



Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Forestal



Tesis de Graduación

**Caracterización del ecosistema Páramo, y evaluación de
variables que lo afectan en los volcanes Irazú y Turrialba**

Oscar Mora Montero

Cartago, Costa Rica
2010

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Forestal

Tesis de Graduación

**Caracterización del ecosistema Páramo, y evaluación de
variables que lo afectan en los volcanes Irazú y Turrialba**

Oscar Mora Montero

Cartago, Costa Rica
2010

RESUMEN

Se realizó una caracterización de la cobertura vegetal y de la fauna del páramo de los volcanes Irazú y Turrialba; adicionalmente, se realizó una evaluación de dos variables que afectan este, como es el caso del fenómeno de la lluvia ácida producto de la actividad volcánica y el posible efecto del cambio climático.

Se utilizó un muestreo sistemático con arranque aleatorio en un área de 1996,7ha con una intensidad de muestreo de 0,05% para el Volcán Turrialba e intensidades de 0,02%, 3,5% y 0,08% para tres distintos estratos en el Volcán Irazú, se establecieron parcelas de 10m x 10m donde se recolectó la información necesaria para analizar el ecosistema, los datos para el análisis de fauna se hicieron con base en observaciones tanto directas como indirectas de las especies. Para el caso del cambio climático se utilizó un modelo creado por el Centro del Agua del Trópico Húmedo para Latinoamérica y el Caribe (CATHALAC) y un modelo creado por el Instituto Nacional de Biodiversidad, y se adecuó para el área de estudio.

Florísticamente se obtuvo un total de 18 especies en el Volcán Turrialba y un total de 38 especies para el caso del Volcán Irazú, entre ambos sitios con coeficientes de diversidad que se acercaban al 0.6-0.7 teniendo ambos bastante similitud.

Para la fauna se encontraron 17 especies entre mamíferos, reptiles y aves, siendo este último grupo el que presentó la mayor cantidad de especies, similar caso se presentó en el Volcán Irazú, pero con 27 especies para este sitio, para el caso de la fauna la Similaridad entre ambos sitios fue de aproximadamente 0,6 siendo para este caso igualmente sitios con bastante similitud en cuanto a las posibles especies a encontrar.

Se obtuvo una incidencia del 67% en el volcán Turrialba por el efecto lluvia ácida, mientras que para el Volcán Irazú se obtuvo apenas una incidencia del 22%, lo que demuestra que la vegetación circundante si ha sufrido un daño considerable, mientras que en el caso del Irazú que se encuentra a unos cuantos kilómetros la afectación ha sido muy poca.

Para el cambio climático se obtiene que se podrían estar presentando cambios significativos en los próximos 70 años generando un desplazamiento de la zona de comodidad del ecosistema lo que podría llevar eventualmente a la desaparición del mismo

Palabras Claves: Páramo, Irazú, Turrialba, Lluvia ácida, Cambio Climático, Coeficiente de Similaridad.

ABSTRACT

We conducted a characterization of the vegetation and wildlife of the heath of the volcanoes Irazú and Turrialba, in addition, an evaluation of two variables that affect this, such as the phenomenon of acid rain product of volcanic activity and the possible effect of climate change.

We used a systematic sampling with random start in an area of 1996.7 ha with a sampling intensity of 0.05% for the Turrialba Volcano and intensities of 0.02%, 3,5% and 0,08% for three different layers in the Irazú Volcano, settled 10m x 10m plots where the information was collected to analyze the ecosystem, the data for the analysis of fauna were based on both direct and indirect observations of the species. In the case of climate change used a model created by the Center for the Humid Tropics of Latin America and the Caribbean (CATHALAC) and a model created by the National Biodiversity Institute, and were adapted for the study area.

Floristically we had a total of 18 species in the Turrialba Volcano, and a total of 38 species in the case of Irazú Volcano, between the two sites of diversity ratios closer to 0.6 to 0.7 taking both fairly similar.

For the fauna found 17 species of mammals, reptiles and birds, the latter being the q group had the highest number of species, similar case occurred in the Irazú Volcano, but with 27 species for this site, in the case of wildlife The similarity between both sites was approximately 0.6 for this case also being quite similar sites in terms of possible species to find.

We obtained an incidence of 67% in the Turrialba Volcano by acid rain effect, while for the Irazú Volcano just obtained an incidence of 22%, which shows that if the surrounding vegetation has suffered considerable damage, while the Irazú case which is a few miles involvement has been very little.

Climate change is obtained that might be going had significantly changes in the next 70 years creating a shift in the comfort zone of the ecosystem which could eventually lead to the disappearance of this ecosystem

Keywords: Paramour, Irazú, Turrialba, Acid Rain, Climate Change, Similarity Coefficient

DEDICATORIA

“El mundo está en las manos de aquellos que tienen el coraje de soñar y corren el riesgo de vivir sus sueños” Paulo Coelho

A Dios, porque en Su infinita misericordia me ha permitido llegar a obtener tantas bendiciones y me ha dado las fueras necesarias para recorrer este camino

A mis padres Oscar Mora Duarte y Elieth Montero Abarca, porque gracias a su apoyo, a sus sacrificios, a su guía, pero sobre todo a su amor me han brindado la opción de un mejor futuro y de ser la persona que soy hoy en día.

A mis hermanas Sandra Mora Montero y Yennifer Mora Montero, por su apoyo en todo momento

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi mayor y sincero agradecimiento a las siguientes personas e Instituciones:

- A la señora Anny Chávez Quiros, mi directora de tesis, por el interés demostrado, por su disponibilidad y por sus invaluable aportes.
- Al Ingeniero y profesor Alejandro Meza, miembro del comité, por su colaboración en la revisión del presente trabajo.
- Al Lic. Redy Conejo Aguilar, administrador del Parque Nacional Volcán Irazú, por su apoyo, colaboración y facilidades brindadas para la realización del trabajo decampo.
- A los funcionarios del Parque Nacional Volcán Turrialba y Parque Nacional Volcán Irazú, por su apoyo incondicional, por todas las facilidades brindadas para la realización del trabajo de campo, pero sobre todo por recibirme como uno más de ellos y brindarme su amistad.
- A mi prima Shirley Barrientos Montero por su colaboración técnica para la realización del presente documento.
- Al Sistema Nacional de Áreas de Conservación por la oportunidad brindada de realizar esta tesis en dos de nuestras áreas protegidas, al señor Rodolfo Tenorio por su colaboración.
- Al Centro del Agua del Trópico Húmedo para Latinoamérica y el Caribe (CATHALAC), representados por la señorita África Flores por la información brindada
- Al departamento de Sistemas de Información Geográfica del Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio), representado por el señor Oscar Chacón, por la información suministrada.
- Al señor Marteen Kappelle por la información suministrada, invaluable para la realización del escrito
- Al profesor Alexander Rodríguez por la ayuda brindada para las identificaciones de los especímenes
- A todos mis amigos, compañeros, que durante estos últimos 5 años hemos compartido grandes experiencias y que de una u otra forma con sus conocimientos han dado su aporte en el presente trabajo.

Esta tesis de graduación ha sido aceptada por el Tribunal Evaluador de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica y aprobada por el mismo como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura.

Caracterización del ecosistema Páramo, y evaluación de variables que lo afectan en los volcanes Irazú y Turrialba

Miembros del Tribunal Evaluador

M. Sc. Ana Cecilia Chaves Quirós
Directora de Tesis

M. Sc Alejandro Meza Montoya
Representante
Instituto Tecnológico de Costa Rica

Oscar Mora Montero
Estudiante

ÍNDICE

Título	Página
Resumen	i
Abstract	iii
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Introducción	1
Objetivo General	3
Objetivos Específicos	3
Revisión de Literatura	4
• Definición del ecosistema páramo	4
• Clima	5
• Suelos	5
• Formas de crecimiento de las plantas paramunas	6
• Fauna	8
• Índices de Diversidad	10
• Factores que afectan las plantas de páramo	11
• Ubicación Histórica de las Zonas	17
Metodología	18
• Ubicación Geográfica de las Zonas de Estudio	18
• Caracterización Biofísica de las Zonas	20

• Diseño de muestreo	21
• Análisis de Datos	23
Resultados	28
• Caracterización Florística	29
• Fauna	36
• Incidencia y Severidad	41
• Cambio Climático	46
Discusión	48
Conclusiones	54
Recomendaciones	56
Bibliografía	57
Anexos	61

ÍNDICE DE CUADROS

Número de Cuadro	Cuadro	Página
1	Porcentajes de variación en la extensión terrestre para valores de precipitación y temperatura de los Volcanes Irazú y Turrialba	13
2	Estadísticos utilizados para el cálculo del error de muestreo	22
3	Categorías utilizadas para la evaluación de afectación por lluvia ácida en el páramo de los Volcanes Turrialba e Irazú	26
4	Cálculo del error de muestreo para el muestreo realizado en los volcanes Turrialba e Irazú	28
5	Determinación de Índices de diversidad para el páramo de los volcanes Turrialba e Irazú	35
6	Medidas de Similaridad encontradas entre el páramo de los Volcanes Turrialba e Irazú	36
7	Determinación de abundancias de fauna para el páramo del Volcán Irazú	39
8	Determinación de abundancias de fauna para el páramo del Volcán Turrialba	39
9	Determinación de los índices de diversidad para la fauna encontrada en el páramo de los volcanes Turrialba e Irazú	40
10	Determinación de la Similaridad para la fauna encontrada en el páramo de los volcanes Turrialba e Irazú	40
11	Cálculo de la Incidencia y severidad de afectación por lluvia ácida en los volcanes Turrialba e Irazú	41
12	Valores de afectación para las 5 especies más abundantes del páramo del Volcán Turrialba	43
13	Valores de afectación para las 5 especies más abundantes del Sector Páramo del Volcán Irazú	45
14	Valores de afectación para las 5 especies más abundantes del Sector Torres del Volcán Irazú	45
15	Valores de afectación para las 5 especies más abundantes del Sector Torres del Volcán Irazú	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Número	Figura	Página
1	Ubicación de los parques Volcán Irazú y Volcán Turrialba en la Provincia de Cartago	19
2	Distribución de especies por familia para el páramo del Volcán Turrialba	29
3	Distribución de especies por familia para el páramo del Volcán Irazú	30
4	Distribución de abundancias encontradas en el estudio realizado en el páramo de los volcanes Turrialba e Irazú	31
5	Cantidad de individuos de acuerdo a su altura para el páramo del Volcán Turrialba	33
6	Cantidad de individuos de acuerdo a su altura para el páramo del Volcán Irazú	34
7	Cantidad de especies por grupo encontradas en los Volcanes Turrialba e Irazú	37
8	Número de observaciones por especie realizadas en el páramo de los volcanes Turrialba e Irazú	38
9	Número de individuos por Hora de observación para el páramo de los Volcanes Turrialba e Irazú	41
10	Número de Individuos por categoría de afectación para el Volcán Turrialba	42
11	Número de Individuos por categoría de afectación para el Volcán Irazú	44

ÍNDICE DE ANEXOS

Número	Anexo	Página
1	Ubicación del Área de estudio en el Parque Nacional Volcán Irazú	61
2	Ubicación del Área de estudio en el Parque Nacional Volcán Turrialba	62
3	Formularios de campo utilizados para la toma de datos	63
4	Lista de especies por familia encontradas en el estudio realizado en el páramo de los volcanes Turrialba e Irazú	64
5	Abundancias encontradas para el páramo del Volcán Turrialba	65
6	Abundancias encontradas para el Volcán Irazú Sector Páramo	66
7	Abundancias encontradas para el Volcán Irazú Sector Torres	67
8	Abundancias encontradas para el Volcán Irazú Sector Transición	68
9	Distribución vertical por especie para el páramo del Volcán Turrialba	69
10	Distribución vertical por especie para el Sector Páramo del Volcán Irazú	70
11	Distribución vertical por especie para el Volcán Irazú Sector Torres	71
12	Distribución vertical por especie para el Volcán Irazú Sector Transición	72
13	Lista de especies de Fauna encontradas para el páramo de los Volcanes Turrialba e Irazú	73
14	Número de Individuos observados por hora en el páramo del Volcán Turrialba	74
15	Número de Individuos observados por hora en el páramo del Volcán Irazú	75

16	Grados de afectación de lluvia ácida por especie para el páramo del Volcán Turrialba	76
17	Grados de afectación de lluvia ácida por especie para el Sector Páramo del Volcán Irazú	77
18	Grados de afectación de lluvia ácida por especie para el Sector Torres del Volcán Irazú	78
19	Grados de afectación de lluvia ácida por especie para el Sector Transición del Volcán Irazú	79
20	Cambios en Precipitación al año 2030	80
21	Cambios en Temperatura Máxima al año 2030	81
22	Cambios en Temperatura Mínima al año 2030	82
23	Índice de Severidad de Cambio Climático al año 2050, escenario A2 modelo CSIRO	83
24	Índice de Severidad de Cambio Climático al año 2050, escenario B2 modelo CSIRO	84
25	Índice de Severidad de Cambio Climático al año 2080, escenario A2 modelo CSIRO	85
26	Índice de Severidad de Cambio Climático al año 2080, escenario B2 modelo CSIRO	86
27	Índice de Severidad de Cambio Climático al año 2080, escenario A2 modelo HadCM3	87
28	Índice de Severidad de Cambio Climático al año 2050, escenario B2 modelo HadCM3	88
29	Índice de Severidad de Cambio Climático al año 2080, escenario A2 modelo HadCM3	89
39	Índice de Severidad de Cambio Climático al año 2080, escenario B2 modelo HadCM3	90

INTRODUCCIÓN

[Volver arriba]

En Costa Rica, el estudio de los ecosistemas de altura y en especial el ecosistema de páramo, ha sido históricamente relegado en comparación con ecosistemas más diversos. El hecho de que estos ecosistemas no comprendan un área considerable de las zonas protegidas de Costa Rica ha influenciado la falta de colecciones biológicas representativas, y principalmente, los estudios ecológicos de largo plazo. A pesar de estas limitaciones, es claro que los páramos representan un ecosistema único, que protegen una combinación de especies con adaptaciones estructurales, fisiológicas, y de ciclos de temperatura y radiación extremos diarios, ecosistema que se encuentra actualmente restringido a los picos montañosos más altos de la Cordillera de Talamanca y la Cordillera Volcánica Central (CVC) (Ávalos 2007).

En la CVC, el páramo se encuentra ubicado en tierras elevadas de topografía quebrada, entre los 2900 y 3432 msnm y se encuentra sometido a bajas temperaturas o variaciones abruptas de ésta entre el día y la noche, factor que asociado a la elevación condicionan el desarrollo y la existencia de una flora achaparrada y arbustiva, de características y especies únicas. Por lo general arriba de los 3500m su flora es constituida únicamente por musgos y líquenes. La mayor parte de este ecosistema se encuentra en el Parque Nacional Volcán Irazú y en el Parque Nacional Volcán Turrialba (Herrera H, 2009).

Tanto la vegetación como la fauna de estos lugares son poco diversas en comparación con otro tipo de ecosistemas, debido a que pocas especies pueden adaptarse a las condiciones atmosféricas cambiantes que se dan a lo largo del día. Entre las especies de flora que se encuentran con mayor frecuencia Kappelle (2005) menciona que las familias con mayor presencia en este ecosistema son la *Asteraceae*, seguida de cerca por *Poaceae*, y que además de estas hay otras familias que ocupan un lugar consistentemente alto como en el caso de *Apiaceae*, *Ericaceae*, *Rosaceae*, *Gentianaceae*, *Melastomataceae*, entre otros.

El páramo alberga a un buen número de especies, algunas de ellas de gran importancia y bastante amenazadas; tal es el caso del puma (*Puma concolor*), y de la zorra plateada (*Urocyon cinereoargenteus*) que se encuentran en documentos como el de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), pero aparte de estas, también se pueden observar especies bastante frecuentes de este tipo de

condiciones como es el caso de la chispita volcánica (*Selasphorus flammula*), el escarhero (*Turdus nigrescens*), el junco volcánico (*Junco vulcanii*), el coyote (*Canis latrans*) y la lagartija de altura (*Mesaspis monticola*), entre otros.

Ecológicamente el páramo es un sistema frágil y de baja resiliencia; por lo tanto cualquier cambio drástico tiene gran impacto. Desgraciadamente las actividades del hombre y los animales domésticos permanecen sin control y han alterado este ecosistema de manera significativa. Presiones dañinas impuestas por el hombre, aunadas a las presiones naturales del ecosistema están amenazando su existencia. Por lo que se precisa incrementar el estudio científico de la biodiversidad del páramo, para proseguir con su protección, conservación y manejo (Balslev H, 1992).

El estudio de representatividad utilizando Unidades Fitogeográficas (SINAC, 2007) planteado en el proyecto de propuesta de ordenamiento territorial (Grúas II), indica que la Unidad Fitogeográfica 11a. que representa los Páramos de la Cordillera Volcánica Central, es única en el país, por esta razón nace la necesidad de contar con información oportuna del ecosistema, que permita conocer el estado de este y de sus interacciones, con el propósito de resaltar la necesidad de protegerlo aun más, para perpetuarlo en el tiempo. Este trabajo pretende servir como herramienta para dar a conocer la composición florística y faunística del páramo, así como para identificar las variables que pueden afectar este frágil ecosistema, de manera que esta información sirva a funcionarios a cargo para poder tomar medidas necesarias para poder efectuar un mejor manejo del ecosistema paramuno de la Cordillera Volcánica Central.

OBJETIVO GENERAL

[Volver arriba]

- Generar información sobre las variables cambio climático y lluvia ácida que afectan el ecosistema páramo, así como de su composición florística y faunística.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

[Volver arriba]

- Crear una lista de especies de flora y fauna presentes en el páramo.
- Generar información sobre la composición del ecosistema.
- Determinar los posibles efectos del cambio climático sobre el páramo.
- Identificar el impacto ocasionado por la lluvia ácida proveniente de la actividad volcánica sobre la vegetación.

REVISIÓN DE LITERATURA

Descripción del Ecosistema páramo

[Volver arriba]

El páramo corresponde a la zona neotropical (11° latitud N y 8° latitud S) del bioma pantropical alpino-subalpino húmedo (Kappelle, 2005). Es una formación vegetal de alta montaña, heterogénea, generalmente desarbolada o con doseles abiertos de arbolitos tupidos. Estas áreas de vegetación natural se ubican en las partes altas por encima de los 3100 metros de elevación (Kappelle, 2005). Para el SINAC (2007) el páramo lo constituyen comunidades vegetales de baja altura, generalmente húmedas y frías. La vegetación dominante es de bambú enano del género *Chusquea sp* entremezclada con plantas leñosas de familias como *Ericaceae*, *Hypericaceae*, *Rosaceae* y *Asteraceae*

El páramo se divide en tres pisos altitudinales: 1), el subpáramo arbustivo transicional (páramo bajo, de 2-3 a 7-10m de alto); 2) el páramo propiamente dicho (Páramo de gramíneas o poaceas, de 0,25-0,5 a 2-3m de alto); y 3) el superpáramo (páramo desértico), por debajo del límite con la nieve permanente (menos de 0,25-0,5m de alto) (Luteyn, 2005). En Costa Rica el piso que se puede encontrar en mayor nivel es el subpáramo, ésta es la zona más baja y también la más diversa; es una zona transicional dominada por arbustos, se encuentra entre los 3000 y los 3500m aproximadamente, que consta de elementos de bosque de la franja inferior y del páramo de gramíneas de la franja superior. Es a menudo, un mosaico de arbustos y pequeños árboles dispersos que gradualmente reducen su tamaño dando origen a un matorral y una vegetación baja de arbustos enanos, zacates e hierbas de páramo de gramínea en la franja superior. Algunas veces, cambios locales en la topografía y los suelos pueden originar diferentes condiciones microclimáticas, lo que resulta en la ocurrencia de pequeños parches de bosque (Luteyn, 2005).

Generalmente el subpáramo es la zona que tiende a confundir. Esto se debe al hecho de que en muchas áreas no se puede distinguir una transición clara entre bosque montano y páramo abierto. Esto puede ser causado por razones naturales, pero muchas veces está relacionado con el impacto humano sobre el páramo que transformó la transición gradual en un límite de

bosque abrupto. También, las especies arbustivas del subpáramo son especies típicas de matorrales secundarios de altitudes menores (Hofstede, 2003).

El páramo se encuentra en los trópicos de América, concentrado en la esquina noroccidental de Suramérica, principalmente en Venezuela, Colombia y Ecuador, con algunos sitios remotos en Costa Rica, Panamá y el norte de Perú (Luteyn, 2005); donde se presenta cuando las cordilleras sobrepasan el límite de los 3000m de altitud (Weber, 1959).

Para el caso específico de Costa Rica, el páramo se encuentra en la cordillera de Talamanca, cuya más destacada prominencia, el cerro Chirripó, se alza a 3820 msnm (Weber, 1959), además existen áreas cuya extensión es menor a las encontradas en esta cordillera y que están arriba del límite del bosque, en los alrededores y a lo largo de los cráteres de los volcanes más altos de la Cordillera Volcánica Central, tales como el Irazú y el Turrialba, (Anexo 1)

Clima

[Volver arriba]

Diversos autores han caracterizado el clima de estas zonas como un clima frío diario, en el cual las diferencias entre las temperaturas del día y de la noche son más marcadas que la diferencia anual (Azocar, 2006). Existen interrelaciones entre los efectos de altitud, de relieve y de barrera que producen una gran diversidad y variabilidad del tiempo atmosférico y de los factores del clima en el transcurso del día y del año, y variaciones más evidentes dentro de los periodos multianuales, en comparación con tierras de baja altitud (Sturm, 1994). Son ecosistemas generalmente húmedos durante todo el año o casi todos los meses del año, con una humedad continua en forma de lluvias, nubes y neblina (Luteyn, 2005)

Suelos

[Volver arriba]

El fenómeno de congelamiento juega un papel central en la formación de los suelos de alta montaña. Los movimientos asociados con este fenómeno producen características superficiales distintivas. A corto plazo las capas superiores del suelo pueden congelarse en ciclos diurnos formando agujas que producen que el suelo y la vegetación sean removidos y, en consecuencia, se pierde sustrato periódicamente (Azocar, 2006).

En las elevaciones más altas, es decir el superpáramo los suelos son muy superficiales y de material grueso, con altos porcentajes de roca y arena, con poca o ninguna producción de materia orgánica y, por lo tanto con una baja retención de agua. En las elevaciones medianas (es decir el páramo de gramíneas), los suelos son relativamente profundos, húmicos, negros o pardo oscuro, ácidos con un pH que oscila entre 3.7 y 5.5. En la parte más baja del páramo (es decir, en el subpáramo), los suelos son de color oscuro, con pH que va de moderado a alto y deficiencias de calcio y fósforo (Luteyn, 2005).

Además de estos elementos biofísicos, existen otros que también determinan la composición florística de este ecosistema, como por ejemplo la radiación, la humedad relativa, la disponibilidad de agua, entre otros.

Formas de crecimiento de las plantas paramunas

[Volver arriba]

Con algunas excepciones, todas las especies de plantas vasculares dominantes en el ecosistema páramo, van a pertenecer pocos tipos de formas de crecimiento, cada uno de estos está constituido por un número variable de especies que usan los recursos de forma similar. La comparación de las estrategias mostradas por las diferentes especies y géneros, que constituyen un mismo grupo funcional en respuesta a los factores determinantes en sus respectivos microambientes, muestra que las especies de un mismo grupo responden de manera similar a los factores de estrés, lo que sugiere que un cambio de condiciones del ambiente afectaría de igual manera a todos los constituyentes del grupo por lo tanto estos ecosistemas serían inestables desde el punto de vista funcional (Azocar, 2006).

Mientras que el árbol es la forma de crecimiento predominante en el bosque, en el páramo está esencialmente ausente, sin embargo, tiene sus propias formas de crecimiento, importantes y conspicuas, como los zacates en macollas, las plantas en roseta o en forma de cojín, los arbustos, entre otras.

- a. Plantas en forma de roseta:* Estas se caracterizan por presentar una densa masa de hojas espiraladas muy pubescentes, con actividad continua durante todo el año, y una yema apical masiva con un gran banco de hojas no expandidas, otra característica muy

importante es la gran cantidad de hojas muertas que rodean el tallo y forman un grueso manto de hojas que se descomponen lentamente y que aíslan el sistema vascular de la planta (Azocar, 2006), En esta forma de crecimiento se puede encontrar géneros como *Valeriana* (*Valerianaceae*), *Acaena* (*Rosaceae*), *Espeletia* (*Asteraceae*), entre otros (Luteyn, 2005).

- b. Plantas en forma de cojín:** Si bien las plantas en forma de cojín tienen un crecimiento limitado por su bajo índice de área foliar, su principal ventaja se encuentra en la alta capacidad de almacenamiento de agua y nutrientes en áreas de suelos poco desarrollados (Azocar, 2006), una especie típica de este crecimiento es el caso de *Pernettya prostrata*.
- c. Plantas en forma de macolla:** Esta forma de crecimiento es la más común en el páramo (Luteyn, 2005), se caracterizan por una macolla muy densa en la cual, las hojas muertas permanecen unidas a la planta por largo tiempo y que les dan un aspecto de color marrón, la renovación de las hojas tiene lugar en la parte central de la macolla. Desde un punto de vista ecológico se puede considerar como una forma de vida bien adaptada a las condiciones atmosféricas que se dan en el páramo, así por ejemplo esta renovación de tallos dentro de la macolla, parece representar un mecanismo de protección contra daños por congelamiento, además de que la macolla parece representar un buen aislamiento lo cual permite evitar el congelamiento del suelo permitiendo la absorción del agua sin interrupción; dentro de esta forma de crecimiento se encuentran muchos géneros de las familias *Poaceae* y *Cyperaceae* (Azocar, 2006).
- d. Arbustos:** A diferencia de las formas de crecimiento anteriores, los arbustos no presentan ningún tipo de adaptación especial para evitar el impacto de las bajas temperaturas nocturnas, de manera que sus tallos, hojas, y yemas están completamente expuestos a las fluctuaciones térmicas ambientales, y por lo tanto tienen que enfrentar

el congelamiento prácticamente cada noche del año (Azocar, 2006), son ejemplos de esta forma de crecimiento los géneros *Hypericum*, *Gaultheria*, *Hesperomeles*, entre otros

Vargas (2005) reporta que en los páramos de Costa Rica y Panamá se encuentran aproximadamente 121 especies de 53 géneros distribuidos en 11 familias de monocotiledóneas, y 295 especies de 163 géneros distribuidos en 61 familias de dicotiledóneas; para un total de 416 especies, repartidas en 72 familias y 216 géneros; de estas 416 especies se desprenden tres pisos altitudinales en las que se divide la vegetación, para el caso de este estudio se menciona que 263 especies llegan hasta los 3500 metros la cual es cercana a la altura máxima ubicada en el volcán Irazú. Sin embargo hay que resaltar que los volcanes Irazú y Turrialba se consideran como “paramillos”, por presentar elementos florísticos propios del páramo pero con una estructura y fisionomía diferentes, así como una diversidad menor (Aproximadamente representan entre el 23 y el 35 % de las especies) (Vargas, 2005).

Con respecto a la fenología se reporta que existen dos picos importantes de fertilidad, el primero que va desde enero hasta principios de abril, y el segundo que va desde julio hasta principios de setiembre, teniéndose los meses de marzo y agosto como los meses donde hay más especies con flores y frutos (Vargas, 2005), sin embargo otros autores reportan que la tanto la floración como la fructificación no se detienen a lo largo del año, lo que podría deberse a que las bajas temperaturas pueden ocasionar un retardo en la tasa de desarrollo floral, de tal manera que los botones requieren más tiempo para madurar y las flores pueden permanecer abiertas por más tiempo, y por otra parte, la producción de un gran número de flores (Sturm, 1985).

Fauna

[Volver arriba]

Con respecto a la fauna terrestre Sturm (1985) menciona que resalta como primera impresión su gran similitud en la mayoría de los páramos. Durante el día muy pocos grupos llaman la atención, se deben mencionar los colibríes, las golondrinas y algunas rapaces, se reporta que para el páramo del Granizo en Cundinamarca Colombia apenas 40 especies que pertenecen a

23 familias y 12 órdenes y que de estas 2 son migratorias (Sturm, 1985). A elevaciones menores a los 3600 metros se observaron en días soleados lagartijas muy vistosas en tanto que anfibios solo se ven en días muy húmedos, entre los invertebrados eran comunes ciertos grupos de insectos como: Diptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Curculionidae y Caelifera.

Para el caso específico de Costa Rica se han identificado tres especies de anfibios y reptiles: la salamandra (*Bolitoglossa pesrubra*) y las lagartijas *Mesaspis monticola* y *Sceloporus malachiticus* (Luteyn, 2005).

Las aves son uno de los grupos más diversos, se han identificado 70 especies de aves; de estas 12 son clasificadas como especies de paramo, las cuales son abundantes y permanecen la mayor parte del año en este ambiente, por otra parte, las 34 especies observadas frecuentemente en el ecotono, son en su mayoría aves típicas de bosque subalpino o montano alto, estas especies a menudo utilizan el borde del bosque y vuelan ocasionalmente hacia el interior del paramo, cuando el recurso alimentario es abundante; la población de aves periféricas frugívoras y nectarívoras fluctúan temporalmente, en ocasiones drásticamente, como respuesta a cambios en la disponibilidad de los recursos alimentarios. Varias de estas especies se desplazan altitudinalmente, siguiendo los cambios en abundancia y disponibilidad de flores y frutos (Barrantes, 2005).

En el plan de manejo del parque nacional Volcán Irazú se menciona que en el Sector de los Cráteres las especies más abundantes son el escarchero (*Turdus nigrescens*), el comemaíz (*Zonotrichia capensis*), la tangara cejiblanca (*Chlorospingus pileatus*) y el junco volcanero (*Junco vulcani*). Otras especies comunes son el colibrí mosca o chispita volcanera (*Selasphorus flammula*), el soterré (*Thryorchilus browni*) y el saltón patigrande (*Pezopetes capitalis*). A menor altitud, en los bosques de roble es posible observar el carpintero careto (*Melanerpes formicivorus*) y el quetzal (*Pharomachrus mocinno*) (Herrera, 2009).

Para el caso de los mamíferos presentes en la zona se ha podido identificar la presencia de especies de mamíferos como la ardilla (*Sciurus granatensis*), la zorra gris (*Urocyon*

cinereoargenteus) y el pizote (*Nasua narica*). En el Sendero Atlántico se encontraron abundantes excrementos de Coyote (*Canis latrans*), así como huellas de conejos (*Sylvilagus dicei*), zorra gris y armadillo. De acuerdo con los informes de los guardarrrecursos también se encuentran en el parque el zorrillo (*Conepatus semistriatus*), el puerco espín (*Coendou mexicanus*) y la comadreja (*Mustela frenata*) (Herrera, 2009).

Otros grupos faunísticos como los reptiles son poco diversos a esta altitud. Durante el trabajo de campo solamente se observaron dos especies de lagartijas. La lagartija espinosa (*Sceloporus malachiticus*) y la lagartija de altura (*Mesaspis monticola*) (Herrera, 2009).

Para el caso del Volcán Turrialba, este reporta en su plan de manejo que se han identificado 84 especies de aves en el parque y alrededores, algunas se encuentran en peligro de extinción como el quetzal (*Pharomachrus mocinno*) y raras como es el guácharo (*Steatornis caripensis*); abundan los colibríes de diversas especies. Además, se pueden observar frecuentemente al menos dos especies de elánidos. En cuanto al número de especies y poblaciones de mamíferos, roedores y reptiles son muy bajos. Los mamíferos más conocidos se reducen a un mínimo de especies como: armadillos (*Dasypus novemcinctus*), pizotes (*Nasua narica*), zorros hediondos (*Conepatus semistriatus* y *Mephitis macroura*), coyotes (*Canis latrans*), conejos (*Sylvilagus sp.*), puercoespines (*Coendou mexicanus*). Esporádicamente se puede observar el león de montaña (*Puma concolor*) y el tigrillo (*Leopardus tigrinus*) (Herrera, 2009).

Índices de diversidad

[Volver arriba]

Existe gran cantidad de formas para determinar no solo el número de especies, sino la abundancia de las mismas, utilizando cantidades relativas o proporciones para relacionar la contribución de cada especie a la comunidad; Jiménez (1996) menciona que dos de los índices más usados en ecología son el índice de Simpson y el índice de Shannon. El índice de Simpson varía de 0 a 1, da la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una misma población pertenezcan a la misma especie; por otro lado el índice de Shannon

constituye una medida del grado de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de un conjunto de especies, de tal modo Shannon presenta dos propiedades: es igual a 0 si solo hay una especie en la muestra; y un máximo si todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Jiménez, 1996).

Otro parámetro que puede resultar muy útil para inferir en la composición del ecosistema es a través del coeficiente de mezcla, el cual mide la intensidad de la mezcla y expresa el promedio del número de individuos que representa a cada especie en la composición florística general, dando una visión clara de la heterogeneidad del ecosistema, este es el resultado de la división del total de plantas encontradas entre el número de especies encontradas en un área determinada (Venegas et al, 1996).

La similitud entre comunidades se establece de acuerdo a sus composiciones florísticas. Para datos cualitativos, una medida de comparar el nivel de semejanza entre dos comunidades se establece al comparar el número de especies comunes a ambos sitios. Cuanto mayor sea el número de especies en común, mayor grado de semejanza existe entre ambas poblaciones. Con datos cuantitativos existe un factor extra a considerar, la abundancia de cada especie (Jiménez, 1996).

Factores que afectan las plantas de páramo

[Volver arriba]

Cualquier factor ambiental o antrópico puede generar estrés cuando su suministro produce niveles por debajo o por encima del valor requerido para el buen desempeño de las plantas. Estos cambios pueden ocurrir naturalmente o por influencia humana. Los factores naturales pueden ser físicos, químicos, bióticos y los antropogénicos (Azocar, 2006).

Cambio Climático

El impacto global que afecta a estos ecosistemas drásticamente es el cambio climático causado por el calentamiento global, estos ecosistemas por su fragilidad y su espacio reducido

pueden considerarse igual de vulnerables que las pequeñas islas, sin embargo es difícil estimar con precisión que tan grave será este impacto en el páramo (Hofstede, 2005).

El cambio climático está amenazando la existencia de los ecosistemas en general, amenazando con alejar especies y ecosistemas fuera de las condiciones de habitabilidad en el medio ambiente (Croston, 2008). Los cambios en los patrones de precipitación, temperatura y humedad están cambiando las condiciones abióticas de los ecosistemas y los ciclos de vida de las especies, amenazando su persistencia en el tiempo (Ugalde, 2009). El calentamiento global amenaza fuertemente con la desaparición de los ecosistemas de tierras altas (páramos y bosques nubosos) y de los humedales costeros (manglares y estuarios) por el rápido aumento de la temperatura y del nivel del mar. Esta será una prueba difícil para todos los ecosistemas en general en la que se evaluará su capacidad de respuesta y adaptación (Ugalde, 2009).

Se reportan estudios realizados relacionados con las zonas de vida, que sugieren que aquellas localizadas en elevaciones altas podrían ser más sensitivas a incrementos en temperatura que a los cambios en la precipitación, mientras que aquellas en elevaciones bajas podrían ser más susceptibles a los cambios en las precipitaciones (Ugalde, 2009).

Estudios con aves han mostrado que varias especies se han desplazado a tierras más altas en donde estaban ausentes, mientras que aquellas que ocupaban previamente tierras altas han declinando en abundancia. Lo que es consistente con estudios con otros grupos como epífitas, rubiáceas del sotobosque, geométridos (polillas) y hormigas (Ugalde, 2009).

Existen varios modelos para determinar los posibles cambios que se darían en el clima, afectando a los distintos ecosistemas, estos posibles cambios son denominados escenarios climáticos para los cuales se utilizan datos de una línea base de datos climatológicos. La línea base es el escenario climático de referencia o de comparación a partir del cual se determinan los escenarios y proyecciones de cambio climático. Normalmente, estos estudios tipifican las proyecciones futuras de elementos como precipitación y temperatura a diferentes horizontes

de tiempo, caracterizando su tendencia, la variación en magnitud y su distribución espacial y temporal (IMN, 2008).

Un Índice de Severidad del Cambio Climático (CCSI) es construido utilizando datos climáticos de una línea base y datos mensuales de anomalías. Esto mide el cambio climático que una ubicación particular ha experimentado o está esperado experimentar, en comparación a su variación climática natural. En otras palabras, el CCSI es una medición de cuán lejos un lugar se moverá fuera de su zona de confort normal. Puede ser derivado a un rango de escalas, dependiendo en la resolución espacial o del detalle de los datos climáticos disponibles (Croston, 2008).

Se han realizado varios estudios aplicando estas metodologías, Ugalde (2009) reporta que para la Cordillera Volcánica Central se experimentará un desplazamiento de las isotermas hacia elevaciones mayores, reduciéndose la isoterma de 18 a 20 0C a una sección sobre el volcán Irazú, al ser desplazada principalmente por la isoterma de 20 a 22 0C en su mayor parte a excepción de la sección oeste en donde prevalecerá la isoterma de 22 a 24 0C (Ugalde,2009), en el siguiente cuadro se demuestra las afectaciones específicas para los casos del Volcán Irazú y el Volcán Turrialba.

Cuadro 1 Porcentajes de variación en la extensión terrestre para valores de precipitación y temperatura de los Volcanes Irazú y Turrialba

Área Silvestre Protegida	Porcentaje (%) de la extensión terrestre que sufrirá cambio en la precipitación anual	Porcentaje (%) de la extensión terrestre que sufrirá cambio en la temperatura mínima anual	Porcentaje (%) de la extensión terrestre que sufrirá cambio en la temperatura máxima anual	Índice de afectación
PN Volcán Turrialba	100,00	100,00	100,00	3,00
PN Volcán Irazú	0,37	100,00	40,87	1,41

La pérdida, modificación, fragmentación del hábitat, así como la introducción y extensión de especies no autóctonas van a afectar los impactos producidos por el cambio climático. Una proyección realista del estado futuro de los ecosistemas terrestres debe tener en cuenta

también las pautas de uso de los suelos y del agua, las que van a afectar en gran medida a la capacidad de los organismos para responder a los cambios climáticos (Ugalde, 2009)

Muchos ecosistemas y especies que tienen mayor probabilidad de ser afectados por el cambio climático ya están dentro de las áreas protegidas. Por lo tanto, se espera que si estas áreas siguen siendo protegidas, por diversas razones, la probabilidad de la adaptación de estas especies y ecosistemas al cambio climático sería más alta en comparación a los ecosistemas más susceptibles que no están protegidos actualmente (Croston, 2008).

Por otro lado, la resistencia de los ecosistemas puede acrecentarse, y el riesgo del daño para el ser humano y los ecosistemas naturales puede reducirse adoptando estrategias de adaptación y mitigación basadas en la biodiversidad. Ejemplos de actividades que fomentan la mitigación o la adaptación al cambio climático son (Ugalde, 2009):

- a) el mantenimiento y restablecimiento de los ecosistemas nativos.
- b) la protección y el aumento de los servicios provenientes de los ecosistemas.
- c) la gestión de los hábitats de las especies en peligro.
- d) la creación de refugios y zonas de amortiguamiento.
- e) el establecimiento de redes de áreas protegidas terrestres, marinas y de agua dulce que tomen en consideración los cambios climáticos proyectados

Turismo

Esta actividad siempre se menciona como una alternativa sostenible frente a las actividades agrícolas, que genera ingresos y empleo, pero sin embargo estas pueden tener efectos negativos como contaminación por desechos, molestias para la fauna, destrucción de hábitats y hasta la generación de incendios (Hofstede, 2005). En general, la integridad ecológica de los ecosistemas disminuye poniendo en peligro, sitios naturales de recreo, belleza escénica, amortiguamiento de condiciones climáticas severas y otros que los turistas y la población civil necesitan. La contaminación es otra amenaza. La falta de sistemas eficientes de recolecta y de tratamiento de residuos sólidos favorecen a que estos últimos terminen en el ecosistema perjudicando el paisaje (Ugalde, 2009)

Deforestación

Aunque esta actividad no afecta directamente el páramo, afecta la zona amortiguadora del mismo, afectándolo indirectamente (Hofstede, 2005).

Desde la colonización de nuestro país, la deforestación ha sido la principal amenaza para la conservación de nuestros ecosistemas. La producción en gran escala y el aumento poblacional a finales del siglo pasado aceleraron la pérdida de la cobertura forestal para dar paso a grandes extensiones agrícolas y ganaderas, además, hay que considerar los patrones de fragmentación, donde los ecosistemas se encuentran rodeados de sistemas productivos y centros poblacionales, de manera que la comunicación entre ellos es muy poca. La fragmentación afecta los procesos ecológicos integrales entre ecosistemas y el intercambio de genes entre poblaciones, elementos fundamentales para la conservación de la biodiversidad y la persistencia de los bienes y servicios que los humanos obtenemos de ella (Ugalde, 2009).

Estos patrones de fragmentación se ven favorecidos por uno de los principales problemas con los que cuentan las áreas protegidas y este es la presencia de propiedades privadas dentro de sus límites; esto ocasiona conflictos por el uso de la tierra en actividades que no están de acuerdo con los objetivos para los que fueron creadas las áreas protegidas, como la ganadería y los cultivos agrícolas (SINAC, 2008).

En general se puede decir que muchas de las especies del país han experimentado una reducción en su área de distribución y en su tamaño poblacional debido a los cambios en la cobertura de sus hábitat y/o sobre explotación por parte del ser humano, llevando a que algunas de estas se encuentren amenazadas.

Lluvia Ácida y Ceniza Volcánica

Azocar (2006) menciona que existen factores que pueden generar estrés en las plantas, las cuales presentan cuatro respuestas al estrés presentado por variables tanto de carácter natural como antropogénico, estas son:

- a) Fase de Alarma: Es cuando se inicia el estrés y se genera una reacción en la planta que se desvía de su función normal o disminuyendo su vitalidad.

- b) Fase de Resistencia: Aquí se dan procesos de adaptación, reparación y reactivación que conducen a la resistencia
- c) Fase de Agotamiento: Se produce cuando la intensidad del estrés que se da es demasiado alta, en esta fase las plantas llegan a tener un debilitamiento que puede traducirse en enfermedad crónica o la muerte de las mismas.
- d) Fase de regeneración: Si el factor que genera estrés es bajo o es eliminado del sistema, se produce una regeneración parcial o total de la función fisiológica

Esta diferenciación indica que cualquier factor ambiental como el caso de la lluvia acida o la ceniza volcánica puede adquirir la categoría de estresante cuando su suministro produce niveles por debajo o por encima del valor normal requerido para el buen desempeño de las plantas (Azocar, 2006).

Con respecto a la lluvia ácida Méndez (1996) menciona que ésta puede afectar la disponibilidad de nutrientes para la planta y puede variar la composición de la población de microorganismos del suelo, produciendo cambios en los procesos de descomposición y mineralización; además de que puede aumentar la cantidad de metales tóxicos en el suelo y en el agua afectando de ésta forma la salud de las plantas (Méndez, 1996)

El volcán Turrialba inicio su actividad aproximadamente en el año 2005, Duarte (2008) ha documentado desde el comienzo de la actividad los cambios no solo en esta, sino en la vegetación circundante; reporta que se comenzaron a reportar pequeños enjambres sísmicos que coincidían con reportes de vecinos sobre algunos penachos de gas y vapor observados sobre la cima del volcán, que se comenzaron a acumular efectos rápidos observables en la vegetación enana de la cima. Algunos parches de vegetación de páramo comenzó a marchitarse, coincidiendo con la expansión del campo fumarólico alrededor del cráter oeste; el cual ha sido el sitio de actividad durante estos 4 años (Duarte, 2008).

El cambio en superficie más relevante se da en forma de quemaduras en vegetación y en corrosión. El paisaje siempreverde varió a amarillo y luego a un café intenso debido a la visita

rastrera de las columnas de gas y vapor crecientes. La acidificación del medio provoca, por lo tanto, la mayoría de estragos observados en superficie hasta ahora (Duarte, 2008).

La micro y macrofauna desde la cima hasta las zonas moderadamente afectadas se vieron perjudicadas. Ya desde el 2006 se observó el comportamiento errático de coyotes debido a que sus nichos se encontraban muy cercanos a la cima humeante. Poblaciones más frágiles como los insectos, aves, roedores y anfibios se verían igualmente afectados por la descomposición de la calidad de su ambiente (Duarte, 2008).

Ubicación histórica de las zonas

[Volver arriba]

Parque Nacional Volcán Irazú

El PNVI fue establecido como Parque Nacional el 30 de julio de 1955, cuando se creó el Instituto Costarricense de Turismo (ICT), mediante la Ley Nº 1917 del 30 de julio de 1955 y publicada en La Gaceta Nº 175 del 9 de agosto del mismo año, en el año 1997 el PNVI se amplió mediante el Decreto Ejecutivo Nº 26945-MINAE, cuando se le adicionó el área de Prusia (área recuperada de la devastación ocasionada por las erupciones del Volcán Irazú en 1963), Las actividades eruptivas del Volcán Irazú han sido documentadas en las antiguas crónicas y narraciones sobre intensas erupciones desde el año 1723 (Herrera, 2009).

Parque Nacional Volcán Turrialba

El Parque Nacional Volcán Turrialba por otro lado fue declarado mediante Ley de la República Nº 1917 del 29 de julio de 1955 y publicada en La Gaceta Nº 175 del 9 de agosto del mismo año. Solo se reporta una única actividad eruptiva histórica en el Turrialba ocurrida entre setiembre de 1864 y marzo de 1866, durante este período eruptivo se dieron deslizamientos cerca del cráter activo, así como gran destrucción en el área cuspidal. Parte de estos depósitos se conservan aún en el flanco occidental del cráter activo. Con base en los estudios de peligro volcánico anteriores se establece que la próxima erupción podría suceder en el transcurso de los próximos años o décadas y sus características serían similares a las de 1864-66, similar a la de Irazú de 1963-65 o incluso menor, y afectarían significativamente de 2 a 3 Km alrededor de los cráteres, y provocando la caída de algunos milímetros de ceniza en el área Metropolitana de San José (Herrera, 2009).

METODOLOGÍA

[\[Volver arriba\]](#)

El presente estudio se efectuó en dos áreas de páramo, pertenecientes a los volcanes Turrialba e Irazú, ambos parte del Área de Conservación Cordillera Volcánica Central, bajo la administración del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC).

Ubicación Geográfica de las Zonas de Estudio

[\[Volver arriba\]](#)

El Parque Nacional Volcán Irazú (PNVI) se sitúa en la parte más alta de la Cordillera Volcánica Central de CR a 10,3 Km. en línea directa al noreste de la Ciudad de Cartago. En la división político administrativa del país, se encuentra dentro de los Cantones de Alvarado, Oreamuno y Cartago, en la provincia de Cartago, y Vázquez de Coronado en la provincia de San José (ITCR, 2008). Por su parte el Parque Nacional Volcán Turrialba se encuentra localizado en el cantón de Turrialba en la provincia de Cartago, en la parte más oriental de la Cordillera Volcánica Central, a 24 kilómetros al noroeste de la ciudad de Turrialba (Herrera, 2009).

Localización Geográfica de los Parques Nacionales Volcán Irazú y Volcán Turrialba (ACCVC)

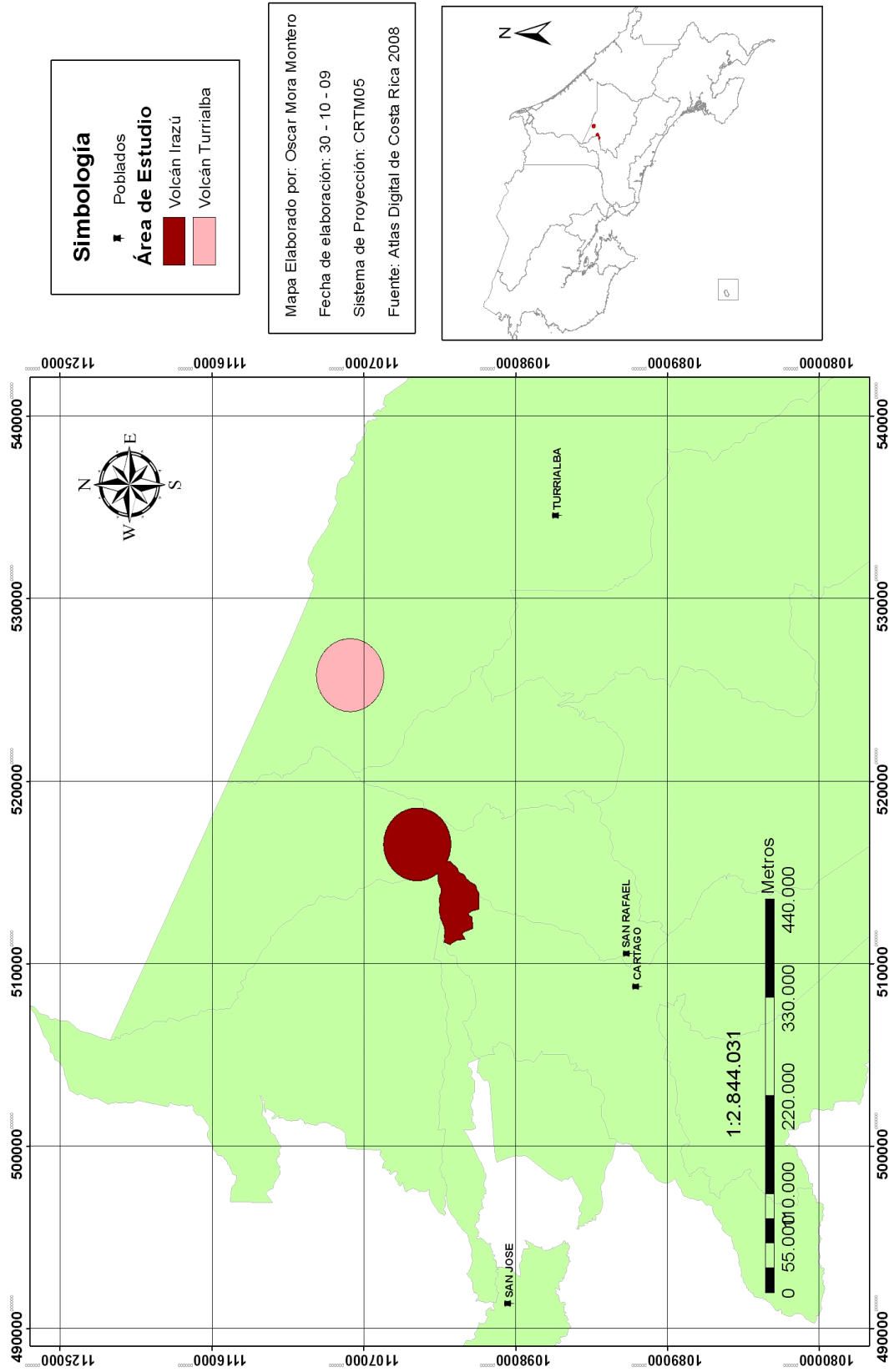


Figura 1. Ubicación de los parques Volcán Irazú y Volcán Turrialba ITCR (2008)

Caracterización Biofísica de las Zonas

[Volver arriba]

El clima del volcán Irazú es muy húmedo y frío en las partes más altas del Volcán, cambiando hacia un clima muy húmedo templado conforme disminuye la altitud hacia la vertiente del Caribe, debido a que este sector está expuesto a los empujes de masas nubosas aportadas por vientos alisios durante todo el año. La precipitación media anual es de 2387 mm. Durante los días más fríos, en la cima, la temperatura es ligeramente inferior al punto de congelación. La temperatura media anual varía de 5°C a 9 °C.; la temperatura máxima promedio es de 17 °C y la mínima de -3 °C. Por el contrario hacia el sector de Prusia el clima es húmedo y frío, con un déficit de agua que varía de pequeño a moderado (Herrera, 2009).

Esta zona se encuentra dentro de tres cuencas hidrográficas: las cuencas de los ríos Reventazón y Chirripó en la vertiente del Caribe; y la cuenca del río Grande de Tárcoles en la vertiente del Pacífico Sobresalen por su importancia hídrica las cabeceras de los ríos Birris, Páez y Reventado en la cuenca del río Reventazón; y los ríos Toro Amarillo y Sucio en la Cuenca del Chirripó; las zonas de vida presentes en este sitio son la zona de vida bosque muy húmedo Montano-BmhM y la zona de vida bosque pluvial Montano-BpM. (Herrera, 2009).

Para el caso del volcán Turrialba se tiene que la temperatura promedio anual es de 16°C en la parte media, mientras que la temperatura promedio en la parte alta es de 8,1°C. En algunos días del año entre los meses de diciembre y abril, la temperatura baja hasta los 0°C. La precipitación reportada para la región, ya que no existe un registro puntual en el parque, oscila entre los 3000 y 4000 mm anuales. El sistema de lluvias es variado durante el año, con meses más lluviosos como por ejemplo diciembre, y meses con menos cantidad de lluvia, como marzo y abril. El periodo efectivamente seco no existe o es muy corto (0 a 2 meses) (Herrera, 2009).

De este parque parten dos cuencas hidrográficas importantes; la cuenca del río Chirripó hacia el noroeste del cráter principal y donde sobresalen el río Mercedes y las quebradas División y Paredes; y la cuenca del río Reventazón al sureste, con los ríos Guayabito y Aquiares y las

quebradas Ariete y Uvita (Atlas de Costa Rica, 2004). Con respecto a la zona de vida, este parque se encuentra localizado en la zona de vida bosque pluvial montano (Herrera, 2009).

Diseño de muestreo

[Volver arriba]

De acuerdo a la delimitación del área por Sistemas de Información Geográfica se tiene que el área de estudio abarca un total de 1966,7 ha, teniéndose para el volcán Irazú un área de 1491,5 ha y para el Volcán Turrialba un total de 475,35 ha; se realizó previamente un recorrido de cada uno de los sitios para delimitar si era necesaria una estratificación. Se concluyó que para el caso del Volcán Turrialba no era necesaria esta, ya que el área se comporta de manera uniforme, para el caso del volcán Irazú se determinaron 3 distintos estratos, utilizando como criterio técnico la composición florística y la densidad de plantas por unidad de área observadas en el recorrido previo.

Una vez delimitados los estratos se realizó un muestreo diagnóstico para delimitar la intensidad de muestreo requerida en cada uno de los dos sitios que permitiera obtener una muestra representativa de la población; Se determinó que era necesaria una intensidad de muestreo de un 0,05% en el Volcán Turrialba lo que representó un total de 25 parcelas, y un 0,02% para el caso del Volcán Irazú, en su estrato de páramo, 0,08% en el sector de torres y 3,5% en el sector de transición, lo que generó un total de 25, 10 y 7 parcelas respectivamente (Anexo 1).

A continuación se hace un resumen de los parámetros utilizados para calcular el error de muestreo.

Cuadro 2. Estadísticos utilizados para el cálculo del error de muestreo

<i>Estadístico Utilizado</i>	<i>Fórmula</i>
Media (\bar{x})	$\bar{x} = \sum x_i / n$
Desviación Estándar (S)	$S = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2 / n}{n-1}}$
Coeficiente de Variación (CV)	$CV = \left(\frac{S}{\bar{x}}\right) * 100$
Error Estándar (S_x)	$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}}$
Error de Muestreo (E)	$E = \frac{t(S_x)}{\bar{x}} * 100$
Donde: x_i = Valor promedio en una parcela n = Número de parcelas de la muestra t = t de student	

El tipo de muestreo realizado fue sistemático con arranque aleatorio, mediante cuadrículas delimitadas con cabuya de 10x10m se censó la vegetación; en cada parcela se midió el número de plantas por parcela, la altura de cada planta, si esta se encontraba afectada se procedía a anotar que tipo de afectación poseía, y el grado en el que esta se presentaba en la planta (25%, 50%, 75% ó 100%, dependiendo del caso); En el anexo 2 se presentan el formulario correspondiente utilizado para la toma de datos . En ambos sitios se procedió a hacer colectas de los especímenes para su posterior identificación en el Instituto Tecnológico de Costa Rica con la colaboración del profesor Ing. Alexander Rodríguez.

En cuanto a la recopilación de datos para el análisis de la fauna, se hicieron recorridos en diversos sitios, haciendo observaciones en horas de la mañana y horas de la tarde, invirtiendo similar tiempo de observación, recorriendo diferentes puntos del páramo. Con esto se

clasificaron las especies en abundantes (> 10 observaciones realizadas), común (5 – 10 observaciones realizadas), poco común (1 – 4 observaciones realizadas) y rara (1 observación o menos) (Barrantes, 2005).

Para la masto fauna se realizó la recolección de datos con base en observaciones durante los recorridos, o en las parcelas establecidas, se tomó en consideración la observación directa del animal, así como rastros dejados por estos en el campo (huellas, excremento, pelo, etc.). La misma metodología se empleó para el caso de los anfibios y reptiles.

Análisis de Datos

[Volver arriba]

Para todos estos grupos se determinaron índices de biodiversidad, los índices utilizados corresponden al índice de Margalef, índice de Shannon, índice de Simpson; mediante las siguientes fórmulas:

- Índice de Margalef

$$I = \frac{s-1}{\ln N}$$

Donde:

I: es la biodiversidad

S: es el número de especies presentes

N: es el número total de individuos

- Índice de Shannon

$$H' = - \sum p_i \ln(p_i)$$

Donde:

H' : Diversidad de Shannon

p_i : (n_i/N) Abundancia proporcional

- Índice Simpson

$$D = \sum \left[\frac{n_i (n_i - 1)}{N(N-1)} \right]$$

Donde:

n_i : Número de individuos de la i -ésima especie.

N : Número de individuos totales

Se determinó adicionalmente la similitud entre los distintos sitios para lo cual se utilizaron medidas de Similaridad, dentro de éstas se encuentran los índices de Similaridad de Jaccard, el índice de Sorensen, el coeficiente cuantitativo de Sorensen, y el índice de Morisita-Horn, para los cuales se tienen las siguientes fórmulas:

- Índice de Jaccard

$$C_J = \frac{j}{a+b-j}$$

Donde:

a: Número de especies en el ecosistema A

b: Número de especies en el ecosistema B

j: Número de especies compartidas por las comunidades

- Coeficiente de Sorensen

$$C_s = \frac{2j}{(a+b)}$$

Donde:

a: Número de especies en el ecosistema A

b: Número de especies en el ecosistema B

j: Número de especies compartidas por las comunidades

- Coeficiente cuantitativo de Sorensen

$$C_n = \frac{2jN}{(aN + bN)}$$

Donde:

aN: Número de individuos en el ecosistema A

bN: Número de individuos en el ecosistema B

jN: Sumatoria de las abundancias más bajas ocurridas en los dos ecosistemas

- Índice de Morisita-Horn

$$C_{mH} = \frac{2\sum(an_i bn_i)}{(da + db) aN bN}$$

Donde:

aN: Número de individuos totales en el ecosistema A

an_i: Número de individuos de la i-ésima especie de la comunidad A

bN: Número de individuos totales en el ecosistema B

bn_i: Número de individuos de la i-ésima especie de la comunidad B

$$da = \frac{\sum an_i^2}{aN^2} \quad \text{y} \quad db = \frac{\sum bn_i^2}{bN^2}$$

Con respecto a las variables naturales, se evaluaron dos afectaciones, el posible impacto que produciría en este ecosistema el cambio climático y la afectación de la vegetación por la lluvia ácida producto de la actividad volcánica reciente del Volcán Turrialba, el cual ha estado emitiendo gases que han desencadenado fenómenos de lluvia ácida en la zona, así como la caída de ceniza en las hojas

Para medir el impacto de la lluvia ácida producto de la actividad volcánica se determinó los índices de incidencia y severidad, los cuales miden el estado de afectación de las plantas ante estos estímulos, para esto se utilizaron las siguientes fórmulas:

- Incidencia:

$$I = \frac{\text{Número de individuos Afectados}}{\text{Total de individuos}} * 100$$

- Severidad:

$$S = \frac{N_A(\text{puntomedio de clase}) + N_B(\text{puntomedio de la clase}) + \dots + N_N(\text{puntomedio de la clase})}{\text{Total de individuos afectados}}$$

Dónde:

N_A, N_B, N_N : número de individuos afectados en esa clase

Para este caso se establecieron 4 categorías las cuales se muestran en el cuadro 3

Cuadro 3 Categorías utilizadas para la evaluación de afectación por lluvia ácida en el páramo de los Volcanes Turrialba e Irazú

Categoría	Porcentaje de afectación	Punto medio de la clase
1	0,1-25	12,55
2	25,1-50	37,55
3	50,1-75	62,55
4	75,1-100	87,55

Para la afectación por el cambio climático se utilizó como base las capas de un estudio realizado por el Centro del Agua del Trópico Húmedo para Latinoamérica y el Caribe (CATHALAC) para la región centroamericana en el que se determina el índice de severidad de cambio climático, Para el caso de la CATHALAC las capas se realizaron con base en dos distintos modelos que son del Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization's Mark 3 of the coupled climate model" (CSIRO) y el "Hadley Centre Coupled model, version 3" (HadCM3), con respecto a ambos, el peor caso (A2) y mejor caso (B2) (CATHALAC, 2008), estas capas fueron realizadas para los años 2020, 2050 y 2080, este índice presenta valores entre uno y 6 donde se tiene que:

2: El ecosistema se está acercando a cambios significativos

3 Los cambios en el ecosistema van a ser significativos variables durante el año

4 El ecosistema está siendo desplazado de la zona de comodidad

5 El ecosistema se encuentra fuera de la zona de comodidad

6 El ecosistema se encuentra completamente afuera de la zona de comodidad

Por otro lado se utilizaron las capas de otro estudio realizado por el departamento de Sistemas de Información Geográfica del Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio) para el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) para todo el territorio nacional; estas capas fueron realizadas con un modelo inglés de alta resolución espacial y temporal llamado Precip, para el escenario A2 al año 2030.

RESULTADOS

Calculo de Error de Muestreo

[Volver arriba]

Cuadro 4 Cálculo del error de muestreo para el muestreo realizado en los volcanes Turrialba e Irazú

	Volcán Turrialba	Volcán Irazú		
	<i>Páramo</i>	<i>Páramo</i>	<i>Torres</i>	<i>Transición</i>
<i>Número de Parcelas</i>	25	25	10	7
<i>Promedio (X)</i>	162,6	124,40	67,1	58,29
<i>Desviación Estándar (S)</i>	12,81	10,97	11,08	10,19
<i>C. Variación (CV)</i>	7,88	8,82	16,51	17,49
<i>Error Estándar (Sx)</i>	2,56	2,19	1,25	3,85
<i>Error de muestreo (E)</i>	2,70	3,02	3,41	12,84

Para el Volcán Turrialba se obtuvo un promedio de 162,6 plantas por parcela con una desviación estándar de los datos del 12,81 y un coeficiente de variación del 7,88, para un error estándar de 2,56 y un error de muestreo del 2,70%.

En el caso del Volcán Irazú se determinaron tres estratos de acuerdo a características florísticas, estos estratos fueron denominados: páramo, sector de torres y sector de transición; para estos se establecieron 25, 10 y 7 parcelas respectivamente. Para el sector páramo se encontraron 124,4 plantas en promedio por parcela, mientras que para los sectores de torres y transición se obtuvieron 67,1 y 58,29 plantas por parcela correspondientemente; esto generó desviaciones estándar de 10,97; 11,08 y 10,19 con coeficientes de variación de 8,82; 16,51 y 17,49 según corresponda, para un error estándar de 2,19; 1,25 y 3,85; con un error de muestreo del 3,02%, 3,41% y 12,84% para cada sitio respectivamente.

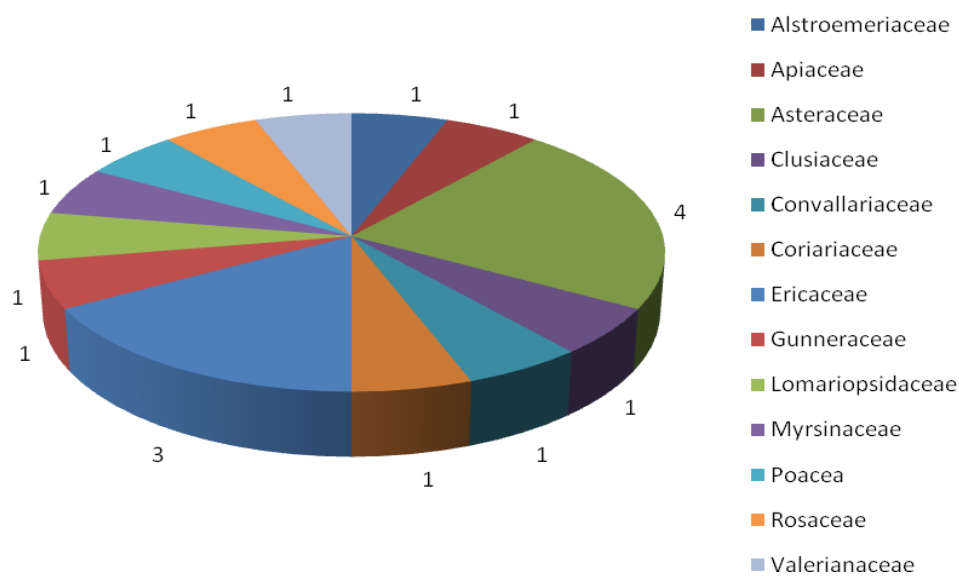


Figura 2 Distribución de especies por familia para el páramo del Volcán Turrialba

Para el caso del Volcán Turrialba se encontraron 13 familias repartidas en 18 especies, la familias que reportó más especies fue la *Asteraceae* con 4 especies (*Senecio oerstedianus*, *Ageratina pichinchensis*, *Ageratina anisochroma* y *Diplostephium costaricense*), seguida por la familia *Ericaceae* con 3 especies (*Pernettya prostrata*, *Gaultheria erecta* y *Vaccinum sp*); las restantes 11 familias fueron encontradas con una especie cada una, en el anexo 4 Se muestran las lista completa de especies encontradas para cada familia en ambos sitios.

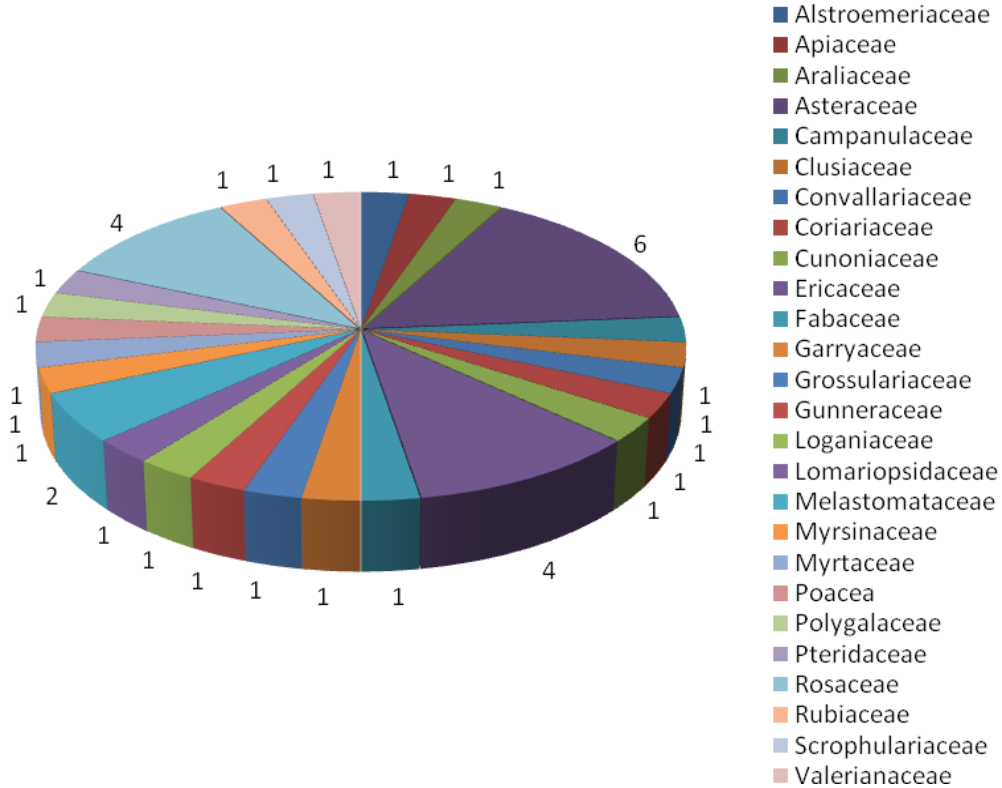


Figura 3 Distribución de especies por familia para el páramo del Volcán Irazú

Entre los tres estratos identificados en el Volcán Irazú se identificaron un total de 26 familias, repartidas en 38 especies; de las cuales, al igual que en el caso del Volcán Turrialba, las familias con más representantes fueron la familia *Asteraceae* en este caso representada en 6 especies (*Ageratina anisochroma*, *Ageratina pichinchensis*, *Cirsium sp*, *Diplostephium costaricense*, *Senecio oerstedianus* y *Senecio multivenius*), seguido de las familias *Ericaceae* (*Comarostaphylis arbutoides*, *prostrata*, *Gaultheria erecta* y *Vaccinum sp*), y *Rosaceae* (*Acaena elongata*, *Hesperomeles heterophylla*, *Holodiscus argenteus* y *Rubus eriocarpus*) con 4 especies cada una; posteriormente se encuentran la familia *Melastomataceae* con dos especies (*Monochaetum floribundum* y *Miconia sp*); y para el resto de las familias se encontró una especie en cada una.

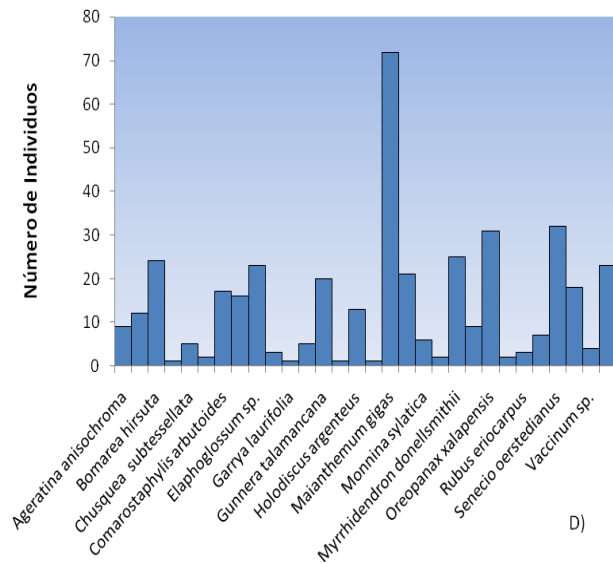
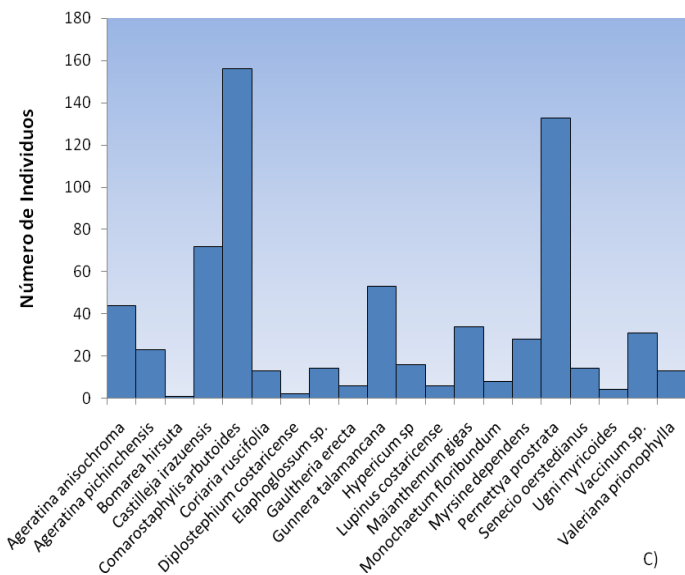
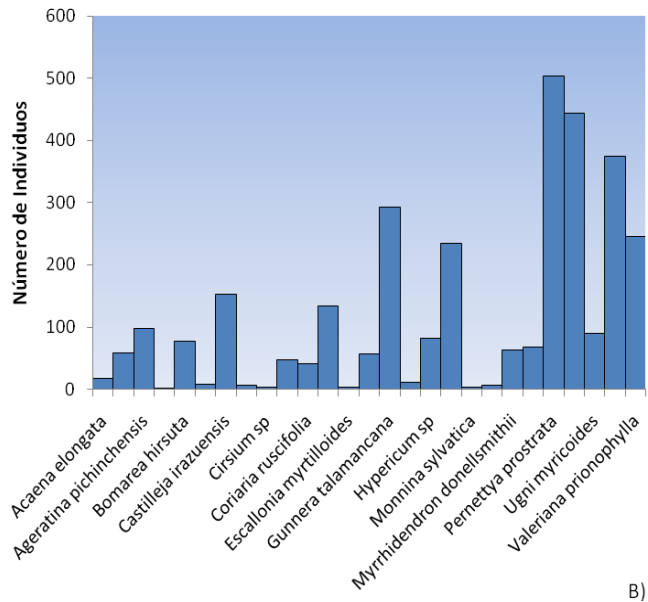
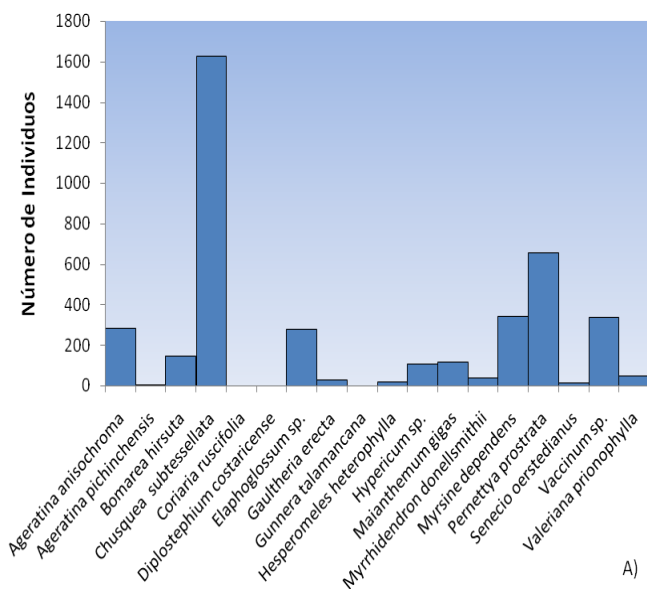


Figura 4 Distribución de abundancias encontradas en el estudio realizado en el páramo de los volcanes Turrialba e Irazú: A) Páramo Volcán Turrialba; B) Páramo Volcán Irazú; C) Sector Torres; D) Sector Transición.

Como puede observarse en el cuadro grafico A perteneciente al Volcán Turrialba, la especie más abundante fue la especie *Chusquea subtesselata* ya que para este sitio, de los 4065

individuos medidos, esta especie representa el 40 del total seguido por la especie *Pernettya prostrata* (16,14%), *Vaccinum sp* (8,31%), *Ageratina anisochroma* (7,01%) y *Elaphoglossum sp* (6,89%); el resto de las especies presentes representa menos de 4% cada una

Para el caso del páramo del Volcán Irazú (gráfico B) se obtuvo que la especie que presentaba la mayor abundancia fue *Pernettya prostrata* con 504 de los 3110 individuos del total, lo que representa un 16,21% del total de las especies encontradas; otras especies que siguieron en abundancia fueron *Senecio oerstedianus*, con 444 individuos para un 14,28% del total, *Vaccinum sp* con 374 individuos para un 12,03% del total y la especie *Gunnera talamancana* con 292 individuos para un 9,39% del total; a diferencia del páramo del Volcán Turrialba, en este caso la especie *Chusquea subtesselata* solo fue encontrada en 5 oportunidades lo que representa una abundancia del 0,16%.

En el sector de torres la especie que presentó la mayor abundancia fue la especie *Comarostaphylis arbutoides* con 156 individuos de un total de 671, lo que representa un 23,25%, esta fue seguida por la especie *Pernettya prostrata* con 133 individuos para un 19,82% del total, la especie *Castilleja irazuensis* con 72 individuos (10,73%), la especie *Gunnera talamancana* con 53 individuos (7,90%) y la especie *Ageratina anisochroma* con 44 individuos (6,56%).

Para el sector de transición se tiene una mayor abundancia de la especie *Maianthemum gigas* con 72 individuos de un total de 408, representando un 17,65% del estrato, las siguientes especies en abundancia fueron *Senecio oerstedianus* con 32 individuos para un 7,84%; *Oreopanax xalapensis* con 31 individuos y un 7,60%; *Myrrhidendron donellsmithii* con 25 individuos y 6,13% y la especie *Bomarea hirsuta* con 24 individuos y un 5,88%; en los anexos 5, 6, 7 y 8 se observa en detalle la abundancia con sus respectivos porcentajes para el total de las especies de todos los sitios.

En lo que respecta a la estructura vertical encontrada en el Volcán Turrialba, se encontraron individuos que van desde los 10 centímetros de altura hasta los 3 metros con 83 centímetros como se muestra en la figura 5.

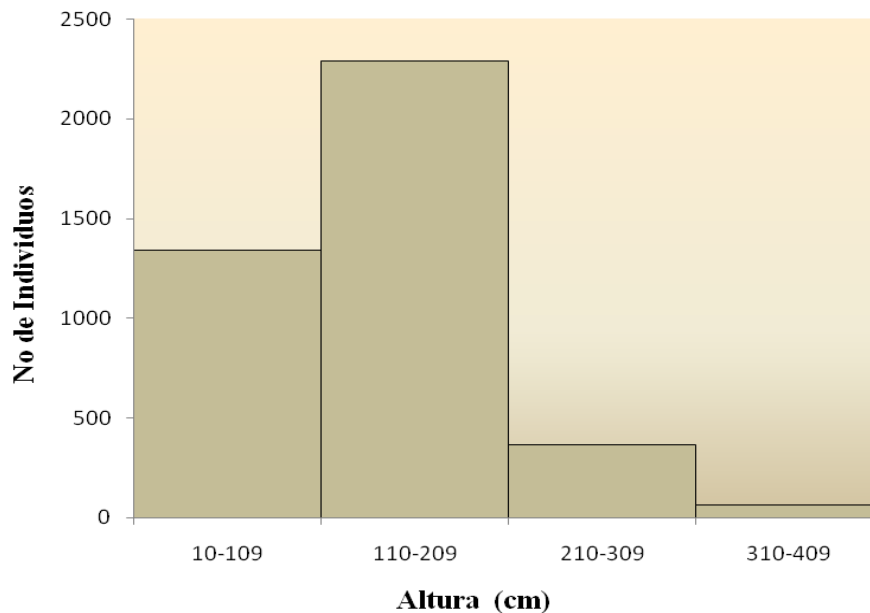


Figura 5 Cantidad de individuos de acuerdo a su altura para el páramo del Volcán Turrialba

Como puede observarse la mayoría de los individuos se encuentran ubicados entre los 110 cm y los 210cm, un total de 2292 individuos de los 4065 se encontraron en esta categoría, seguida por la primera categoría que abarca de los 10 cm a los 110 cm , en esta se ubicaron 1339 individuos, mientras que en la última categoría se ubicaron únicamente 65 individuos; con respecto a como se comportaron las especies por alturas los resultados obtenidos pueden observarse en el Anexo 9

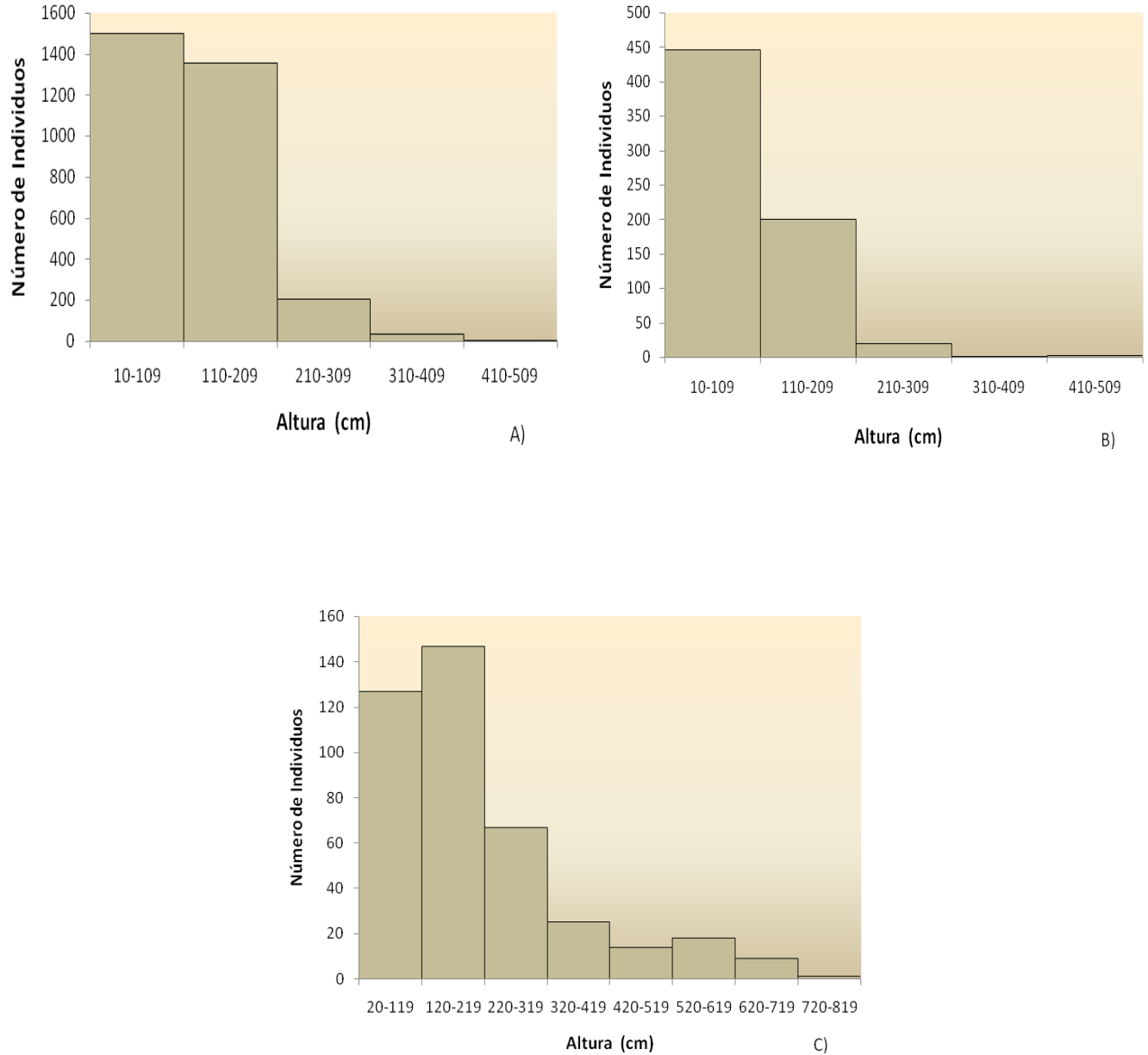


Figura 6 Cantidad de individuos de acuerdo a su altura para el páramo del Volcán Irazú; A) Sector Páramo, B) Sector Torres, C) Sector Transición

Para el Volcán Irazú se tuvo para los tres sectores que la mayoría de los individuos desarrollan poca altura, concentrándose la mayoría de la población en el primer estrato al igual que en el Volcán Turrialba, sin embargo puede observarse que para estos casos se dan alturas mayores a las encontradas en el caso de Turrialba; para el caso del sector páramo se midieron individuos de hasta 5 metros, y de 4,35 metros en el sector de torres, para el sector

de transición se lograron encontrar individuos que alcanzaban los 7,45 metros. En los anexos 10, 11 y 12 se presenta la distribución por alturas para los tres estratos del Volcán Irazú.

Con respecto a los índice de diversidad calculados los resultados se resumen en el cuadro 5

Cuadro 5 Determinación de Índices de diversidad para el páramo de los volcanes Turrialba e Irazú

Índice	Volcán Turrialba	Volcán Irazú		
	<i>Páramo</i>	<i>Páramo</i>	<i>Torres</i>	<i>Transición</i>
<i>Shannon</i>	1.96	2.66	2.42	2.94
<i>Margalef</i>	2.05	3.23	2.92	4.82
<i>Simpson</i>	0.21	0.09	0.12	0.07

Para el caso del Volcán Turrialba se obtuvo un índice de Shannon de 1,96; un poco menor que el encontrado en los tres sitios del volcán Irazú, en donde se obtuvo un valor de 2,66 para el páramo, de 2,42 para el sector de torres y 2,94 para el sector de transición, siendo este último el más diverso de los cuatro sitios.

Para el índice de Margalef al igual que en el caso de Shannon se obtiene que el páramo del volcán Turrialba es menos diverso que sus similares en el volcán Irazú, este valor encontrado en el Turrialba de 2,05 hace pensar en un ecosistema con una diversidad baja ya que, para este índice, valores cercanos a dos se consideran poco diversos, mientras que valores superiores a 5 se consideran con una alta diversidad, puede observarse que el valor en el sector transición se acerca bastante (4,82) haciendo que este sitio tenga una diversidad considerable

Con respecto al índice de Simpson este da la probabilidad de que dos individuos de la misma especie sean tomados al azar, para el caso del Volcán Turrialba esta posibilidad es de 0,21; mientras que para el Volcán Irazú se obtuvieron valores de 0,09; 0,12 y 0,07 para el sector páramo, sector torres y sector transición respectivamente

Se comparó también la similitud entre el páramo del Volcán Turrialba y el sector Páramo del Volcán Irazú, en el cuadro 6 se presentan los resultados obtenidos.

Cuadro 6 Medidas de Similaridad encontradas entre el páramo de los Volcanes Turrialba e Irazú

Índice	Similaridad	Betadiversidad (%)
<i>Índice de Jaccard</i>	0,61	39,29
<i>Coefficiente de Sorensen</i>	0,76	24,44
<i>Coefficiente cuantitativo de Sorensen</i>	0,43	57,00
<i>Índice de Morisita- Horn</i>	0,32	68,00

El índice de Jaccard obtenido fue del 0,61 para una Betadiversidad del 39%, mientras que el coeficiente de Sorensen obtenido fue de 0,76; este es un valor que demuestra que hay una gran cantidad de especies que se comparten, lo que hace que la Betadiversidad disminuya; por otro lado los índices de Similaridad de tipo cuantitativo obtenidos fueron de 0,43 con el coeficiente cuantitativo de Sorensen para una Betadiversidad del 57% y de 0,32 en el caso del índice de Morisita-Horn para una Betadiversidad del 68%, se puede observar una disimilitud entre los valores obtenidos en los índices cualitativos con respecto a los índices cuantitativos donde la Similaridad disminuye razonablemente.

Fauna

[Volver arriba]

Con respecto a la fauna se encontró un total de 17 especies repartidas en 12 familias para el Volcán Turrialba, mientras que para el Volcán Irazú se encontraron 27 especies repartidas en 19 familias, siendo para ambos sitios el grupo más grande presente, el segundo grupo más grande fueron los mamíferos con 3 especies en 3 familias para el Volcán Turrialba y 5 especies en 5 familias para el Volcán Irazú, finalmente solo se reportó una especie de reptiles para los dos sitios, como puede observarse en la figura 7.

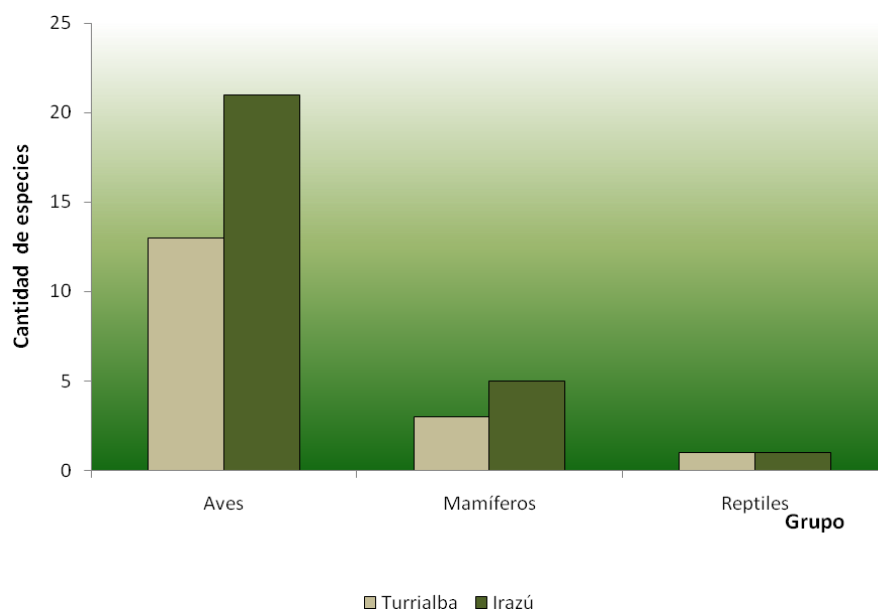


Figura 7 Cantidad de especies por grupo encontradas en los Volcanes Turrialba e Irazú

Con respecto a las especies que se observaron con más frecuencia y como puede observarse en la figura 8 destacan la chispita volcanera (*Selasphorus flammula*) como la especie más frecuente en ambos sitios con 25 y 20 observaciones para el Volcán Turrialba y el Volcán Irazú respectivamente, otros de las especies que fue posible observar frecuentemente fueron el escarhero (*Turdus nigrescens*), el comemaíz (*Zonotrichia capensis*) y la tangara de monte cejiblanca (*Chlorospingus pileatus*).

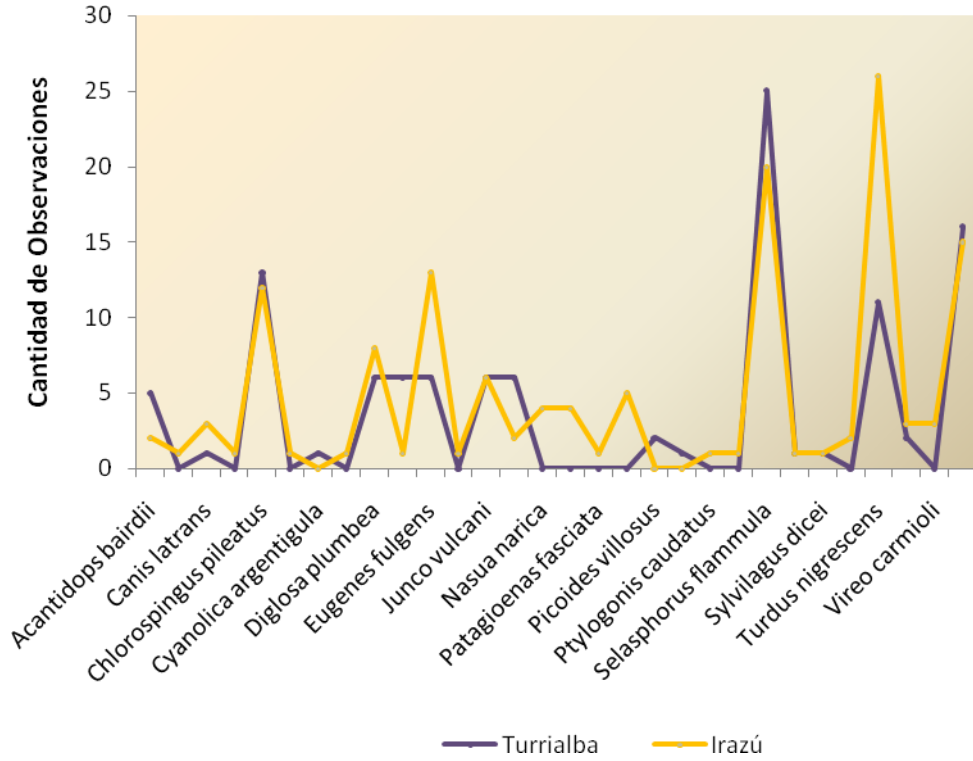


Figura 8 Número de observaciones por especie realizadas en el páramo de los volcanes Turrialba e Irazú

En el anexo 13 Se observa la lista total de especies encontradas con el respectivo número de observaciones realizadas

Con respecto a la abundancia obtenida para el Volcán Irazú la cual se encuentra en el cuadro 7, se puede observar que las especies más abundantes fueron la tangara de monte cejiblanca (*Chlorospingus pileatus*), junto con el colibrí magnífico (*Eugenes fulgens*), la chispita volcanera (*Selasphorus flammula*), el escarchero (*Turdus nigrescens*) y el comemaíz (*Zonotrichia capensis*), aparte hay otras especies que si bien no son tan frecuentes como estas pueden observarse con relativa facilidad, tal es el caso del pinchador plumizo (*Diglossa plumbea*), el junco paramero (*Junco vulcani*) y el saltón patigrande (*Pezopetes capitalis*) ; también existen varias especies que se pueden considerar como poco comunes, entre los que destacan el coyote (*Canis latrans*), el fringilo piquiagudo (*Acanthidops bairdii*) y la reinita garganta de fuego (*Parula gutturalis*); mientras que especies como la paloma collaraja (*Patagioenas fasciata*), el capulinero colilargo (*Ptylogonis caudatus*) y el gavilán colirojo (*Buteo jamaicensis*), se pueden considerar como especies raras en la zona.

Cuadro 7 Determinación de abundancias de fauna para el páramo del Volcán Irazú

Abundantes	Comunes	Poco Comunes	Raras
<i>Chlorospingus pileatus</i> <i>Eugenes fulgens</i> <i>Selasphorus flammula</i> <i>Turdus nigrescens</i> <i>Zonotrichia capensis</i>	<i>Diglossa plumbea</i> <i>Junco vulcani</i> <i>Pezopetes capitalis</i>	<i>Acantidops bairdii</i> <i>Canis latrans</i> <i>Mesaspis monticola</i> <i>Nasua narica</i> <i>Parula gutturalis</i> <i>Thryorchilus browni</i> <i>Turdus plebejus</i> <i>Vireo carmioli</i>	<i>Buteo jamaicensis</i> <i>Catharus graciliostris</i> <i>Crypturellus sp</i> <i>Cypseloides niger</i> <i>Elaenia frantzii</i> <i>Herpailurus yaguarondi</i> <i>Patagioenas fasciata</i> <i>Ptylogonis caudatus</i> <i>Sciurus granatensis</i> <i>Streptoprocne zonaris</i> <i>Sylvilagus dicei</i>

Al igual que en el Volcán Irazú en el caso del Volcán Turrialba y como se observa en el cuadro 8, las especies que se encontraron con mayor frecuencia son la tangara de monte cejiblanca (*Chlorospingus pileatus*), junto con la chispita volcanera (*Selasphorus flammula*), el escarchero (*Turdus nigrescens*) y el comemaíz (*Zonotrichia capensis*), el colibrí magnifico que anteriormente se clasifico como abundante aquí aparece como una especie común junto con el fringilo piquiagudo (*Acantidops bairdii*), el pinchador plumizo (*Diglossa plumbea*) y el junco paramero (*Junco vulcani*), entre otros. Para este sitio dos especies se pueden considerar como poco comunes, tal es el caso de el carpintero serranero (*Picoides villosus*) y el mirlo montañero (*Turdus plebejus*), mientras que especies como el coyote (*Canis latrans*), el puma (*Puma concolor*) y la urraca gorgiplateada (*Cyanolica argentigula*) presentan una frecuencia bastante baja

Cuadro 8 Determinación de abundancias de fauna para el páramo del Volcán Turrialba

Abundante	Comunes	Poco Comunes	Rara
<i>Chlorospingus pileatus</i> <i>Selasphorus flammula</i> <i>Turdus nigrescens</i> <i>Zonotrichia capensis</i>	<i>Acantidops bairdii</i> <i>Diglossa plumbea</i> <i>Elaenia Frantzii</i> <i>Eugenes fulgens</i> <i>Junco vulcani</i> <i>Mesaspis monticola</i>	<i>Picoides villosus</i> <i>Turdus plebejus</i>	<i>Canis latrans</i> <i>Cyanolica argentigula</i> <i>Puma concolor</i> <i>Streptoprocne zonaris</i> <i>Sylvilagus dicei</i>

Con respecto a los índices de diversidad calculados estos se resumen en el cuadro 9:

Cuadro 9 Determinación de los índices de diversidad para la fauna encontrada en el páramo de los volcanes Turrialba e Irazú

<i>Índice</i>	Volcán Turrialba	Volcán Irazú
<i>Shannon</i>	2,41	2,73
<i>Margalef</i>	3,41	4,77
<i>Simpson</i>	0,11	0,08

Se obtuvo para el Volcán Turrialba un índice de Shannon del 2,41, mientras que el índice de Margalef fue de 3,41, y presenta una probabilidad de escoger dos individuos de la misma especie de una muestra al azar de 0,11; para el caso del Volcán Irazú se obtuvo un índice de Shannon muy similar al encontrado en Turrialba con un valor de 2,73; sin embargo el índice de Margalef obtenido es un poco mayor, pues se obtuvo un valor bastante alto de 4,77; y en este caso la probabilidad que genera el índice de Simpson es de 0,08.

Cuadro 10 Determinación de la Similaridad para la fauna encontrada en el páramo de los volcanes Turrialba e Irazú

Índice de Similaridad	Similaridad	Betadiversidad
<i>Índice de Jaccard</i>	0,32	68,18
<i>Coefficiente de Sorensen</i>	0,64	36,36
<i>Coefficiente cuantitativo de Sorensen</i>	0,69	30,77
<i>Índice de Morisita-Horn</i>	0,89	11,15

Para los coeficientes de Similaridad cualitativos se obtuvo un índice de Jaccard bajo de 0,32 con una Betadiversidad del 68,18%, mientras que el coeficiente de Sorensen obtenido fue de 0,64 con una Betadiversidad de 36,36%, el cual es muy semejante a los valores obtenidos con los coeficientes cuantitativos, pues se obtuvo un coeficiente cuantitativo de Sorensen de 0,69 y una Betadiversidad de 30,77% y un coeficiente de Morisita-Horn de 0,89 para una Betadiversidad de 11%

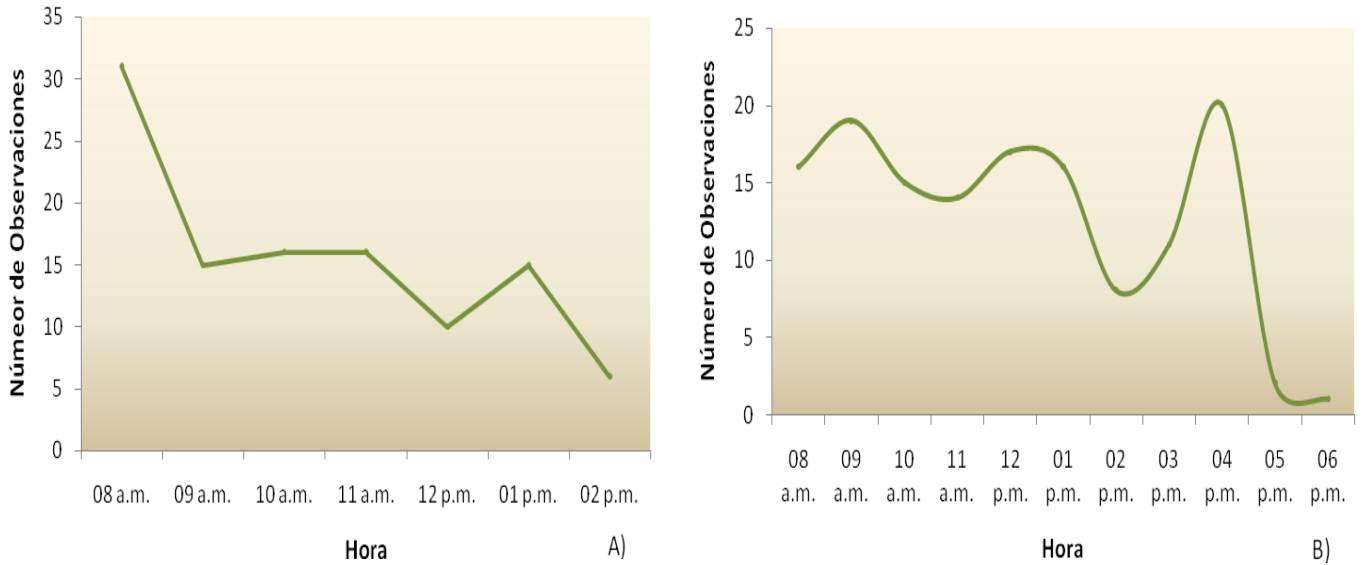


Figura 9 Número de individuos por Hora de observación para el páramo de los Volcanes Turrialba (A) e Irazú (B).

En la relación entre el número de observaciones de acuerdo a la hora del día, se puede observar que la mayoría de las observaciones fueron hechas en las primeras horas de la mañana en ambos sitios y para los dos sitios se observa que se marca una tendencia a que conforme avanza el día disminuye la cantidad de observaciones hasta llegar a un mínimo que para el caso de el Volcán Turrialba se da cercano al medio día y para el Volcán Irazú se da cerca de las 2 de la tarde, posteriormente se vuelve a dar un incremento en la actividad de las especies y acercándose a las horas de la noche la actividad empieza a decaer nuevamente. En los anexos 14, 15, 16 y 17 se puede observar el detalle del comportamiento de las especies de acuerdo a la hora de observación.

Incidencia y Severidad

[Volver arriba]

Cuadro 11 Cálculo de la Incidencia y severidad de afectación por lluvia ácida en los volcanes Turrialba e Irazú

	Volcán Turrialba	Volcán Irazú		
	<i>Páramo</i>	<i>Páramo</i>	<i>Torres</i>	<i>Transición</i>
Incidencia (%)	65,34	22,73	10,73	9,07
Severidad	65,65	22,12	19,58	22,8

Al calcular la incidencia en los sitios se determinó que un 65,34% del total de los individuos del Volcán Turrialba analizados presentaba algún tipo de afectación, mientras que el páramo del volcán Irazú presentó una incidencia del 22,73%, mientras que para los sectores de torres y transición se obtuvo un 10,73% y 9,07% de incidencia respectivamente.

En cuanto a la severidad se tiene que es de 65,65 para el Volcán Turrialba, de un 22,12 para el páramo del Volcán Irazú, de un 19,58 para el sector de torres y de 22,8 para el sector de transición

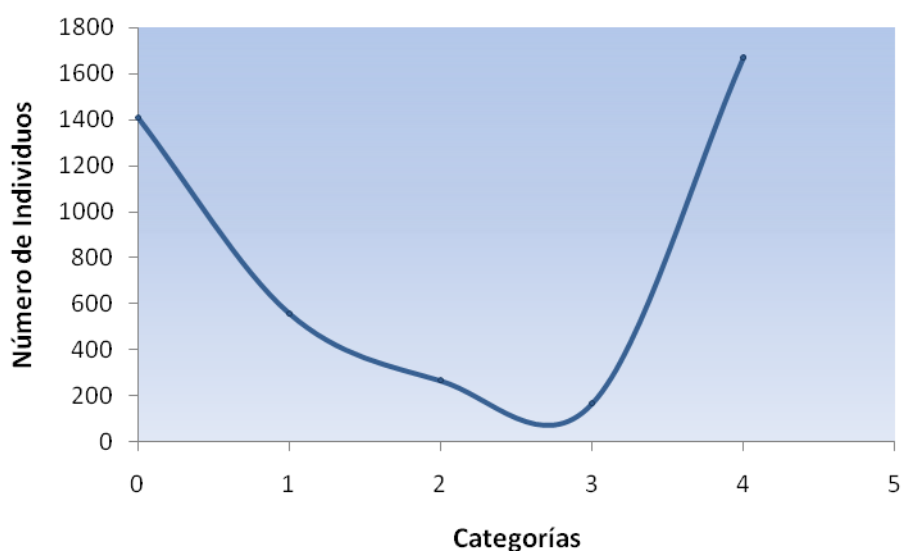


Figura 10 Número de Individuos por categoría de afectación para el Volcán Turrialba

En la afectación por lluvia ácida se encontró para el Volcán Turrialba se encontró que una gran cantidad de los individuos se encontraban sanos pese a la actividad tan intensa del volcán de los últimos meses, se encontró que 1409 de los 4065 analizados se encontraban sanos, mientras que 557 presentaban hasta un 25% de afectación, 264 presentaban entre un 25% y un 50% de afectación, 165 individuos presentaban entre 50% y 75% de afectación y otra gran cantidad 1609 individuos se encontraban entre el 75% y el 100% de afectación, en el cuadro 12 se presentan los valores de afectación para las 5 especies más abundantes.

Cuadro 12 Valores de afectación para las 5 especies más abundantes del páramo del Volcán Turrialba

Especie	0	1	2	3	4	Total general
<i>Chusquea subtessellata</i>	103	2	3		1519	1627
<i>Pernettya prostrata</i>	387	146	67	47	9	656
<i>Myrsine dependens</i>	191	72	41	33	5	342
<i>Vaccinum sp.</i>	215	65	39	14	5	338
<i>Ageratina anisochroma</i>	147	116	18	3	1	285

Como puede observarse para la mayoría de las especies se encontró que un buen número de los individuos se encontraban sanos y conforme se avanzaba en porcentaje de afectación se encontraban menos individuos, excepto para la especie *Chusquea subtessellata* para la que la mayoría de individuos habían sufrido la caída de las hojas y el amarillamiento de las plantas. En cuanto al resto de las especies la mayoría de las afectaciones se reflejaban tanto en la caída completa de las hojas o la quema de estas como en el caso de la especie *Elaphoglossum sp.*, en la cual se da una quema desde los bordes de la hoja hacia el centro de la misma y del ápice a la base de la hoja.

En el anexo 16 Se puede encontrar la cantidad de individuos por afectación para el total de las especies encontradas

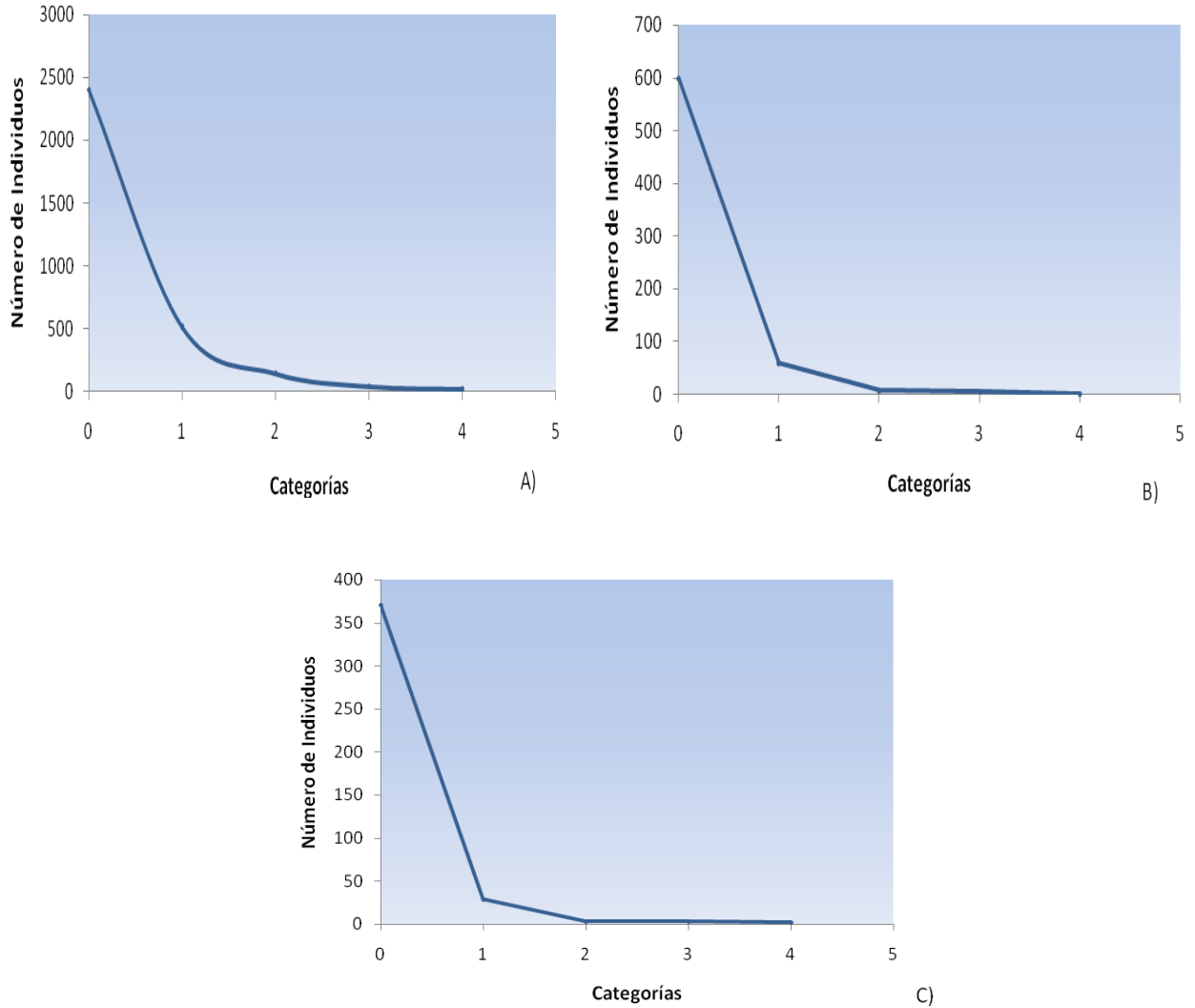


Figura 11 Número de Individuos por categoría de afectación para el Volcán Irazú. A) Sector Páramo, B) Sector Torres, C) Sector Transición

Para la afectación en el Volcán Irazú, se obtuvo para los tres sitios que es muy poca, como puede observarse en las tres figuras para los tres estratos del lugar, la mayoría de individuos se encuentran sanos. Conforme se aumenta el porcentaje de aceptación se encuentran menos individuos observándose únicamente 17 de los 3110 individuos del sector páramo analizados en la última categoría de afectación, igual caso pasa en los otros dos sectores donde se encontraron sólo dos individuos en esta última categoría para cada sitio.

Cuadro 13 Valores de afectación para las 5 especies más abundantes del Sector Páramo del Volcán Irazú

Especie	0	1	2	3	4	Total general
<i>Pernettya prostrata</i>	449	37	11	7		504
<i>Senecio oerstedianus</i>	411	30	3			444
<i>Vaccinum sp</i>	325	31	11	6	1	374
<i>Gunnera talamancana</i>	77	158	51	3	3	292
<i>Valeriana prionophylla</i>	244	2				246

Como se mencionó anteriormente las mayoría de individuos se encontraba sana y conforme se aumenta el porcentaje de afectación el número de individuos disminuye esto puede observarse en el cuadro 12 en donde se presenta la afectación para las especies más abundantes, puede observarse como para los casos de *Pernettya prostrata*, *Senecio oerstedianus*, *Vaccinum sp* y *Valeriana prionophylla* tuvieron este comportamiento, mientras que en el caso de *Gunnera talamancana* donde 158 de los 292 individuos poseían un 25% de afectación, en el anexo 17 se puede observar la afectación para todas las especies de este estrato.

Cuadro 14 Valores de afectación para las 5 especies más abundantes del Sector Torres del Volcán Irazú

Especie	0	25	50	75	100	Total general
<i>Comarostaphylis arbutoides</i>	145	11				156
<i>Pernettya prostrata</i>	132	1				133
<i>Castilleja irazuensis</i>	72					72
<i>Gunnera talamancana</i>	17	35	1			53
<i>Ageratina anisochroma</i>	44					44

Para las especies más abundantes del sector de torres se encontró que 2 de las 5 especies más abundantes no se presentaron afectación, y de las 3 que si lo presentaron únicamente la especie *Gunnera talamancana* presentó más de un 25% de afectación, en el anexo 18 se puede observar la afectación para todas las especies de este estrato.

Cuadro 15 Valores de afectación para las 5 especies más abundantes del Sector Torres del Volcán Irazú

Especie	0	25	50	75	100	Total general
<i>Maianthemum gigas</i>	49	16	2	3	2	72
<i>Senecio oerstedianus</i>	31	1				32
<i>Oreopanax xalapensis</i>	31					31
<i>Myrrhidendron donellsmithii</i>	24	1				25
<i>Bomarea hirsuta</i>	24					24

Similar caso se encontró para el sector de transición donde de las 5 especies más abundantes solo dos presentaron algún nivel de afectación, y la especie *Maianthemum gigas* fue de las especies más abundante la que presentó individuos afectados en todas las categorías, pero más de la mitad de los individuos de esta especie se encontraban sanos, en el anexo 19 se puede observar la afectación para todas las especies de este estrato.

Cambio Climático

[Volver arriba]

Con respecto al análisis de la información brindada por el Instituto Nacional de Biodiversidad, se obtuvo el potencial cambio que sufrirá el área de estudio en cuanto a precipitación y temperaturas, tanto máxima como mínima, los mapas donde se demuestran los resultados obtenidos se presentan en los anexos 20, 21 y 22; puede observarse que para el caso de la precipitación se tiene que para ambos sitios no se van a presentar variaciones significativas, manteniéndose constante para la mayor parte del área la precipitación en comparación con la línea base de datos de 1961 a 1990, solo hay una pequeña área que no corresponde al ecosistema páramo que se encuentra en el extremo sur del Parque Nacional Volcán Irazú donde se podría presentar una eventual disminución en la precipitación.

Para el caso de la temperatura se va a dar un aumento de aproximadamente de hasta 4 grados en la parte noreste de Irazú y de hasta 6 grados en Turrialba, con respecto a la temperatura máxima, para la temperatura mínima eventualmente se estaría presentando igualmente un aumento en la temperatura de aproximadamente 2 grados para los dos sitios, esto conlleva a

que el ecosistema se vea alterado por el efecto de estas variaciones, debido a la adaptación que poseen las plantas a estas características climáticas, estas variaciones fueron medidas con los modelos propuestos por el Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC), generándose datos de severidad de cambio climático para el mejor y el peor escenario (B2 y A2 respectivamente), para los años 2050 y 2080, los cuales se pueden encontrar en los mapas adjuntos en los anexos que van del anexo 23 al anexo 30.

Para el año 2050 se tiene que si se presenta el mejor escenario (B2) se estaría obteniendo un índice de severidad de 2 lo que representa que el ecosistema se va a estar acercándose a cambio significativos, en el modelo generado con el HadCM3 se tiene que para el Volcán Turrialba existen pequeños parches en los cuales se entraría en la zona 3 que implica cambios significativos variables durante el año. Para el caso del peor escenario (A2) el modelo generado con el CSIRO se obtiene un valor de severidad bajo de 2 al igual que en el mejor escenario, para el caso del HadCM3 se obtiene un valor de 5 los que implicaría que el ecosistema se encontraría fuera de la zona de comodidad.

En el caso del año 2080 se espera que tanto para el mejor escenario (B2) como para el peor escenario (A2), usando el modelo CSIRO se espera que se obtenga un índice de 3 para este ecosistema dándose cambios significativos a lo largo del año, mientras que para los mismos escenarios evaluados en el modelo HadCM3 se tendrían que el ecosistema estaría fuera de la zona de confort dado que se obtiene un índice de severidad de 5

DISCUSIÓN

Caracterización Florística

[Volver arriba]

Si bien pareciera que esta es una muestra muy pequeña, puede verse que se obtuvo un error de muestreo bastante buena, Louman (2001) menciona al respecto que la intensidad de muestreo va a depender no tanto del área de estudio como de la homogeneidad del mismo, lo que hace pensar que al obtenerse valores de error de muestreo tan aceptables puede deberse a que este ecosistema presenta una alta homogeneidad.

De la cantidad de especies obtenidas se desprende que se encontraron apenas 38 especies, esto es mucho menor a lo reportado por Vargas (2005) que reporta aproximadamente hasta 263 especies para los páramos que llegan hasta los 3500 metros, sin embargo eso se puede deber a que, como el mismo autor menciona, a los páramos de estos dos sitios se les considera como paramillos pues a pesar de que poseen especies propias de páramo poseen una diversidad menor, representando aproximadamente un 23% de las especies que se encontraría en el subpáramo.

Si bien la cantidad de especies encontrada es menor si se encontraron similitudes en cuanto a lo reportado por Luteyn (2005) con respecto a la tendencia a dominar de ciertas familias en el ecosistema, como son el caso de Asteraceae, seguida por otras familias de importancia como Rosaceae, Apiaceae y Ericaceae.

En los resultados de abundancias obtenidos puede observarse que para todos los sitios se tienen tendencias a dominar de distintas especies, esto se puede deber a que se dan asociaciones en este tipo de ecosistemas, como en el caso de la Cordillera de Talamanca donde Chaverri (2005) encontró para los macizos de Chirripo y Buena Vista, que en el ecosistema se tienden a formar distintas asociaciones donde tienden a dominar ciertas especies, por ejemplo reporta comunidades de *Hypericum costarricense* donde se puede presentar una cobertura de la especie dominante del 35 al 80%, dos de las asociaciones encontradas por la autora y que podrían servir para el caso particular de estudio serían la de la comunidad dominada por la especie *Pernettya prostrata*, la cual se podría deber a variables antropogénicas, para esta comunidad, la especie *P. prostrata* representa coberturas de 75% a

95% , acompañada en muchos casos por especies como *Hypericum stenopetalum*, *H. costaricense* y *Castilleja irazuensis*; la otra comunidad sería la de *Chusquea subtesselata* la cual se podría relacionar con la encontrada en el Volcán Turrialba, en esta comunidad la autora menciona que ésta es la comunidad más común que se puede encontrar y que generalmente esta especie se hace acompañar de *Pernettya coriacea*, seguida por *Gnaphalium americanum*, *Hypericum stenopetalum*, *Castilleja irazuensis*, *Vaccinum consanguineum* y *Senecio oerstedianus*; y apareciendo en menor grado especies como *Hesperomeles heterophylla* *Hypericum sp.* *Valeriana longifolia*, entre otras; lo que es muy similar a la asociación encontrada en el Volcán Turrialba donde la dominancia es para *Chusquea subtesselata* seguida por las especies *Pernettya prostrata* y *Vaccinum sp.*

Con respecto al sector de transición, Kappelle (2005) reporta que existen bosques enanos transicionales entre el bosque montano alto dominado por *Quercus costaricensis*, y el páramo propiamente dicho con frecuencia dominado por *Chusquea subtesselata*, en asociación con otros zacates y arbustos achaparrados, y que estos se encuentran principalmente en las cumbres de los volcanes Irazú y Turrialba para el caso de la Cordillera Volcánica Central. Este autor menciona que en la vertiente sur del Volcán Irazú, se presenta un bosque enano subalpino dominado por géneros como *Buddleja*, *Conmarostaphylis*, *Coriaria*, *Escallonia*, *Ageratina* y *Gunnera*; y que estos se ven acompañados por *Acaena*, *Baccharis*, *Bomarea*, *Castilleja*, *Cirsium*, *Fuchsia*, *Gaultheria*, *Holodiscus*, *Hypericum*, *Lachemilla*, *Maianthemum*, *Monnina*, *Monochaetum*, *Muehlenbeckia*, *Myrrhidendron*, *Oreopanax*, *Pernettya*, *Rumex*, *Senecio*, *Vaccinum* y diferentes especies de Poáceas la mayoría encontradas en este estudio

Para los resultados obtenidos en la altura de las especies, Azocar (2006) menciona que el tipo dominante de estos ecosistemas es el resetal-arbustal, el cual se caracteriza por poseer un primer estrato de 1 a 2 metros de altura, constituido por rosetas caulescentes y arbustos, y un segundo estrato continuo a nivel del suelo, formado por plantas en forma de cojín, graminoides e hierbas, lo cual es bastante similar a lo encontrado en el presente estudio, sin embargo, se encontró que se forma estratos a mayor altura hasta alcanzar en algunos sectores los 5 metros de altura. Schneidt et al (1996) menciona que especies como *Escallonia myrtilloides* pueden alcanzar hasta los 6-8 metros de altura , *Comarostaphylis*

arbutoides puede alcanzar hasta los 4 metros de altura, *Hypericum irazuense* que alcanza fácilmente los 4 metros de altura; todas especies encontradas en este estudio.

Azocar (2006) menciona que el porte bajo en altura de las especies esta relacionado a las bajas temperaturas del ambiente y que puede ser el resultado de bajas tasas de división celular o expansión, cese temporal de la producción celular, producción de células más pequeñas o combinaciones de los anteriores.

Para el caso de el sector de transición se encontró que la altura podían llegar a los 7 metros que se mantiene dentro del rango de lo reportado por Kappelle (2005) quien señala que este ecosistema se encuentra entre los 4 y los 10 metros.

Puede observarse que la diversidad es baja, lo cual es representativo en el páramo debido a que son pocas las especies las que logran adaptarse a las condiciones atmosféricas tan cambiantes que se dan a estas alturas a lo largo del día, Luteyn (2005) menciona como posible causa la corta edad de la flora paramuna que se evidencia por la presencia de relativamente pocos géneros, por lo que se podría concluir que esta es una tendencia que guardan los ecosistemas de altura.

Para el sector de transición se puede observar que existe una mayor diversidad, principalmente en el índice de Margalef donde se obtuvo un valor muy cercano a 5 el cual es el parámetro para definir una alta diversidad, el hecho de que este parche de bosque enano tan diverso se pueda encontrar en medio páramo Luteyn (2005) lo explica basándose en el hecho de que dependiendo de los factores ambientales como la topografía, la exposición de los suelos, y las condiciones climáticas generales, la línea de la vegetación arbórea puede darse a cualquier altitud.

Se obtiene una similitud considerable entre los dos sitios al analizar las variables cuantitativas, sin embargo al analizar los datos de forma cualitativa se obtiene que la similitud disminuye notablemente, esto se debe a que las variables cuantitativas solo se toma en cuenta la cantidad de especies presentes en ambos sitios, mientras que las variables cualitativas toman en cuenta las abundancias por especie por lo que se pueden generar este tipo de diferencias. Melo (2002) encontró para un ecosistema de manglar un comportamiento

similar al encontrado en este estudio, explicando esas diferencias entre las variables cualitativas y cuantitativas mediante la conclusión de que, lo que los hace estructuralmente diferentes, lo que puede notarse en este caso en el que aunque las especies que se encontraron en el Volcán Turrialba se reportaron igualmente para el Volcán Irazú, las abundancias entre los dos sitios cambian sustancialmente.

Fauna

Con respecto a los mamíferos, Carrillo et al (2005) menciona que aunque no hay muchos estudios sobre la mastofauna de los páramos, se sabe que la riqueza y abundancia de mamíferos en este ecosistema de Costa Rica no es muy alta respecto a la diversidad del mismo grupo en el resto del país, limitándose a unas pocas especies, dentro de las que sobresalen dantas, jaguares, pumas, conejos y musarañas. Con respecto a los anfibios y reptiles, Kappelle (2005) menciona que se han registrado 19 especies dentro de la herpetofauna de los páramos, de las cuales solo 3 son verdaderamente paramunas, de estas tres la única que se reportó en este estudio es *Mesaspis monticola*

Para el caso de las aves, Barrantes (2005) menciona que si bien la mayoría de los páramos costarricenses tienen afinidad con la avifauna de los bosques montano andinos, el rico componente avifaunístico de los Andes está ausente en Costa Rica, como posible consecuencia se resalta la distancia entre las altas montañas de Costa Rica y Suramérica, y la baja conectividad que existe entre los ambientes de alta montaña para estas dos regiones, sin embargo en un estudio realizado por este autor encontró para los páramos de Costa Rica un total de 70 especies de las cuales 12 se consideran aves de páramo, mientras que 34 se consideran como aves de borde de páramo y las restantes 24 especies se consideran ocasionales; esto se ve reflejado en el estudio en el los cuadros donde se hace la comparación de especies por abundancia donde la mayoría de especies que aparecieron como abundantes son las especies reportadas por el autor como de páramo propiamente las que se encontraron como comunes o poco comunes son en su mayoría las que reporta como de borde o periféricas, y las especies raras son las que se reportan como ocasionales.

Se observó una menor cantidad de especies en el volcán Turrialba con respecto al Volcán Irazú, lo cual se vio reflejado en los índices de diversidad; esto puede deberse a que como menciona Duarte (2008) los efectos producto de la actividad volcánica que se ha presentado desde el 2005 en el Turrialba han afectado negativamente poniendo el caso concreto de los coyotes que desde esa fecha empezaron a mostrar un comportamiento errático, debido a que sus nichos se encontraban muy cerca de la cima humeante, y que poblaciones más frágiles como los insectos, aves, roedores y anfibios se vieron igualmente afectados por la descomposición de su ambiente.

Con respecto a la similaridad se obtuvo que entre ambos sitios existe una similitud significativa, la causa principal de esto debe ser la cercanía que existe entre ambas locaciones la que favorece la migración de especies entre ambos sitios.

Lluvia ácida

Con respecto al efecto de la lluvia ácida encontrado para el Volcán Turrialba, la afectación fue poca, esto puede deberse a que en el área donde se efectuaron las mediciones estaba en la dirección opuesta a el lugar donde el viento dirige generalmente la pluma de gases y de donde se ha dado la mayor precipitación de la lluvia ácida, sin embargo, en un par de ocasiones se dio este tipo de precipitación haciendo que se diera este efecto, para el caso del Volcán Irazú el lugar donde se dio la afectación mayor fue el páramo, esto se puede deber a que esta área estaba en la ladera que se encuentra de lado al sector del Volcán Turrialba. González (2006) menciona que los efectos de la lluvia ácida provocan efectos nocivos en el crecimiento y normal desarrollo de la vegetación a largo plazo. En regiones volcánicas activas y en las que, aunque no se hayan producido erupciones a lo largo de miles o cientos de miles de años, pero exista una emanación difusa y continuada de gases, incrementos puntuales en la emisión de los mismos, pueden llegar a afectar de forma negativa al normal desarrollo de la vegetación y los cultivos en los espacios próximos al lugar de salida , también se menciona que el clima, la distancia al punto de emisión y las propias características de la vegetación afectan a la habilidad de las plantas para sobrevivir a un evento de este tipo.

Cambio Climático

Con respecto a la afectación que se podría dar en los próximos años se observa que se podrían dar cambios bastante significativos que podrían poner en peligro el ecosistema, Jiménez (2009) menciona que el riesgo de extinción se daría mayoritariamente en especies con limitados rangos climáticos, requerimientos restringidos de hábitat y dificultades para regenerar, este autor menciona además este autor encontró que para el peor escenario posible estarían desapareciendo en los próximos años 5 distintas zonas de vida dentro de las cuales se encuentra el páramo pluvial subalpino.

Con respecto a la afectación que podría generarse en la fauna, Jiménez (2009) menciona también el caso de los mamíferos los cuales guardan una relación entre la temperatura y la actividad metabólica, ya que mamíferos grandes toleran mejor las temperaturas bajas de los hábitats a los que pertenecen, ya que sufren una pérdida de calor menor, por lo que un aumento en la temperatura podría afectar a este grupo

Este autor menciona que las especies de las zonas altas que muestran dificultad de cruzar paisajes fragmentados, son las que probablemente no tendrán opción para reubicarse, con la consecuente posibilidad de extinción proponiendo como una solución el fortalecimiento de corredores biológicos como una alternativa para mejorar la capacidad de adaptación de las especies y por ende la resiliencia.

CONCLUSIONES

[Volver arriba]

- Se encontró para las dos zonas de estudio un total de 38 especies, de las cuales las principales familias son la *Asteraceae*, *Ericaceae* y *Rosaceae*, tal como se reporta en la literatura.
- Las especies más abundantes fueron *Pernettya prostrata*, *Chusquea subtessellata*, *Comarostaphylis arbutoides* y *Maianthemum gigas* para los sitios de páramo del Irazú, Páramo del Turrialba, sector torres y sector transición respectivamente
- Se encontraron individuos desde los 10 centímetros hasta los 5 metros, excepto en el caso del sector de transición para el que las alturas máximas rondan los 7 metros.
- Se obtuvo una diversidad menor en el Volcán Turrialba con respecto a los tres sitios del Volcán Irazú; de los 4 sitios muestreados el que presentó la mayor diversidad fue el sector de transición
- La similaridad entre los páramos del Volcán Turrialba y el Volcán Irazú es alta y aunque ambos sitios comparten un porcentaje elevado de especies, sus abundancias se distribuyen de forma desigual
- Para el caso de la fauna se encontraron 17 especies para el Volcán Turrialba, y 27 especies en el caso del Volcán Irazú; el grupo más diverso fue el de las aves.
- Para el Volcán Turrialba se encontraron 4 especies clasificadas como abundantes, 6 especies comunes, 2 especies poco comunes y 5 especies raras; para el caso del Volcán Irazú se encontraron 5 especies abundantes, 3 comunes, 8 poco comunes y 11 raras
- Al igual que con la flora en el Volcán Turrialba se obtuvo una diversidad menor que en el Irazú pero esto podría deberse al desplazamiento de especies por la actividad volcánica

- Se encontró que ambos sitios poseen una alta similitud con coeficientes cercanos al 0.6
- La mayoría de observaciones de fauna fueron realizadas en horas de la mañana, con un descenso de actividades cerca del medio día y un posterior repunte en horas de la tarde
- En el caso de la incidencia y la severidad se obtuvo un valor bastante alto en el Volcán Turrialba pues dado que a pesar de que la mayoría de individuos se encontró sano, la afectación de la especie más abundante hace que este valor se incremente; mientras que en el Volcán Irazú la afectación fue baja.

RECOMENDACIONES

[Volver arriba]

- Añadir a este estudio la evaluación de otras variables como el turismo, deforestación y otras variables que pueden afectar significativamente este frágil ecosistema.
- Ampliar el estudio de la fauna para obtener un análisis de datos a lo largo de un periodo mayor de tiempo.
- Invertir mayores recursos en la protección de este ecosistema tan frágil y amenazado.
- Tomar en cuenta las distintas interacciones que se dan en el ecosistema a la hora de la toma de decisiones para las dos áreas de Conservación.

BIBLIOGRAFÍA

[Volver arriba]

- ✚ Avalos, G. 2007. Reseña. Páramos de Costa Rica. (en línea). Revista de biología tropical. 55 (2).743–744. Consultado 27 set 2009. Disponible en: [http://www.ots.ac.cr/tropiweb/attachments/volumes/vol55-2/36-Avalos Rese%C3%B1a%20Kappelle.pdf](http://www.ots.ac.cr/tropiweb/attachments/volumes/vol55-2/36-Avalos%20Rese%C3%B1a%20Kappelle.pdf)

- ✚ Azocar, A; Rada, F. 2006. Ecofisiología de plantas de Páramo. 1 ed. Mérida. VE. Editorial Litorama SA. 182p.

- ✚ Barrantes G. 2005. Aves de los páramos de Costa Rica. . In: Páramos de Costa Rica. Eds. M, Kappelle; S, Horn. 1ed. Heredia. CR. Editorial INBio. 767p.

- ✚ Baslev, H. 1992. Páramo. An andean ecosystem under Human Influence. 1ed. California. US. Academic Press Limited. 281p.

- ✚ Carrillo, E; Wong, G; Sáenz, J; 1999. Mamíferos de Costa Rica. 1 ed. Santo Domingo, Heredia. CR. Editorial INBio. 248p.

- ✚ Chaverri, A. 2005. Comunidades vegetales de los páramos de los macizos de Chirripó y Buena Vista. In: Páramos de Costa Rica. Eds. M, Kappelle; S, Horn. 1ed. Heredia. CR. Editorial INBio. 767p.

- ✚ Croston, J. 2008. Potenciales Impactos de Cambio Climático en la Biodiversidad. (En línea). Consultado 25 mayo 2010. Disponible en: <http://www.cathalac.org/Publicaciones/Cambio-Climatico/Potenciales-Impactos-de-Cambio-Climatico-en-la-Biodiversidad>

- ✚

- ✚ CATHALAC. 2008. Potential impacts of the climate change on biodiversity in Central America, México and the Dominican Republic. (En Línea). Consultado 27 set 2009. Disponible en: http://www.cathalac.org/dmdocuments/2008/climate_biodiversity_cathalac_lowhres.pdf

- ❖ Duarte, E. 2008. Volcán Turrialba: 4 años de acumulación sostenida de efectos. (En línea). Consultado 27 set 2009. Disponible en: <http://www.ovsicori.una.ac.cr/vulcanologia/informeDeCampo/turrialba4years.pdf>

- ❖ Gonzales, E. 2006. Peligros y riesgos volcánicos en biogeografía: Efectos sobre la vegetación. En línea. Consultado 27 set 2009. Disponible en: www.uclm.es/profesorado/egcardenas/ávila.pdf

- ❖ Herrera, H. 2009. Plan de manejo Parque Nacional Volcán Turrialba. (Correo Personal). Cartago. CR. Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), Área de conservación Cordillera Volcánica Central (ACCVC). (email hherrera@accvc.org)

- ❖ Herrera, H. 2009. Plan de manejo Parque Nacional Volcán Irazú. (Correo Personal). Cartago. CR. Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), Área de conservación Cordillera Volcánica Central (ACCVC). (email hherrera@accvc.org)

- ❖ Hofstede, R; Segarra, P; Mena, P. 2003. Los páramos del mundo. Proyecto Atlas Mundial de los páramos. Global Peatland Initiative/NC-IUCN/Ecociencia. Quito. EC. 297 pp.

- ❖ Hofstede, R. 2005. Distribución, Impacto Humano y Conservación de los páramos neotropicales. In: Páramos de Costa Rica. Eds. M, Kappelle; S, Horn. 1ed. Heredia. CR. Editorial INBio. 767p.

- ❖ Instituto Meteorológico Nacional (IMN). 2008. Clima, variabilidad y cambio climático en Costa Rica. (En línea). Consultado el 24 mayo 2010. Disponible en: <http://cglobal.imn.ac.cr/adaptacion.asp>.

- ❖ Instituto Tecnológico de Costa Rica-ITCR, 2004. Atlas Digital de Costa Rica 2004. Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR. Cartago, CR. 1 CD

- ❖ Instituto Tecnológico de Costa Rica-ITCR, 2008. Atlas Digital de Costa Rica 2008. Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR. Cartago, CR. 1 CD

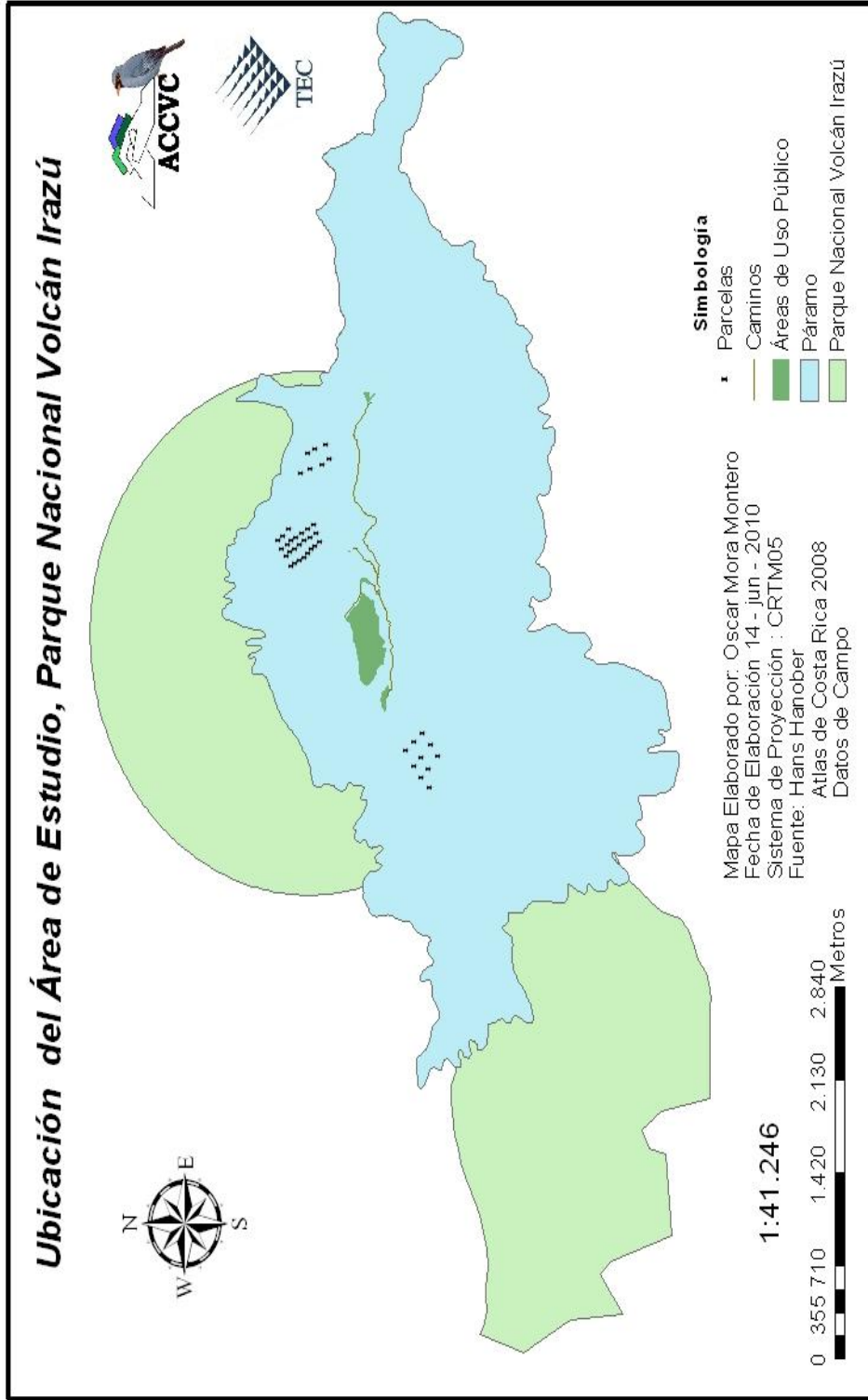
- ❖ Jiménez, J; Morera, Albert. 1996. Propuesta para el manejo silvicultural de dos bosques secundarios de altura, cercanos al área piloto Villa Mills, reserva forestal Río

Macho, Costa Rica. Tesis Lic. Heredia. CR. UNA, Escuela de las Ciencias y el Mar. 99p.

- ❖ Jiménez. 2009. Resiliencia de los ecosistemas naturales terrestres al cambio climático. Tesis para optar por el título de Magister scientiae en manejo y conservación de bosques tropicales y biodiversidad. Turrialba. CR. CATIE. Programa de educación para el desarrollo y la conservación
- ❖ Kappelle, M. 2005. Anfibios y reptiles de los páramos y sus alrededores en Costa Rica. In: Páramos de Costa Rica. Eds. M, Kappelle; S, Horn. 1ed. Heredia. CR. Editorial INBio. 767p.
- ❖ Kappelle, M. 2005. Bosques enanos subalpinos de Costa Rica. In: Páramos de Costa Rica. Eds. M, Kappelle; S, Horn. 1ed. Heredia. CR. Editorial INBio. 767p.
- ❖ Kappelle, M. 2005. Hacia una breve descripción del ecosistema páramo. In: Páramos de Costa Rica. Eds. M, Kappelle; S, Horn. 1ed. Heredia. CR. Editorial INBio. 767p.
- ❖ Louman. 2001. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. 1 Ed. Turrialba. CR. CATIE. 265P.
- ❖ Luteyn, J. 2005. Introducción al ecosistema Páramo. In: Páramos de Costa Rica. Eds. M, Kappelle; S, Horn. 1ed. Heredia. CR. Editorial INBio. 767p.
- ❖ Melo, O; Vargas, R. 2002. Evaluación Ecológica y Silvicultural de Ecosistemas Boscosos. 1 ed. Ibagué. COL. Impresiones Conde. 222p.
- ❖ Schneidt et al. 1996. Estudios de formas de crecimiento de algunas especies típicas del páramo de Costa Rica. Brenesia. No 45-46. 51-112.
- ❖ Sistema Nacional de Áreas de Conservación de CR (SINAC). 2007. Plan de Ordenamiento Territorial para la Conservación de la Biodiversidad de Costa Rica (Grúas II). Análisis de Vacíos de Conservación en Costa Rica. CR. Fecha de

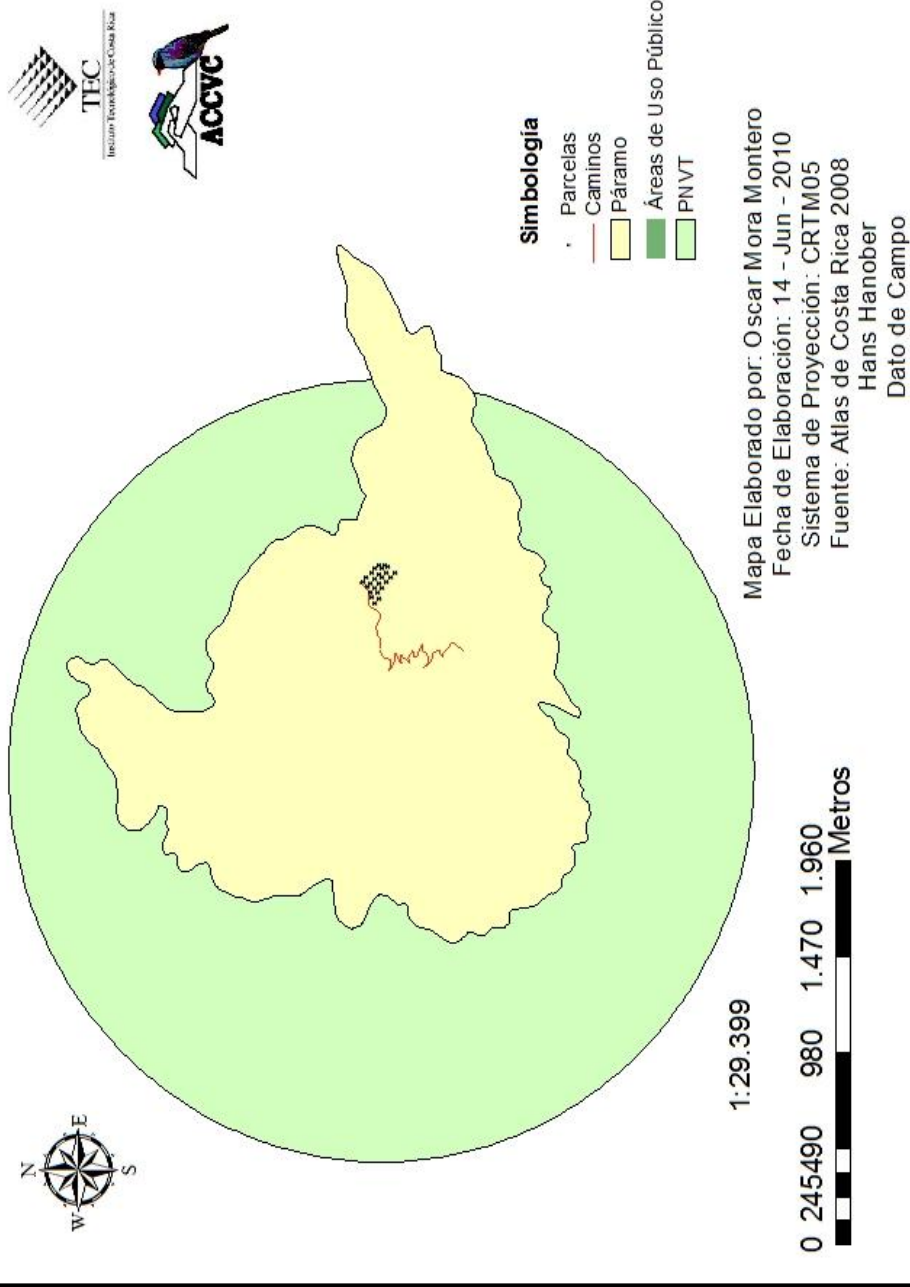
Consulta: 25 set 2009. Disponible en:
http://www.sirefor.go.cr/gruas2/docs/GRUAS_II_vol_I_Final.pdf

- ❖ Sistema Nacional de Áreas de Conservación de Costa Rica (SINAC). 2006. Efectividad de la gestión de las Áreas Silvestres Protegidas en Costa Rica. Ed. Artavia, G; Mora, E; Herrera B. 1ed. The Nature Conservancy. San José. Costa Rica. 47p.
- ❖ Sturm, H. 1985. Ecología de los Páramos andinos: Una visión preliminar integrada. 1 ed. Santa Fe de Bogotá. COL. Editora Guadalupe Ltda. 292p.
- ❖ Sturm, H; Mora, LE. 1994. Estudios Ecológicos del Páramo y del bosque altoandino Cordillera Oriental de Colombia. 1 ed. Santa Fe de Bogotá. COL. Editora Guadalupe Ltda. Vol. 1. 348p.
- ❖ Sturm, H; Mora, LE. 1994. Estudios Ecológicos del Páramo y del bosque altoandino Cordillera Oriental de Colombia. 1 ed. Santa Fe de Bogotá. COL. Editora Guadalupe Ltda. Vol. 2. 715p.
- ❖ Ugalde, J et al. 2009. Biodiversidad y Cambio Climático En Costa Rica. Ed. Ugalde, J. (En línea). CR. Consultado el 24 jun. 2010. Disponible en <http://cglobal.imn.ac.cr/escenarios.asp>. PDF de junio del 2009.
- ❖ Vargas, G; Sánchez, J. Plantas con flores de los páramos de Costa Rica y Panamá: El páramo ístmico. In: Páramos de Costa Rica. Eds. M, Kappelle; S, Horn. 1ed. Heredia. CR. Editorial INBio. 767p.
- ❖ Venegas, W; et al. 1996. Estudio estructural y de composición de vegetación arbórea en el refugio silvestre Gandoca Manzanillo. Practica de Especialidad para Bachillerato en Ingeniería Forestal. Cartago. CR. ITCR. Escuela de Ingeniería Forestal. 74p.
- ❖ Weber, H. 1959. Los Páramos de Costa Rica y su concatenación fitogeográfica con los andes suramericanos. 1 ed. San José. CR. Instituto Geográfico Nacional. 67p.



Anexo 1 Ubicación del Área de estudio en el Parque Nacional Volcán Irazú

Ubicación del Área de Estudio, Parque Nacional Volcan Turrialba



Anexo 2 Ubicación del Área de estudio en el Parque Nacional Volcán Turrialba

Anexo 4 Lista de especies por familia encontradas en el estudio realizado en el páramo de los volcanes Turrialba e Irazú

Familia	Volcán Turrialba Especies	Volcán Irazú Especies
<i>Alstroemeriaceae</i>	<i>Bomarea hirsuta</i>	<i>Bomarea hirsuta</i>
<i>Apiaceae</i>	<i>Myrrhidendron donellsmithii</i>	<i>Myrrhidendron donellsmithii</i>
<i>Araliaceae</i>		<i>Oreopanax xalapensis</i>
<i>Asteraceae</i>	<i>Ageratina anisochroma</i> <i>Ageratina pichinchensis</i> <i>Diplostephium costaricense</i> <i>Senecio oerstedianus</i>	<i>Ageratina anisochroma</i> <i>Ageratina pichinchensis</i> <i>Cirsium sp.</i> <i>Diplostephium costaricense</i> <i>Senecio oerstedianus</i> <i>Senecio multivenius</i>
<i>Campanulaceae</i>		<i>Centropogon sp.</i>
<i>Clusiaceae</i>	<i>Hypericum sp.</i>	<i>Hypericum sp.</i>
<i>Convallariaceae</i>	<i>Maianthemum gigas</i>	<i>Maianthemum gigas</i>
<i>Coriariaceae</i>	<i>Coriaria ruscifolia</i>	<i>Coriaria ruscifolia</i>
<i>Cunoniaceae</i>		<i>Weinmannia pinnata</i>
<i>Ericaceae</i>	<i>Gaultheria erecta</i> <i>Pernettya prostrata</i> <i>Vaccinium consanguineum</i>	<i>Comarostaphylis arbutoides</i> <i>Gaultheria erecta</i> <i>Pernettya prostrata</i> <i>Vaccinium consanguineum</i>
<i>Fabaceae</i>		<i>Lupinus costaricense</i>
<i>Garryaceae</i>		<i>Garrya laurifolia</i>
<i>Grossulariaceae</i>		<i>Escallonia myrtilloides</i>
<i>Gunneraceae</i>	<i>Gunnera talamancana</i>	<i>Gunnera talamancana</i>
<i>Loganiaceae</i>		<i>Buddleja nitida</i>
<i>Lomariopsidaceae</i>	<i>Elaphoglossum sp.</i>	<i>Elaphoglossum sp.</i>
<i>Melastomataceae</i>		<i>Miconia sp.</i>
		<i>Monochaetum floribundum</i>
<i>Myrsinaceae</i>	<i>Myrsine dependens</i>	<i>Myrsine dependens</i>
<i>Myrtaceae</i>		<i>Ugni myricoides</i>
<i>Poaceae</i>	<i>Chusquea subtessellata</i>	<i>Chusquea subtessellata</i>
<i>Polygalaceae</i>		<i>Monnina sylvatica</i>
<i>Pteridaceae</i>		<i>Eriosorus sp.</i>
<i>Rosaceae</i>	<i>Hesperomeles heterophylla</i>	<i>Acaena elongata</i> <i>Hesperomeles heterophylla</i> <i>Holodiscus argenteus</i> <i>Rubus eriocarpus</i>
<i>Rubiaceae</i>		<i>Arcytophyllum lavarum</i>
<i>Scrophulariaceae</i>		<i>Castilleja irazuensis</i>
<i>Valerianaceae</i>	<i>Valeriana prionophylla</i>	<i>Valeriana prionophylla</i>

Anexo 5 Abundancias encontradas para el páramo del Volcán Turrialba

<i>Especie</i>	<i>N</i>	<i>%</i>
<i>Coriaria ruscifolia</i>	1	0,02
<i>Diplostephium costaricense</i>	1	0,02
<i>Gunnera talamancana</i>	2	0,05
<i>Ageratina pichinchensis</i>	4	0,10
<i>Senecio oerstedianus</i>	14	0,34
<i>Hesperomeles heterophylla</i>	21	0,52
<i>Gaultheria erecta</i>	28	0,69
<i>Myrrhidendron donellsmithii</i>	41	1,01
<i>Valeriana prionophylla</i>	48	1,18
<i>Hypericum sp.</i>	108	2,66
<i>Maianthemum gigas</i>	121	2,98
<i>Bomarea hirsuta</i>	148	3,64
<i>Elaphoglossum sp.</i>	280	6,89
<i>Ageratina anisochroma</i>	285	7,01
<i>Vaccinum sp.</i>	338	8,31
<i>Myrsine dependens</i>	342	8,41
<i>Pernettya prostrata</i>	656	16,14
<i>Chusquea subtessellata</i>	1627	40,02
Total General	4065	100

Anexo 6 Abundancias encontradas para el Volcán Irazú Sector Páramo

Especie	N	%
<i>Arcytophyllum lavarum</i>	1	0,03
<i>Escallonia myrtilloides</i>	2	0,06
<i>Cirsium sp</i>	3	0,10
<i>Monnina sylvatica</i>	3	0,10
<i>Chusquea subtessellata</i>	5	0,16
<i>Monochaetum floribundum</i>	6	0,19
<i>Buddleja nitida</i>	7	0,23
<i>Hesperomeles heterophylla</i>	11	0,35
<i>Acaena elongata</i>	17	0,55
<i>Coriaria ruscifolia</i>	41	1,32
<i>Comarostaphylis arbutoides</i>	47	1,51
<i>Gaultheria erecta</i>	56	1,80
<i>Ageratina anisochroma</i>	57	1,83
<i>Myrrhidendron donellsmithii</i>	63	2,03
<i>Myrsine dependens</i>	67	2,15
<i>Bomarea hirsuta</i>	77	2,48
<i>Hypericum sp</i>	81	2,60
<i>Ugni myricoides</i>	89	2,86
<i>Ageratina pichinchensis</i>	97	3,12
<i>Elaphoglossum sp.</i>	133	4,28
<i>Castilleja irazuensis</i>	152	4,89
<i>Maianthemum gigas</i>	235	7,56
<i>Valeriana prionophylla</i>	246	7,91
<i>Gunnera talamancana</i>	292	9,39
<i>Vaccinum sp</i>	374	12,03
<i>Senecio oerstedianus</i>	444	14,28
<i>Pernettya prostrata</i>	504	16,21
Total General	3110	100,00

Anexo 7 Abundancias encontradas para el Volcán Irazú Sector Torres

Especie	N	%
<i>Bomarea hirsuta</i>	1	0,15
<i>Diplostephium costaricense</i>	2	0,30
<i>Ugni myricoides</i>	4	0,60
<i>Gaultheria erecta</i>	6	0,89
<i>Lupinus costaricense</i>	6	0,89
<i>Monochaetum floribundum</i>	8	1,19
<i>Coriaria ruscifolia</i>	13	1,94
<i>Valeriana prionophylla</i>	13	1,94
<i>Elaphoglossum sp.</i>	14	2,09
<i>Senecio oerstedianus</i>	14	2,09
<i>Hypericum sp</i>	16	2,38
<i>Ageratina pichinchensis</i>	23	3,43
<i>Myrsine dependens</i>	28	4,17
<i>Vaccinum sp.</i>	31	4,62
<i>Maianthemum gigas</i>	34	5,07
<i>Ageratina anisochroma</i>	44	6,56
<i>Gunnera talamancana</i>	53	7,90
<i>Castilleja irazuensis</i>	72	10,73
<i>Pernettya prostrata</i>	133	19,82
<i>Comarostaphylis arbutoides</i>	156	23,25
Total General	671	100,00

Anexo 8 Abundancias encontradas para el Volcán Irazú Sector Transición

Especie	N	%
<i>Garrya laurifolia</i>	1	0,25
<i>Hesperomeles heterophylla</i>	1	0,25
<i>Hypericum sp</i>	1	0,25
<i>Centropogon sp.</i>	1	0,25
<i>Cirsium sp</i>	2	0,49
<i>Monochaetum floribundum</i>	2	0,49
<i>Pernettya prostrata</i>	2	0,49
<i>Rubus eriocarpus</i>	3	0,74
<i>Eriosorus sp</i>	3	0,74
<i>Vaccinum sp.</i>	4	0,98
<i>Chusquea subtessellata</i>	5	1,23
<i>Gaultheria erecta</i>	5	1,23
<i>Monnina sylvatica</i>	6	1,47
<i>Senecio multivenius</i>	7	1,72
<i>Ageratina anisochroma</i>	9	2,21
<i>Myrsine dependens</i>	9	2,21
<i>Ageratina pichinchensis</i>	12	2,94
<i>Holodiscus argenteus</i>	13	3,19
<i>Coriaria ruscifolia</i>	16	3,92
<i>Comarostaphylis arbutoides</i>	17	4,17
<i>Ugni myricoides</i>	18	4,41
<i>Gunnera talamancana</i>	20	4,90
<i>Miconia sp</i>	21	5,15
<i>Elaphoglossum sp.</i>	23	5,64
<i>Weinmannia pinnata</i>	23	5,64
<i>Bomarea hirsuta</i>	24	5,88
<i>Myrrhidendron donellsmithii</i>	25	6,13
<i>Oreopanax xalapensis</i>	31	7,60
<i>Senecio oerstedianus</i>	32	7,84
<i>Maianthemum gigas</i>	72	17,65
Total general	408	100,00

Anexo 9 Distribución vertical por especie para el páramo del Volcán Turrialba

Especie	10-109	110-209	210-309	310-409	Total general
<i>Ageratina anisochroma</i>	77	202	6		285
<i>Ageratina pichinchensis</i>	2	2			4
<i>Bomarea hirsuta</i>	53	95			148
<i>Chusquea subtessellata</i>	276	997	293	61	1627
<i>Coriaria ruscifolia</i>		1			1
<i>Diplostegium costaricense</i>		1			1
<i>Elaphoglossum sp.</i>	280				280
<i>Gaultheria erecta</i>	10	17	1		28
<i>Gunnera talamancana</i>	2				2
<i>Hesperomeles heterophylla</i>	6	15			21
<i>Hypericum sp.</i>	11	89	7	1	108
<i>Maianthemum gigas</i>	73	47	1		121
<i>Myrrhidendron donellsmithii</i>	6	26	8	1	41
<i>Myrsine dependens</i>	85	224	31	2	342
<i>Pernettya prostrata</i>	280	363	13		656
<i>Senecio oerstedianus</i>	13	1			14
<i>Vaccinum sp.</i>	121	208	9		338
<i>Valeriana prionophylla</i>	45	3			48
Total general	1340	2291	369	65	4065

Anexo 10 Distribución vertical por especie para el Sector Páramo del Volcán Irazú

Especie	10-109	110-209	210-309	310-409	410-509	Total General
<i>Acaena elongata</i>	11	6				17
<i>Ageratina anisochroma</i>	9	38	9	1		57
<i>Ageratina pichinchensis</i>	27	66	4			97
<i>Arcytophyllum lavarum</i>	1					1
<i>Bomarea hirsuta</i>	22	36	19			77
<i>Buddleja nitida</i>		1	3	2	1	7
<i>Castilleja irazuensis</i>	136	16				152
<i>Chusquea subtessellata</i>	3	2				5
<i>Cirsium sp</i>		2	1			3
<i>Comarostaphylis arbutoides</i>	7	16	17	5	2	47
<i>Coriaria ruscifolia</i>	5	23	13			41
<i>Elaphoglossum sp.</i>	133					133
<i>Escallonia myrtilloides</i>				1	1	2
<i>Gaultheria erecta</i>	22	28	5	1		56
<i>Gunnera talamancana</i>	145	138	9			292
<i>Hesperomeles heterophylla</i>	5	6				11
<i>Hypericum sp</i>	35	40	5	1		81
<i>Maianthemum gigas</i>	82	147	6			235
<i>Monnina sylvatica</i>		3				3
<i>Monochaetum floribundum</i>	2	4				6
<i>Myrrhidendron donellsmithii</i>	14	30	18	1		63
<i>Myrsine dependens</i>	24	29	12	2		67
<i>Pernettya prostrata</i>	225	235	33	10	1	504
<i>Senecio oerstedianus</i>	182	249	13			444
<i>Ugni myricoides</i>	27	59	3			89
<i>Vaccinum sp</i>	142	184	34	13	1	374
<i>Valeriana prionophylla</i>	245	1				246
Total general	1504	1359	204	37	6	3110

Anexo 11 Distribución vertical por especie para el Volcán Irazú Sector Torres

Especie	10-109	110-209	210-309	310-409	410-509	Total General
<i>Ageratina anisochroma</i>	20	24				44
<i>Ageratina pichinchensis</i>	14	9				23
<i>Bomarea hirsuta</i>		1				1
<i>Castilleja irazuensis</i>	69	3				72
<i>Comarostaphylis arbutoides</i>	86	55	14		1	156
<i>Coriaria ruscifolia</i>	6	7				13
<i>Diplostegium costaricense</i>	2					2
<i>Elaphoglossum sp.</i>	14					14
<i>Gaultheria erecta</i>	6					6
<i>Gunnera talamancana</i>	29	24				53
<i>Hypericum sp</i>	9	7				16
<i>Lupinus costaricense</i>	6					6
<i>Maianthemum gigas</i>	22	12				34
<i>Monochaetum floribundum</i>	7	1				8
<i>Myrsine dependens</i>	16	10	2			28
<i>Pernettya prostrata</i>	109	24				133
<i>Senecio oerstedianus</i>	3	11				14
<i>Ugni myricoides</i>	2	2				4
<i>Vaccinum sp.</i>	14	11	4	1	1	31
<i>Valeriana prionophylla</i>	13					13
Total general	447	201	20	1	2	671

Anexo 12 Distribución vertical por especie para el Volcán Irazú Sector Transición

Especie	20-119	120-219	220-319	320-419	420-519	520-619	620-719	720-819	Total general
<i>Ageratina anisochroma</i>	3	5	1						9
<i>Ageratina pichinchensis</i>	3	7	2						12
<i>Bomarea hirsuta</i>	8	9	6	1					24
<i>Centropogon sp.</i>	1								1
<i>Chusquea subtessellata</i>			2	3					5
<i>Cirsium sp</i>	1	1							2
<i>Comarostaphylis arbutoides</i>			7	5	1	3	1		17
<i>Coriaria ruscifolia</i>	4	7	2	2	1				16
<i>Elaphoglossum sp.</i>	23								23
<i>Eriosorus sp</i>	3								3
<i>Garrya laurifolia</i>							1		1
<i>Gaultheria erecta</i>	1	1	2		1				5
<i>Gunnera talamancana</i>	4	9	6	1					20
<i>Hesperomeles heterophylla</i>			1						1
<i>Holodiscus argenteus</i>	1	5	1	1	2	2		1	13
<i>Hypericum sp</i>			1						1
<i>Maianthemum gigas</i>	27	45							72
<i>Miconia sp</i>	6	7	3	3		1	1		21
<i>Monnina sylatica</i>	1	3	2						6
<i>Monochaetum floribundum</i>		1	1						2
<i>Myrrhidendron donellsmithii</i>	8	5	9	1	2				25
<i>Myrsine dependens</i>	1	4	3		1				9
<i>Oreopanax xalapensis</i>	6	7	8	5	2	3			31
<i>Pernettya prostrata</i>		1	1						2
<i>Rubus eriocarpus</i>	3								3
<i>Senecio multivenius</i>	1	5	1						7
<i>Senecio oerstedianus</i>	16	16							32
<i>Ugni myricoides</i>	5	7	3	3					18
<i>Vaccinum sp.</i>	1	1	1		1				4
<i>Weinmannia pinnata</i>		1	4		3	9	6		23
Total general	127	147	67	25	14	18	9	1	408

Anexo 13 Lista de especies de Fauna encontradas para el páramo de los Volcanes Turrialba e Irazú

Familia	Volcán Irazú		Volcán Turrialba	
	Especie	Cantidad	Especie	Cantidad
<i>Accipitridae</i>	<i>Buteo jamaicensis</i>	1		
<i>Anguidae</i>	<i>Mesaspis monticola</i>	2	<i>Mesaspis monticola</i>	6
<i>Apodidae</i>	<i>Cypseloides niger</i>	1		
	<i>Streptoprocne zonaris</i>	1	<i>Streptoprocne zonaris</i>	1
<i>Canidae</i>	<i>Canis latrans</i>	3	<i>Canis latrans</i>	1
<i>Columbidae</i>	<i>Patagioenas fasciata</i>	1		
<i>Corvidae</i>			<i>Cyanolica argentigula</i>	1
<i>Emberizidae</i>	<i>Acantidops bairdii</i>	2	<i>Acantidops bairdii</i>	5
	<i>Diglossa plumbea</i>	8	<i>Diglossa plumbea</i>	6
	<i>Junco vulcani</i>	6	<i>Junco vulcani</i>	6
	<i>Pezopetes capitalis</i>	5		
	<i>Zonotrichia capensis</i>	15	<i>Zonotrichia capensis</i>	16
<i>Felidae</i>	<i>Herpailurus yaguarondi</i>	1	<i>Puma concolor</i>	1
<i>Leporidae</i>	<i>Sylvilagus dicei</i>	1	<i>Sylvilagus dicei</i>	1
<i>Parulidae</i>	<i>Parula gutturalis</i>	4		
<i>Picidae</i>			<i>Picoides villosus</i>	2
<i>Procyonidae</i>	<i>Nasua narica</i>	4		
<i>Ptylogonidae</i>	<i>Ptylogonis caudatus</i>	1		
<i>Sciuridae</i>	<i>Sciurus granatensis</i>	1		
<i>Thraupidae</i>	<i>Chlorospingus pileatus</i>	12	<i>Chlorospingus pileatus</i>	13
<i>Tinamidae</i>	<i>Crypturellus sp</i>	1		
<i>Trochilidae</i>	<i>Eugenes fulgens</i>	13	<i>Eugenes fulgens</i>	6
	<i>Selasphorus flammula</i>	20	<i>Selasphorus flammula</i>	25
<i>Troglodytidae</i>	<i>Thryorchilus browni</i>	2		
<i>Turdidae</i>	<i>Catharus graciliostriis</i>	1		
	<i>Turdus nigrescens</i>	26	<i>Turdus nigrescens</i>	11
	<i>Turdus plebejus</i>	3	<i>Turdus plebejus</i>	2
<i>Tyrannidae</i>	<i>Elaenia frantzii</i>	1	<i>Elaenia frantzii</i>	6
<i>Vireonidae</i>	<i>Vireo carmioli</i>	3		

Anexo 14 Número de Individuos observados por hora en el páramo del Volcán Turrialba

Especie	08 a.m.	09 a.m.	10 a.m.	11 a.m.	12 p.m.	01 p.m.	02 p.m.	Total general
<i>Canis latrans</i>						1		1
<i>Chlorospingus pileatus</i>	4	2	1		4	2	2	15
<i>Cyanolica argentigula</i>	1							1
<i>Eugenes fulgens</i>		1	3	1		1	1	7
<i>Junco vulcani</i>	1	1	2	1			1	6
<i>Mesaspis monticola</i>		1	1	3		2		7
<i>Picoides viullosus</i>	1					1		2
<i>Puma concolor</i>	1							1
<i>Selasphorus flammula</i>	7	8	6	4	3	3	1	32
<i>Streptoprocne zonaris</i>		20						20
<i>Turdus nigrescens</i>	9	1		2	1	1		14
<i>Turdus plebejus</i>	1	1						2
<i>Zonotrichia capensis</i>	15		3	3	2	2		25
<i>Sylvilagus dicei</i>				1				1
<i>Diglossa plumbea</i>	2	1		1		5	1	10
<i>Acantidops bairdii</i>	1	1	3		2			7
<i>Elaenia frantzii</i>			2	2	1	2		7
Total general	43	37	21	18	13	20	6	158

Anexo 15. Número de Individuos observados por hora en el páramo del Volcán Irazú

Especie	08 a.m.	09 a.m.	10 a.m.	11 a.m.	12 p.m.	01 p.m.	02 p.m.	03 p.m.	04 p.m.	05 p.m.	06 p.m.	Total general
<i>Acantidops bairdii</i>	2											2
<i>Buteo jamaicensis</i>	1											1
<i>Canis latrans</i>		1	1				1					3
<i>Catharus graciliostris</i>							1					1
<i>Chlorospingus pileatus</i>	1	2	3	1	2			1	1		1	12
<i>Crypturellus sp</i>						1						1
<i>Cypseloides niger</i>						1						1
<i>Diglossa plumbea</i>			3	2					3			8
<i>Elaenia frantzii</i>								1				1
<i>Eugenes fulgens</i>		2	1	2	3	1	1	1	2			13
<i>Herpailurus yaguarondi</i>								1				1
<i>Junco vulcani</i>	1				1	3			1			6
<i>Mesaspis monticola</i>									2			2
<i>Nasua narica</i>					2		1		1			4
<i>Parula gutturalis</i>			1					2		1		4
<i>Patagioenas fasciata</i>		1										1
<i>Pezopetes capitalis</i>	1	2			1	1						5
<i>Ptylogonis caudatus</i>	1											1
<i>Sciurus granatensis</i>							1					1
<i>Selasphorus flammula</i>	2	2	3	3	3	1	1	2	3			20
<i>Streptoprocne zonaris</i>			1									1

<i>Sylvilagus dicei</i>							1					1
<i>Thryorchilus browni</i>					1			1				2
<i>Turdus nigrescens</i>	5	4		4	2	5	1	1	3	1		26
<i>Turdus plebejus</i>	1	1		1								3
<i>Vireo carmioli</i>		1	1			1						3
<i>Zonotrichia capensis</i>	1	3	1	1	2	2		1	4			15
Total general	16	19	15	14	17	16	8	11	20	2	1	139

Anexo 16 Grados de afectación de lluvia ácida por especie para el páramo del Volcán Turrialba

Especie	0	1	2	3	4	Total general
<i>Ageratina anisochroma</i>	147	116	18	3	1	285
<i>Ageratina pichinchensis</i>	4					4
<i>Bomarea hirsuta</i>	132	12	3	1		148
<i>Chusquea subtessellata</i>	103	2	3		1519	1627
<i>Coriaria ruscifolia</i>				1		1
<i>Diplostephium costaricense</i>	1					1
<i>Elaphoglossum sp.</i>	63	83	53	32	49	280
<i>Gaultheria erecta</i>	16	11	1			28
<i>Gunnera talamancana</i>		1		1		2
<i>Hesperomeles heterophylla</i>	20		1			21
<i>Hypericum sp.</i>	17	5	5	9	72	108
<i>Maianthemum gigas</i>	29	33	30	20	9	121
<i>Myrrhidendron donellsmithii</i>	29	9	3			41
<i>Myrsine dependens</i>	191	72	41	33	5	342
<i>Pernettya prostrata</i>	387	146	67	47	9	656
<i>Senecio oerstedianus</i>	13	1				14
<i>Vaccinum sp.</i>	215	65	39	14	5	338
<i>Valeriana prionophylla</i>	42	1		4	1	48
Total general	1409	557	264	165	1670	4065

Anexo 17 Grados de afectación de lluvia ácida por especie para el Sector Páramo del Volcán Irazú

Especie	0	1	2	3	4	Total general
<i>Acaena elongata</i>	17					17
<i>Ageratina anisochroma</i>	49	7	1			57
<i>Ageratina pichinchensis</i>	93	4				97
<i>Arcytophyllum lavarum</i>	1					1
<i>Bomarea hirsuta</i>	76	1				77
<i>Buddleja nitida</i>	7					7
<i>Castilleja irazuensis</i>	151	1				152
<i>Chusquea subtessellata</i>	5					5
<i>Cirsium sp</i>	3					3
<i>Comarostaphylis arbutoides</i>	40	6		1		47
<i>Coriaria ruscifolia</i>	13	10	12	2	4	41
<i>Elaphoglossum sp.</i>	55	60	14	4		133
<i>Escallonia myrtilloides</i>	2					2
<i>Gaultheria erecta</i>	54	2				56
<i>Gunnera talamancana</i>	77	158	51	3	3	292
<i>Hesperomeles heterophylla</i>	11					11
<i>Hypericum sp</i>	18	44	17	1	1	81
<i>Maianthemum gigas</i>	102	95	19	11	8	235
<i>Monnina sylvatica</i>	3					3
<i>Monochaetum floribundum</i>	6					6
<i>Myrrhidendron donellsmithii</i>	39	22	1	1		63
<i>Myrsine dependens</i>	64	2		1		67
<i>Pernettya prostrata</i>	449	37	11	7		504
<i>Senecio oerstedianus</i>	411	30	3			444
<i>Ugni myricoides</i>	88			1		89
<i>Vaccinum sp</i>	325	31	11	6	1	374
<i>Valeriana prionophylla</i>	244	2				246
Total general	2403	512	140	38	17	3110

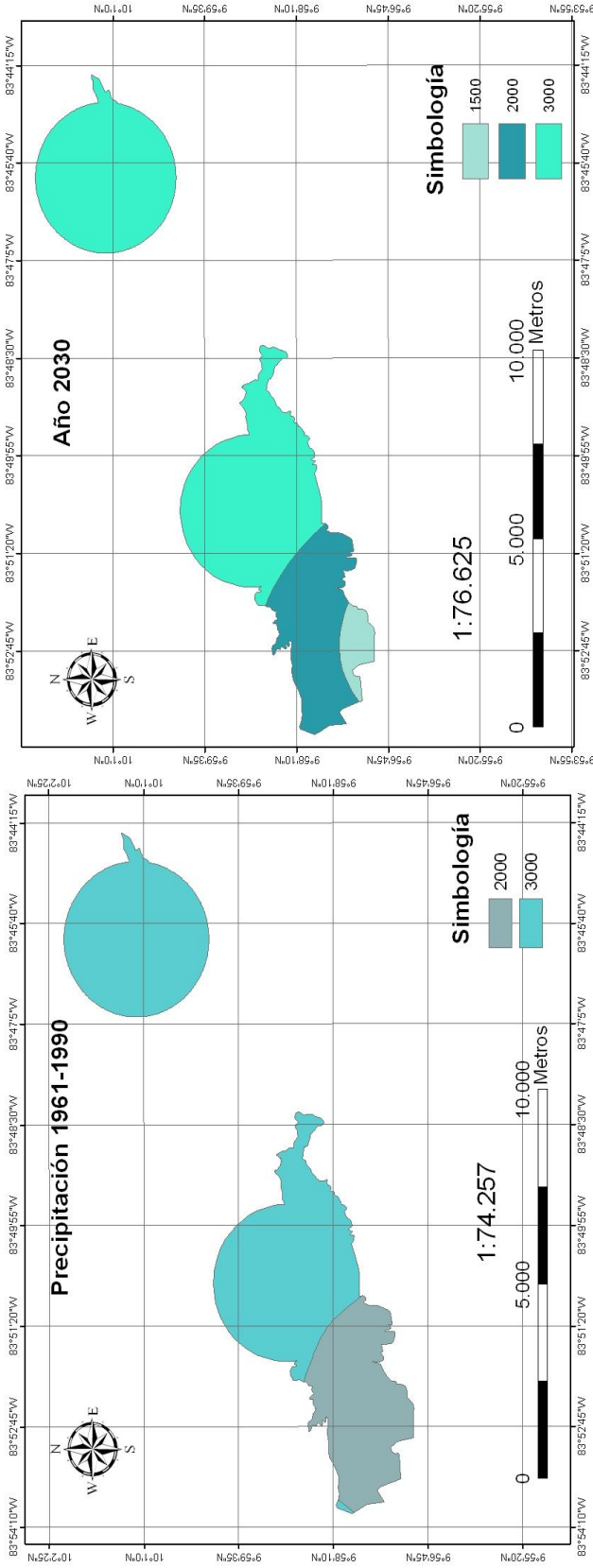
Anexo 18 Grados de afectación de lluvia ácida por especie para el Sector Torres del Volcán Irazú

Especie	0	1	2	3	4	Total general
<i>Ageratina anisochroma</i>	44					44
<i>Ageratina pichinchensis</i>	23					23
<i>Bomarea hirsuta</i>	1					1
<i>Castilleja irazuensis</i>	72					72
<i>Comarostaphylis arbutoides</i>	145	11				156
<i>Coriaria ruscifolia</i>	13					13
<i>Diplostephium costaricense</i>	2					2
<i>Elaphoglossum sp.</i>	13	1				14
<i>Gaultheria erecta</i>	6					6
<i>Gunnera talamancana</i>	17	35	1			53
<i>Hypericum sp</i>	9	5	2			16
<i>Lupinus costaricense</i>	6					6
<i>Maianthemum gigas</i>	18	6	4	5	1	34
<i>Monochaetum floribundum</i>	8					8
<i>Myrsine dependens</i>	28					28
<i>Pernettya prostrata</i>	132	1				133
<i>Senecio oerstedianus</i>	14					14
<i>Ugni myricoides</i>	4					4
<i>Vaccinum sp.</i>	31					31
<i>Valeriana prionophylla</i>	13					13
Total general	599	59	7	5	1	671

Anexo 19 Grados de afectación de lluvia ácida por especie para el Sector Transición del Volcán Irazú

Especie	0	1	2	3	4	Total general
<i>Ageratina anisochroma</i>	9					9
<i>Ageratina pichinchensis</i>	12					12
<i>Bomarea hirsuta</i>	24					24
<i>Centropogon sp.</i>	1					1
<i>Chusquea subtessellata</i>	5					5
<i>Cirsium sp</i>	2					2
<i>Comarostaphylis arbutoides</i>	17					17
<i>Coriaria ruscifolia</i>	15	1				16
<i>Elaphoglossum sp.</i>	21	2				23
<i>Eriosorus sp</i>	2		1			3
<i>Garrya laurifolia</i>	1					1
<i>Gaultheria erecta</i>	5					5
<i>Gunnera talamancana</i>	13	7				20
<i>Hesperomeles heterophylla</i>	1					1
<i>Holodiscus argenteus</i>	13					13
<i>Hypericum sp</i>		1				1
<i>Maianthemum gigas</i>	49	16	2	3	2	72
<i>Miconia sp</i>	21					21
<i>Monnina sylvatica</i>	6					6
<i>Monochaetum floribundum</i>	2					2
<i>Myrrhidendron donellsmithii</i>	24	1				25
<i>Myrsine dependens</i>	9					9
<i>Oreopanax xalapensis</i>	31					31
<i>Pernettya prostrata</i>	2					2
<i>Rubus eriocarpus</i>	3					3
<i>Senecio multivenius</i>	7					7
<i>Senecio oerstedianus</i>	31	1				32
<i>Ugni myricoides</i>	18					18
<i>Vaccinum sp.</i>	4					4
<i>Weinmannia pinnata</i>	23					23
Total general	371	29	3	3	2	408

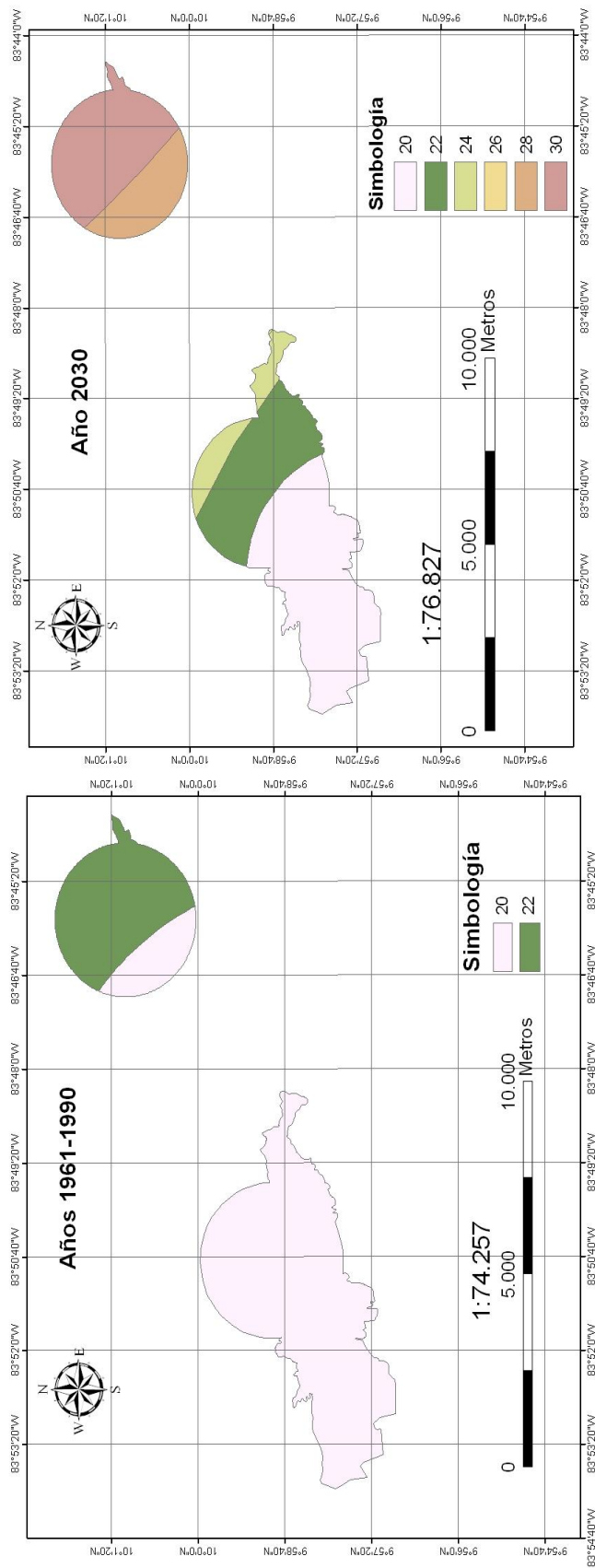
Mapa de cambios en Precipitación para el Páramo de a Unidad Fitogeográfica 11a



Mapa Elaborado por: Oscar Mora Montero
 Fecha de Elaboración 16 - Jun - 2010
 Sistema de Proyección: CRTM05
 Fuente: Oscar Chacón (INBio)
 Atlas de Costa Rica 2008
 Hans Hanober

Anexo 20 Cambios en Precipitación al año 2030

Mapa de cambios en Temperatura Máxima para el Páramo de la Unidad Fitogeográfica 11a

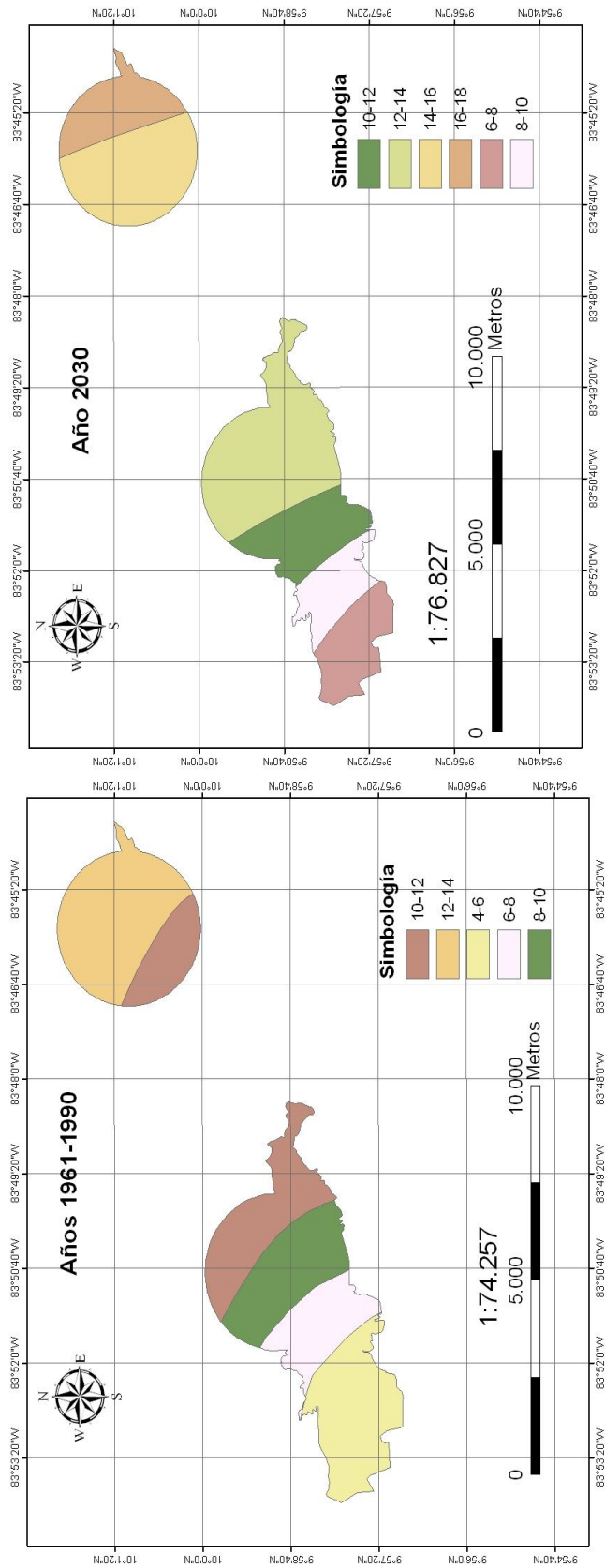


Mapa Elaborado por: Oscar Mora Montero
 Fecha de Elaboración 16 - Jun - 2010
 Sistema de Proyección: CRTM05
 Fuente: Oscar Chacón (INBio)
 Atlas de Costa Rica 2008
 Hans Hanobber

The block contains two logos: ACCVC (Asociación Costarricense de Conservación de Vida Silvestre) and TEC (Tecnológico de Costa Rica). The ACCVC logo features a stylized bird and the acronym 'ACCVC'. The TEC logo features a stylized grid pattern and the acronym 'TEC'.

Anexo 21 Cambios en la Temperatura máxima al año 2030

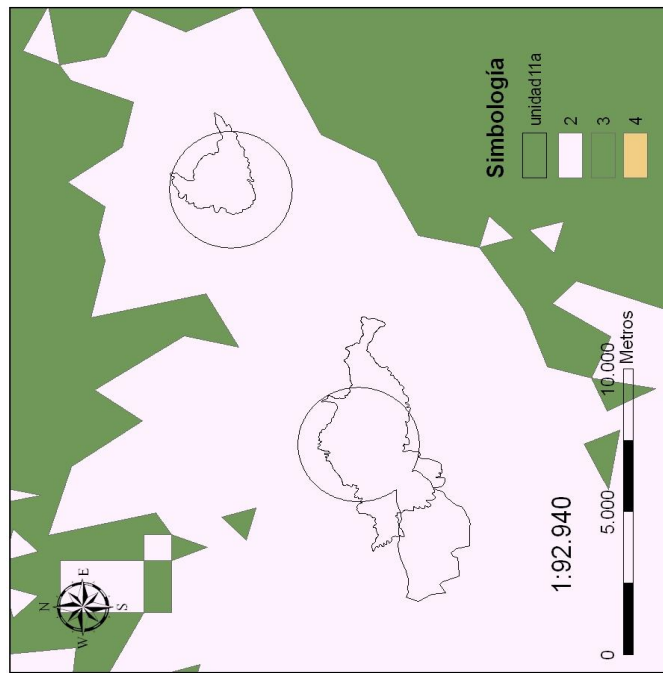
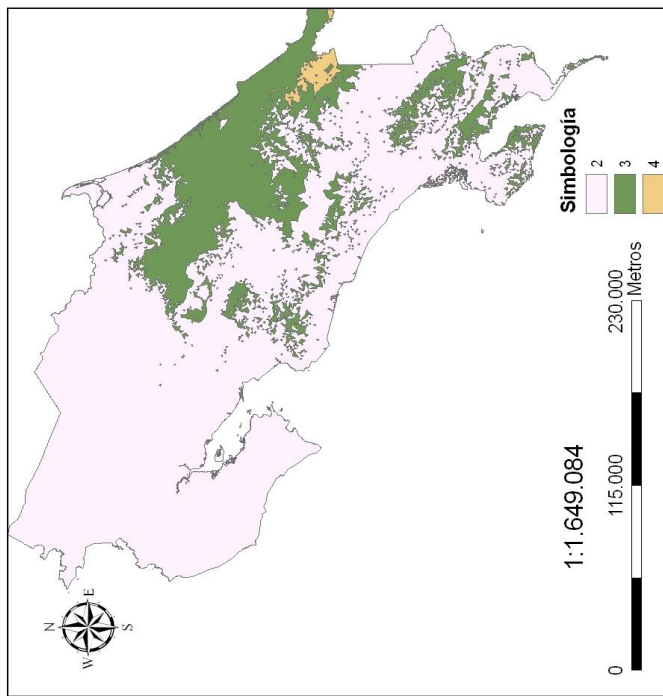
Mapa de cambios en Temperatura Mínima para el Páramo de la Unidad Fitogeográfica 11a



Mapa Elaborado por: Oscar Mora Montero
 Fecha de Elaboración: 16 - Jun - 2010
 Sistema de Proyección: CRTM05
 Fuente: Oscar Chacón (INBio)
 Atlas de Costa Rica 2008
 Hans Hanober

Anexo 22 Cambios en la Temperatura mínima al año 2030

Índice de Severidad de Cambio Climático 2050, escenario A2 (CSIRO)



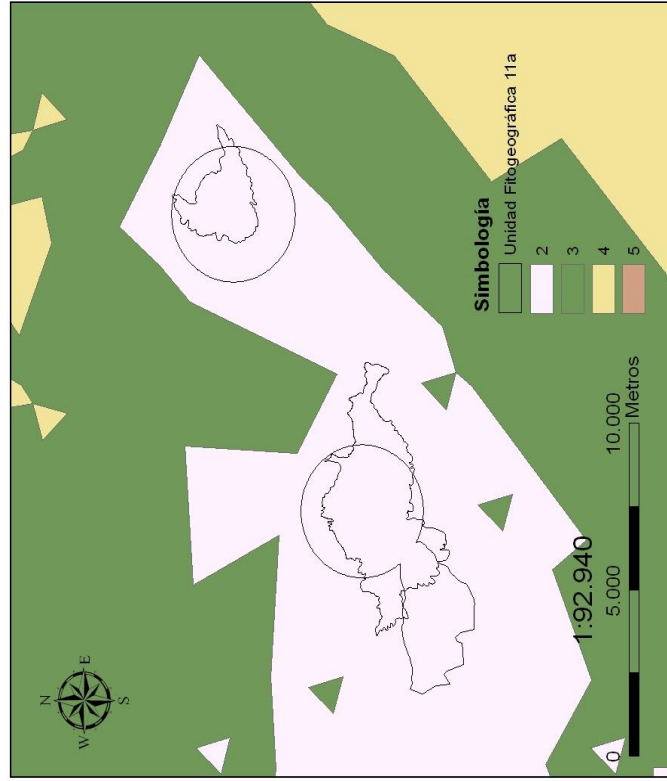
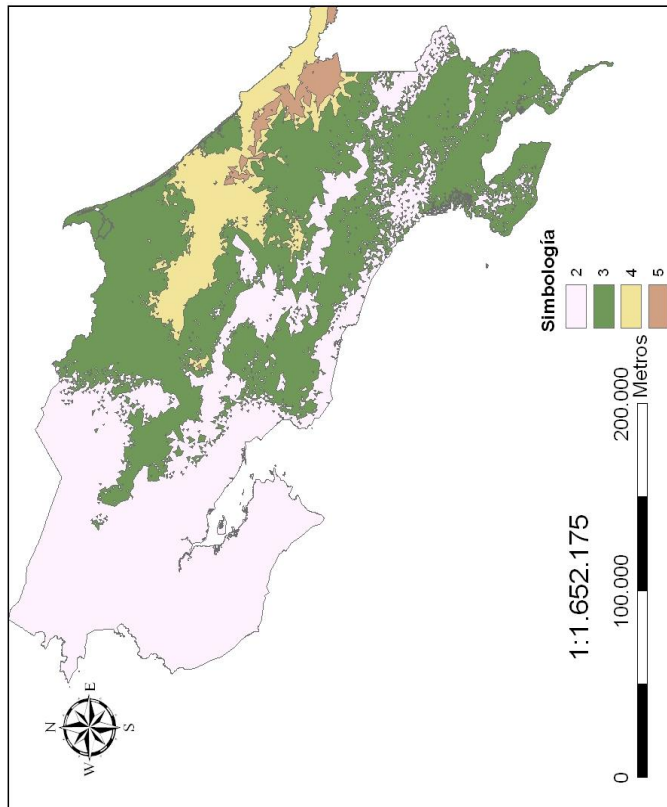
Mapa Elaborado por: Oscar Mora Montero
 Fecha de Elaboración: 16 - Jun - 2010
 Sistema de Proyección: CRTM05
 Fuente: CATHALAC
 Atlas de Costa Rica 2008
 Hans Hanaber



(CSIRO: Commonwealth scientific and research investigation's mark 3 of the coupled climate model)

Anexo 23 ISCC al año 2050, escenario A2 modelo CSIRO

Índice de Severidad de Cambio Climático 2050, escenario B2 (CSIRO)



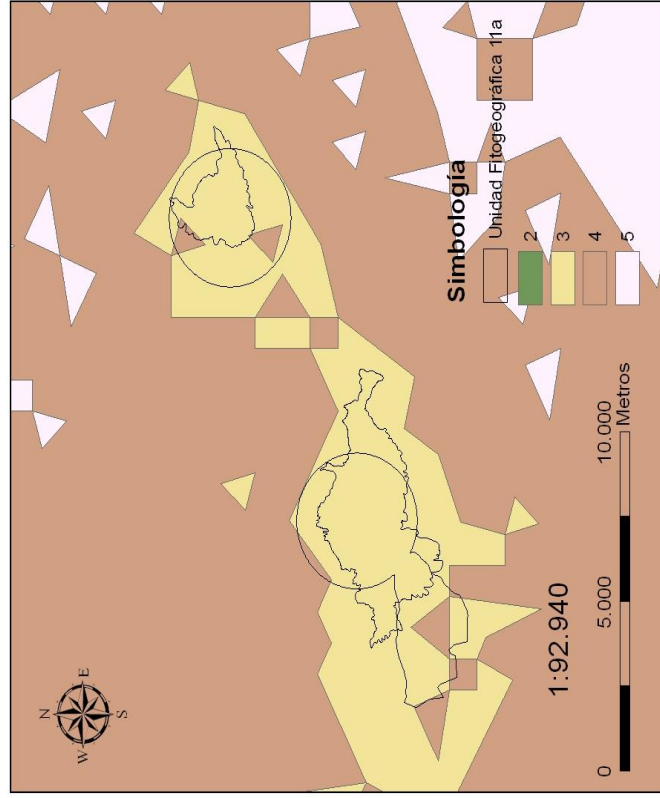
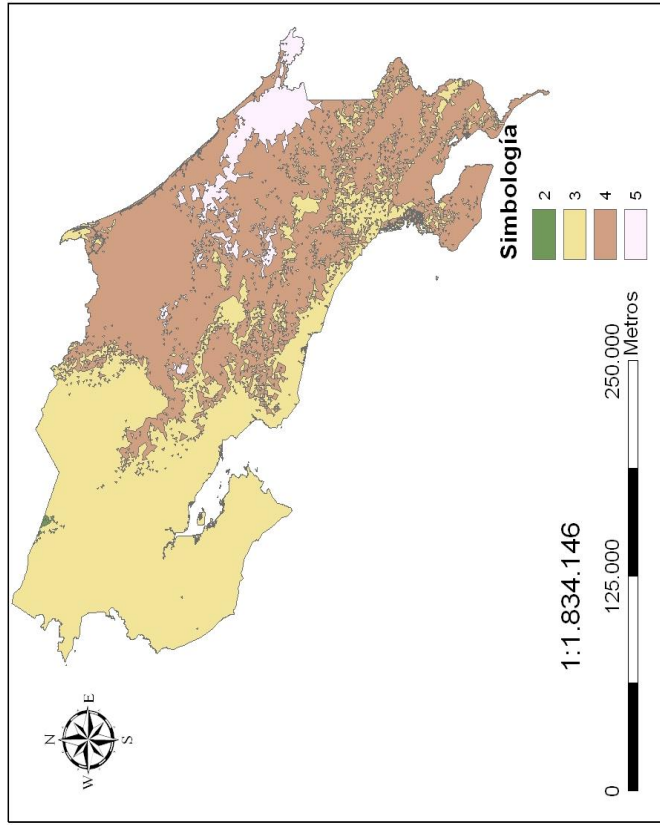
Mapa Elaborado por: Oscar Mora Montero
 Fecha de Elaboración: 16 - Jun - 2010
 Sistema de Proyección: CRTM05
 Fuente: CATHALAC
 Atlas de Costa Rica 2008
 Hans Hanaber




(CSIRO: Commonwealth scientific and research investigation's mark 3 of the coupled climate model)

Anexo 24 ISCC al año 2050, escenario B2 modelo CSIRO

Índice de Severidad de Cambio Climático 2080, escenario A2 (CSIRO)



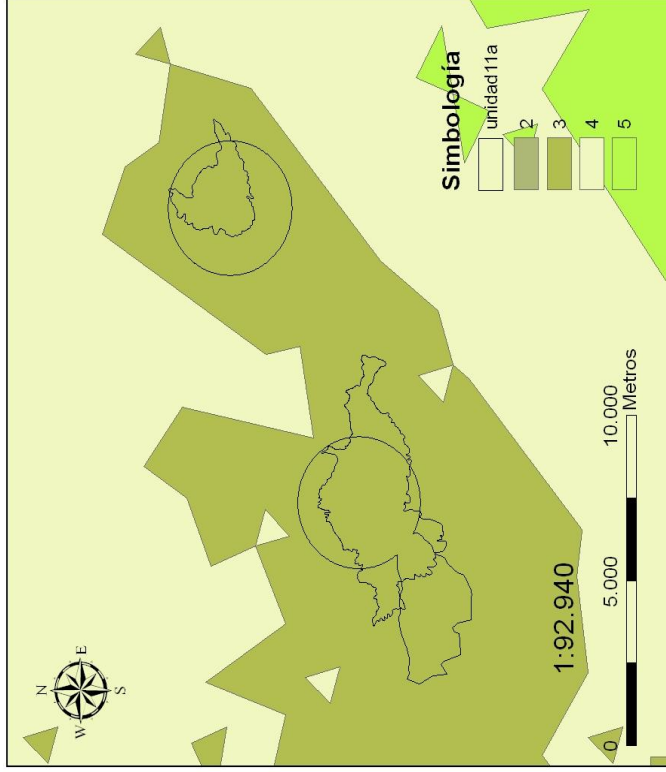
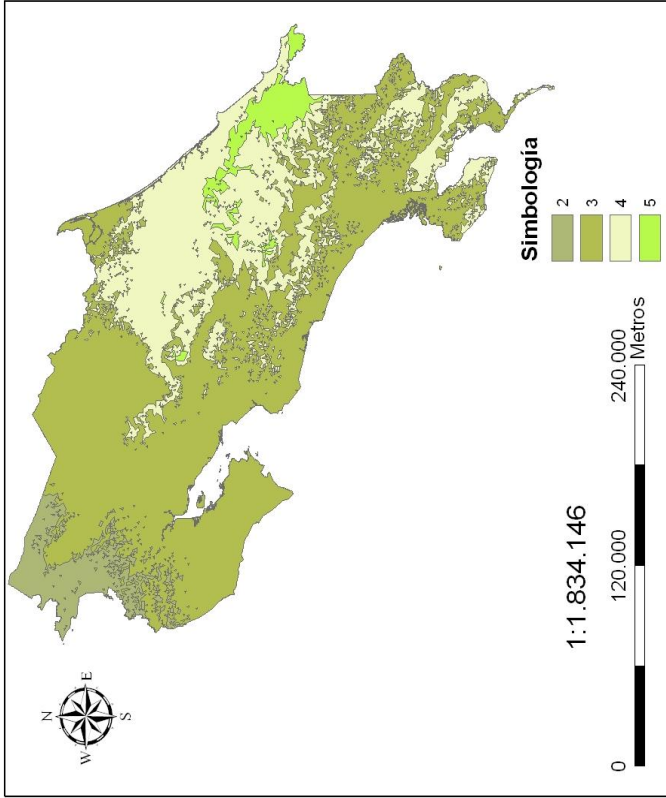
Mapa Elaborado por: Oscar Mora Montero
 Fecha de Elaboración: 16 - Jun - 2010
 Sistema de Proyección: CRTM05
 Fuente: CATHALAC
 Atlas de Costa Rica 2008
 Hans Hanaber






(CSIRO: Commonwealth scientific and research investigation's mark 3 of the coupled climate model)

Anexo 25 ISCC al año 2080, escenario A2 modelo CSIRO

Índice de Severidad de Cambio Climático 2080, escenario B2 (CSIRO)



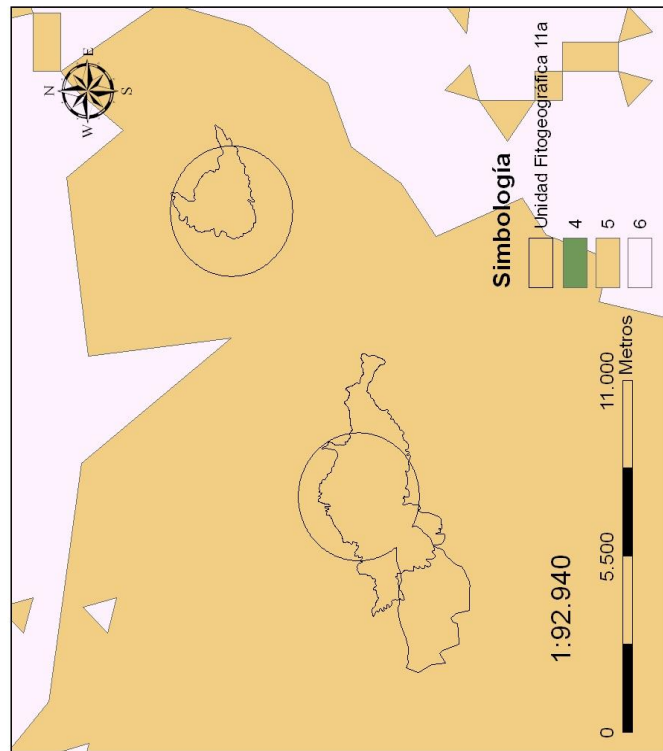
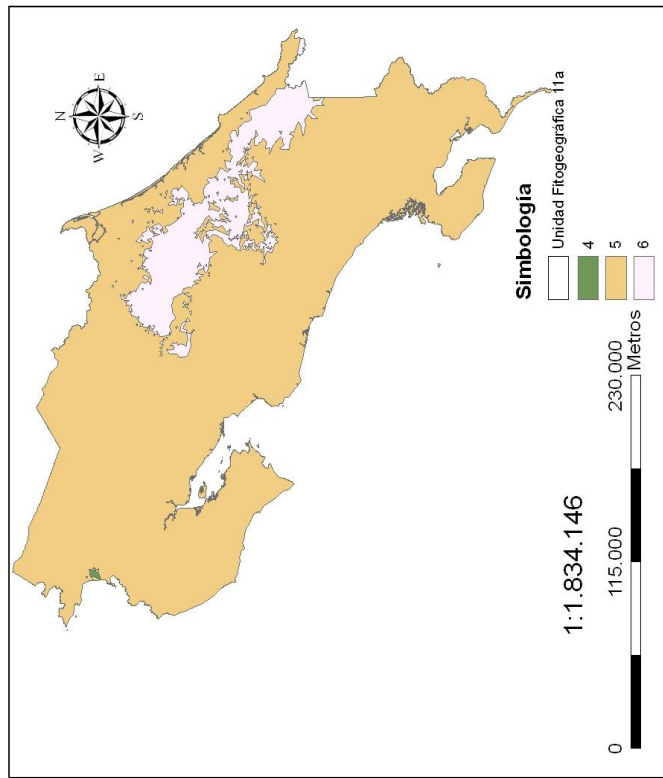
Mapa Elaborado por: Oscar Mora Montero
 Fecha de Elaboración: 16 - Jun - 2010
 Sistema de Proyección: CRTM05
 Fuente: CATHALAC
 Atlas de Costa Rica 2008
 Hans Hanober

(CSIRO: Commonwealth scientific and research investigation's mark 3 of the coupled climate model)

Anexo 26 ISCC al año 2080, escenario B2 modelo CSIRO

Índice de Severidad de Cambio Climático 2050, escenario A2 (HadCM3)



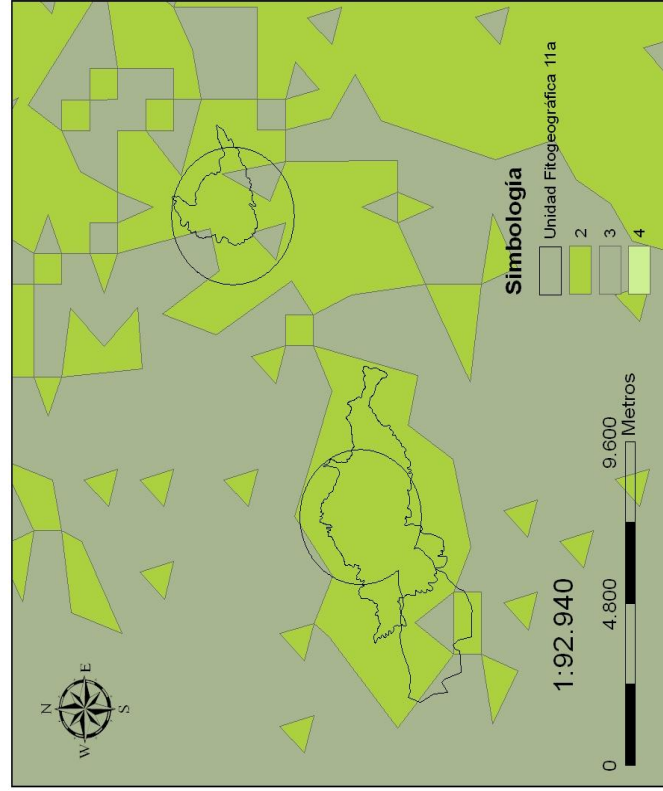
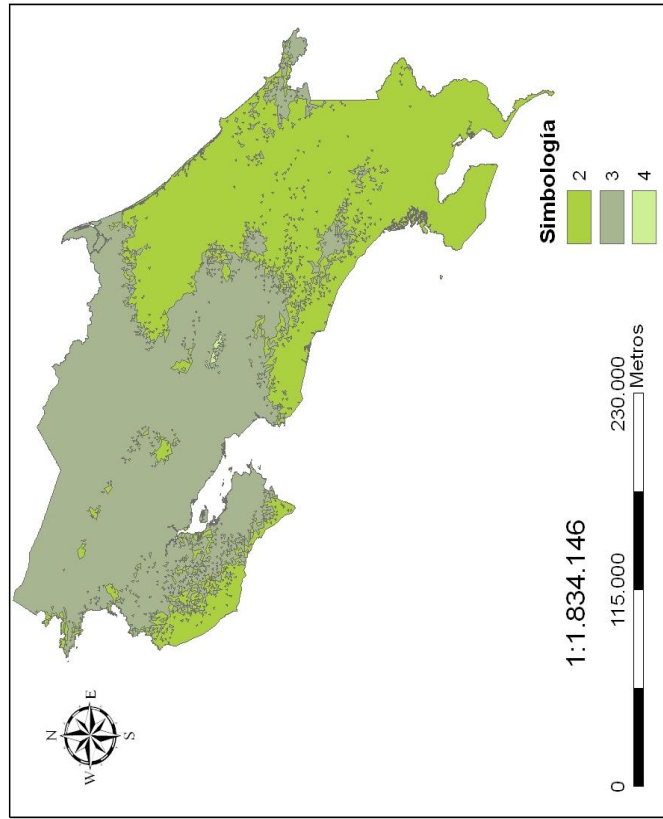
Mapa Elaborado por: Oscar Mora Montero
 Fecha de Elaboración 16 - Jun - 2010
 Sistema de Proyección: CRTM05
 Fuente: CATHALAC
 Atlas de Costa Rica 2008
 Hans Hanaber




(HadCM3: Hadley center coupled model, version 3)

Anexo 27 ISCC al año 2050, escenario A2 modelo HadCM3

Índice de Severidad de Cambio Climático 2050, escenario B2 (HadCM3)



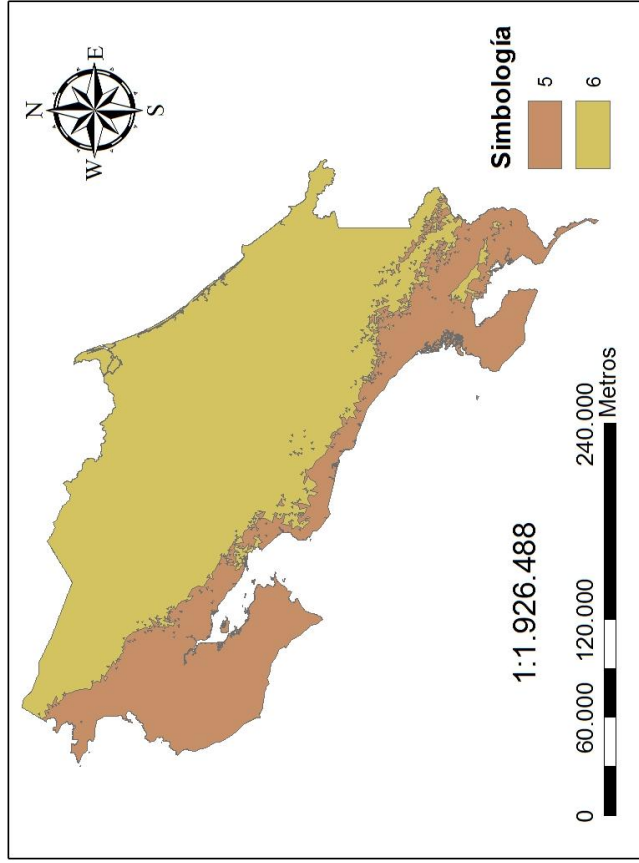
Mapa Elaborado por: Oscar Mora Montero
 Fecha de Elaboración: 16 - Jun - 2010
 Sistema de Proyección: CRTM05
 Fuente: CATHALAC
 Atlas de Costa Rica 2008
 Hans Hanobet



(HadCM3: Hadley center coupled model, version 3)

Anexo 28 ISCC al año 2050, escenario B2 modelo HadCM3

Índice de Severidad de Cambio Climático 2080, escenario A2 (HadCM3)



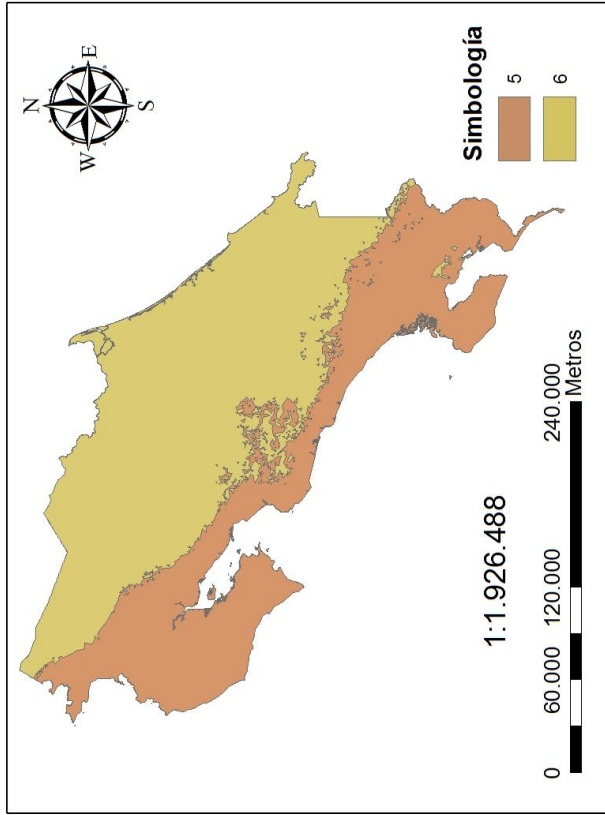
Mapa elaborado por: Oscar Mora Montero
 Fecha de Elaboración: 16 - Jun - 2010
 Sistema de Proyección: CRTM05
 Fuente: CATHALAC
 Atlas de Costa Rica 2008
 Hans Hanober




HadCM3: (Hadley center coupled model, version 3)

Anexo 29 ISCC al año 2080, escenario A2 modelo HadCM3

Índice de Severidad de Cambio Climático 2080, escenario B2 (HadCM3)



HadCM3: (Hadley center coupled model, version 3)

Mapa elaborado por: Oscar Mora Montero
 Fecha de Elaboración: 16 - Jun - 2010
 Sistema de Proyección: CRTM05
 Fuente: CATHALAC
 Atlas de Costa Rica 2008
 Hans Hanober

Anexo 30 ISCC al año 2080, escenario B2 modelo HadCM3