos de temperatura determinan alteraciones fuertes en la humedad relativa que puede oscilar entre menos de 50% a más de 90%. (1994).

- Radiación Solar: La temperatura en plena radiación solar en las partes altas es mayor porque la atmósfera no absorbe ni dispersa tanta energía de radiación como en las regiones bajas.
- Precipitación: La precipitación anual promedio en el área está entre los 790 y los 2.000mm, repartidos en dos épocas más o menos marcadas (bimodal) marzo-mayo y octubre-noviembre. La dispersión estacional de la precipitación juega un papel muy importante en la exhuberancia o escasez de la vegetación según sean los cambios de humedad. Hacia el costado norte del Santuario la precipitación pluvial anual es de 852mm, en el costado sur, en cambio alcanza de 1.000 a 2.000mm anuales. (1994).

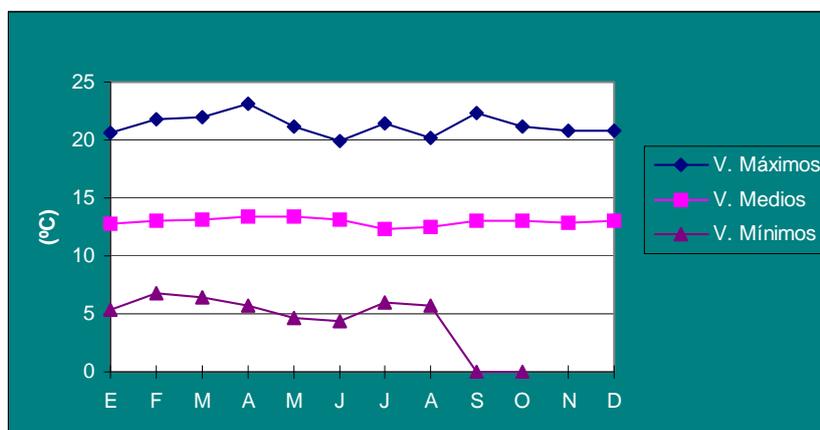
- **Humedad Relativa:** La humedad relativa promedio en el área es del 67%. Existe dificultad para determinar la evaporación y la humedad relativa en las partes altas del Santuario, que al mismo tiempo es seco y húmedo, frío y cálido, bajo ciertas condiciones meteorológicas y dentro de ciclo de 24 horas la evaporación llega a variar incluso más que la temperatura y depende de la radiación solar, la cual es mucho más intensa en los páramos.
- **Dirección y velocidad de los vientos:** Por encima de los 3000 m.s.n.m predominan los vientos que proceden del occidente, suroccidente y del sur. Sin embargo, a mediados del año, durante los meses de julio y agosto la dirección predominante de los vientos en el área del Santuario es de oriente a occidente.

En el mes de agosto, sobre todo, se presentan fuertes vientos, los que ocasionan un marcado descenso de la temperatura ambiente e incrementan la transpiración y la pérdida de agua por las plantas sobre el suelo. Esta pérdida es la que, al parecer ha impedido la formación de una estructura suelta. (1994)

De acuerdo a los datos suministrados por la estación meteorológica más cercana (Estación Obonuco), las características climáticas presentadas en el Santuario de Flora y Fauna Galeras corresponden a un ciclo bimodal con una temporada seca (entiéndase como época de menor precipitación) y una húmeda, en los últimos

cinco años se ha presentado una temporada de lluvia en los meses de octubre, noviembre y diciembre, prolongándose hasta mayo, en la época más seca se registra en los meses de junio, julio y agosto.

- **Temperatura:** La zona de estudio se ha caracterizado por presentar temperaturas que oscilan entre los 0°C y los 23.1°C, la temperatura ambiental media fue marcadamente en los últimos 10 años similar entre los diferentes meses, osciló entre 12.7 y 13.4 °C, el valor más bajo se registró en los meses de septiembre y octubre (Figura 9). Estas temperaturas son similares a la estación Chitá (Cordillera Oriental) que registró un valor de 12°C.

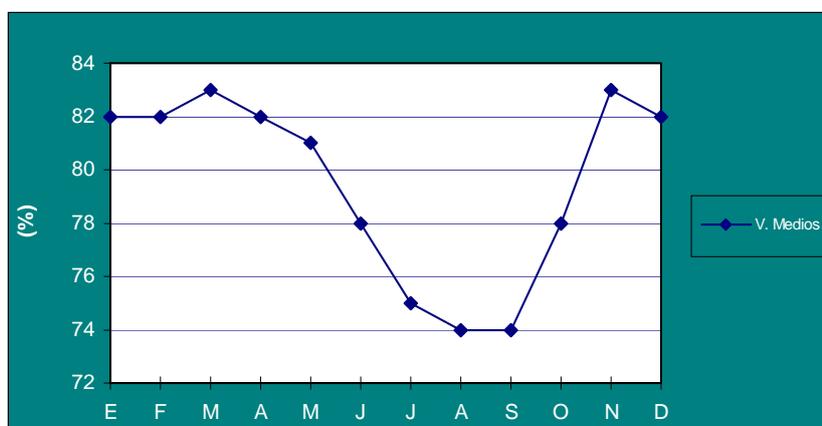


**Figura 9. Valores máximos, medios y mínimos de temperatura estación**

**Obonuco (1991 - 2001)**

- **Humedad relativa:** El volcán Galeras es considerado como zona intermedia en relación con otras estaciones de páramo del país, que pertenecen a un tipo de clima más húmedo con una variabilidad mínima en sus valores. (Eraso et al 1991).

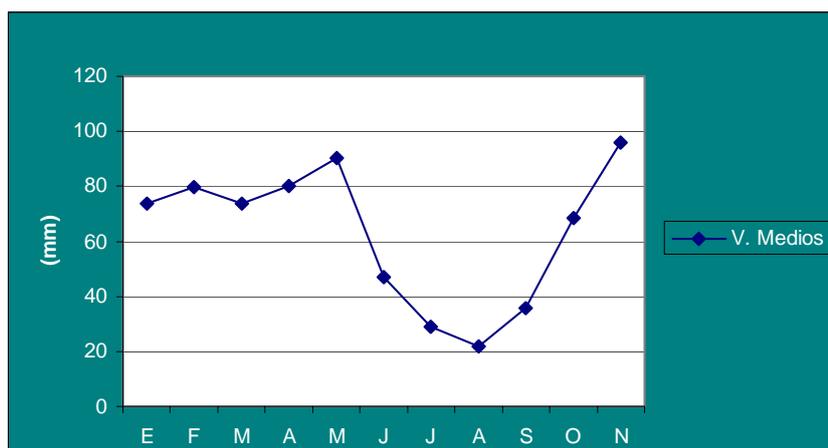
La humedad relativa es variable y de carácter estacional (máxima en época de lluvia con un valor de 90% registrada en los meses de marzo y noviembre y mínima en las estaciones secas, con un valor de 74% registrada en los meses de agosto y septiembre. El valor promedio anual es del 83%, valor que es igual al de la estación de Berlín (Cordillera Oriental). (Figura 10).



**Figura 10. Valores medio mensuales de humedad relativa estación Obonuco (1991 - 2001)**

**Precipitación:** los valores de precipitación fueron repartidos en dos épocas (bimodal), con valores máximos de 95.9 mm y 90.4 mm en los meses de

noviembre y mayo respectivamente. Y los valores mínimos de precipitación se presentaron en los meses de julio y agosto con valores de 29.1 mm y 22.0 mm respectivamente. La precipitación media anual fue de 766,1 mm (Figura 11), dicho valor es alto en comparación con los registros de precipitación presentados por otras estaciones como Sindagua (122,7mm), El Paraíso (107,5mm) y San Luis (133,3mm), ubicadas en el Departamento de Nariño, pero a la vez este valor es bajo en comparación con otras estaciones como La Cumbre (Cordillera Occidental) con un valor de 2.850,5 mm anuales y El Cordón (Cordillera Oriental), con 2.464,9 mm anuales.



**Figura 11. Valores medio mensuales de precipitación estación Obonuco (1991 - 2001)**

En comparación con los páramos venezolanos, la precipitación anual en ellos es mucho menor. Por ejemplo es de 686 mm para Mucochies (Pannier, 1969), con tres meses áridos. Entre otros Schnetter et al (1976), anotaron precipitaciones más altas en la parte sur del páramo de Cruz Verde, cercano a Bogotá.

Como se puede visualizar en el climadiagrama promedio últimos 10 años (Figura 11 A), los periodos más lluviosos corresponden a los meses de abril, mayo y noviembre y los meses más secos fueron junio, julio, agosto y septiembre; la figura 11 B climadiagrama año 2000 también nos muestra que los periodos más lluviosos fueron febrero, abril y mayo, y que los meses secos correspondieron a los meses de marzo y agosto manteniéndose hasta diciembre. La variación con respecto al climadiagrama promedio es la intensidad de lluvias en el mes de mayo, siendo más seco que el promedio anual; posiblemente esto se debió a la influencia del fenómeno de la niña durante los primeros 5 meses del año, luego viene un periodo de baja precipitación en los meses junio a diciembre con respecto al promedio anual.

En síntesis se puede decir que se presentó la influencia de cambios climáticos globales entre ellos se puede citar a los fenómenos del niño y la niña los cuales pudieron incrementar las precipitaciones más de lo normal y disminuyéndolas en épocas secas.

- **Brillo solar:** Los periodos de mayor intensidad de brillo solar correspondieron a los meses de julio y agosto (época seca) y los de menor intensidad en los meses de marzo, octubre y noviembre (época húmeda). (Figura 12). Estos períodos de brillo solar coinciden con otras estaciones como Botana y Sindagua (Departamento de Nariño).

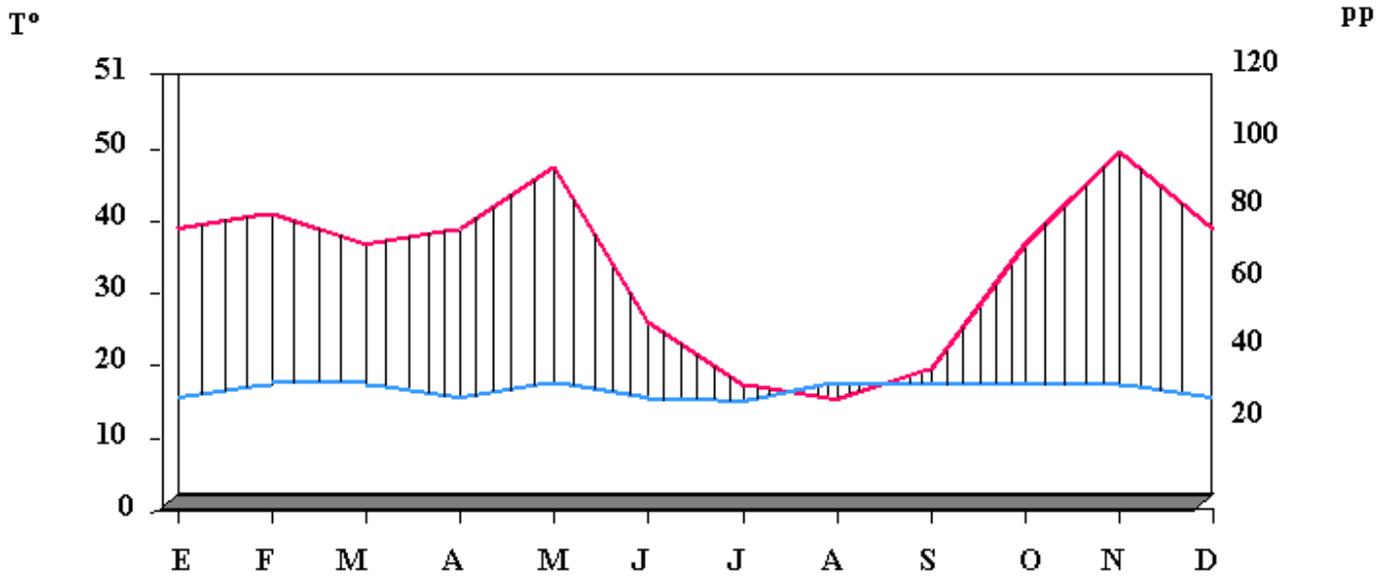


Figura 11A CLIMADIAGRAMA PROMEDIO 10 ULTIMOS AÑOS

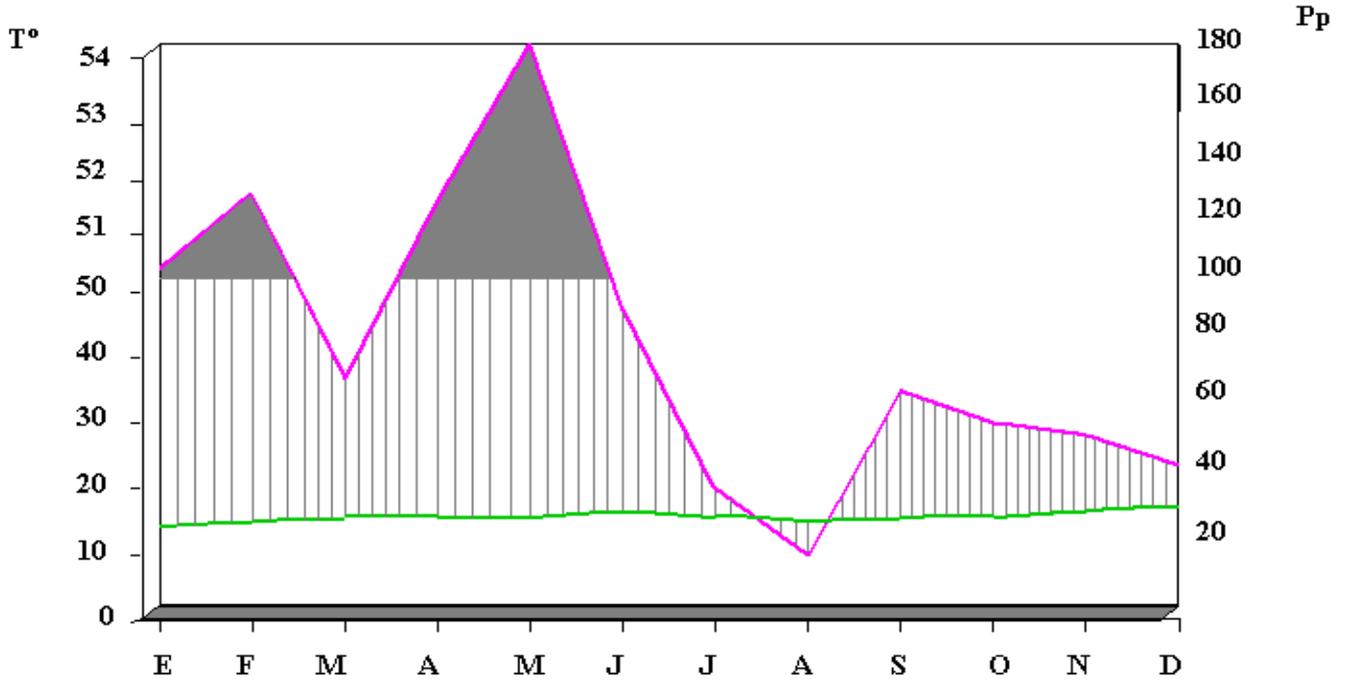
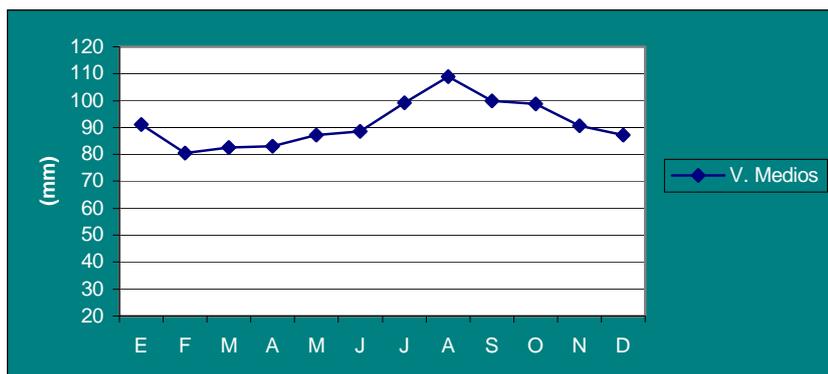


Figura 11B CLIMADIAGRAMA AÑO 2000



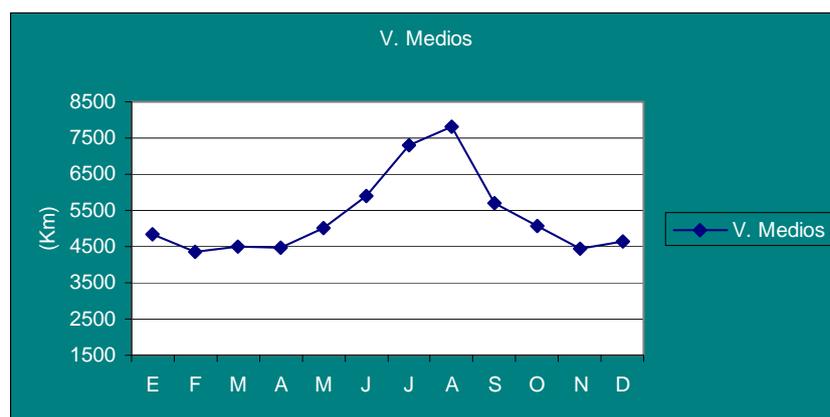
**Figura 12. Valores totales mensuales de brillo solar  
estación Obonuco (1991 - 2001)**

**Evaporación:** los valores máximos de evaporación se registraron en los meses de agosto a octubre alcanzando un valor de 108,8 mm y los meses de febrero, marzo y abril presentaron los más bajos como 80,4 mm (Figura 13). Comparando los registros que presentan estaciones como Botana (76.3mm) y El Paraíso (76,5mm), se puede decir que son menores con respecto a los valores registrados en la estación de Obonuco. El dato de la máxima evaporación presenta una mínima variabilidad en comparación con la estación La Mansa, (Cordillera Occidental), cuyo valor fue de 105.1 mm.



**Figura 13. Valores totales mensuales de evaporación estación Obonuco  
(1991 - 2001)**

- **Recorrido del viento:** Los valores medios registrados para el recorrido del viento fue de 7.8 m/sg en el mes de agosto. De acuerdo con las observaciones realizadas en otros páramos del país, este valor es superior con los encontrados en otras estaciones como: Chitá (Cordillera Central), con un valor de 2.6 m/s y El Paraíso (Nudo de los Pastos) con 2.5 m/s. Para el páramo del Galeras se registró un valor total mensual de recorrido del viento en 7.8m/s. (Figura 14).



**Figura 14. Valores totales mensuales de recorrido del viento estación Obonuco (1991 - 2001)**

- **Nubosidad:** Los valores medios para nubosidad sobrepasan el 50% permaneciendo constante. (Figura 15).



**Figura 15. Valores medios mensuales de nubosidad  
estación Obonuco (1991 - 2001)**

En síntesis se puede decir que con respecto a la temperatura esta es significativamente similar oscilando entre los 0°C y 23°C. A esto se suma la evaporación y el brillo solar cuyos máximos valores se encuentran entre los meses de julio-octubre. Por otro lado se puede observar que factores tales como humedad relativa y precipitación presentan los máximos valores en los meses de marzo, mayo y noviembre.

Lo anterior nos permite deducir que en los meses de julio-octubre (época seca) se presentó un incremento de la temperatura, brillo solar y evaporación lo cual influye en el aumento de la transpiración, todo lo contrario ocurre en la época húmeda induciendo así a que el comportamiento transpiratorio sea bajo.

En general el clima de la región paramuna es variado, y para el caso del páramo del Galeras factores como humedad relativa, precipitación y velocidad del viento son de carácter estacional y fueron drásticas dependiendo de la época.

La temperatura, la luz y la humedad relativa son, probablemente, los factores climáticos de mayor importancia para la vegetación, puesto que estos factores regulan el crecimiento, esto se evidencia en el hecho de que las plantas respondan a cambios diurnos como también a las fluctuaciones de los componentes del clima. (Bonner y Galston, 1970). Otro factor climático es la velocidad del viento que influye en uno de los procesos fisiológicos de la planta como lo es aumentando la velocidad de transpiración (Raven et al, 1986).

### **4.3. FACTOR EDAFICO**

Los caracteres físicos del de suelo para el páramo Galeras se consignan en las Tablas 2 y 3. De estos resultados se puede observar que la densidad real la cual se refiere a la relación de peso por unidad de volumen de los sólidos del suelo, los valores encontrados 2,10 g/cc y 2,13 g/cc para la época húmeda y seca respectivamente, indican que presenta un alto contenido de materia orgánica (37.3%).

En cuanto a la porosidad que indica la relación entre volumen de espacio vacío, y el volumen total del suelo, los valores encontrados en este estudio 69,48 g/cc para la época húmeda y 69.72 g/cc para la época seca, nos muestra que dicha porosidad es mayor del 15%, es decir que son suelos con buena capacidad de retención de agua.

La densidad aparente se define como la relación entre el peso y la unidad de volumen de una masa de suelo, incluyendo el espacio poroso. El valor encontrado de densidad aparente es de 0,65 g/cc para las dos épocas, se ubica dentro del rango comprendido entre 0.5 y 1.1 g/cm<sup>3</sup>, para nuestro caso es menor de 1 lo cual sugiere que son suelos sueltos, bien aireados, livianos, con buenas propiedades físicas que favorecen la penetración y desarrollo del desarrollo radicular pero con problemas en cuanto al contenido de nutrientes.

Dicho parámetro tiene similaridad con lo encontrado por Eraso et al (1991) en el volcán Azufra, encontró valores de densidad aparente menores de 1.

En cuanto a la capacidad de campo que se define como el contenido de humedad de un suelo profundo, permeable, homogéneo y con buen drenaje, después de un riego o lluvia, una vez que se ha escurrido el exceso de agua por acción de la gravedad, se puede decir que el valor encontrado de 74,67 g/cc para la época húmeda, fue mayor con respecto a la época seca (69,04 g/cc), lo cual indica que el suelo presenta una buena retención de agua y por ende la capacidad de campo permite observar que el suelo pueda suministrar un buen contenido de agua para las plantas del lugar.

La humedad higroscópica se refiere a la capacidad de retención de agua en el suelo, dicha retención se realiza mediante la acción de fuerzas tales como adhesión, cohesión y capilaridad, el valor de 17,65 g/cc en la época húmeda es

mayor que el valor de 8,01 g/cc en la época seca, lo que indica que presentan alta humedad especialmente para la época húmeda permitiendo que el suelo suministre un buen contenido de agua para la planta, favoreciendo su absorción y crecimiento.

Los valores registrados de capacidad de campo y humedad higroscópica fueron altos para la época húmeda respecto a la seca, puesto que en la época húmeda se presenta una mayor oferta de humedad, los poros se encuentran saturados de agua permitiendo que haya más retención de agua en el suelo. (Ruíz, 2001); además al haber una mayor disponibilidad de agua en el suelo garantizará una mayor transpiración, el agua higroscópica se mantiene en el suelo por largo tiempo incluso en épocas secas, la cual es aprovechable por las plantas.

De acuerdo con las observaciones realizadas en otros páramos de Nariño, estos valores son superiores a los encontrados por ejemplo en el volcán Azufral donde se registró una humedad higroscópica de 8,48 g/cc, pero en general presentan buena humedad y capacidad de retención del agua.

**Tabla 2. Características físicas del suelo. Páramo del Galeras. Epoca húmeda**

<b>MUESTRAS</b>	<b>UNIDAD</b>
Densidad real	2,10 g/cc
Porosidad	69,48 g/cc
Densidad aparente	0,65 g/cc
Capacidad de Campo	113,97 g/cc
Textura	ORGANICO
Humedad higroscópica	17,65 g/cc

Fuente: Este estudio

**Tabla 3. Características físicas del suelo. Páramo del Galeras. Epoca seca**

<b>MUESTRAS</b>	<b>UNIDAD</b>
Densidad real	2,13 g/cc
Porosidad	69,72 g/cc
Densidad aparente	0,65 g/cc
Capacidad de Campo	98,50 g/cc
Textura	ORGANICO
Humedad higroscópica	8,01 g/cc

Fuente: Este estudio

En las tablas 4 y 5 se presentan los resultados de la temperatura del suelo la cual fue obtenida a diferentes profundidades del suelo.

\_ Variación con la profundidad: Como se puede visualizar en las tablas 4 y 5 para las dos épocas se presenta la mayor temperatura a nivel superficial (0cm), y hasta los 10cm de profundidad es más variable que la temperatura a mayor profundidad. La mayor temperatura del suelo en el horizonte superficial se

explica por la mayor influencia de la radiación solar directa y por los fenómenos de conducción y convección del calor, al bajar la temperatura en las horas de la tarde, el aire se hace más frío y para conservar el equilibrio principalmente a los 30cm sobre la superficie, se inicia una liberación de calor desde los horizontes más profundos hacia los superficiales. (Pinzón, 1989).

\_ Variación a través del día:

Generalmente, los valores de temperatura del suelo en las dos épocas a profundidades de 0, 10, 20, 30 cms, registraron su mayor valor en el intervalo de las 11:00 a.m. y 1:00 pm.

A medida que se asciende altitudinalmente , la temperatura del suelo disminuye , esto es debido al mayor contenido de materia orgánica y humedad del suelo. (Pinzón, 1989).

En las tablas 4 y 5 se puede observar que en general las mayores temperaturas de suelo se presentaron en la época seca respecto a la húmeda, esto se explica porque en las épocas húmedas, la cantidad de energía solar que llega al suelo en forma directa, es comparativamente menor a la presentada en épocas secas, además por la presencia de alta nubosidad, alto contenido de humedad en el suelo, precipitaciones que conducen a un enfriamiento rápido del suelo. (Charry,1987).

**Tabla 4. Valores de temperatura del suelo durante la época húmeda**

INTERVALO – HORA	TEMPERATURA SUELO °C			
	0 cm	10 cm	20 cm	30 cm
9 – 11	7.3	6.8	6.6	7.0
11 – 1	7.6	7.0	6.8	7.3
1 – 3	7.9	7.4	7.2	7.6
3 – 5	7.8	7.1	7.3	7.3
<b>Temperatura diaria promedio</b>	7.6	7.0	6.9	7.3

Fuente: Este estudio

**Tabla 5. Valores de temperatura del suelo durante la época seca**

INTERVALO – HORA	TEMPERATURA SUELO °C			
	0 cm	10 cm	20 cm	30 cm
9 – 11	9.4	8.1	7.8	8.1
11 – 1	10.8	8.8	8.8	9
1 – 3	10.3	8.7	8.7	8.2
3 – 5	9.1	8.4	8.6	8.1
<b>Temperatura diaria promedio</b>	9.9	8.5	8.4	8.3

Fuente: Este estudio

La temperatura del suelo es muy importante dentro de las propiedades físicas del suelo, sus variaciones ejercen conjuntamente con las variaciones del grado de humedad una acción muy importante, por una parte sobre el comportamiento de las plantas y por otra sobre la edafogénesis. (Duchaufour,1978).

Por otra parte las bajas temperaturas del suelo, alta acidez, sumada a la alta presión osmótica del suelo hacen que la absorción del agua por la raíz se haga

difícil, en consecuencia el crecimiento, la descomposición de la materia orgánica y productividad primaria son bajas (Luteyn,1999).

De acuerdo con los datos observados factores como la humedad del suelo que para nuestro estudio fueron altas (véase Tablas 2 y 3), permiten una mayor absorción de agua por la planta, en consecuencia el potencial hídrico es más alto lo que garantiza una mayor turgencia en la célula oclusiva y por ende una mayor abertura del estoma, lo cual determinará una mayor transpiración.

#### **4.4 TRANSPIRACION**

Los resultados obtenidos en las determinaciones de transpiración nos indicaron que esta especie tiene un ciclo regular de transpiración, las Figuras 16 y 17 muestran el ciclo diurno de transpiración en *Espeletia pycnophylla* en las dos épocas del año. Estos resultados nos indican que para las dos épocas del año ésta especie tiene un comportamiento normal en la transpiración presentándose las máximas tasas de transpiración al mediodía y las más bajas en la mañana y en la tarde, datos similares encontrados en *Espeletia schultzii*, Baruch (1979).

Mediante el test ANOVA se puede visualizar que la correlación transpiración vs época muestra una diferencia en donde la tasa de transpiración en la época húmeda es menor con respecto a la época seca. (Tabla 6). Esto es debido posiblemente a que en la época húmeda, factores como alta presión osmótica del

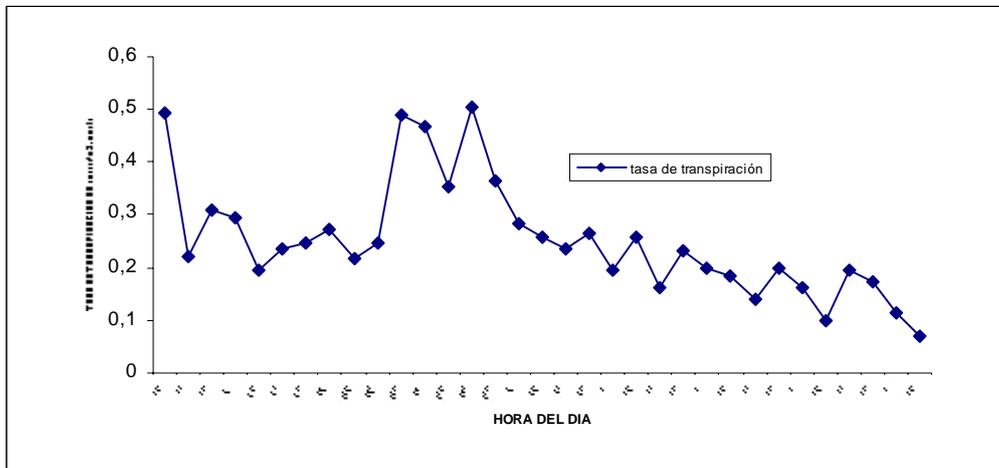


Figura 16. Ciclo diario de transpiración en *Espeletia pycnophylla*.

Epoca seca

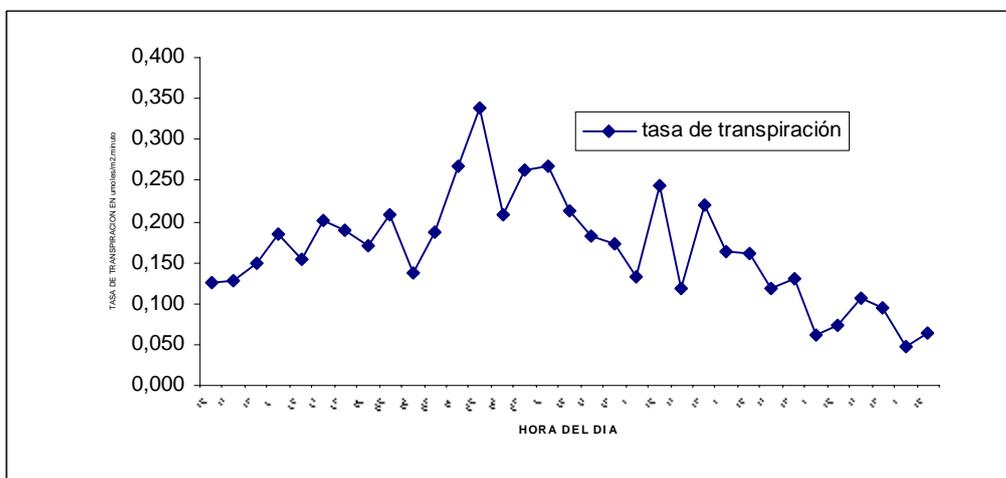


Figura. 17 Ciclo diario de transpiración en *Espeletia pycnophylla*.

Epoca húmeda

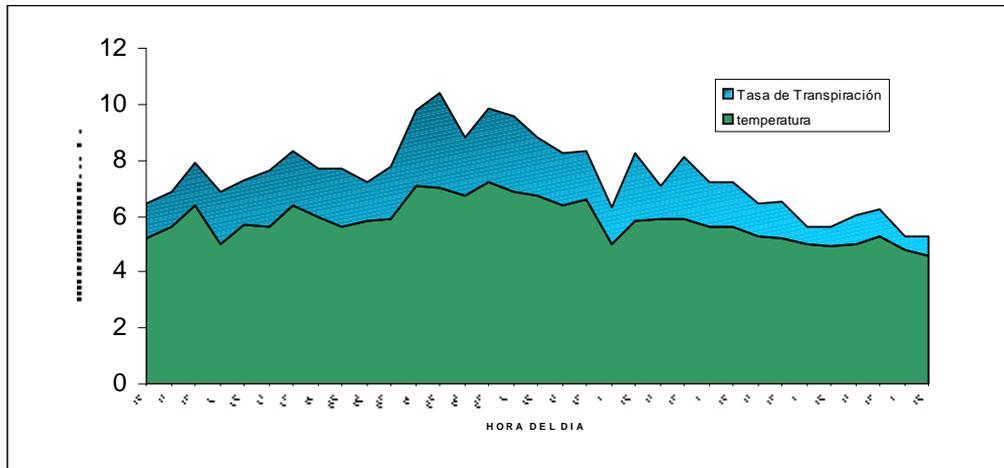
suelo, elevado valor negativo de la tensión hídrica del suelo, así como también valores altos de humedad relativa, precipitación, menor brillo solar y bajas temperaturas, parámetros macroclimáticos que sumados a los factores anteriores pueden estar influyendo en la actividad fisiológica de la planta disminuyendo su transpiración.

**Tabla 6. Relación transpiración vs. época. Análisis ANOVA**

EPOCA	STND. ERROR				
	Count	Mean	(Pooled)	Lower limit	Upper limit
1	594	0.113586	0.00685869	0.10408	0.123091
2	594	0.139865	0.00685869	0.13036	0.149371
<b>TOTAL</b>	1188				

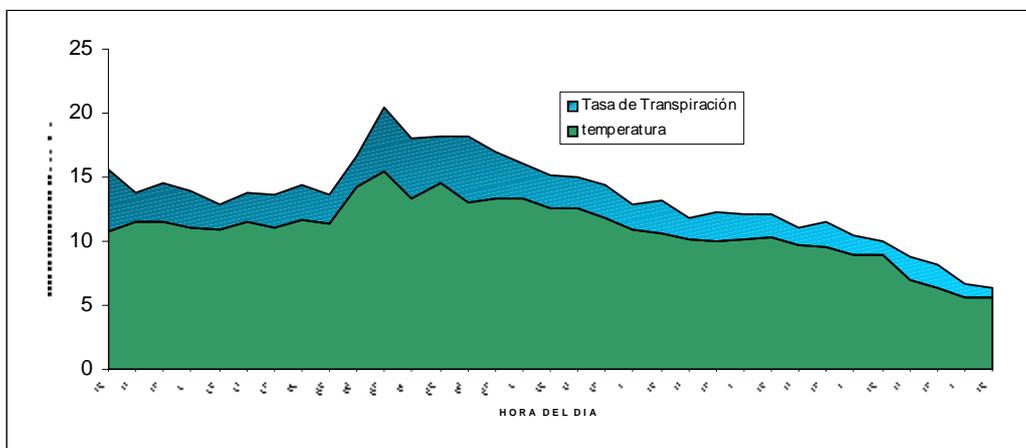
Fuente: Este estudio

El análisis de regresión múltiple indica que la relación transpiración vs temperatura es significativo en las dos épocas, (Tablas 7 y 8), puesto que como se observa en las Figuras 18 y 19, al presentarse incrementos en la temperatura ambiental también se presentaban en la tasa de transpiración, siendo la temperatura el factor con mayor intensidad en la época seca. Los incrementos de la tasa de transpiración en relación con la temperatura se explican porque al aumentar la temperatura disminuye rápidamente la humedad relativa, con lo cual aumenta el gradiente de difusión de vapor de agua entre la cámara subestomática (que siempre contiene una alta humedad relativa) y el exterior y con ella la transpiración. Por otra parte, al aumentar la temperatura, aumenta el coeficiente del vapor de agua y con ella la velocidad de transpiración.



**Figura. 18** Relación transpiración - temperatura en *Espeletia pycnophylla*.

**Epoca húmeda**



**Figura. 19** Relación transpiración - temperatura en *Espeletia pycnophylla*.

**Epoca seca**

Posiblemente en la época seca los fuertes vientos provocaron un descenso de la humedad relativa y por consiguiente un aumento en la transpiración; ya que el viento influye en la transpiración por afectar el gradiente de humedad a través del estoma. Junto a la abertura estomática, un factor que puede ser limitante es la velocidad de difusión del vapor de agua, a través de la capa de aire inmóvil adherida a la superficie de la hoja, en efecto el viento, barre esa capa de aire inmóvil, de forma que a mayor velocidad del viento, menor espesor de la capa inmóvil y por ende mayor velocidad de transpiración.

**Tabla 7. Relación Transpiración vs temperatura-humedad relativa. Época húmeda**

#### MULTIPLE REGRESIÓN ANÁLISIS

Parameter	Sandard T			
	Estimate	Error	Statistic	P-value
Humedad Relativa	0.0186258	0.00574149	3.24408	0.0012
Temperatura	0.0204961	0.00549634	3.72903	0.0002

Fuente: Este estudio

**Tabla 8. Relación transpiración vs temperatura. Humedad relativa. Época seca**

#### MULTIPLE REGRESION ANALYSIS

Parameter	Sandard T			
	Estimate	Error	Statistic	P-value
Humedad Relativa	-0.00200164	0.000878125	-2.27945	0.0230
Temperatura	0.0235474	0.00405463	5.80755	0.0000

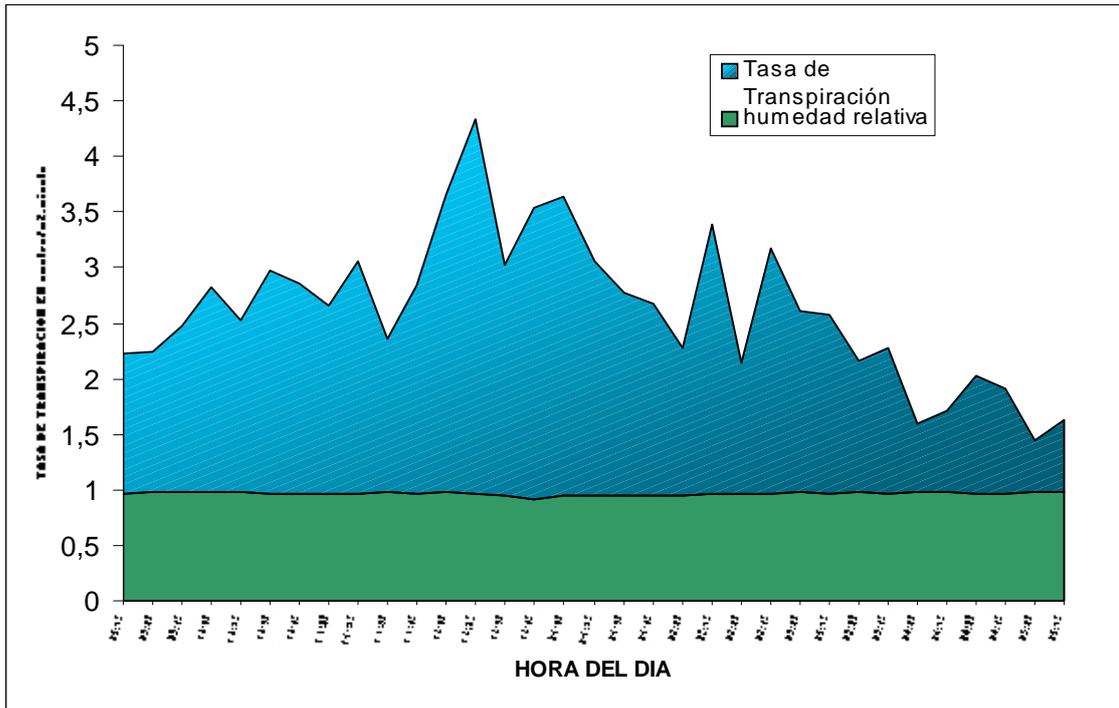
Fuente: Este estudio

Con respecto a la humedad relativa vs transpiración en la época húmeda se presentó una tendencia general de los valores de humedad relativa los cuales oscilaban entre 97 y 98%, (Figura 20). En la tabla 7 se relaciona transpiración vs humedad relativa en donde se observa que éste parámetro es significativo por cuanto actúa disminuyendo la transpiración. Ya hacia el mediodía cuando descendían los valores de humedad relativa llegando al 92 o 94 %, se producía un incremento de la transpiración.

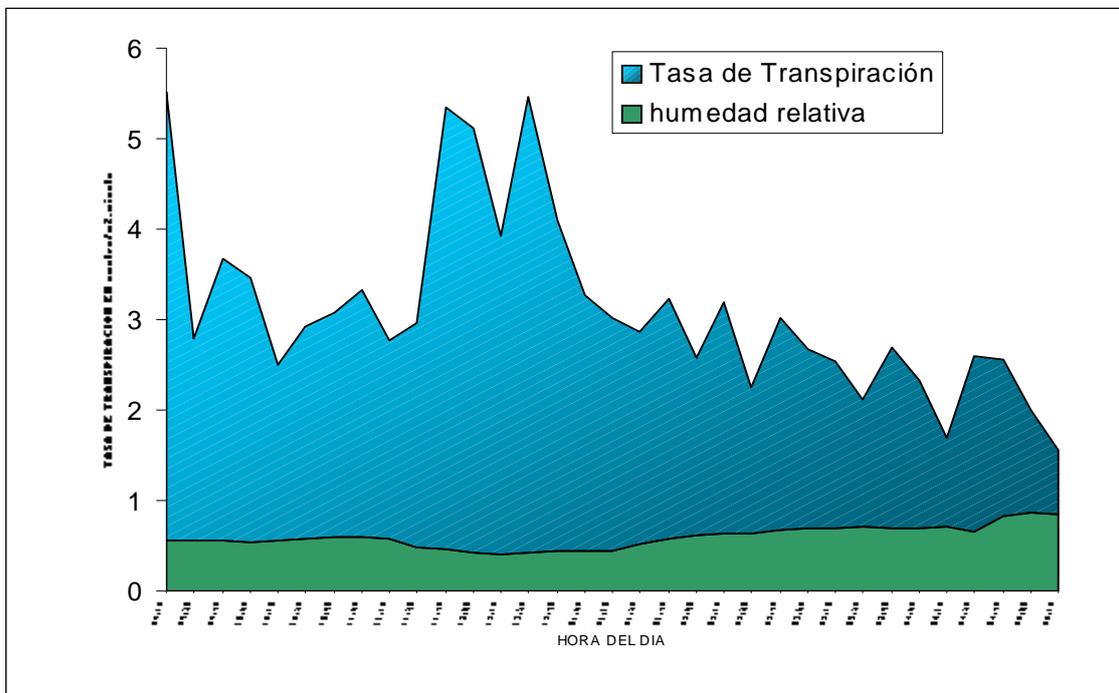
En la época seca los resultados obtenidos indican que los valores mínimos de humedad relativa se presentaron al mediodía en consecuencia se observó un incremento considerable de la transpiración, (Figura 21 y Tabla 8).

Al hacer el análisis de transpiración vs humedad relativa en las dos épocas se puede decir que en la época seca se presentaron los menores valores de humedad relativa producto de las altas temperaturas y por ende altas tasas de transpiración, contrario a lo que sucedió en la época húmeda cuyos valores de humedad relativa fueron altos, haciendo que disminuya la tasa de transpiración.

Esto se explica porque la humedad relativa del aire tiene un marcado efecto sobre la transpiración porque modifica el gradiente bajo el cual difunde el vapor de agua. Por las leyes de la difusión, el flujo de una sustancia es proporcional al gradiente de concentración de esa sustancia, en una forma aproximadamente proporcional en nuestro caso, a la diferencia de la humedad entre la cámara subestomática y el



**Figura. 20** Relación transpiración - humedad relativa en *Espeletia pycnophylla*. Epoca húmeda



**Figura. 21** Relación transpiración - humedad relativa en *Espeletia pycnophylla*. Epoca seca

**exterior.** Por lo tanto, un aumento de la humedad del aire determina una disminución de la transpiración porque disminuye la diferencia de humedad entre la cámara subestomática y el exterior.

El comportamiento de la transpiración de *Espeletia pycnophylla* es completamente opuesto, por ejemplo al de los arbustos enanos de los pisos alpinos de las montañas de Nueva Guinea, según lo registrado por Corner (1983) y Schutze et al (1972), describen el mismo comportamiento en plantas del Desierto de Negev, donde bajo condiciones de sequedad del aire, aumentaba la resistencia de la transpiración y bajo condiciones de aire húmedo, tal resistencia decrecía.

Los resultados de este estudio concuerdan con lo expuesto por Mora – Osejo et al (1994) quienes establecieron, que en general la intensidad de la transpiración guarda relación directamente proporcional con la radiación y la temperatura; mientras que con respecto a la humedad relativa del aire, la relación es inversamente proporcional.

**4.4.1 Capacidad de retención de agua de *Espeletia pycnophylla*.** El análisis de contenido absoluto de agua se realizó durante los meses de octubre, noviembre y diciembre correspondiente a la época húmeda y en los meses de julio y agosto correspondiente a la época seca (periodo climático donde la precipitación es menor).

La determinación de contenido absoluto de agua respecto al paso seco, de los individuos seleccionados para las dos épocas muestra que *Espeletia pycnophylla* acumuló mayor cantidad de agua en la época húmeda que en la seca (tabla 9), contrario a lo observado por Martínez y Meneses(1999), quienes midieron la cantidad de agua que acumulan las plantas de páramo durante las dos épocas del año en la Reserva Municipal de El Estero, en donde encontraron que *Espeletia pycnophylla* acumula mayor cantidad de agua en la época seca que en la húmeda. Esta diferencia se puede atribuir posiblemente a que en nuestro estudio la medición del contenido de agua se realizó a nivel de la hoja y no de toda la planta, además no se puede descartar el hecho que fueron estudios realizados en páramos diferentes, el estudio de Martínez y Meneses (1999) se realizó en un páramo bajo o azonal y el páramo del Galeras es un páramo propiamente dicho.

A la luz de los resultados obtenidos en este estudio con respecto al contenido absoluto de agua en la hoja mayor en la época húmeda que en la seca, sea debido quizá a que el almacenamiento de agua en el suelo es mucho mayor en la época húmeda así como también son mayores los valores de humedad higroscópica y porosidad, como ya se expuso en las propiedades físicas del suelo, (véase Tablas 2 y 3), además en los páramos de Colombia, en general, como lo consigna Sturm (1978), el contenido de agua en los suelos es relativamente alto y al igual de lo observado por Baruch (1976) en el páramo de Piedras Blancas, Venezuela, los suelos del páramo se mantienen húmedos aún en las épocas secas del año.

**Tabla 9. Contenido absoluto de agua de *Espeletia pycnophylla* durante las épocas húmeda y seca**

EPOCA	CONTENIDO ABSOLUTO DE AGUA (%)
HUMEDA	453,09
SECA	363,66

Fuente: Este estudio

Al comparar las tasas de transpiración vs contenido absoluto de agua de las dos épocas del año, no se encontró una relación significativa entre contenido de agua de la hoja y transpiración, puesto que a pesar de que en la época húmeda, *Espeletia pycnophylla* presentó mayor contenido absoluto de agua con respecto a la época seca, es en la época húmeda donde dicha especie presentó las más bajas tasas de transpiración y no se cumplirá la relación, a mayor contenido hídrico mayor transpiración, sin embargo las mediciones de contenido absoluto de agua se realizaron a nivel de la hoja y no de la planta, hecho que se puede comparar con lo expuesto por Mora-Osejo et al (1994), donde muchas plantas del páramo El Granizo, almacenan agua en los tejidos de la hoja o en otros órganos como en las especies venezolanas caulirósulas del género *Espeletia* que almacenan agua en las hojas y en la médula caulinar.

Según Baruch (1979), Goldstein y Meinzer (1983), Meinzer et al (1985) y Pérez (1987), el agua almacenada en la médula se utiliza en la regulación de la transpiración, particularmente, en los períodos secos. La disponibilidad de agua

almacenada en la médula, quizás explique también las mayores tasas de transpiración de *Espeletia Pycnophylla* en la época seca con respecto a la húmeda.

Las especies de hábito caulirrésula del páramo están adaptadas para sobrevivir durante periodos de baja aridez de los suelos de páramo, gracias al agua almacenada en el tejido medular del eje caulinar de esta especie. ( Mora – Osejo,2001).

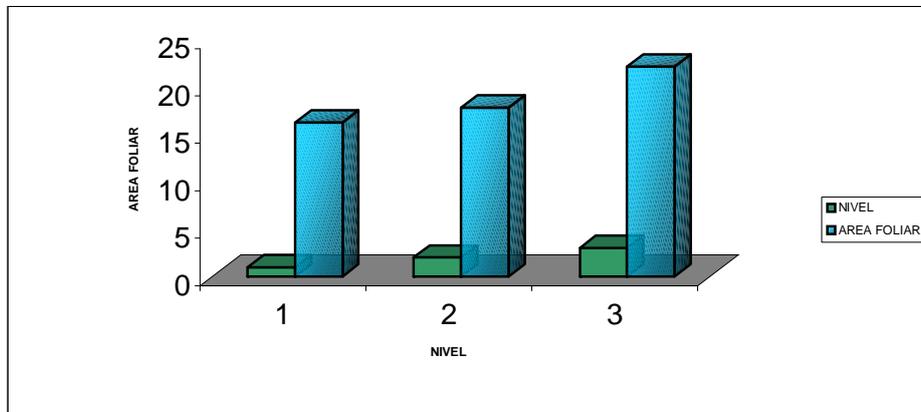
Los estudios de Goldstein et al (1984), en siete especies de *Espeletia* de bioforma caulirrésula gigante, en los páramos de Venezuela, permitieron establecer la capacidad de almacenamiento de agua por la médula caulinar y el papel del agua almacenada en las relaciones planta – agua. Los mencionados autores encontraron que el agua almacenada en la médula era capaz de sostener la intensidad promedio de la transpiración hasta 2.5 horas continuas, periodo sujeto a variaciones según las especies.

Además pudieron comprobar que en las especies del género *Espeletia* que crecen a mayor altura sobre el nivel del mar y por consiguiente, en sitios más fríos la capacidad de la médula de almacenar agua, denominada también capacitancia, es mayor que en las especies que crecen a menores alturas, por lo tanto, bajo condiciones ambientales más extremas.

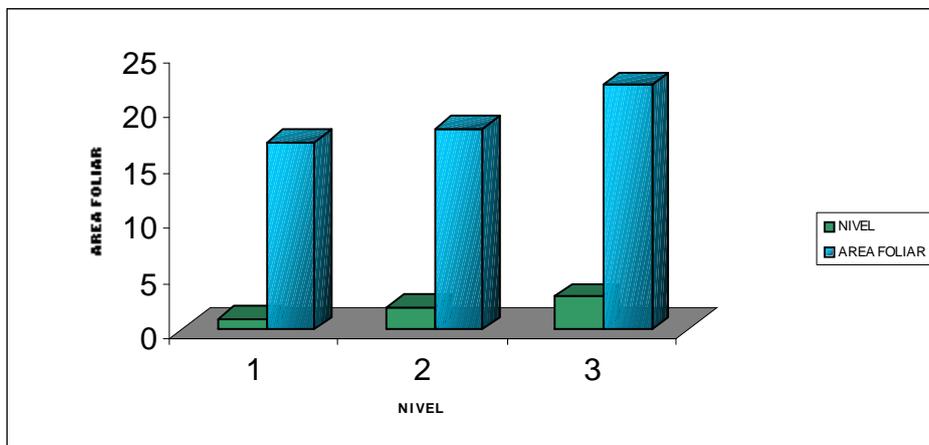
**4.4.2 Densidad estomática – área foliar.** Como se puede visualizar en las (Figuras 22 y 23), la mayor área foliar corresponde al nivel 3 (hojas inferiores) con una densidad estomática de 26 estomas por campo, el nivel 2 (hojas medias) con una densidad estomática de 24 estomas por campo y el nivel 1 (hojas superiores) con una densidad estomática de 16 estomas por campo.

Pero a pesar que las hojas del nivel 3 presentaron la mayor área foliar y por ende mayor densidad estomática, a las hojas del nivel 2 como lo indica las (Figuras 24 y 25), presentaron las mayores tasas de transpiración en las dos épocas del año; seguido por el nivel 1 y nivel 3.

Posiblemente estas respuestas se debieron a que las hojas que están en el nivel 1 por ser hojas que están en formación presentan menor tamaño, menor formación de estomas y menor distribución de las mismas con respecto a los niveles 2 y 3, donde las hojas para el nivel 2 han llegado a su máximo crecimiento, su máxima formación de estomas y están uniformemente distribuidos; esto influye en su capacidad fisiológica especialmente en la transpiración; en el nivel 3 las hojas ya han cumplido su vida útil llegando a su estado de senescencia, los estomas pierden funcionalidad y estas hojas formarán parte de la necromasa que permanece adherida al tronco de la especie.



**Figura 22. Relación área foliar vs nivel. Epoca húmeda**



**Figura 23. Relación área foliar vs nivel. Epoca seca**

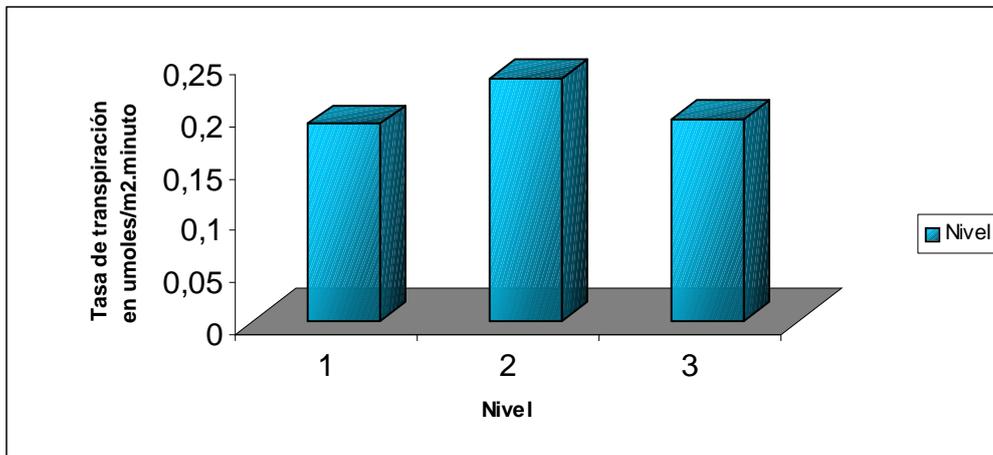


Figura 24. Relación tasa de transpiración vs nivel. Epoca húmeda

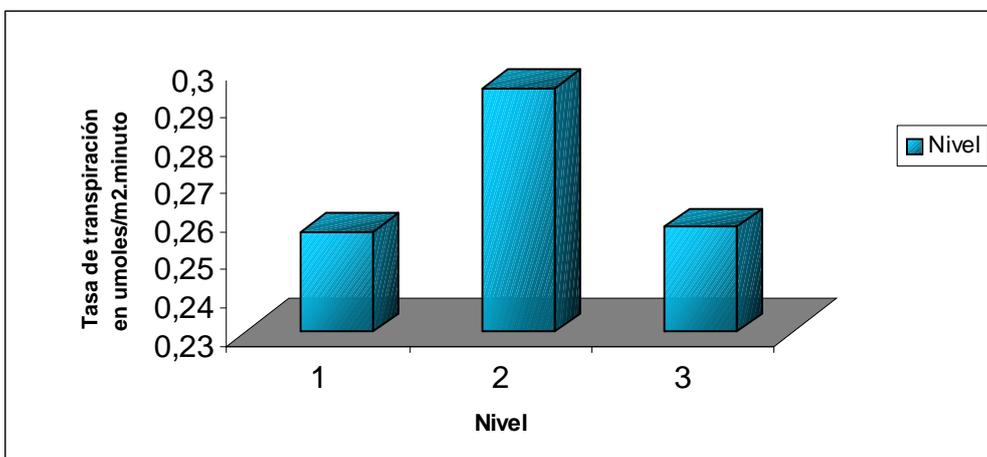


Figura 25. Relación tasa de transpiración vs nivel. Epoca seca

#### 4.5 DISCUSION GENERAL

El desarrollo de la presente investigación permitió en primera instancia visualizar la gran diversidad florística presente en el páramo del Galeras, donde las especies más representativas pertenecen a las familias Asteraceae, Ericaceae y Poaceae. El páramo del Galeras se caracteriza por presentar dos tipos de formaciones vegetales frailejonal-arbustal y frailejonal-pajonal teniendo como especie característica a *Espeletia pycnophylla*.

Este estudio permitió evidenciar que *Espeletia pycnophylla* presenta un ciclo variable de transpiración durante el día en las dos épocas del año, donde los picos más pronunciados de transpiración se presentan al mediodía con un descenso en las horas de la tarde. Lo mismo sucede con lo expuesto por Baruch (1979), con la especie *Espeletia schultzii* y *Espeletia grandiflora* reportada por Mora-Osejo (2001), donde presentan el mismo comportamiento. Este comportamiento estuvo influenciado, principalmente por dos factores climáticos, la temperatura y la humedad relativa ; incrementos de la temperatura especialmente en las horas del medio día y disminuciones de la humedad relativa en los mismos periodos causaron incrementos en la tasa de transpiración.

La temperatura, la radiación solar y la humedad relativa, son los factores climáticos de mayor importancia para la vegetación como lo indica Bonner y Galston (1970), debido a que ellos regulan el crecimiento de las plantas. Otros factores como la velocidad del viento, precipitación y nubosidad experimentan

cambios drásticos a lo largo del día y dependiendo de la época pueden influir sobre la transpiración.

El comportamiento de la transpiración de *Espeletia pycnophylla* coincide con los resultados de Mora-Osejo (1994), quién afirma que la temperatura guarda relación directa con la transpiración, mientras que con la humedad es inversamente proporcional, el mismo autor (2001), realizó otros estudios en *Espeletia grandiflora* donde expuso que además los anteriores factores, también influyen en la transpiración el potencial hídrico del suelo y la radiación global.

Las menores tasas de transpiración de *Espeletia pycnophylla* se presentaron en la época húmeda respecto a la seca, las razones atribuibles a estas diferencias se debieron probablemente a condiciones desfavorables presentes en la época húmeda tales como: Alta presión osmótica del suelo, elevado valor negativo de la tensión hídrica del suelo como lo expone Luteyn (1999), así como también valores altos de humedad relativa, mayor precipitación, menor brillo solar y bajas temperaturas, parámetros macroclimáticos que sumados a los factores anteriores pueden estar influyendo en la actividad fisiológica de la planta, disminuyendo su transpiración.

Se comparó la tasa de transpiración vs el contenido de agua de la hoja en las dos épocas del año, sin encontrar una relación directa significativa. Algunos autores como Goldstein (1984) y Martínez y Meneses (1999), reportaron que las especies

de Especies de *Espeletia marcana* y *Espeletia pycnophylla* respectivamente pueden acumular reservas de agua en la médula del tallo durante la época seca para mantener condiciones fisiológicas óptimas en este periodo, fenómeno conocido como Capacitancia; Estas evidencias explican como en nuestro estudio la transpiración de *Espeletia pycnophylla* fue mayor en la época seca que en la época húmeda.

Podemos inferir que factores como las bajas temperatura ambientales (véase anexo A) y temperaturas del suelo (tablas 4 y 5) así como la alta humedad atmosférica (anexo B), precipitación, así como menor brillo solar en la época húmeda están primando como factores que influyen sobre la transpiración de esta especie en la época húmeda, aunque la humedad del suelo en esta época sea el doble de la evidenciada en la época seca.

Según Baruch (1979), Goldstein y Meinzer (1983), Meinzer et al (1985) y Pérez (1987), el agua almacenada en la médula se utiliza en la regulación de la transpiración, particularmente en los períodos secos. La disponibilidad de agua almacenada en la médula, quizás explique también las mayores tasas de transpiración de *Espeletia pycnophylla* en la época seca respecto a la húmeda.

Cabe destacar que la transpiración de *Espeletia pycnophylla* fue mayor en las hojas del nivel 2 (hojas medias) con respecto a las del nivel 3 (hojas inferiores) y

nivel 1 (hojas superiores) a pesar que las hojas del nivel 3 presentaron mayor área foliar y por ende mayor densidad estomática.

Estas respuestas se debieron a que las hojas ubicadas en el nivel 1 son hojas que están en formación presentan menor tamaño, menor formación de estomas, las hojas del nivel 2 han llegado a su máximo crecimiento, su máxima formación de estomas y están uniformemente distribuidos; esto influye en su capacidad fisiológica especialmente en la transpiración, en el nivel 3 las hojas ya han cumplido su vida útil llegando a su estado de senescencia y los estomas pierden funcionalidad.

En síntesis se puede decir que el comportamiento de la transpiración de las especies de frailejón, no es igual en todos los páramos, ya que dicho ecosistema posee condiciones propias tanto de clima como de suelo, haciendo que las especies adquieran adaptaciones que modifican su estructura morfológica y fisiológica.

La especie *Espeletia pycnophylla* adaptada a las condiciones del páramo en estribaciones del volcán Galeras, presenta un comportamiento ecofisiológico característico, especialmente en lo que tiene que ver con sus relaciones hídricas. Este estudio pudo determinar que sus características adaptativas son muy eficientes debido a que mantienen unas altas tasas de transpiración durante la época seca aunque en el suelo las disponibilidades de agua sean más bajas, esto

como ya se indicó se debe a que guarda reservas de agua para esta época. Los anteriores aspectos son importantes a nivel del ecosistema porque esta especie al igual que otras especies de páramo, aportan al proceso de evapotranspiración que a su vez mantienen el régimen hídrico de la región.

## 5. CONCLUSIONES

- ✓ El páramo del Galeras se caracteriza por presentar un tipo de vegetación abierta típica de estas regiones climáticas, presenta formaciones vegetales que incluyen frailejonales unidos a arbustos, frailejonales unidos a pajonales y pajonales unidos a cojines.
  
- ✓ El estudio de la vegetación permitió identificar 53 especies, donde el estrato herbáceo es el que más se destacó, sobresaliendo las familias Poaceae, Ericaceae y Rosaceae. Seguido por el estrato arbustivo representado especialmente por la familia Asteraceae y en tercer lugar está el estrato rasante donde se destacan las familias Sphagnaceae y Rosaceae.
  
- ✓ *Espeletia pycnophylla* presentó un ciclo diurno de transpiración en las dos épocas del año, presentándose las mayores tasas de transpiración al mediodía con un descenso en las horas de la tarde, este comportamiento se vio influenciado por factores climáticos de los cuales para este estudio fueron relevantes la temperatura y la humedad relativa.

- ✓ El contenido absoluto de agua en la hoja no es un factor crucial en la regulación de la transpiración tal factor es la humedad relativa del aire la cual a la vez, depende estrechamente de la radiación, de la temperatura, de la velocidad del viento, y el ciclo anual del régimen de lluvias.
  
- ✓ La diferencia en las tasas de transpiración durante las dos épocas del año, se puede atribuir a las condiciones desfavorables presentes en la época húmeda a esto se suma el papel que desempeñan las reservas de agua almacenadas en la médula de todas las especies de *Espeletia*, agua que se utiliza en la regulación de la transpiración particularmente en los períodos secos.
  
- ✓ *Espeletia pycnophylla* exhibe un comportamiento específico de adaptación de deficiencia de agua que corresponde a las condiciones drásticas del ambiente, del suelo e incluso de la misma planta.

## 6. RECOMENDACIONES

- ❖ Se puede considerar que factores como temperatura y potencial hídrico del suelo se deben incluir en estudios relacionados con la transpiración de especies vegetales, ya que pueden ser factores que influyen directamente en el comportamiento de la dinámica de la transpiración.
- ❖ El páramo es considerado un gran reservorio de agua, es por ello que se hace necesario profundizar en las relaciones hídricas no solo en Espeletia sino también en otros grupos funcionales propios de la zona de páramo.
- ❖ El presente trabajo de investigación sirve como base para posteriores estudios fitosociológicos que nos ayudarán a entender el estado actual y futuro de la vegetación.
- ❖ Por ser el páramo un ecosistema estratégico que ocupa el 2,6% del territorio nacional y por su característica más importante ser el regulador del balance hídrico de la región, se hace de vital importancia la implementación de políticas tendientes al control y protección de estas bastas zonas.

- ❖ Establecer en los páramos, centros de investigación para realizar a largo plazo trabajos que incluyan el estudio de recursos hídricos, condiciones de los suelos, recursos bióticos de flora, así como también el desarrollo de actividades inherentes a la educación ambiental y al ecoturismo.
  
- ❖ En el Santuario de Flora y Fauna Galeras debe seguirse un estricto control de las políticas tendientes al mantenimiento y conservación de esta área de reserva.

## BIBLIOGRAFÍA

ARISTEGUIETA, L. Flora de Venezuela. Compositae. Vol. X, 1 y 2. Edición Especial Instituto Botánico, 941 p. Caracas. 1964.

AZOCAR, A.F., RADA Y GOLDSTEIN. Freezing tolerance en: *Draba chionophyla* a miniature caulescent rosette species. 1988, 75: 156-160.

BARUCH, Z. Comparative Physiological ecology in Espeletia: A giant rosette genus in the Venezuelan Andes. ph.d. Dissertation, Duke University Durhan, N.C. 1976.

BONNER, James y GALSTON, Arthur. Principios de Fisiología Vegetal. Madrid (España). 1970.

-----Elevational differentiation in *Espeletia Shultzii* (compositae), A. Giant Rosette plant of the Venezuelan Paramos. *Ecology* 60(1): 85-98. 1979.

CHAMORRO, Clara. Los páramos que circundan la ciudad de Bogotá. En: Investigaciones Vol. 3 N° 1. 1990. p. 1-19.

CHARRY, Jairo. Naturaleza y propiedades físicas de los suelos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Palmira. 1987.

CLEEF, A. M. Secuencia altitudinal de la vegetación de los páramos de la Cordillera Oriental, Colombia. *Actas del IV Simp. Internac. Ecol. Trop.* 1:283-297. 1977.

CUATRECASAS, José. Observaciones geobotánicas en Colombia. Serie botánica 27. 1934. p. 1-144.

----- A new subtribe in the *Heliantheae* (compositae): *Espeletiinae*.  
Phytología 35: 43-16. 1976

----- Frailejónal. Típico cuadro de la vida vegetal de los páramos andinos. En: Revista de la Academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales. Vol. 5 N° 17. 1958.

CRAFTS, A.S Water structure and water in the plant body. En: Kozlowski (Ed) Water deficits and plant growth Academy Press. Vol. 23-47. 1968.

CRONQUIST, Arthur. Introducción a la botánica. México. 1981.

DUCHAUFOR, P. Manual de Edafología. Ed. Toray-Masson. Barcelona. 1978. 476p.

ERASO, Gloria. Caracterización de la preservación paramuna de los volcanes Azufral y Galeras. Esp. en Ecología. Universidad de Nariño. 1991.

FERGUSON, Jhon; ANZOLA, Héctor y PASTRANA, Rodrigo. Algunas características del suelo y la vegetación del páramo de Cundinamarca. En: Carta Agraria N° 282. 1987. p. 3-8.

GALEANO, C.A. Desarrollo en los ecosistemas de páramos y bosques de niebla. Censat Agua viva. 1996.

GOEBEL, K. Pflanzenbiologische shilderugen II Teil, 1. Lieterung. Marburg, Elwert. 1981.

GOLDSTEIN, G y MEINZER, F. Influence of insulating dead leaves and low temperatures on water balance in the Andean giant rosette plant. Plant, cell and Environment. 1983. p. 649-656.

----- The role of capacitance in the water balance of Andean giant rosette species. Plant, cell an Environment. 1984. p. 179-186.

GULH, Ernesto. Los páramos circundantes en la sabana de Bogotá. Santa Fe de Bogotá, fondo FEN Colombia. 1995. p. 124.

HOFSTEDE, Robert; G.M y WITTE, Henk J.L. En: Caldasia. Santa Fe de Bogotá Vol. 17 N° 2. 1993. p. 205-210.

----- La importancia hídrica del páramo y aspectos de su manejo. Holanda. Universidad de Ámsterdam. 1995.

----- Conferencia electrónica. Robert. @ivip.trw.uva.nl.1997

INFORMES TÉCNICOS LA PLANADA (sin fecha)

KÖRNER, C. Altitudinal Variation of leaf Diffusive Conductance and Leaf Anatomic in Heliophytes of Montance New Guinea and their Interrelation with Microclimate. *Flora*. 174: 91-135. 1983.

KÖRNER, CH. y LARCHER W. *Plants life in cold climates*. 1988. p. 25-57.

----- *Physiological Plant Ecology*, third Edition. Springer – Uerlag, New York. 1995.

LAUER, W. La posición de los páramos en la estructura del paisaje de Los Andes Tropicales En: Salgado – Labouriau. 1979

LUTEYN, James. *Páramos*. New York, NYBG. 1999. 227 p.

MARTINEZ, P. y MENESES J. Importancia de la vegetación en la regulación hídrica del páramo azonal del valle del río Estero – Nariño, San Juan de Pasto. 1999. 103 p. Trabajo de grado. Universidad de Nariño.

MATTEUCCI, S. y COLMA, A. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington. 1982.

MEINZER, F.C. et al. Morphological changes an altitude gradient and their consequences for an Andean giant rosette plant. 1985. p. 278-283.

MOLANO, Joaquín. Problemática ambiental del páramo andino. En: El páramo ecosistema a proteger. Santa Fe de Bogotá, ECOAN 1995. p. 64-70.

MONASTERIO, Maximina. *Estudios ecológicos en los páramos Andinos*. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 1980.

MORA – OSEJO, Luis; ARENAS, Hernando; BECERRA, Nubia; COBA, Berta. La regulación de la transpiración momentánea en plantas del páramo por factores endógenos y ambientales. 1994. p. 89-151.

----- *Contribuciones al estudio comparativo de la conductancia y de la Transpiración foliar de especies de plantas del páramo*. Bogotá, D.C., Colombia 2001. 281 p.

MUÑOZ, L. *Inventario florístico del páramo del Bordoncillo*. Nariño 1996. 145 p.

NAVAS, Luis. El volcán Galeras una visión geográfica. *Revista de investigaciones*. Universidad de Nariño. 1990

ORTIZ, Gabriel y SOLARTE, Ayda. Prácticas de campo de ecología general. Pasto. UNED. 1996. 67 P.

PANNIER, F. Untersuchungen zur Keimung und Kultur von *Espeletia*, eines endemischen Megaphyten der Alpenen zone ("páramos" der Venezolanisch – Kolombianischen Anden. Ver. Dtsch-Bat. Ges., 82 (9). 559-571. 1969.

PARQUES NACIONALES NATURALES, PLAN MANEJO DEL SANTUARIO DE FLORA Y FAUNA GALERAS. 1994.

PEREZ, F.L., Soil moisture and the upper altitudinal limit of páramo rosettes. Journal of Biogeography. 1987. p. 173-186.

PINZON, Angela. Revista Suelos Ecuatoriales. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Vol. XIX. No 1. 1981

RADA, F. Freezing avoidance in Andean giant rosette plants. Plant cell an environment. 1985 p. 501-507.

RANGEL, Orlando. Conferencia electrónica. [www. inc. unal. edu. Co / extensio / publica/divIII.htm](http://www.inc.unal.edu.co/extensio/publica/divIII.htm).1985

RAVEN, Peter; EVERTY, Ray y EICHHORN, E. Biology of plants. 1986

RUIZ, Hugo. Conversación personal. 2001

SALAMANCA, S. Los Bosques alto andinos. En: Colombia, sus gentes y sus regiones. IGAG (Colombia) N° 9. 1988. p. 19-29.

SALAZAR, O. Algunos aspectos de la vegetación de la región del volcán Galeras. Departamento de Nariño con base en zonas de vida. Pasto, Universidad de Nariño, 1984. 150 p.

SCHNETTER, R., LOZANO, M. L., SCHNETTER & H. CARDOZO. Estudios ecológicos en el Páramo de Cruz Verde, Colombia, I. Caldalia 11 (54): 25-52, Bogotá. 1976.

SCHULTZE, E.D., et al. Stomatal responses to changes in humidity in Plant growing in the desert. Planta 108, 259-270. Berlín. 1972.

SOLARTE, M.; GONZALEZ, M.; y LEONEL, H. Caracterización fitosociológica y potencial adaptativo de *Espeletia* de páramos zonales y azonales de la cuenca alta del río Guamuéz. Vicerrectoría de investigaciones, postgrados y relaciones internacionales. Universidad de Nariño. 1998.

-----Conversación personal. 2000.

STURM, H. Zur Ökologie der andinen Páramoregion Biogeographica. 1978. p. 1-121.

STURM, Helmut y RANGEL, Orlando. Ecología de los Páramos Andinos: una visión preliminar integrada. Bogotá: D.E. Guadalupe Ltda.. 1985. 292 p.

TURNER, N.C. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. Plant and soil. 1981. p. 339-366.

# ANEXOS

**Anexo A. Relación de la transpiración de *Espeletia Pycnophylla* vs factores climáticos (temperatura, humedad relativa). Epoca húmeda.**

<b>HORA</b>	<b>TRANSPIRACIÓN (<math>\mu</math> moles/m<sup>2</sup>.minuto)</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>	<b>HUMEDAD RELATIVA</b>
9:15	0.12	5.2	96.6
9:30	0.12	5.6	98
9:45	0.14	6.4	98
10:00	0.18	5.0	97
10:15	0.16	5.7	97.3
10:30	0.25	5.6	98
10:45	0.24	6.4	96
11:00	0.16	6.0	96.6
11:15	0.23	5.6	96.3
11:30	0.39	5.8	96.3
11:45	0.22	5.9	98
12:00	0.35	7.1	95.6
12:15	0.45	7.0	97.6
12:30	0.39	6.7	95.6
12:45	0.29	4.2	94
1:00	0.28	6.9	92
1:15	0.27	6.7	94.6
1:30	0.18	6.4	94
1:45	0.17	6.6	93.6
2:00	0.24	5.0	94.6
2:15	0.26	5.8	95
2:30	0	5.9	95.6
2:45	0.27	5.9	96
3:00	0.23	5.6	96.6
3:15	0.23	5.6	98
3:30	0.17	5.3	97
3:45	0.26	5.2	98
4:00	0.05	5.0	97.3
4:15	0	4.9	98
4:30	0	5.0	98
4:45	0.06	5.3	97.3
5:00	0.06	4.8	96.6
5:15	0.07	4.6	98
			98

**Anexo B. Relación transpiración de *Espeletia Pycnophylla* vs factores climáticos (temperatura, humedad relativa). Epoca seca.**

<b>HORA</b>	<b>TRANSPIRACIÓN (<math>\mu</math> moles/m<sup>2</sup>.minuto)</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>	<b>HUMEDAD RELATIVA(%)</b>
9:15	0.22	10.7	55.6
9:30	0.22	11.5	55.6
9:45	0.17	11.5	56
10:00	0.15	11	53.6
10:15	0.21	10.9	54.6
10:30	0.21	11.5	58.3
10:45	0.28	11.1	59.6
11:00	0.27	11.6	58.6
11:15	0.25	11.4	58
11:30	0.39	14.2	49
11:45	0.52	15.5	45.6
12:00	0.48	13.4	42.6
12:15	0.50	14.6	39.6
12:30	0.46	13.1	41.6
12:45	0.44	13.3	44.3
1:00	0.37	13.3	43.6
1:15	0.49	12.6	44.6
1:30	0.33	12.6	51
1:45	0.29	11.8	57
2:00	0.33	10.9	61.6
2:15	0.29	10.6	63
2:30	0.23	10.2	64.3
2:45	0.30	10	68
3:00	0.25	10.1	68.3
3:15	0.20	10.3	70.3
3:30	0.16	9.7	69.6
3:45	0.13	9.6	70.6
4:00	0.10	8.9	70
4:15	0.13	9.0	72.3
4:30	0	6.9	64.6
4:45	0.08	6.4	83
5:00	0	5.6	85.6
5:15	0.05	5.6	85.3

**Anexo C. Relación transpiración de *Espeletia Pycnophylla* vs nivel. Epoca húmeda.**

HORA	NIVEL		
	H1	H2	H3
9:15	0.10	0.16	0.11
9:30	0.11	0.14	0.12
9:45	0.13	0.16	0.14
10:00	0.15	0.26	0.13
10:15	0.13	0.21	0.15
10:30	0.25	0.29	0.22
10:45	0.21	0.29	0.22
11:00	0.15	0.18	0.17
11:15	0.20	0.25	0.25
11:30	0.38	0.42	0.38
11:45	0.20	0.26	0.22
12:00	0.32	0.39	0.35
12:15	0.43	0.49	0.43
12:30	0.39	0.40	0.38
12:45	0.28	0.32	0.28
1:00	0.27	0.32	0.25
1:15	0.24	0.31	0.27
1:30	0.13	0.23	0.18
1:45	0.14	0.20	0.17
2:00	0.25	0.27	0.22
2:15	0.24	0.30	0.24
2:30	0	0	0
2:45	0.27	0.28	0.26
3:00	0.20	0.26	0.23
3:15	0.24	0.26	0.20
3:30	0.15	0.20	0.18
3:45	0.25	0.30	0.25
4:00	0.05	0.07	0.05
4:15	0	0	0
4:30	0	0	0
4:45	0.06	0.08	0.04
5:00	0.05	0.08	0.05
5:15	0.04	0.10	0.07
PROMEDIO	0.1893	0.2337	0.1940

**Anexo D. Relación transpiración de *Espeletia Pycnophylla* vs nivel. Epoca seca.**

HORA	NIVEL		
	H1	H2	H3
9:15	0.20	0.25	0.22
9:30	0.21	0.24	0.21
9:45	0.18	0.19	0.16
10:00	0.13	0.17	0.15
10:15	0.20	0.24	0.21
10:30	0.22	0.23	0.20
10:45	0.27	0.31	0.27
11:00	0.28	0.29	0.26
11:15	0.25	0.28	0.23
11:30	0.40	0.42	0.37
11:45	0.50	0.55	0.52
12:00	0.48	0.51	0.46
12:15	0.49	0.53	0.50
12:30	0.46	0.48	0.44
12:45	0.40	0.48	0.44
1:00	0.35	0.40	0.37
1:15	0.48	0.51	0.48
1:30	0.33	0.35	0.31
1:45	0.27	0.33	0.29
2:00	0.31	0.37	0.33
2:15	0.28	0.33	0.28
2:30	0.23	0.26	0.21
2:45	0.26	0.35	0.29
3:00	0.23	0.29	0.24
3:15	0.19	0.23	0.19
3:30	0.13	0.20	0.17
3:45	0.14	0.15	0.11
4:00	0.10	0.13	0.09
4:15	0.12	0.16	0.12
4:30	0	0	0
4:45	0.06	0.10	0.08
5:00	0	0	0
5:15	0.05	0.08	0.04
PROMEDIO	0.2562	0.2940	0.2575

**ANEXO E. Promedios de área foliar vs nivel en las dos épocas del año.**

<b>EPOCA HUMEDA</b>	
<b>NIVEL</b>	<b>AREA FOLIAR (m<sup>2</sup>)</b>
H1	16.22
H2	17.79
H3	22.13

<b>EPOCA SECA</b>	
<b>NIVEL</b>	<b>AREA FOLIAR (m<sup>2</sup>)</b>
H1	16.97
H2	18.21
H3	22.21

## SECUENCIA FOTOGRAFICA



**Anexo F. Páramo del volcán Galeras.**



**Anexo G. *Espeletia pycnophylla***



**Anexo H. Método del porómetro adaptado**



**Anexo I. Medición temperatura del suelo a diferentes profundidades**



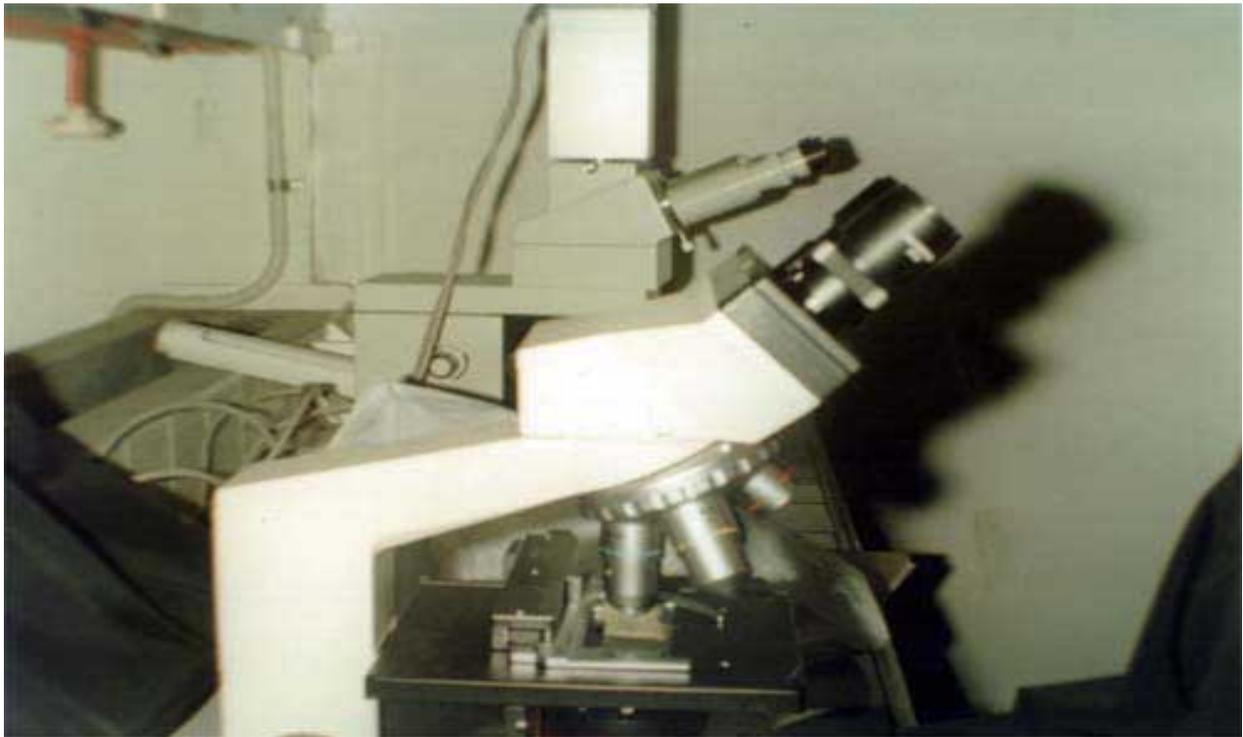
**Anexo J. Medición temperatura ambiental y humedad relativa**



**Anexo K. Medición peso fresco**



**Anexo L. Medición peso seco**



**Anexo M. Determinación de la densidad estomática**

