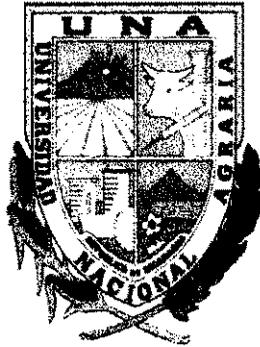


# **UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

*Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente*



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

*Estudio preliminar del efecto del Cambios Climáticos en dos especies endémicas en el área de la Reserva Natural Volcán Mombacho del Departamento de Granada, Nicaragua.*

**Autores:**

*Br. Allan Humberto Toval Herrera*

*Br. Marvin Sujo Betanco*

*incisco Geovany Reyes Flores*

**Tutor**

*Ph.D. Bruno Rapidel*

**Managua, Nicaragua**  
**Julio 2000**

## INDICE GENERAL

INDICE GENERAL.....	i
INDICE DE CUADROS.....	iii
INDICE DE FIGURAS.....	iv
INDICE DE FOTOS.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
RESUMEN.....	viii
SUMMARY.....	ix
I. INTRODUCCION.....	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1. Cambios Climáticos.....	4
2.2. Proceso adiabático.....	7
2.2.1. Gradiente adiabático seco.....	8
2.2.2. Gradiente adiabático húmedo.....	8
2.3. Vientos regionales (Foehn).....	9
III. METODOLOGIA Y MATERIALES.....	11
3.1. Descripción general del área.....	11
3.1.1 Geología.....	11
3.1.2 Clima.....	11
3.1.3 Vegetación.....	12
3.1.4 Suelo y topografía.....	12
3.2. Materiales.....	15
3.3. Procesos Metodológicos.....	15
3.3.1. Etapa 1. Selección descripción de las especies.....	15
3.3.2. Etapa 2. Determinación del Diseño de campo.....	19
3.3.3. Etapa 3. Realización del muestreo.....	19
3.3.3.1. Variables silviculturales.....	20
3.3.3.1.1. Iluminación.....	20
3.3.3.1.2. Vigorosidad.....	20
3.3.3.2. Variables de sitio.....	21
3.3.3.2.1. Pedregosidad.....	21
3.3.3.2.2. Relieve.....	21
3.3.3.2.3. Textura.....	21
3.3.4. Etapa 4. Procesamiento y evaluación de la información.....	23
3.3.4.1. Evaluación de variables silviculturales.....	23
3.3.4.1.1. Abundancia.....	23
3.3.4.1.2. Frecuencia.....	24
3.3.4.2. Análisis de datos climatológicos.....	24
3.3.4.2.1. Cálculo de gradientes de temperatura.....	24
3.3.4.2.2. Precipitación.....	25

<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>28</b>
<b>4.1. Resultado de datos silviculturales.....</b>	<b>28</b>
4.1.1. Iluminación.....	29
4.1.2. Vigorosidad.....	30
4.1.3. distribución.....	30
4.1.4. Frecuencia.....	30
<b>4.2 Análisis de los datos de sitio.....</b>	<b>31</b>
<b>4.3. Análisis de datos climatológicos.....</b>	<b>31</b>
4.3.1. Temperatura.....	31
4.3.2. Precipitación.....	41
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>50</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>52</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>53</b>
<b>VIII. ANEXOS.....</b>	<b>55</b>

## INDICE DE CUADROS

### Cuadro

1. Número de individuos por franja para cada categoría de iluminación, en la ladera de Barlovento y Sotavento de la Reserva Natural Volcán Mombacho del departamento de Granada, 2000.....28
2. Número de individuos por franja para cada categoría de vigorosidad, en la ladera de barlovento y sotavento de la Reserva Natural Volcán Mombacho del departamento de Granada, 2000.....29
3. Frecuencia absoluta y relativa de las especies *Freziera Fredrischtaliana* y *Hedyosmum goudetianum* var. *mombachanum* en la Reserva Natural Volcán Mombacho del departamento de Granada, 2000.....31
4. Gradiente de temperatura actual en el área de la Reserva Natural Volcán Mombacho del departamento de Granada, 2000.....32
5. Temperatura actual para cada franja de muestreo ubicada en la Reserva Natural Volcán Mombacho del departamento de Granada, 2000.....33
6. Área actual que ocupa cada intervalo de temperatura actual en el Volcán Mombacho del departamento del Granada, 2000.....33
7. Area que ocupa cada intervalo de temperatura para los distintos escenarios climáticos en cada horizonte de tiempo, en el área del Volcán Mombacho del departamento de Granada, 2000.....35
8. Promedios mensuales de precipitación de cuatro pluviómetros ubicados en el área del Volcán Mombacho del departamento de Granada, 2000.....41
9. Área actual que ocupan los diferentes intervalos de precipitación de en el área del Volcán Mombacho del departamento de Granada, 2000.....42
10. Variación Porcentual en las áreas ocupadas por cada intervalo de precipitación según el escenario IS 92-d en el área del Volcán Mombacho del departamento de Granada, 2000.....43
11. Area para cada intervalo de precipitación para los distintos escenario climáticos en el área del Volcán Mombacho del departamento de Granada, 2000.....44

## INDICE DE FIGURAS

### Figura

1. Gráfica del fenómeno Foehn explicado por Billwiller (1978)..... 10
2. Mapa de ubicación de la Reserva Natural Volcán Mombacho en Nicaragua... 14
3. Mapa de ubicación de franjas de muestreo en la Reserva Natural Volcán Mombacho del departamento de Granada, 2000.....22
4. Mapa de ubicación de termógrafos en la Reserva Natural Volcán Mombacho del departamento de Granada, 2000.....26
5. Mapa de ubicación de pluviómetros en la Reserva Natural Volcán Mombacho del departamento de Granada, 2000.....27
6. Mapa de isotermas actual del área del Volcán Mombacho del departamento de Granada, 24-28 Ene./2000.....37
7. Mapa de isotermas para el horizonte 2010 del escenario IS-92-d para el área del Volcán Mombacho del departamento de Granada, 2000.....38
8. Mapa de isotermas para el horizonte 2050 del escenario IS-92-d para el área del Volcán Mombacho del departamento de Granada, 2000.....39
9. Mapa de isotermas para el horizonte 2100 del escenario IS-92-d para el área del Volcán Mombacho del departamento de Granada, 2000.....40
10. Mapa de precipitación actual para el área del Volcán Mombacho del departamento de Granada, Jul.-Dic./2000.....45
11. Mapa de isoyetas para el horizonte 2010 del escenario IS-92-d para el área del Volcán Mombacho del departamento de Granada, 2000.....46
12. Mapa de isoyetas para el horizonte 2050 del escenario IS-92-d para el área del Volcán Mombacho del departamento de Granada, 2000.....47
13. Mapa de isoyetas para el horizonte 2100 del escenario IS-92-d para el área del Volcán Mombacho del departamento de Granada, 2000.....48
14. Mapa de reducción de áreas óptimas para el desarrollo de las especies según el escenario moderado IS-92-d para el área de la reserva natural volcán Mombacho del departamento de Granada, Nicaragua, 2000.....51

## INDICE DE FOTOS

### Fotos

1. Ejemplar de *Hedyosmun goudetianum* var. *Mombachanum*.....17
2. Ejemplar de *Freziera fredrischtaliana* .....18

### **Dedicatoria.**

**A Dios por ser la luz que nos ha guiado y protegido en toda nuestras vidas.**

**A nuestros padres que nos brindaron  
su apoyo incondicional as lo largo de toda nuestra carrera.**

**A nuestros hermanos y demás familiares a todos  
Aquellas personas que nos apoyaron durante nuestra carrera.**

## **AGRADECIMIENTO.**

**Deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a:**

**A Dios por estar presente siempre en nuestras vidas y permitimos alcanzar uno de nuestros principales objetivos.**

**A nuestra familia especialmente por el apoyo incondicional y decidido que nos han brindaron a lo largo de nuestras vidas.**

**Al Proyecto Cambio Climático por haber financiado este trabajo de investigación.**

**Al Ing. Msc. Francisco Reyes Flores, Jefe del Departamento de Manejo de Bosque y ecosistema de FARENA/ UNA por su valiosa función como asesor de este trabajo.**

**A Bruno Raphidel, Ph D. Asesor Científico del Proyecto Cambio Climático, Programa Ambiental Nicaragua Finlandia; por su valioso aporte en la realización de este trabajo.**

**A todo el personal de la Fundación Cocibolca por habernos permitido realizar nuestro trabajo en el área de la reserva y por todo su apoyo brindado.**

**Al personal docente y administrativo del Departamento de Manejo de Bosque y ecosistema por su apoyo brindado**

**A todos ellos muchas gracias.**

## RESUMEN.

El presente trabajo se realizó en la Reserva Nacional Volcán Mombacho, ubicado en el departamento de Granada, la cual fue declarada área protegida por el Ministerio de Recursos Naturales y del Ambiente en su decreto No. 13-20. El objetivo principal de dicho trabajo es evaluar el posible comportamiento de las especies *Freziera frederichstallana* y *Hedyosmum goudetianum* var. *Mombachanun* ante los cambios climáticos en el área de la Reserva Natural Volcán Mombacho.

La metodología desarrollada en el trabajo consistió en cuatro etapas; la Primera Etapa se basó en la selección y descripción de las especies a estudiar, en este caso se tuvo que consultar en el Herbario Nacional de la Universidad Centroamericana un lista de especies endémicas para Nicaragua; en la Segunda Etapa se determinó el diseño de campo tomando en consideración las condiciones físicas - geográficas del terreno; la realización del muestreo se hizo en la Tercera Etapa y significó la puesta en práctica del inventario; y una cuarta y última etapa fue el procesamiento y evaluación de la información, la cual se divide en el análisis de los datos climatológicos y el análisis de las variables silviculturales.

En la investigación se utilizó un tipo de muestreo estratificado en franjas a diferentes niveles altitudinales iniciando el muestreo a partir de los 1000 msnm y concluyendo a los 1200 msnm en ambas laderas del volcán; colocando así un total de seis franjas de muestreo en la que se midieron las variables, vigorosidad e iluminación a cada ejemplar de la especie presente dentro de la franja; al igual que las variables de sitio como pedregosidad, textura de suelo y relieve para cada una de las franjas. También se ubicaron cuatro termógrafos, dos en cada ladera del volcán a una altitud de 1000 y 1200msnm respectivamente; se recolectaron datos de seis meses de precipitación de cuatro pluviómetros dispersos en el área del volcán.

En el análisis de precipitación y temperatura se utilizó el un programa de Sistema de Información Geográfica (SIG) el software Arc view versión 3.2 en el cual a través de un método de interpolación Esplines se obtuvieron los mapas base de precipitación y temperatura característicos del área de la reserva cada uno con intervalos definidos a los que se les aplicaron las proyecciones previstas por los tres escenarios climáticos en los distintos horizontes de tiempo; planteados por el grupo de expertos del IPCC para Nicaragua, auxiliados con el software Dbase versión 5.5 para luego obtener los diferentes mapas para cada uno de los escenarios.

En el análisis estadístico realizado a las variables abundancia de especies - temperatura, distribución de especies-altitud y la frecuencia con que se presentaron las especies en el área demostró que existe una gran dependencia entre la distribución de las especies en estudios y la temperatura que se presenta en los diferentes pisos altitudinales presentes en el volcán.

Al evaluar los posibles cambios en la temperatura del volcán se estima que el área de distribución de las especies se reduzcan de forma drástica para los próximos años de acuerdo a los escenarios como consecuencia de un aumento de la temperatura y una disminución de la precipitación en el área de la reserva; por lo que las especies probablemente se extinguirán en el área si el ritmo de desplazamiento de estas especies es más bajo que la velocidad en que ocurran los cambios en el clima.

## SUMMARY

The present work was realized in the National Reserve Monbacho Volcano, located in the department of Granada, the one who was declared protected area for the Minister of Natural Resources and from Ambient in his decree No. 13-20. The principal object of this work is evaluate the possible behavior of the species *Freziera Frederichstallana* y *Hedyosmum Goudotianum* var. *Monbachuana* above those climatic changes in the area of the Natural Reserve Monbacho Volcano.

The methodology developed in the work consist in four stages, the First Stage take place in the selection and description of the species to study, in this case it has to consult in the National Herbarium of the Central American University an list of species endemics for Nicaragua; In the Second stage it has to determinate the design of field, taking in consideration the conditions physics-geographies of the terrain; The realization of the selections was made in the third stage and signify the setting in practice of the inventory; and one and forth and last stage was the indicating and evaluation of the information, the one who has to divide in the analysis of the climatologic dates and the analysis of the changeable forestry.

In the research was used one type of selection stratifies in fringes a different levels altitudinally beginning the selection to start at the 1000 msnm and concluding at the 1200 msnm in both hillside of the volcano; putting therefore one total of six fringes of selection in the ones who were weighted the changeable heights, diameter, vigor and illumination to every specimen of the presents species inside the fringes; as the same that the variability of places like rookery, texture of the ground and relief for every one of the fringes. Also was putted forth thermographs, two in each said of the volcano a one latitude of 1000 and 1200 msnm respectively; data were recollected whit six months of precipitation of forth rain gauges dispersed in the area of the volcano.

In the analysis of precipitation and temperature was used one program of Systems of Geographic of Information (SGI) the software Arc view version 3.2 in which through of a method of interpolation Spine was obtained the base maps of precipitation and temperature typical of the area of the reserve each one whit intervals definite at those who was applied the anticipates projections for the times (2010,2030,2050,2070,2100); presented in the group of experts of IPCC of Nicaragua, assisted whit the software Dbase version 5.5 for later obtain the different maps for each one of the scenarios .

In this strategic analysis made in the variables abundance of species-temperature, distributions of species-altitude and the frequency with the presentation, the species in the area showed that exist one big dependency between the distribution of the species in research and the temperature who are presented in the different altitudinal floor presented in the volcano.

At the evaluation the possible in the temperature of the volcano, it estimate in the distribution area of the species reduce in at dramatic form for the next years in agreement at the scenario whit consequences of one argument of the temperature and one diminution of the precipitation in the area of the reserve; for the specie what provable became stunted in the area if the rhythm of the displacement of this species is most longer than the velocity in occurs the climatic changes.

## **I. INTRODUCCION**

El cambio climático provocado por las actividades humanas representa una importante presión adicional, sobre los numerosos sistemas ecológicos, ya afectados por la contaminación y la creciente demanda de los recursos naturales. Proyecciones elaboradas por el Grupo Intergubernamental de expertos sobre Cambios Climático (IPCC), prevén un aumento en la temperatura media anual a nivel mundial con respecto a los niveles actuales de unos 2 °C para el año 2100; Considerando un escenario medio de emisiones mundiales (Torres y Rapidel; 1999).

La vulnerabilidad del ecosistema bosque ante el impacto del cambio climático es tal que el modelo prevé a nivel mundial que como consecuencia de los cambios en la Temperatura y la disponibilidad de agua en condiciones de duplicación de la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) una parte sustancial de zona forestal existente en el mundo sufrirá cambios importantes en los tipos generales de vegetación registrándose los más importantes en latitudes altas y los menores en las regiones tropicales. Se espera que el cambio climático evolucione rápidamente con relación a la velocidad a que crecen, se reproducen y se restablecen las especies forestales. Por lo tanto, probablemente cambien la composición de las especies en los bosques; tal vez desaparezcan tipos de bosque completos, se produzcan nuevos grupos de especies y por ellos nuevos ecosistemas (Torres y Rapidel, 1999).

En un ecosistema estable cada población ocupa un sitio en la gradiente ambiental determinada por el patrón de distribución de la misma, cuando cambian los patrones de temperatura y precipitación, la distribución de las especies vegetales cambian. A medida que la tierra se calienta las distintas especies tienden a cambiar su distribución hacia mayores latitudes y alturas; este proceso ha sido detectado desde la última época glaciaria (Torres y Rapidel; 1999).

Cada especie tiene un intervalo de tolerancia propio con respecto a los factores ambientales, sin embargo los límites de tolerancia no son bruscos, sino que la población tiene un centro óptimo a partir del cual su abundancia y frecuencia disminuye hacia ambos extremos de la gradiente ambiental (Matteucci, *et, al*; 1982).

En el caso de las especies endémicas, cuya distribución natural ya está confinada a grandes alturas, tanto en los ecosistemas templados como en los tropicales pudiera ser perjudicial un cambio. Dado que las cumbres de las montañas son más pequeñas que sus bases, en la medida que las especies se rijan hacia zonas con mayores alturas como resultado al aumento de las Temperaturas producidos por los cambios climáticos, éstas ocuparán menores superficies, tendrán poblaciones más reducidas y podrían volverse más vulnerable a las presiones genéticas y del medio ambiente (Ciesla, 1995).

Por las dudas asociadas a todos los aspectos en cuanto al cambios climático y el impacto que este pueda causar al ecosistema forestal se hace necesario la investigación científica sobre este problema, ya que el impacto que el cambio climático puede causar sobre las masas arbóreas pudiese ser muy significativo, debido a que la perpetuación de las especies dependerá de la capacidad que éstas tengan para mitigar los cambios adversos que se presentaran en el medio ambiente.

Algunas especies son más susceptibles que otras a los cambios climáticos, como el caso de las especies endémicas las cuales su distribución esta restringida a pequeñas áreas o parches y si las condiciones se tornan desfavorables para ellas en éstas zonas las especies desaparecen.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Describir el comportamiento de dos especies endémicas ante los cambios climáticos en la Reserva Volcán Mombacho, Departamento de Granada Nicaragua.

### **Objetivo específico**

- Determinar la abundancia y frecuencia de las especies *Hedyosmun goudetianum* var. *mombachanum* y *Freziera fredrischtaliana* a diferentes niveles altitudinales en el área de la reserva volcán Mombacho.
- Realizar la zonificación de la temperatura y precipitación del área de estudio en el volcán Mombacho.
- Definir los límites superiores e inferiores altitudinales de la distribución de las dos especies en estudio.
- Determinar los cambios que experimentarán las especies en su abundancia en años futuros al darse el cambio climático.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Cambios Climáticos**

En los textos oficiales el cambio climático se refiere al cambio de clima que es atribuido directamente o indirectamente a la actividad humana que modifica la composición de la atmósfera global. El cambio climático se adiciona entonces a la variabilidad climática natural observada sobre períodos de tiempos comparables. El clima de un lugar es caracterizado por las condiciones climáticas presentes en ese lugar. Ese clima incluye variaciones del tiempo atmosférico en diferentes escalas de tiempo, como son las diferencias de temperatura entre el día y la noche, diferencias de precipitación, según las estaciones del año, diferencias de tiempo entre distintas áreas, etc. Estos patrones de comportamiento con todas sus variaciones representa lo que se llama clima. Sin embargo el clima puede ser perturbado, cambiado. Existen causas naturales que pueden ser responsables de estos cambios. Por ejemplo, las grandes erupciones volcánicas y las variaciones de la órbita terrestre alrededor del sol, entre otras. (Rapidel. *et al*; 1999 ).

Recientemente, surgió en el mundo una preocupación alrededor de la constante elevación de la temperatura mundial global de la tierra. Esta elevación, con todas sus variaciones, no puede ser explicada por las causas naturales expuestas anteriormente ni por ninguna otra conocida. Estas variaciones de los climas mundiales más allá de las variaciones "naturales" que siempre manifiestan esto climas, es lo que actualmente se conoce como cambio climático, y se debe al incremento de las emisiones de gases de efecto de invernadero hacia la atmósfera, provocado por actividades humanas, principalmente por el uso de petróleo, la deforestación, las actividades industriales, la ganadería y el manejo de desechos. Este incremento en la emisión intensifica el efecto de invernadero natural de la atmósfera, determinando un calentamiento mayor de la tierra. (Rapidel. *et al*;1999).

La emisión de gases tales como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), fluorocarbonos (CFC's) y hidrofluorocarbonos (HFC's) se está produciendo más intensamente desde hace aproximadamente 150 años, y en mayores cantidades cada año, debido a eso ya podemos sentir el efecto de cambio climático actualmente. Por tanto, a causa que las emisiones están aumentando, este cambio climático se intensificará en el futuro. Para poder prever del futuro, se tiene que entender claramente como funciona el sistema climático planetario, y como los gases de efecto de invernadero intervienen con este. Sobre la base de este conocimiento, científicos de todo el mundo y de muchas disciplinas, unieron sus esfuerzos para realizar y mejorar continuamente modelos informáticos que describan correctamente el sistema climático. Con estos modelos a los cuales se les incorporan proyecciones de emisiones mundiales de gases de efecto invernadero para el futuro, se puede producir "escenarios de cambios climáticos" para el próximo siglo. (Rapidel. *et al*; 1999).

Estos escenarios no son predicciones, ya que descansan sobre una comprensión incompleta del sistema climático y sobre proyecciones inciertas sobre emisiones mundiales. Sin embargo, proporcionan una idea de lo que puede pasar, de manera verosímil, en el campo del cambio climático en los próximos decenios (Campos; 1999).

Según los modelos y la emisión de gases para los años 2070 a 2100, se prevé un aumento en la temperatura mundial de entre 1.5 y 3.5 grados centígrados. Las modificaciones de las variables climáticas en Nicaragua tienen los mismos ordenes de magnitud y los mismos sentidos lo que se prevé teóricamente por el cambio climático: aumento la temperatura en una fracción de grado sin embargo, a nivel regional prevé disminución de la precipitación en algunas porciones a diferencia de un aumento a nivel mundial. ( Anexo 1a) Estas variaciones son preocupantes para el futuro de ciertos sectores de la actividad económica nacional. ( Campos; 1999).

La vulnerabilidad define el grado con el que el cambio climático puede ser perjudicial o nocivo para un sistema. No sólo depende de la sensibilidad del sistema, sino también de su capacidad para adaptarse a nuevas condiciones climáticas. Tanto la magnitud como la velocidad del cambio climático, son importantes para determinar la sensibilidad, la adaptabilidad y la vulnerabilidad de un sistema. (Rapidel. et al;1999).

La mayoría de los sistemas ecológicos naturales son sensibles a los cambios climáticos: cuando cambian los patrones de temperatura y precipitación, tanto la distribución de los animales como las especies de plantas cambian. A medida que la tierra, se calienta, las distintas especies tienden a cambiar su distribución hacia mayores latitudes y alturas. Por cada 1°C más, la distribución de los arboles en el hemisferio septentrional puede moverse 100 km. hacia el norte mientras que las fronteras meridionales se retiran. Este proceso ha sido detectado desde la última época glacial. Hay muchas pruebas de los restos fósiles que indican que las plantas han experimentado cambios considerables en su distribución como consecuencia del cambio climático. Recientemente, en Suecia, la distribución del Abebul (*Betula pubescens*) reaccionó rápidamente al calentamiento que se produjo en la primera mitad del siglo XX, expandiendo su distribución hacia el norte de la tundra (Ciesla. 1995).

Los cambios en la distribución natural de los animales y de las plantas ocurrirán según las necesidades individuales de la especie y no necesariamente del ecosistema en su totalidad. Por lo tanto, debido al cambio climático, se puede prever algún reordenamiento de las asociaciones de especies (Ciesla, 1995)

Las especies pueden desplazarse cambiando la altitud de su distribución, a medida que las temperaturas aumenten, las especies se desplazaran hacia lugares más altos. Generalmente a un pequeño aumento de la temperatura corresponde un significativo cambio de latitud. Por ejemplo un aumento de 3°C asociado con un desplazamiento de 300 m más de altura corresponde a un

cambio de 250 Km. en el área de distribución de algunas especies, dado que las cumbres de las montañas son más pequeñas que sus bases, a medida que las especies se dirigen hacia zonas con mayor altitud debido al aumento de la temperatura, ocuparan menores superficies, tendrán poblaciones más reducidas y podrían volverse más vulnerable a las presiones genéticas y medios ambientales(Peters; 1990 y Sombrock; 1990 citados por Ciesla; 1995). Esto podría perjudicar la distribución y abundancia de especies endémicas cuya distribución natural ya está confinada a las grandes alturas tanto en los ecosistemas templados como en los tropicales (Ciesla, 1995).

## **2.2. Proceso adiabático**

Cualquier proceso en el que al aire no se le comunica ni se le quita calor se llama un proceso adiabático. Por el contrario se llama no adiabático a aquellos procesos en el que se les comunica o se les quita calor (Peterssen,1997).

En las proximidades de la superficie de la tierra son corrientes los procesos no adiabáticos, puesto que el aire cambia calor fácilmente con la superficie que tiene debajo. A niveles más altos el aire está tan lejos de puntos o sumideros de calor, que podemos considerar que los procesos son adiabáticos, sin embargo debemos distinguir dos casos. Si el aire no está saturado y no se suministra calor diremos que el proceso es adiabático seco, y los cambios de temperatura se debe por completo a expansiones o contracción, y por otra parte si el aire esta saturado y no se suministra calor de fuentes exteriores, el calor latente<sup>1</sup> se libera, en este caso se habla de un proceso adiabático saturado. Los cambios de temperatura del aire son debidos entonces, en parte a expansiones, y en parte a la liberación de calor latente (Peterssen,1997).

---

<sup>1</sup> Calor Latente de vaporización es el calor por unidad de masa necesario para cambiar la sustancia de líquido a vapor,

### **2.2.1. Gradiente adiabático seco**

Consideramos una burbuja de aire seco que se mueve a lo largo de la vertical; sin que se le comunique ni que se le quite calor. En este caso, el aire se enfría cuando va a presiones más bajas y se calienta cuando va a presiones altas. El incremento de presión está relacionado con el cambio de nivel según la ecuación de equilibrio adiabático. Veremos así que el aire se enfría cuando asciende y calienta cuando descienda. Para realizar este cálculo se emplea la fórmula que a continuación se describe. (Peterssen,1997)

$$\Delta p = \rho g \Delta z$$

Donde :

$\Delta P$ = diferencia de presión

$\rho$ = densidad de la masa de aire

$g$ = gravedad

$Z$ = diferencia de nivel

### **2.2.2. Gradiente adiabático húmedo**

Si asciende adiabáticamente una burbuja de aire se enfría por expansión; pero este enfriamiento es retardado por el calor latente que se libera al condensar parte del agua que contenía en forma de vapor de agua. Vemos que la condensación es causa de que el aire modifica su temperatura más despacio que en los procesos adiabáticos seco. Por ejemplo, para el área tropical caliente, el gradiente adiabático saturado es aproximadamente el 35% del gradiente adiabático seco. (Petterssen, 1973)

### **2.3. Vientos Foehn**

Del Foehn dicen los pastores suizos que es un viento seco y cálido, que en invierno devora la nieve y durante el verano seca el heno y madura la uva en los valles. Fue el meteorólogo austriaco Hann, familiarizado con el fenómeno y sabedor así mismo que el efecto Foehn había sido descrito en Groenlandia, quien llega a la conclusión de que el citado viento consistía, esencialmente en una corriente descendente que sometida a una compresión incrementa su temperatura y reduce su humedad relativa. Con posterioridad, Helmholtz señaló que el aire ascendente al enfriarse queda saturado y evoluciona con el gradiente adiabático húmedo, mientras el aire descendente lo hace a sotavento con el de la adiabático seco, en cuanto al mecanismo desencadenante en el Foehn; Billwiller (1876-1878) probaría que el viento soplaba con altas presiones al sur de los Alpes y áreas de baja en Europa central o mar del norte (Gil y Olcina; 1997).

El viento se desencadena con presencia de bajas presiones en el mar del norte y el oeste de Alemania, y altas en la llanura de Po o en el que este caso sería la meridional, cuando el Foehn comienza su ascenso; si no está saturado, evoluciona con gradiente adiabático seco; después si se satura y comienza la ascensión, lo hace con gradiente húmedo al evolucionar con dicho gradiente este aire ascendente se enfría menos que si lo hiciese adiabáticamente; al tiempo que puede originar nubes y precipitaciones, con la cual una presión de carga higrométrica queda en la vertiente de barlovento, mientras que de la vertiente de sotavento la formación nubosa originada parece cortada a pico, bruscamente: es la pared o muro de Foehn (Foehnmaver o Föhnwall). El descenso de la vertiente de sotavento se hace con el gradiente de adiabático seco; en consecuencia este viento registra mayor temperatura y posee menor humedad relativa, menos carga higrométrica, que cuando inicia el ascenso; consecuencia de ello puede ser considerable oscilaciones térmicas diarias, ya que durante la noche, con cielo despejado, el enfriamiento por irradiación se intensifica ( figura 1 ) (Gil y Olcina; 1997).

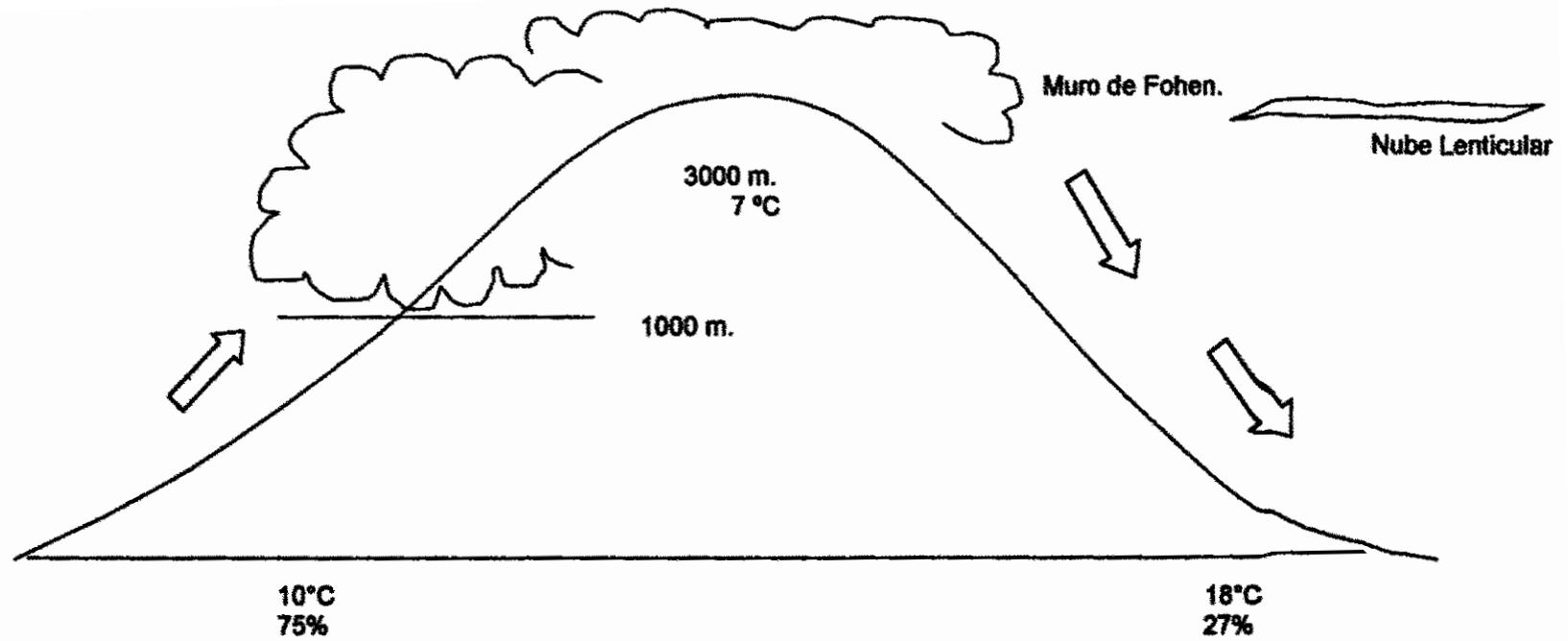


figura 1 . Fenómeno de foehn explicado por Billwiller (1876 - 1878 )

### **III. METODOLOGIA Y MATERIALES**

#### **3.1. Descripción general del área**

El volcán Mombacho, se encuentra situado al sur de la ciudad de Granada, en la orilla occidental del Lago de Nicaragua bajo las coordenadas 11° 50' Latitud Norte y 85°59' Longitud Oeste con una elevación máxima de 1345 msnm. (figura 2) El volcán posee un diámetro radial aproximadamente de 7 Km. En la base, con un cráter truncado de aproximadamente 1.5 Km de diámetro en su borde superior y 750 m de diámetro en el fondo del cráter. Este es el quinto volcán más alto de la cadena volcánica del este de Nicaragua. (Calero y Valerio; 1994).

#### **3.1.2. Geología**

El Mombacho es un edificio volcánico formado principalmente de roca basáltica, el proceso de demolición se observa en la gran trinchera que se abre sobre su ladera norte en dirección a las isletas, algunos geólogos atribuyen esta avalancha la formación de archipiélagos.

La cumbre del volcán esta coronada por un pico terminal remanente poco accesible dada las fuertes pendientes que caen hacia precipicios por todos lados, este Bosque tropical del volcán Mombacho forma parte del corredor biológico por su potencial de flora y fauna.(Calero y Valerio1994).

#### **3.1.3.Clima**

Existe humedad en casi todo el año debido a los efectos de las latitudes y los fuertes vientos que proceden del lago de Nicaragua, originando una cubierta de neblina en la cúspide del volcán: a una altura de 1200 m éste presenta una temperatura promedio anual de 17°C (Atwood.1984).

Aunque el volcán Mombacho es un punto de nebliselva de la región del pacífico está inmerso dentro de lo que es la sabana tropical y llanos formando parte del bosque caducifolio y matorraloso del pacífico. La característica ecológica de los bosques depende de la altitud del volcán y de la cercanía de las masas de agua del lago de Nicaragua, a medida que la humedad sube sobre las faldas del volcán, éstas se condensan provocando brisas y lloviznas cortas en épocas secas, lo mismo que clima de nebliselva en la cúspide. (Atwood.1984).

En el área de la reserva natural se localizan dos zonas de clima, según los parámetros considerados por Holdridge, una zona subtropical de transición húmeda en la parte baja y una segunda zona montaña de transición húmeda o nebliselva. (Calero y Valerio; 1994).

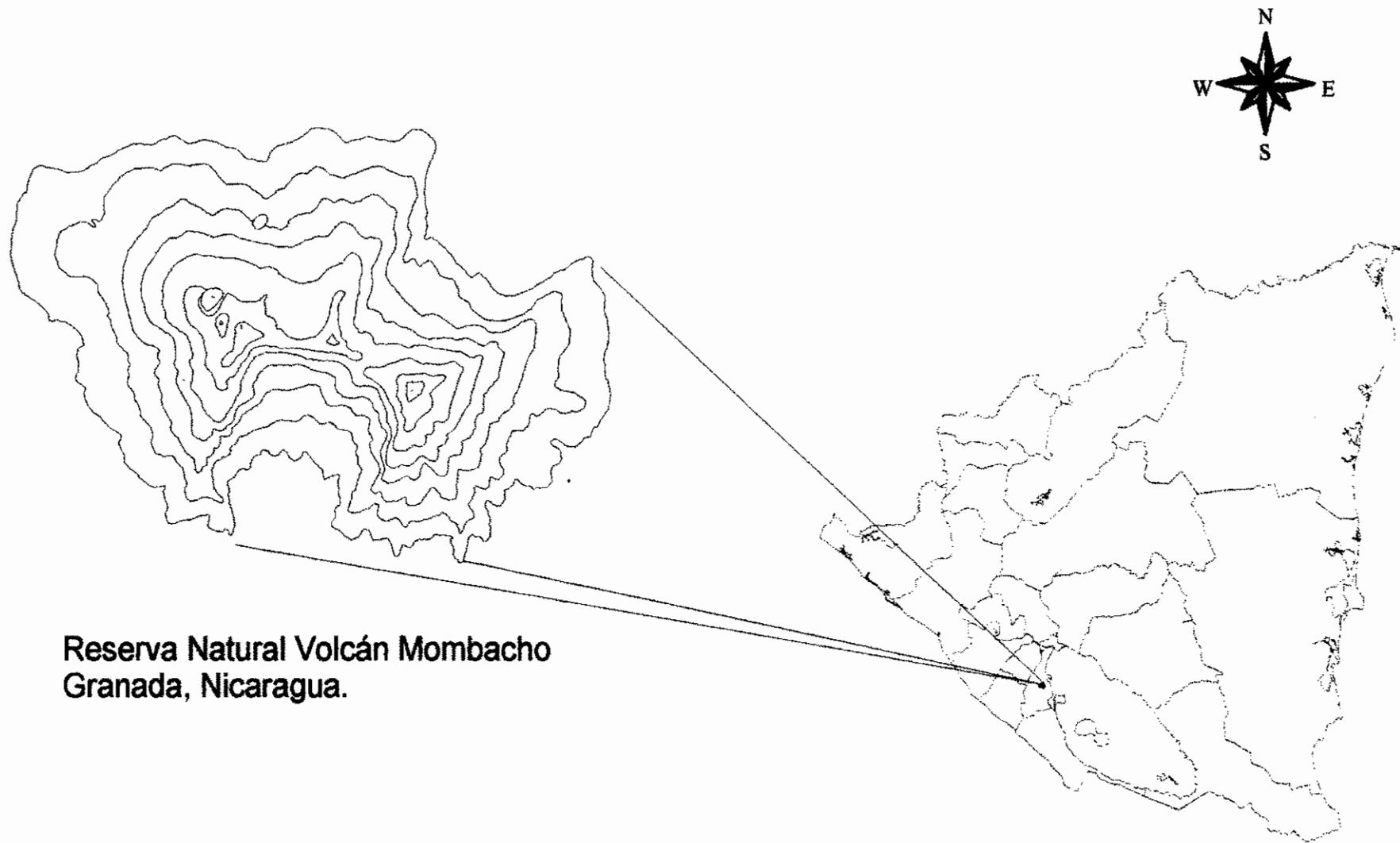
#### **3.1.4. Vegetación**

El volcán está cubierto de una espesa vegetación de nebliselva, la cual incluye árboles de especies maderables, arbustos, lianas y especies herbáceas que cubren gran parte de la superficie volcánica; en la parte sur y suroeste se encuentra otro tipo de vegetación, como cultivos perennes (café), la cual se acompaña por musaceas, cítricos y algunas parcelas de cacao; localizados éstos desde la base del volcán hasta una altura de 850 msnm. También en esta área existen áreas de agricultura de subsistencia y pastoreo de ganado vacuno, lo que origina una vegetación característica de un bosque secundario con intervención humana avanzada (Calero y Valerio;1994).

#### **3.1.5. Suelos y topografía**

Los viejos suelos arcillosos del volcán Mombacho se encuentran meteorizados por la continua humedad que envuelve el cono. Estos son profundos a moderadamente profundos, bien drenados y fértiles, se originan de material volcánico. En su topografía se encuentran desde pendientes

moderadamente escarpadas hasta escarpadas, se pueden encontrar tipos de suelos de franco a franco arcilloso con colores pardos grisáceos muy oscuro en los primeros centímetros, con estructura granular finas y medias. (Calero y Valerio; 1994).



**Reserva Natural Volcán Mombacho  
Granada, Nicaragua.**

**Figura 2. Ubicación de la zona de estudio en  
Nicaragua, 2000.**



## **3.2. MATERIALES**

En la etapa de gabinete se utilizó el equipo necesario de oficina para la realización del documento final, además del uso de programas de Sistemas de Información Geográficos (SIG), los resultados de las proyecciones de los escenarios climáticos para el pacífico de Nicaragua (Campos,1999) y los datos de precipitación y temperatura para el área del volcán Mombacho. En la etapa de campo los materiales necesarios para el trabajo de investigación se describen a continuación:

## **3.3 PROCESO METODOLOGICO**

El desarrollo metodológico del trabajo consta de cuatro etapas, las que agrupan en orden las diferentes actividades que se tuvieron que realizar en la ejecución de este trabajo de investigación.

### **3.3.1 Etapa 1. Selección y descripción de las especies**

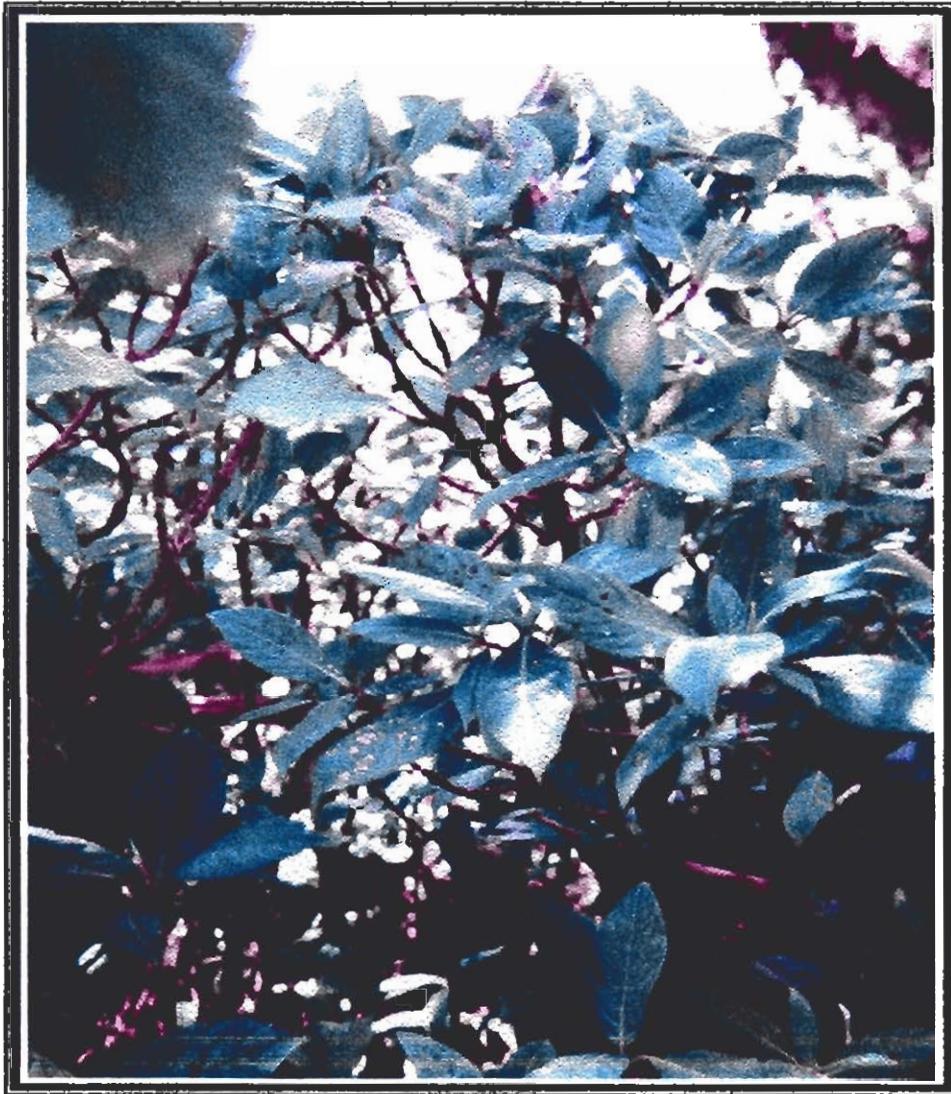
En esta etapa se seleccionó las especies de acuerdo a sus características y su posible susceptibilidad ante los eventuales cambios climáticos que puedan presentarse en su hábitat. Para esto se utilizó una lista de especies endémicas de Nicaragua elaborado por el herbario nacional y verificadas en el Jardín Botánico De Missouri a través de Dr. Douglas Stevens el cual plantea que las especies *Hedyosmun goudetiamum* y *Freziera friedrichtaliana* son endémicas del Volcán Mombacho y Madera en Nicaragua. Esto le da a la especie una mayor importancia ya que forma parte de la biodiversidad única de estas dos áreas, y al poco estudio científico que sea realizado con ellas ( biológico, económico, medicinal, etc.).

### **3.3.1.1. Descripción botánica de la especie *Hedyosmun goudetiamum*. var *mombachanum* Todzia**

Arboles o arbustos entre 2-7 m de alto; dioicas. Hojas angostamente elípticas a oblonga, 6-15 cm de largo y 2-5 cm de ancho; Acuminada en el ápice atenuada en la base; glabras; vaina generalmente glabra, a veces rugosas, estípula lineares a ligeramente fimbriadas flores femeninas en grupo de 1- 4, cada una sostenida por una bráctea camosa parcialmente fusionada. Fruto múltiple pequeño, con drupas embebidas en tejido blanco y camosa de la bráctea. Confinada a elevaciones entre 900 a 1300 msnm. Según Douglas Stevens (1999) es endémica del Volcán Mombacho de Granada y el Volcán Madera de la Isla de Ometepe. (Herbario Nacional U.C.A. 1999)( foto 1).

### **3.3.1.2. descripción botánica de la especie *freziera friedrichsthaliana***

Arbol de 3 a 10 m de alto, ramas glabras o finamente ceríceas, yema terminal de 3 a 9 cm de largo y de 1 a 3 mm de ancho. Hojas anchas acuminadas (a menudo falcadas). Glabras en el haz y en el envés o en una pequeña banda de tricomas seríceos a o ambos lados del nervio principal. Pecíolo de 1.5 a 4 cm de largo, conículo de 1.5 a 2 mm de profundidad, inflorescencia con un pedúnculo diminuto de 2 mm, pedicelos de 3 a 6 mm de largo, menuda a densamente seríceos, bractéola cilioladas (a veces escasamente), a veces con unos pocos tricomas seríceos, sépalos suborbiculares, a ovados, redondeados en el ápice. Pétalos de 5 a 6.5 mm de largo, y de 2 a 4 mm de ancho, blancos con amarillo, estambres de 1.5 a 3 mm de largo (variando en cada flor); anteras iguales o ligeramente más corta en los filamentos; frutos globosos de 5 a 7 mm de largo, corto apiculado, verde tornándose morado oscuro, semillas numerosas de 0.5 mm de largo. Se encuentra entre 700 a 1600 msnm. Según Douglas Stevens (1999) en Nicaragua sólo se conocen muestras del Volcán Mombacho y del Maderas y también en el norte de Costa Rica (Herbario Nacional U.C.A, 1999).(foto 2).



**Foto 1. *Hedyosmun goudetianum* Var. *Mombachanum* en hábitat natural  
Reserva Natural Volcán Mombacho (RNVM), Granada**



***Freziera Fredierischtaliana* en su hábitat natural  
Reserva Natural Volcán Mombacho (RNVM), Granada.**

### **3.3.2. Etapa 2. Determinación de un diseño de campo**

Debido a la topografía que presenta el área de la reserva Volcán Mombacho la cual es completamente irregular y por el tipo de estudio que se está realizando se decidió implementar un muestreo en franja .

Para la elaboración de este muestreo se tomaron en cuenta los diferentes estratos altitudinales que presenta el área de la reserva que varía desde los 850 msnm hasta los 1345 msnm. se establecieron tres franjas de muestreo en cada ladera del volcán (sotavento, barlovento) siguiendo el curso de las curvas a nivel entre los 1000 a 1200 msnm a cada 100 m de diferencia. las parcelas ubicadas a 1000 y 1100 msnm tienen dimensiones de 500m por 10m cubriendo así un área de 0.5 ha cada una de ellas, las franjas ubicadas a los 1200msnm poseen dimensiones de 250m por 10m abarcando un área de 0.25 ha cada una de ellas la diferencia de éstas con las demás franjas es debido a la longitud que estas curvas poseen en el terreno (figura 3).

En cada parcela montada en el campo se tomaron los datos requeridos por los formatos (anexos 1y 2).

### **3.3.3. Etapa 3. Realización del muestreo**

Con la realización del muestreo se determinó la existencia y frecuencia de las especies en los diferentes niveles altitudinales, en este muestreo se tomarán en cuenta variables silviculturales y variables de sitios.

### **3.3.3.1. Variables silviculturales**

#### **3.3.3.1.1. Iluminación**

Se definieron cuatro categorías de iluminación las cuales permiten definir en que estrato del bosque se encuentra la especie (Calero y Valerio, 1994).

**Categoría 1: iluminación total:** se refiere a los árboles dominantes que existen dentro de la vegetación arbórea.

**Categoría 2: iluminación en la copa:** se refiere a los árboles que reciben iluminación sólo en la parte superior de la copa.

**Categoría 3: iluminación lateral:** sólo reciben luz en algunos lados de la copa.

**Categoría 4: sin iluminación:** comprenden todos los árboles que están en estratos dominados, por tanto no reciben luz directa solo difusa.

#### **3.3.3.1.2. Vigoridad**

Se definieron tres categorías de vigoridad las cuales permiten definir en que estado sanitario encuentran la especie (Calero y Valerio, 1994).

**Categoría 1: Vigoroso:** copa completa aunque estén con o sin follaje, buena vitalidad aparente, sin daño que afecte el crecimiento, follaje nuevo.

**Categoría 2: Vigoridad media:** copa irregular, follaje viejo, pero no compromete su crecimiento futuro.

**Categoría 3: Muerto:** síntomas de baja vitalidad con tendencia a morir.

### **3.3.3.2. Variable de sitio**

Para la evaluación de estas variables se tomaron en cuenta la pedregosidad, el relieve y la textura de suelo que se encuentra dentro de la parcela para esto se realizó una observación visual del relieve y pedregosidad existente dentro de cada una de las parcelas, la evaluación de la variable textura se realizó una prueba de tacto al suelo dentro de las parcelas (Calero y Valerio, 1994).

**3.3.3.2.1 Pedregosidad:** Se refiere a la abundancia de piedra en el lugar y se subdividirá en tres categorías:

Categoría 1: sin piedra.

Categoría 2: moderadamente pedregoso.

Categoría 3: pedregoso.

**3.3.3.2.2. Relieve:** Se refiere a la configuración general del terreno donde se ubica la parcela y se divide en:

O: Ondulado.

P: Plano.

Q. Quebrado.

**3.3.3.2.3. Textura del suelo:** aquí se consideró si el suelo es arcillo, arenoso, franco o cualquiera de las combinaciones que se puedan presentar.

Ac: arcilloso

Fr: franco

Ar : arena



**Figura 3. Ubicación de las franjas de muestreo en el área de la Reserva Volcan Mombacho en el departamento de Granada, 2000.**

### **3.3.4. Etapa 4. Procesamiento y evaluación de la información.**

En esta etapa se analizaron los datos silviculturales y los datos de sitio recopilados en el campo, así como los datos meteorológicos de precipitación y temperatura tomados del área (seis meses de datos de precipitación y temperatura).

#### **3.3.4.1. Evaluación de datos silviculturales**

##### **3.3.4.1.1 Abundancia**

Para evaluar esta variable con el fin de demostrar la relación que existe entre la abundancia de las especies en ambas laderas con respecto a los diferentes estratos altitudinales se le aplicó una prueba estadística de Ji cuadrado a un 95% de confiabilidad esto para cada ladera de forma separada (Johnson; 1991).

$$X^2 = \sum \frac{(O - E)^2}{E}$$

Donde:

O = frecuencia observada.

E = frecuencia esperada

Para demostrar la relación existente entre la variable distribución altitudinal de las especies con respecto a la variable ambiental temperatura se le aplicó a esta variable una prueba de regresión lineal a un nivel de significancia del 95% en el programa Sistema para Análisis estadístico (SPSS) para las dos laderas del volcán de forma separada.

### 3.3.4.1.2 Frecuencia

Para la determinación de la frecuencia de cada especie en el área de muestreo se utilizaron métodos estadísticos para determinar la frecuencia absoluta y relativa con que se presentan las dos especies en la ladera de sotavento y barlovento, los cuales se presentan en un cuadro comparativo con frecuencia absoluta y relativa para cada una de las especies en cada una de las laderas del volcán (Lamprecht. 1990).

### 3.3.4.2. Etapa 4. Análisis de datos climatológicos

#### 3.3.4.2.1 Cálculo de la gradiente de temperatura del volcán Mombacho

Para la obtención de este resultado se instalaron cuatro termógrafos a 1000 y 1200 msnm en ambos lados de la ladera del volcán por un periodo de cinco días, para realizar la zonificación de isotermas actuales en el área se utilizara un programa de SIG (Arc View) el cual permite realizar una extrapolación de datos, este deberá ser alimentado con la base de datos obtenidos en el campo (figura 4.), A los promedios de los datos encontrados en al campo se les aplicó la fórmula del gradiente adiabático (Petterssen S. 1973).

$$\frac{\Delta T}{\Delta h} = \gamma_s \quad \gamma_h = 35\% \gamma_s$$

Donde:

$\Delta T$ : diferencia de temperatura entre dos puntos.

$\Delta h$ : diferencia de altitud entre dos puntos.

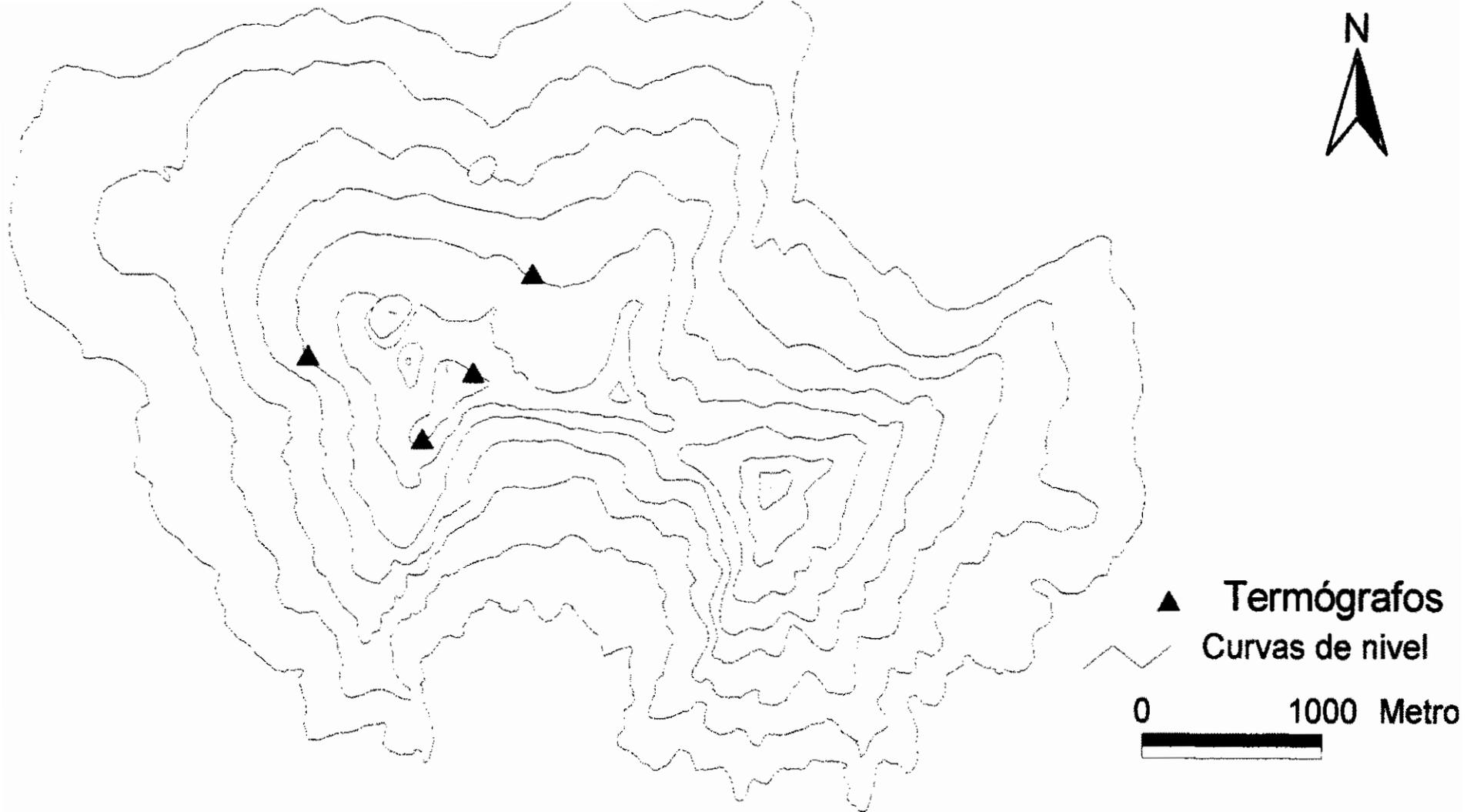
$\gamma_s$ : valor del gradiente aire seco.

$\gamma_h$ : valor del gradiente aire húmedo o saturado.

Obteniéndose así la gradiente de temperatura húmeda y seca del Volcán Mombacho posterior mente se creo una base de datos en el programa Excel para ser utilizada en el software Arc view versión 3.2 para obtener un Mapa base de isotermas del volcán Mombacho al cual se le aplicó el aumento de temperatura previsto en los modelos de proyección realizados para distintos escenarios de cambios climáticos (optimista, moderado y pesimista) en cinco horizontes de tiempo diferentes (2010, 2030, 2050, 2070, 2100).

#### **3.3.4.2.2 Precipitación**

Para realizar la etapa correspondiente a precipitación se obtuvieron de seis meses de registro de precipitación de cuatro pluviómetros distribuidos en las laderas del volcán por un periodo de seis meses (figura 5. ), luego se creó una base de datos en el programa Excel para introducir esos resultados al Software Arcview versión 3.2 para obtener el Mapa base de isoyetas del volcán Mombacho al que se aplicaron las proyecciones realizadas por los distintos escenarios de cambio climático para el pacífico de Nicaragua.



**Figura 4. Ubicación de termógrafos en el área de la Reserva Volcán Mombacho en el departamento de Granada, 2000.**

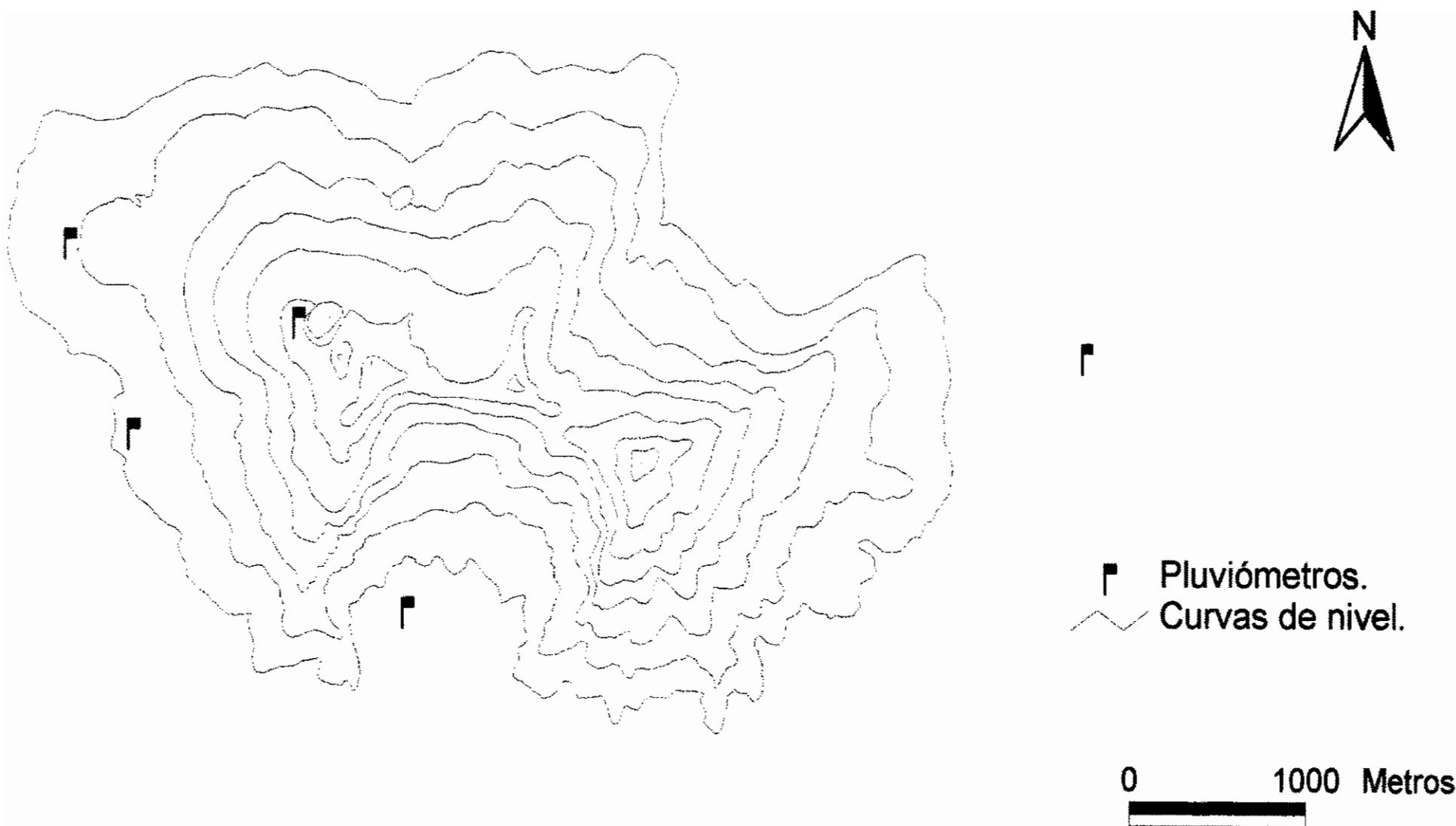


Figura 5 . Ubicación de pluviómetros en el área de la Reserva Volcán Mombacho en el departamento de Granada, 2000.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 Resultado de datos silviculturales

#### 4.1.1. Iluminación

De acuerdo a los datos de la variable iluminación, el 37% de la población muestreada (245 árboles) recibe una iluminación total, un 11% recibe iluminación en su copa, otro 30% recibe iluminación lateral y un 22% no recibe ningún tipo de iluminación.

Ambas especies muestran igual comportamiento, en la zona más altas, donde se encuentra el mayor número de individuos, las especies se ven favorecidas con una buena iluminación debido a que se encuentran ocupando un estrato medio y alto del Bosque, en las zonas más bajas de la Reserva las especies presentan poca iluminación, ya que a ese piso altitudinal existen una mayor presencia de especies de arboles maderables obligando de esta forma a que las especies *Hedyosmun* y *Freziera* ocupen estratos bajos por lo que podemos considerar en este caso a las especies como eciofitas parciales (cuadro 1).

Cuadro 1. Número y porcentaje de individuo de ambas especies por franja para cada categoría de iluminación, en las dos laderas de la Reserva Natural Volcán Mombacho del Departamento de Granada, 2000.

Ladera	Nivel altitudinal (msnm)	Categoría de iluminación								Total
		1	%	2	%	3	%	4	%	
Botavento	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1100	0	0	1	100	0	0	0	0	0
	1200	28	40.5	6	8	29	42	6	8	69
Barlovento	1200	35	39	13	47	26	29	14	15	88
	1100	12	18	5	7	17	26	31	47.6	65
	1000	17	77	1	4.5	1	4.5	3	13.4	22

#### 4.1.2. Vigorosidad

El análisis de datos realizado a la variable vigorosidad demostró que el 51% de la población muestreada (245 árboles) presenta una categoría de vigorosidad 1, un 48.1% presenta vigorosidad media y un 0.8% de la muestra se encontraron muertos. Los individuos de ambas especies que poseen una vigorosidad alta (64 % de la población muestreada) se encuentran ubicados en su mayoría en las zonas mas alta, especialmente en las franjas ubicadas a los 1200 msnm en ambas laderas y una gran parte de los que presentan una menor vigorosidad se encuentran distribuidos en las zonas mas bajas especialmente en la ladera de barlovento en donde existe una menor competencia con otras especies.

De forma general podemos decir que ambas especies presentan un estado sanitario muy bueno ya que no se encuentran amenazadas por ninguna otra especie y no carecen de luz, agua, disponibilidad de nutrientes o afectaciones de enfermedades. (Cuadro 2.)

Cuadro 2. Número y porcentaje de individuos por franja para cada categoría de vigorosidad en las dos laderas de la Reserva Natural Volcán Mombacho, del departamento de Granada, 2000.

Ladera	Franja (msnm)	Categoría de vigorosidad											
		1				2				3			
		Freziera		Hydeosmun		Freziera		Hydeosmun		Freziera		Hydeosmun	
		%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N
Sotavento	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1100	-	-	-	-	100	1	-	-	-	-	-	-
	1200	4.5	3	58	40	4.5	3	33	23	-	-	-	-
Barlovento	1000	9	2	41	9	4.5	1	45.5	10	-	-	-	-
	1100	-	-	37	24	-	-	63	41	-	-	-	-
	1200	8	7	44	39	1	1	47	41	-	-	-	-

N= número de individuos

#### 4.1.3. Distribución de las especies

Observaciones en el campo demuestran que las especies presentan un tipo de distribución agrupada cuyo centro óptimo de desarrollo se encuentra en la cúspide del Volcán a partir del cual se desplazan los rangos de distribución, el cual asciende entre los 900 - 1000 msnm en la ladera de Barlovento y 1000 - 1100 msnm en la ladera de Sotavento. El análisis de regresión realizado a la variable distribución de las especies se obtuvieron valores de  $r^2=0.87$  en la ladera de sotavento y un  $r^2=0.97$  en la ladera de barlovento respectivamente, de acuerdo a esto podemos determinar que la distribución de las especies es dependiente de la temperatura del sitio. A medida que las temperaturas sean mas bajas existirá un mayor número de individuos.

Otro modelo estadístico (prueba de ji) realizado a la variable abundancia con un nivel de significancia del 95% demostró que existen diferencias altamente significativas entre la abundancia de las especies y el nivel altitudinal en que se encuentra obteniéndose un  $\chi^2$  calculado = 544 para la ladera de sotavento y un  $\chi^2$  calculado = 288.04 en la ladera barlovento comparado con un  $\chi^2$  tabulado = 6.00. Por lo tanto podemos asumir que se encontrara una mayor distribución de individuos en las zonas más altas del volcán y aún más en la ladera de barlovento.

#### 4.1.4. Frecuencia

En el cuadro 3 se muestran las frecuencias absoluta y relativa con que se encuentran las dos diferentes especies en estudio, lo que demuestra que en la ladera de sotavento la especie que se encuentra con mayor frecuencia en el área es la especie *freziera* la cual se presenta en un 66% de área muestreada en dicha ladera y la especie se encuentra en una menor proporción es la *Hedyosmun* con un 33%. En la ladera de barlovento la especie más frecuente es la especie *Hedyosmun* con una frecuencia de 60% del área y la especie *Freziera* se presenta en una proporción del 39% del área en muestreo.

Lo que demuestra que la frecuencia con que se encuentran las diferentes especie en el área del volcán Mombacho es irregular si comparamos las frecuencias con que se presentan ambas especies en las dos laderas.

Cuadro 3 . Frecuencia absoluta y relativa de las especies *Freziera* y *Hedyosmum* en la Reserva Natural Volcan Mombacho del departamento de Granada, 2000.

Especies	Frecuencias			
	Absoluta		Relativa	
	Sotavento	Barlovento	Sotavento	Barlovento
<i>Hedyosmum</i>	33.3	100	33.3	60
<i>Freziera</i>	66.6	66.6	66.6	40

#### 4.2 Análisis de datos de sitio

Los datos de sitio obtenidos en el muestreo demuestran que los suelos localizados en el área de muestreo son bastante homogéneos con respecto a su textura la cual en la mayoría de las franjas se encontraron suelos francos arcillosos con abundante materia orgánica, presentan un relieve quebrado y una pedregosidad moderada.

#### 4.3 Análisis de datos climatológicos

##### 4.3.1 Temperatura

De acuerdo con los datos registros de temperatura que se obtuvieron de los termógrafos ubicados en el volcán Mombacho por un periodo de cinco días, se determinaron temperaturas en el bosque aproximadas de 15.08 °C para una altitud de 1200 msnm y de 15.68 °C para una altitud de 1000 msnm: al aplicar estos valores a la fórmula del gradiente adiabático de aire saturado y de aire seco, se obtuvo un valor de 0.19 °C/100 m y 0.54 °C/100 m respectivamente.

El cuadro 4. refleja los valores de temperatura para cada piso altitudinal en ambas laderas, en éstas se puede observar la variación de la temperatura de la masa de aire que asciende hacia la cúspide del volcán con una gradiente seca hasta los 900 msnm y continua su ascenso con la gradiente húmeda de temperatura de la masa de aire la cual desciende con gradiente seco a partir de los 1000 msnm en la vertiente de sotavento; esto es producto del mecanismo de Foehn o fenómeno de foehnización que es característico y determinante del clima en el área de la reserva.

**Cuadro 4. Gradiente de temperatura actual en el área de la Reserva Natural Volcán Mombacho durante el período del 24 al 28 de enero Granada, 2000.**

Barlovento		Sotavento	
Altitud. msnm	Temperatura °C	Altitud. msnm	Temperatura °C
1300	14.89	1300	14.89
1200	15.08	1200	15.08
1100	15.27	1100	15.27
1000	15.46	1000	15.81
900	15.65	900	16.35
800	16.19	800	16.89
700	16.73	700	17.43
600	17.27	600	17.97

Cuando se ubican las parcelas sobre el mapa de isotermas actual éstas se encuentran entre un rango de temperatura que varía entre 14 °C y 16 °C. En el cuadro 5 se describe la temperatura aproximada para cada parcela en ambas laderas.

**Cuadro 5. Temperatura actual para cada franja de muestreo en la Reserva Natural Volcan Mombacho durante el período del 24 al 28 de enero Granada, 2000.**

<b>Barlovento</b>		
<b>Parcelas</b>	<b>Altitud (msnm)</b>	<b>Temperatura °C</b>
3	1200	15.08
2	1100	15.27
1	1000	15.46
<b>Sotavento</b>		
<b>Parcelas</b>	<b>Altitud (msnm)</b>	<b>Temperatura °C</b>
4	1200	15.08
5	1100	15.27
6	1000	15.81

El límite inferior altitudinal de distribución de las especies estudiadas en las laderas de barlovento esta entre 900 -1000 msnm mientras que en la vertiente de sotavento está entre 1000 -1100 msnm; la temperatura estimada en estos puntos es aproximadamente de 15.55 °C y 15.54 °C respectivamente, aunque el mayor número de individuos encontrados se ubican los 1200 msnm a ambos lados del volcán a una temperatura aproximada de 15.08 °C. Tomando en cuenta el valor máxima y mínimo de temperatura calculada para el área del volcán, se pueden definir siete intervalos de temperatura para la elaboración del mapa de isotermas actuales; el área que cubre cada intervalo esta representado en el cuadro siguiente:

**Cuadro 6 . Areas actuales para cada intervalos de temperatura en el área de la Reserva Natural Volcán Mombacho, durante el período del 24 al 28 de enero, Granada,2000.**

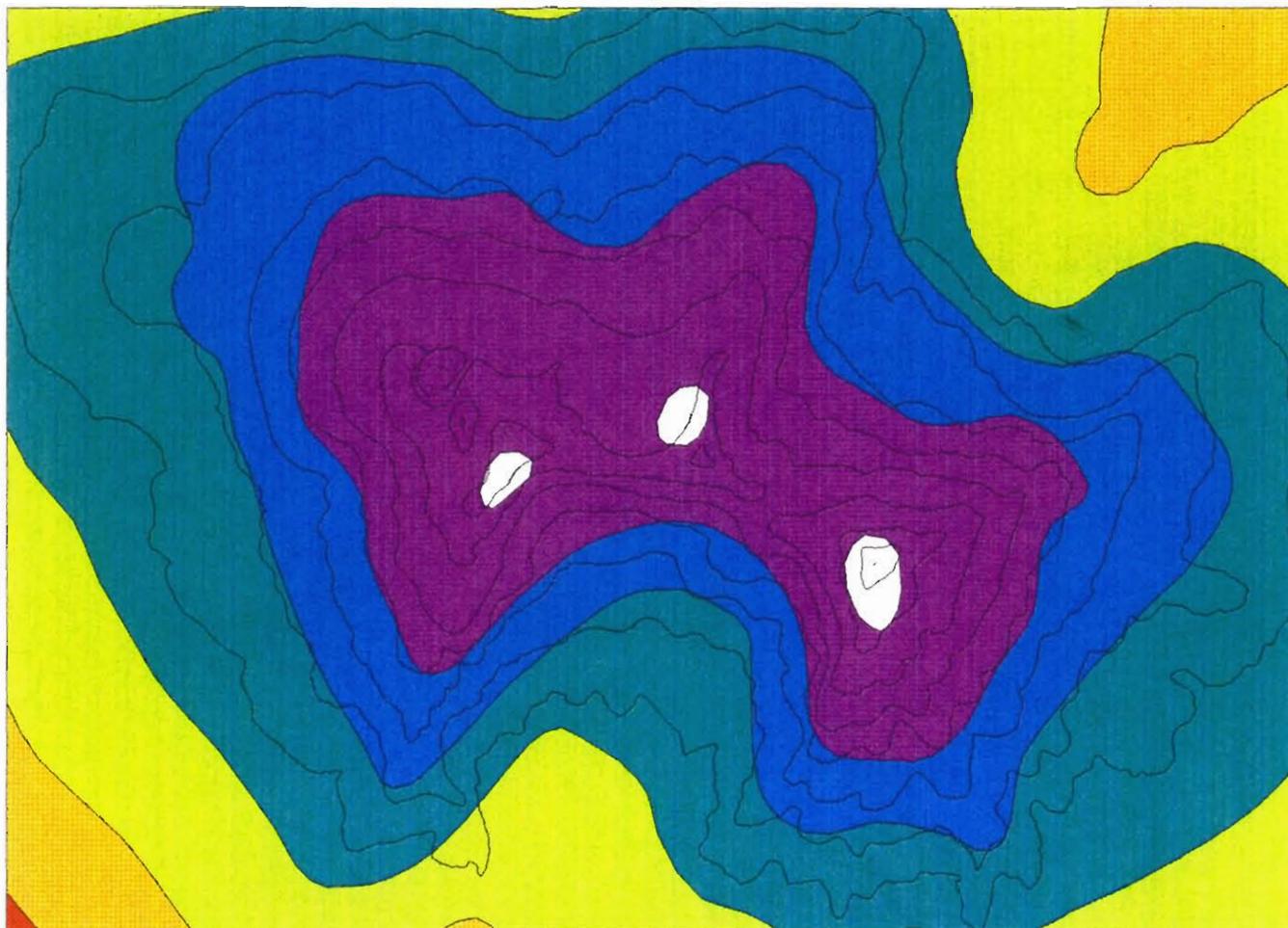
<b>Intervalos de temperatura C°.</b>	<b>Area actual Ha</b>
<b>Menores de 14.00</b>	<b>18.07</b>
15.00	534.66
16.00	597.79
17.00	882.21
18.00	417.57
19.00	104.13
<b>Mayores de 20.00</b>	<b>1.46</b>

De acuerdo con la información generada por el escenario climático para el pacífico de Nicaragua, la temperatura sobre la vertiente del pacífico tiende a aumentar gradualmente sobre el promedio actual. La precipitación que es una variable consistente, tiende hacia una reducción ( anexo 4 ). Cuando se analizan resultados obtenidos de los distintos escenarios( IS-92-a, IS-92-d, IS-92-c ) y se aplican a la gradiente temperatura calculada para el volcán, se observa un aumento en aquellas áreas cuyo valores de temperatura son más altos y una reducción de las áreas de intervalos con valores de temperatura más bajo (cuadro7).

Cuadro N° 7. Áreas para cada intervalo de temperatura para cada escenario propuesto por el IPCC para cada horizonte de tiempo, en el área del Volcán Mombacho, para un período de cinco días; departamento de Granada 2000.

Intervalos de temperatura C°.	Area actual, Ha.	Moderado					Optimista					Pesimista				
		2010	2030	2050	2070	2100	2010	2030	2050	2070	2100	2010	2030	2050	2070	2100
14.00	18.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.00	534.88	91.78	0	0	0	0	91.78	0	0	0	0	48.31	0	0	0	0
16.00	697.79	553.39	425.14	162.93	1.40	0	553.39	425.14	231.93	48.31	1.40	548.67	313.75	1.40	0	0
17.00	882.21	669.42	521.60	535.87	508.89	231.92	669.42	521.60	529.03	548.67	508.89	633.32	509.43	508.89	91.78	0
18.00	417.57	830.50	854.71	705.30	567.54	529.03	830.50	854.71	739.02	633.32	567.54	662.07	776.86	567.54	553.39	162.93
19.00	104.13	355.43	546.78	788.92	886.55	739.02	355.43	546.79	737.56	662.07	886.55	393.15	677.24	886.55	669.42	535.87
20.00	1.46	55.38	196.71	318.42	456.13	737.56	55.38	196.71	283.81	393.15	456.13	69.99	253.00	456.13	830.50	705.30
21.00	0	0.01	10.95	44.46	132.28	283.80	0.01	10.95	34.55	69.99	132.28	0.40	25.62	132.28	355.44	788.92
22.00	0	0	0	0	3.11	34.55	0	0	0	0.40	3.11	0	0	3.11	55.38	318.42
23.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	44.46

En el caso del escenario moderado (IS-92-d) propuesto por el IPCC la reducción del área en cada intervalo es considerable; los rangos de temperatura máximos y mínimos para el área del volcán Mombacho aumentarán para cada uno de los horizontes de tiempo. Al establecer una comparación entre los resultados obtenidos en el escenario IS-92-d para cada horizonte de tiempo y el área actual que ocupa cada intervalo de temperatura se observa una reducción drástica a medida que avanza el tiempo, lo cual indica que las temperaturas en el volcán irán aumentando. Sin embargo, no hay que dejar de lado el hecho de los resultados se basan en un período muy corto de medición de temperatura en el área por lo que deben considerarse como resultados de un estudio preliminar.



Curvas de nivel

Intervalos de temperatura

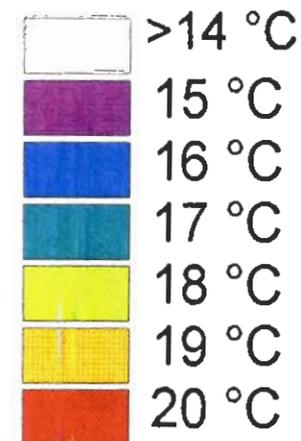


Figura 6. Mapa de isoterma actual de la Reserva Volcán Mombacho en el departamento de Granada, 24-28 Ene./2000.

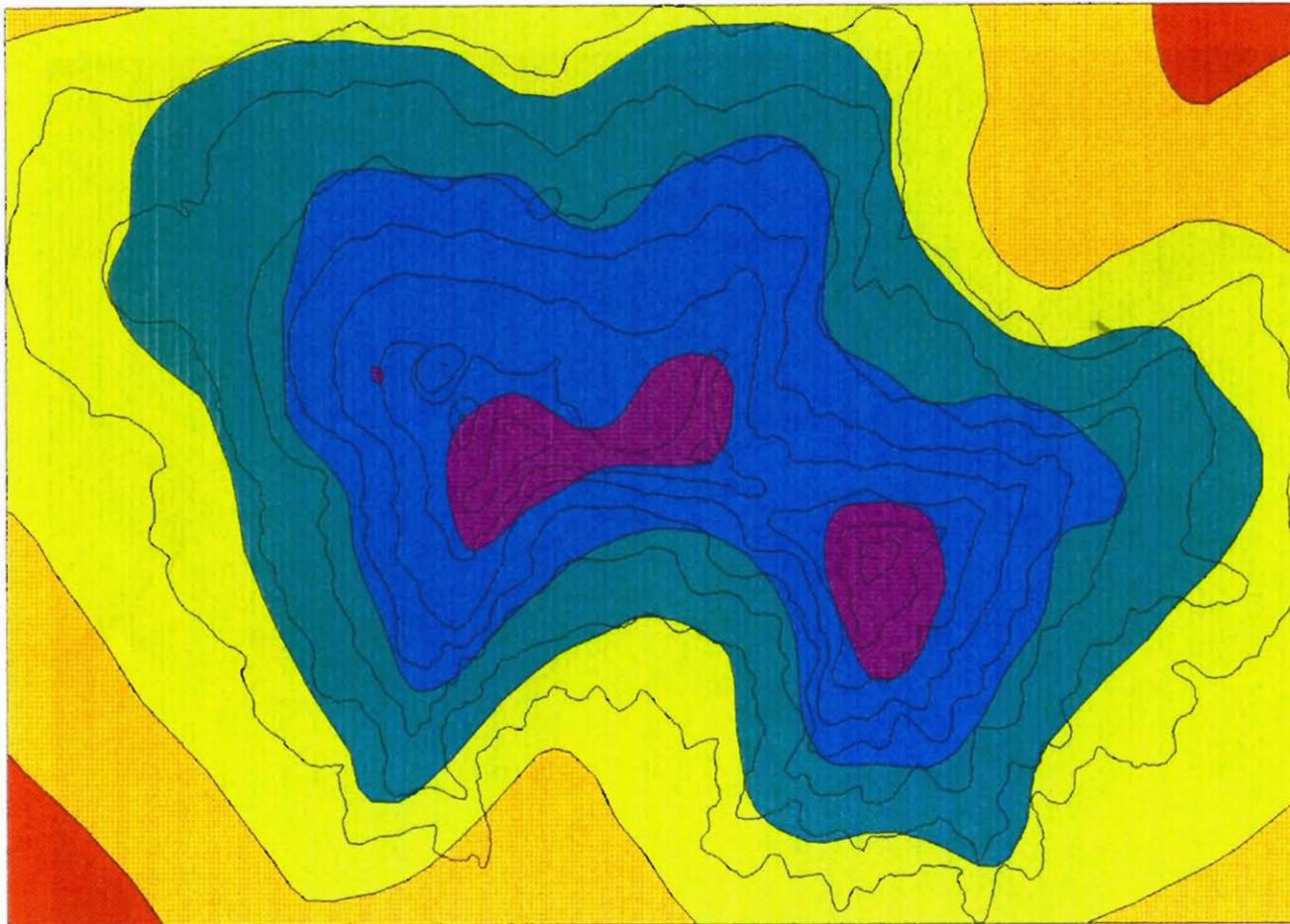
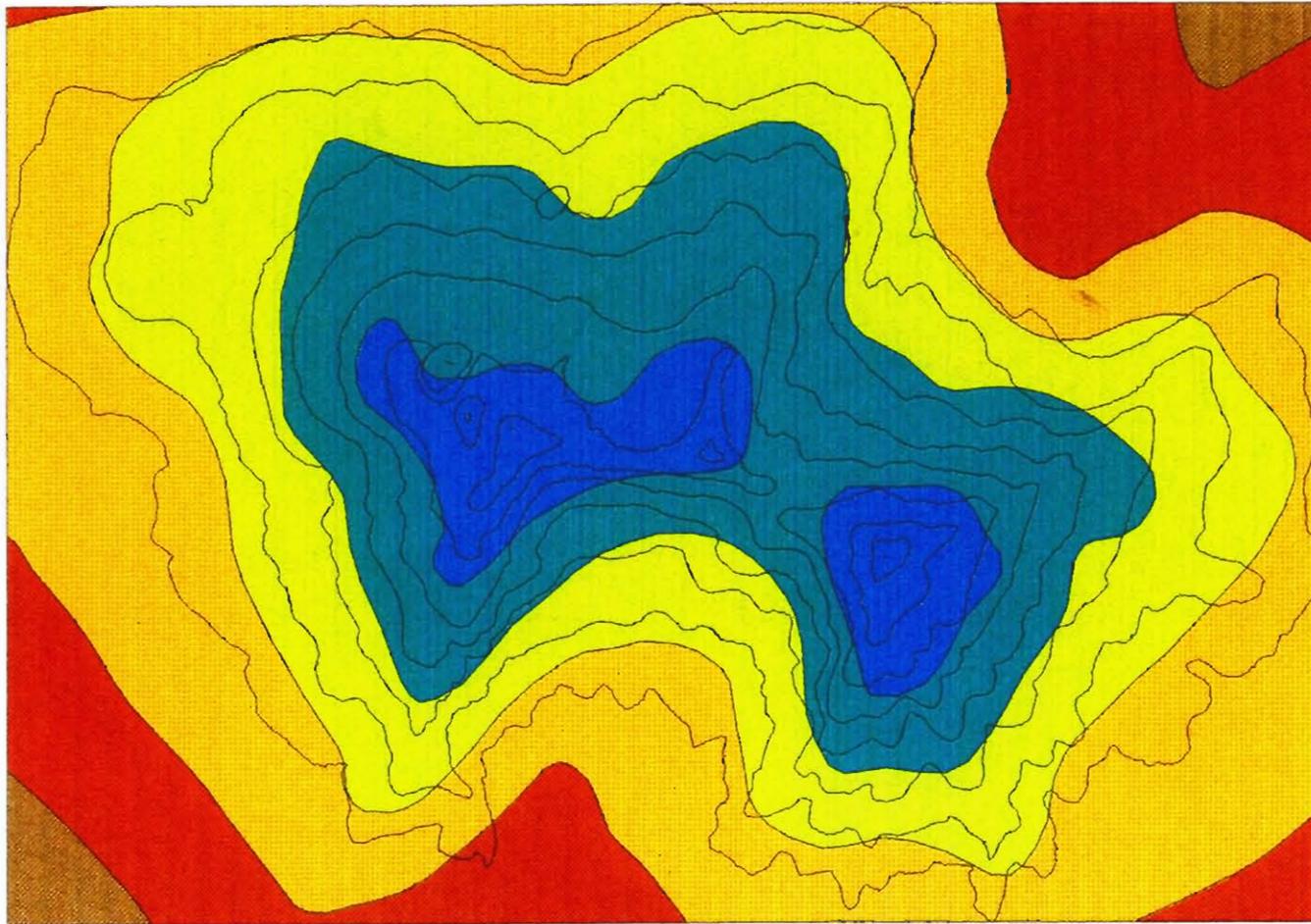


Figura 7. Mapa de isotermas para el escenario IS 92-d en el horizonte 2100 de la Reserva Volcán Mombacho del departamento de Granada, 2000.



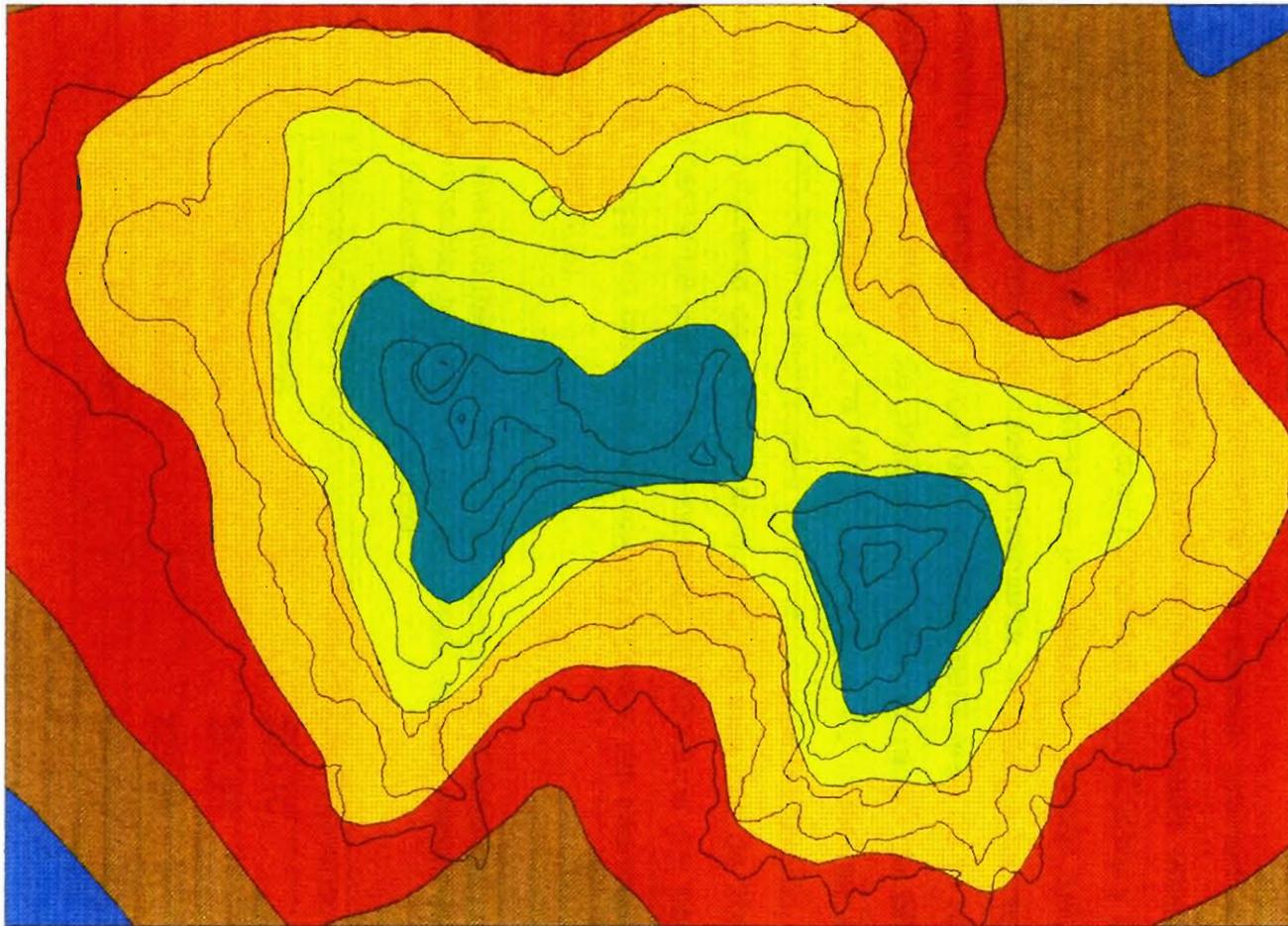
Curvas de nivel

Intervalos de temperatura



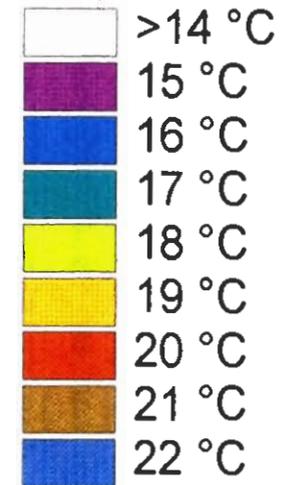
Figura 8. Mapa de isotermas para el escenario IS 92-d en el horizonte 2050 de la Reserva Volcán Mombacho del departamento de Granada, 2000.





Curvas de nivel

Intervalos de temperatura



0.3 0 0.3 0.6 Kilometros



Figura 9. Mapa de isotermas para el escenario IS 92-d en el horizonte 2100 de la Reserva Volcán Mombacho del departamento de Granada, 2000.

### 3.2. Precipitación

Los análisis de seis meses de registro de precipitación tomados de cuatro pluviómetro distribuidos en diferentes puntos de las dos laderas del volcán demuestran que existe una mayor precipitación en la ladera de barlovento que en sotavento; esto debido a que al ascender las masas de aire saturado de vapor de agua al punto mas alto del volcán a causa del efecto producido por el cambio de presión, todo eso es característico del fenómeno de foehn presente en el área del volcán.

En el cuadro No.8 se muestran los valores promedios de precipitación mensual para cada uno de los pluviómetros, se puede observar que en los pluviómetros ubicados en los lugares conocidos como Cutirre y Mombacho 1, se obtuvieron los promedios mayores de precipitación siendo estos valores 280.1 mm/ mes y 251.25 mm/ mes respectivamente, en base a los registros de cuatro pluviómetro se generó un mapa de isoyetas para área de la reserva donde se describen seis intervalos de precipitación con un rango de 50 a 350 mm de precipitación mensual ( figura 10 ). Las franjas de muestreo se ubican en el intervalo de 250-300 mm mensuales en la vertiente de barlovento, mientras que en la ladera de sotavento se encuentran dentro del intervalo de 200-250 mm/ mes; es notorio el hecho de que el mayor número de individuos por parcelas de ambas especies se reflejan en las parcelas ubicadas dentro del intervalo 250-300 mm de precipitación mensual.

**Cuadro 8. Promedios mensuales de precipitación en el área del volcán Mombacho, registrados en un periodo de seis meses del departamento de Granada, Jul. - Dic./2000.**

Ubicación del Pluviometro	Promedio de PP/mensual.
Cutirre	280.10
Mombacho #1	251.25
El Progreso	229.94
El Crater	221.61

El área que cubre cada intervalo de precipitación actual dentro de la zona del volcán se muestra en el cuadro 9. Tomando en consideración las proyecciones realizadas por los distintos escenarios (IS-92-a, IS-92-d; IS-92-c). en el anexo 1A se refleja una disminución en las cantidades de precipitación para el pacífico de Nicaragua que varía desde -8.2% para el año 2010 hasta -35.7% en el año 2100 .

**Cuadro 9. Áreas actuales que ocupan los diferentes intervalos de precipitación en el área de la Reserva Natural Volcán Mombacho del departamento de Granada, Jul. - Dic. / 2000.**

Intervalos de PP mm	Area actual Ha.
50 - 100	0.47
100 - 150	74.89
150 - 200	316.22
200 - 250	1357.38
250 - 300	769.43
300 - 350	37.51

En la zona del volcán Mombacho las estimaciones realizadas por los escenarios demuestran una reducción en los promedios de precipitación mensual en el área. El escenario IS-92-d (moderado) refleja que se presentara una reducción de -7.9% para el horizonte de tiempo 2010, de -16.90% para el horizonte 2050 y -25.30% para el horizonte 2100 (anexo 4 ). La variación en términos de porcentaje con respecto al área total (2555.9 ha.) para cada intervalo de precipitación obtenido para el escenario IS-92-d se observa en el cuadro 11. En el caso del intervalo 250-300 mm mensuales; es el más representativo para nuestro estudio por ser en él donde se ubica el mayor número de individuo de ambas especies, para en año 2010 su reducción será de un 57.34% en el año 2050 de 83.05% y para el año 2070 no habrá área para este intervalo por lo que si

el óptimo para esta especies está dentro de éste rango podría haber variación en la distribución de las mismas sobre el área del volcán.

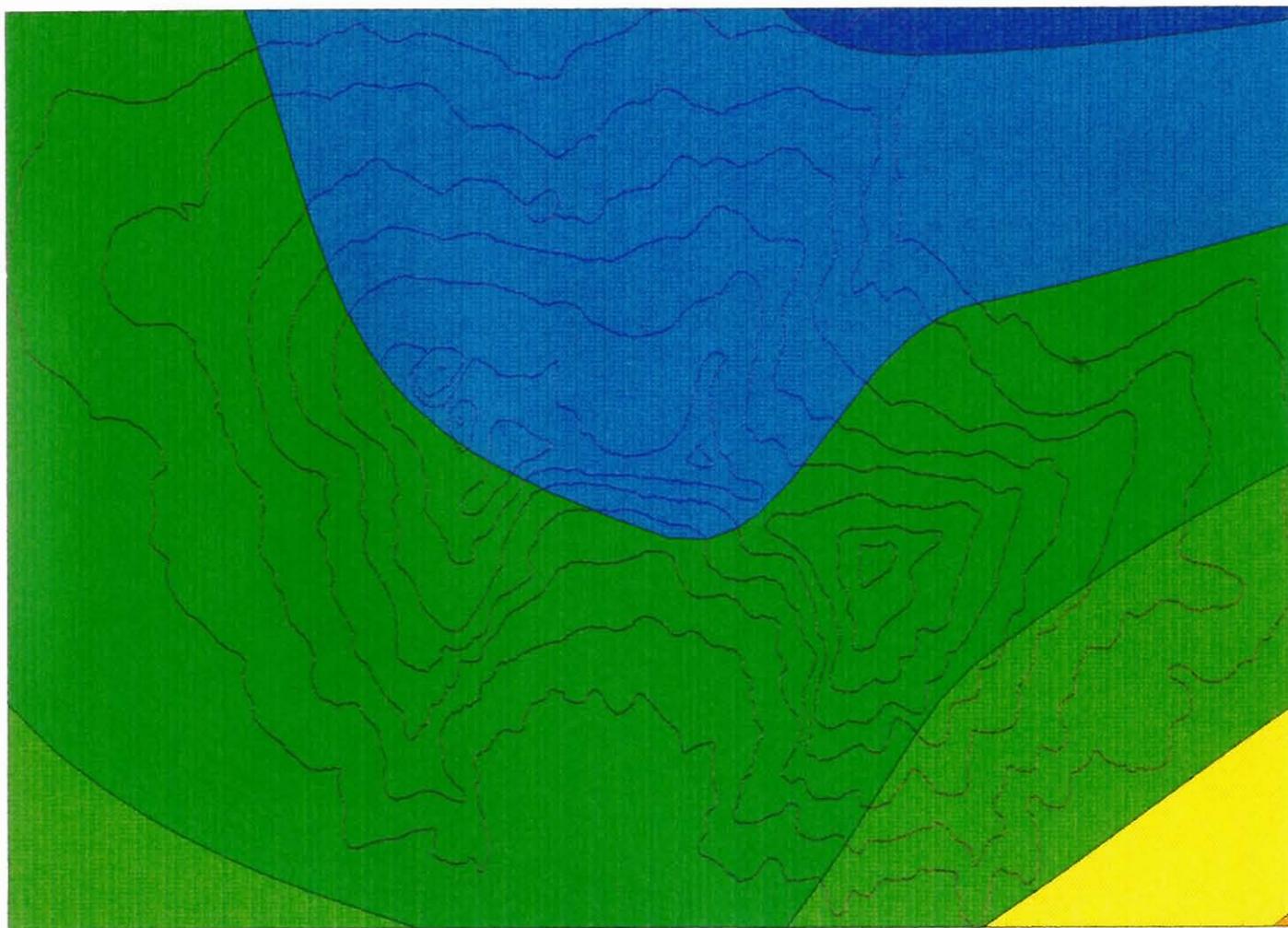
Con el fin de establecer comparaciones entre los diferentes escenarios y lo obtenido en los análisis de precipitación actual en el área de la reserva natural volcán Mombacho se calculó el área que ocupa actualmente cada intervalo de precipitación observándose una reducción de algunas áreas de acuerdo a los modelos de cambios climáticos en cada escenario para cada horizonte de tiempo (cuadro 11. ).

**Cuadro N° 10. Variación porcentual de las áreas para cada intervalo de Precipitación según el escenario IS-92-d en el pacífico de Nicaragua propuesto por el IPCC para cinco horizontes de tiempo en el área del volcán Mombacho departamento de Granada,2000.**

Intervalos (mm)	Área actual %	MODERADO				
		2010	2030	2050	2070	2100
50-100	0.01	0.15	0.31	0.55	0.84	1.37
100-150	2.93	4.55	5.78	7.20	9.19	14.45
150-200	12.37	25.86	38.22	52.76	60.27	68.58
200-250	53.10	56.86	50.53	40.16	29.68	15.57
250-300	30.10	12.84	5.1	1.30	0	0
300-350	1.46	0	0	0	0	0
total	100	100	100	100	100	100

Cuadro N° 11. Areas para cada intervalo de precipitación para cada escenario propuesta por el IPCC para cada horizonte de tiempo, en el área de volcán Mombacho para un periodo de seis meses del departamento de Granada 2000.

Intervalos (mm)	Área actual	MODERADO					OPTIMISTA					PESIMISTA				
		2010	2030	2050	2070	2100	2010	2030	2050	2070	2100	2010	2030	2050	2070	2100
50-100	0.47	3.84	7.98	14.17	21.60	35.24	3.84	7.88	16.68	24.7	25.60	4.22	10.47	25.60	42.85	101.10
100-150	74.89	116.51	147.79	184.28	235.03	389.52	116.51	147.13	180.65	218.25	240.88	119.88	163.50	240.88	486.68	1277.0
150-200	316.22	661.20	976.99	1297.65	1540.60	1753.12	661.20	969.51	1213.28	1521.47	1562.58	691.21	1124.20	1521.47	1780.44	1177.7
200-250	1357.3	1446.1	1291.7	1026.45	756.67	398.03	1446.11	1296.71	1086.16	790.27	726.84	1438.79	1177.04	726.84	265.92	0.00
250-300	769.43	328.25	131.40	33.35	0.00	0.00	328.25	134.66	59.35	1.03	0.00	302.00	80.69	0.00	0.00	0.00
300-350	37.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Curvas de nivel

Intervalos de  
Precipitación.

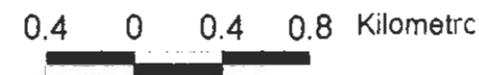
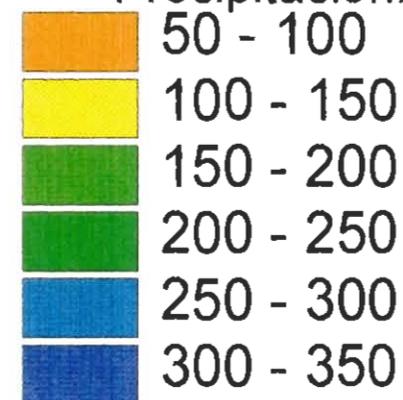


Figura 10. Mapa de Precipitación actual en la Reserva Volcán Mombacho del departamento Granada, Jul. - Dic./2000.

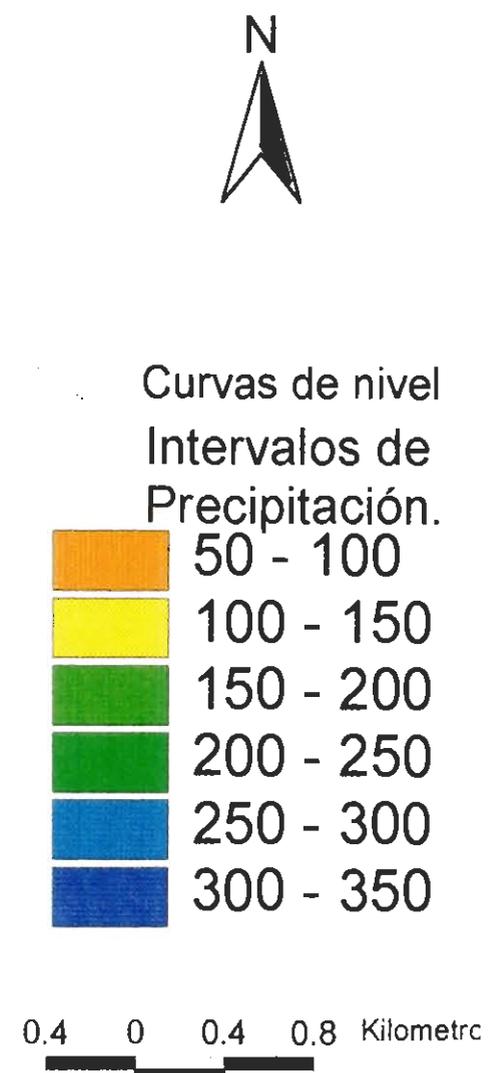
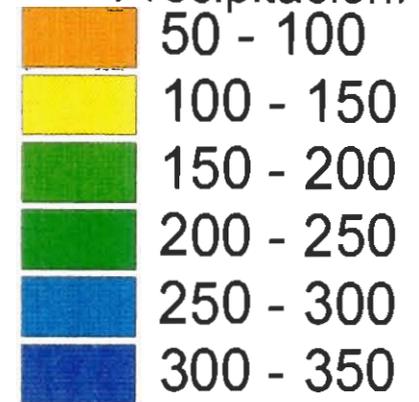


Figura 11. Mapa de Precipitación para el escenario IS 92-d para el horizonte 2010 en la Reserva Volcán Mombacho del departamento Granada, 2000.



Curvas de nivel

Intervalos de  
Precipitación.



0,4 0 0,4 0,8 Kilometr



Figura 12. Mapa de Precipitación para el escenario IS 92-d para el horizonte 2050 en la Reserva Volcán Mombacho del departamento Granada, 2000.

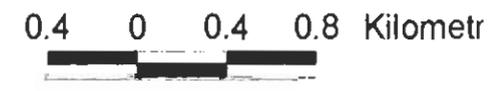
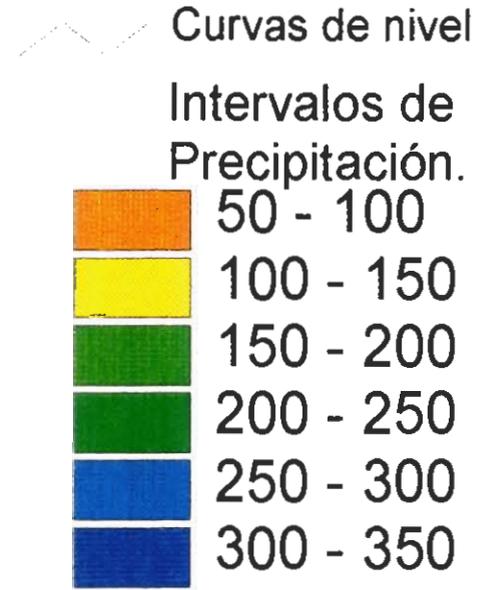


Figura 12. Mapa de Precipitación para el escenario IS 92-d para el horizonte 2100 en la Reserva Volcán Mombacho del departamento Granada, 2000.

## V. CONCLUSIONES

- El límite inferior de distribución actual de las especies *Hedyosmun goudetianum var. mombachanum* y *Freziera fredrischtaliana* en el área de la reserva natural volcán Mombacho oscila entre los 900 - 1000 msnm en la ladera de barlovento y aproximadamente 1100- 1000 msnm en la ladera de sotavento. Entre estos dos puntos del volcán la población muestreada presentó una alta vigorosidad y abundante regeneración, por lo que podemos decir que a partir de ese piso altitudinal se encuentra el área óptima de desarrollo para las especies en el volcán.
- Con un  $r^2=0.87$  y  $r^2=0.97$  obtenidos en el análisis de abundancia para ambos lados de la ladera del volcán demuestran que la temperatura es un factor determinante para la distribución de estas especies, en el área del volcán Mombacho se desarrollan en altitudes con temperatura máxima de aproximadamente 15.46°C; por lo que podemos concluir que éste es el extremo inferior del centro óptimo de desarrollo de las especies a partir del cual se desplazan los rangos de distribución hacia la cima.
- El gradiente adiabático seco encontrado en la gradiente de volcán durante la semana de registro de temperatura tomada para nuestro es aproximadamente de 0.54°C /100m de elevación y un gradiente adiabático de aire saturado aproximado de 0.19°C/100 m de elevación.
- De acuerdo con los escenarios (pesimista, moderado, optimista) planteados por el IPCC para el pacífico de Nicaragua para el escenario moderado para el año 2070 aproximadamente el área que presenta la temperatura óptima (figura 14.) Para la distribución de la dos especies en estudio habrá desaparecido produciendo un desplazamiento de la especies hacia la cúspide del volcán en busca de temperatura más baja que se encuentren dentro de su rango térmico de adaptabilidad. Sin embargo, si la velocidad de desplazamiento de las

especies es menor que el ritmo en que se desarrollen los cambios en el clima, estas podrían desaparecer del área de la reserva, aunque aún queden otras áreas óptimas para el desarrollo de la especie en otra parte del país (Volcán Maderas).

- La variable precipitación demuestran que la precipitación no es un factor determinante en la distribución de las especies; esto debido a la escasez de datos pluviométricos utilizados en el análisis, lo cual restringe el alcance del estudio; sin embargo los datos sí dan evidencia clara de la presencia del fenómeno foehn y de una reducción de la precipitación en el área del volcán al momento de hacer las proyecciones.

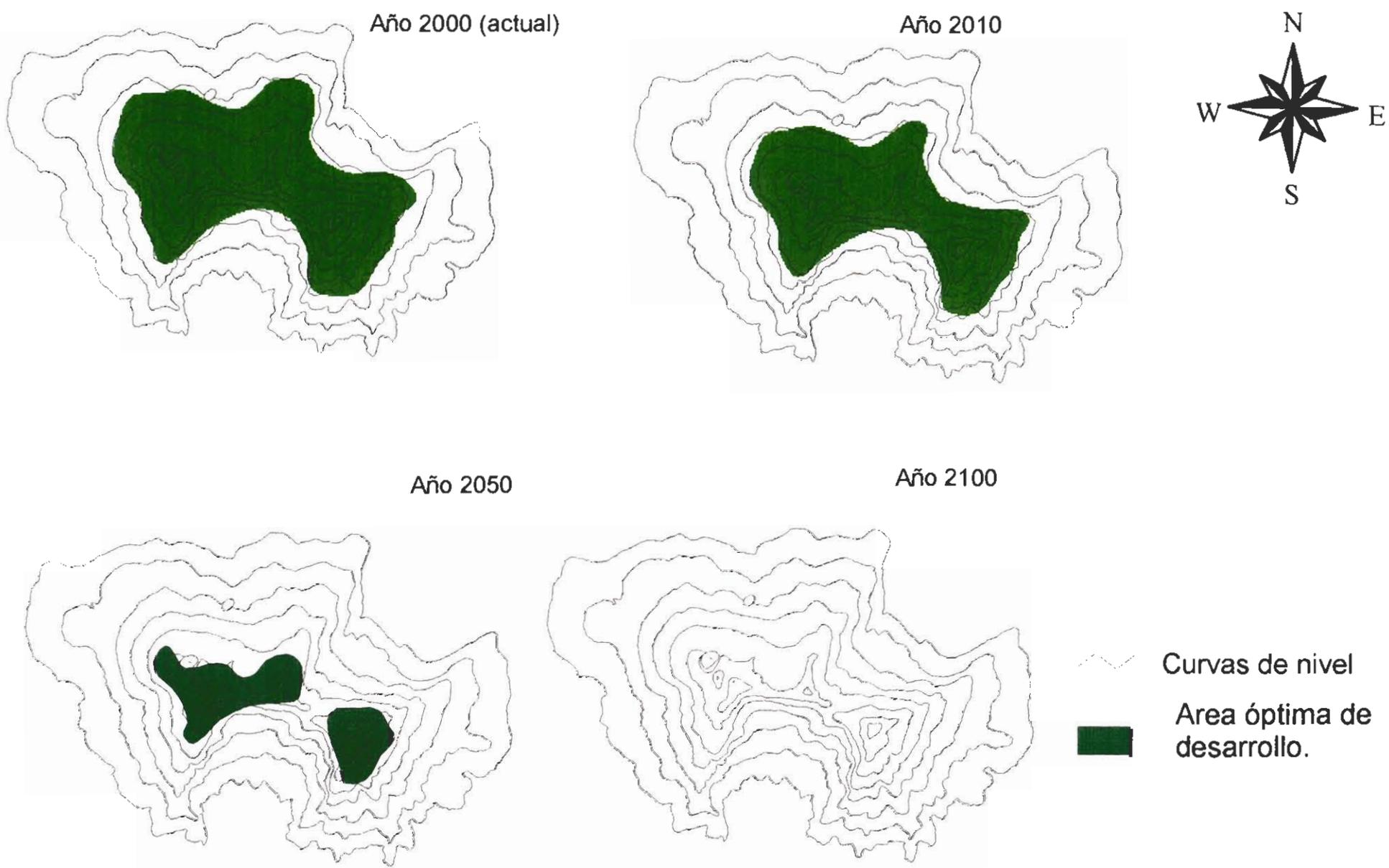


Figura 14. Mapa de reducción de área óptima para el desarrollo de las especies según el escenario moderado IS-92-d, en el área de la Reserva Natural volcán Mombacho del departamento de Granada, Nicaragua, 2000.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Basándose en los resultados obtenidos en la investigación la cual nos refleja las consecuencias que un cambio en el clima podría ejercer sobre las especies, especialmente a las especies más susceptible a estos cambios, se proponen las siguientes recomendaciones:

- **Monitorear las condiciones climáticas del área del volcán; ya que éstas son determinantes para la distribución de muchas especies tanto vegetativas como animales que habitan en el área.**
- **Monitoreo de las dos especies endémicas, para evaluar la adaptabilidad y susceptibilidad ante los posibles cambios climáticos y definir su papel como indicadores de estos cambios.**
- **Considerar los resultados de este estudio como una base preliminar, para estudios posteriores en el área sobre el mismo tema, debido a la poca cantidad de datos que presenta los registros de precipitación y temperatura encontrados en el área del volcán.**
- **Realizar este tipo de estudio con especies animales endémicas del volcán Mombacho cuya sensibilidad a los cambios meteorológicos es bien conocida.**
- **Dar seguimiento a estas poblaciones para determinar si se encuentran en peligro de extinción en el área del volcán Mombacho.**

## **VII. BIBLIOGRAFÍA**

- **ATWOOD, John; 1984 : A floristic Study of Volcán Mombacho Department of Granada, Nicaragua, ANN MISSUORI; BOT GARDEN.14p.**
- **CALERO, C; VALERIO, L; 1994: Inventario Forestal Finca La Calera (Informe Preliminar) Universidad Nacional Agraria, FARENA, ECFOR, Managua, Nicaragua. 24 p.**
- **CIESLA M. William 1995: Cambios Climáticos, Bosques y Ordenación Forestal, Una Visión de Conjunto. Estudios FAO, Roma, Italia, 144 p.**
- **GIL, Antonio y Olcina; 1997:Climatología general, primera edición, España.570p.**
- **LAMPRECHT Hanns,1990; Silvicultura en los trópicos, GTZ, Alemania.335 p.**
- **MATTEUCCI, D, Silva y COLMA, Aida ; 1982 : Metodología para el Estudio de la vegetación, Secretaria General de la Organización de los estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnología, Washington D.C.1966 p.**
- **NICARAGUA. MINISTERIO DEL AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. Escenarios de Cambios Climáticos Para la Elaboración de Impactos en Nicaragua. Ed. Max Campos O Managua, Nic. 1999. 10 p.**
- **Oxford Forestry Institute Department of Plan Sciences University of Oxford 1992. Wood Biomass estimation of Central American dry zone species. Tropical Forestry PAPERS Nº 26. 83 p.**

- **PETTERSEN, Sverre, 1973; Introducción a la meteorología, Instituto Cubano Del Libro La Habana Cuba. 410 p.**
- **RAPIDEL B, 1998: El cambio climático y los eventos extremos, Revista Naturaleza, No. 14, edición de fin de año. p 8-9.**
- **RAPIDEL, B; Picado F; TORRES M; TORREZ B; 1999; Guía para comprender el Cambio Climático en Nicaragua, Gráfica Editores, Nicaragua. 62 p.**
- **STEVENS, D .1999: Flora de Nicaragua. Missuori Garden, EU.  
(Correspondencia personal)**
- **TORRES M. y RAPIDEL B, 1999: Manual de Consideraciones sobre el Cambio Climático para tomadores de decisiones. Proyecto de apoyo a la Implementación de la Convención Macro de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático Programa Ambiental Nicaragua - Finlandia. Managua, Nicaragua. 40p.**

# **ANEXOS**





### ANEXO 3

**Análisis de regresión realizado en el programa estadístico SPSS para determinar la relación existente entre las variable temperatura y número de arbustos.**

#### Model summary<sup>a,b</sup>

##### barlovento

Model	R	R square	Adjusted R square	Std error the estimate
1	0.985	0.970	0.941	8.1650

##### Sotavento

Model	R	R square	Adjusted Rsquare	Std error the estimate
1	0.872	0.761	0.522	27.3526

## ANEXO 4.

**Datos de temperatura y precipitación para el pacifico y para horizontes de tiempo bajo el escenario IS - 92a.**

### **Escenario Pesimista,IS-92a.**

<b>Pacifico</b>		
<b>Horizonte de tiempo</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Precipitación mm.</b>
2010	0.9	-8.4
2030	1.5	-14.5
2050	2.1	-21.0
2070	2.8	-27.3
2100	3.7	-36.7

### **Escenario moderado IS-92\*.**

<b>Pacifico</b>		
<b>Horizonte de tiempo</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Precipitación mm</b>
2010	0.8	-7.9
2030	1.3	-12.5
2050	1.7	-16.9
2070	2.1	-20.6
2100	2.6	-25.3

### **Escenario optimista IS-92a.**

<b>Pacifico</b>		
<b>Horizonte de tiempo</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Precipitación mm.</b>
2010	0.8	-3.4
2030	1.3	-5.3
2050	1.6	-6.9
2070	1.9	-8.1
2100	2.1	-9.0