



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO
EN LAS COMUNIDADES VEGETALES DEL
PARQUE NACIONAL MALINCHE, TLAXCALA,
MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

DIANA CASTAÑEDA AGUADO

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. MARIA DE LOURDES VILLERS RUIZ

2011





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

<p>1. Datos del Alumno</p> <p>Apellido paterno Apellido materno Nombre(s) Teléfono Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias Carrera Número de cuenta</p>	<p>1. Datos del Alumno</p> <p>Castañeda Aguado Diana 30-89-49-60 Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias Biología 302062045</p>
<p>2. Datos del tutor</p> <p>Grado Nombre(s) Apellido paterno Apellido materno</p>	<p>2. Datos del tutor</p> <p>Doctor María de Lourdes Villers Ruiz</p>
<p>3. Datos del sinodal 1</p> <p>Grado Nombre(s) Apellido paterno Apellido materno</p>	<p>3. Datos del sinodal 1</p> <p>Doctor Lucía Oralia Almeida Leñero</p>
<p>4. Datos del sinodal 2</p> <p>Grado Nombre(s) Apellido paterno Apellido materno</p>	<p>4. Datos del sinodal 2</p> <p>Doctor Oswaldo Téllez Valdés</p>
<p>5. Datos del sinodal 3</p> <p>Grado Nombre(s) Apellido paterno Apellido materno</p>	<p>5. Datos del sinodal 3</p> <p>Doctor Rosa Irma Trejo Vázquez</p>
<p>6. Datos del sinodal 4</p> <p>Grado Nombre(s) Apellido paterno Apellido materno</p>	<p>6. Datos del sinodal 4</p> <p>Doctor Ana Cecilia Conde Álvarez</p>
<p>7. Datos del trabajo escrito</p> <p>Título</p> <p>Número de páginas</p> <p>Año</p>	<p>7. Datos del trabajo escrito</p> <p>Impacto del cambio climático en las comunidades vegetales del Parque Nacional Malinche, Tlaxcala, México.</p> <p>123</p> <p>2011</p>

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Enrique y Micaela por todo su apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida, por permitirme estudiar esta carrera tan hermosa que es la Biología y sobre todo por el amor que siempre he recibido de ellos. GRACIAS!.

A mi hermano Diego que compartió conmigo los desvelos de la carrera y siempre ha mostrado interés por saber más de la Biología, su entusiasmo es un gran motivo para seguir adelante, TE QUIERO HERMANITO.

A doña Petrita Galván, mi abuelita, que aunque ya no pudo estar conmigo en este momento, siempre me motivó a culminar mis estudios. Gracias por todo lo que me enseñaste y hasta allá en el cielo se que estarás muy contenta.

A Raúl por todo su amor, comprensión, apoyo y por estar al tanto de mi formación como Bióloga. Desde que te conocí cambiaste mi vida y día a día has logrado llenarme de felicidad y amor, no tengo palabras para describir lo que siento por ti, TE AMO.

A mi hija Regina que desde que supe que iba a llegar a este mundo, lleno de felicidad mi vida y cada día me ilumina con su sonrisa, TE AMO REGINA.

A mi familia en general, a mi tía Cristina por todo su apoyo, cariño y sobre todo por los comentarios que siempre me ha hecho para mejorar. A mi tío Misael, Armando, Martín y a mis tías Isalia, Ofelia, Elena Aguado, Laura Agudo, Elena Núñez, por estar al pendiente de mis estudios y por brindarme su ayuda.

A mi directora de tesis Lourdes Villers por todo su apoyo durante la realización de este trabajo. No tengo más que decir GRACIAS por todo el conocimiento que me has transmitido y sobre todo por la comprensión que me has brindado durante tanto tiempo.

A mis amigos de la carrera Paulina, Gloria, Carolina, Dany, Johana, Laura, Ángel, Andrés, Oscar, Alan, César Ramiro, Ernesto y Ulises por todos los momentos inolvidable que marcaron mi vida para siempre. Gracias amigos, este tiempo no hubiera sido igual sin ustedes.

A mis amigos que siempre han estado al pendiente de mí y me han acompañado en momentos muy importantes de mi vida: Marisol, Fabiola, Ana Belén, Jair y Erika.

A todos aquellos que me apoyaron en el campo: Lourdes, Paulina, Johana, Raúl, Oscar, Andrés, Fabiola, Julio Wong, Marlou y Karin; gracias por todas las aventuras compartidas, por su ayuda y por su amistad.

A aquellos que me ayudaron a solucionar algunas dificultades particulares en la tesis: Raúl Contreras, Víctor Ávila, Guillermo Rosales, Ana Elisa Peña, Fabiola Rojas y Julio Wong.

A todos mis profesores de la carrera que lograron que me enamorara aún más de la Biología y que me permitieron confirmar clase con clase que no me equivoque al elegir mi carrera.

A todos los miembros del sínodo: la Dra. Lourdes Villers, Dra. Lucía Almeida, Dra. Ana Cecilia Conde, Dra. Irma Trejo y Dr. Oswaldo Téllez, por todos sus comentarios a la tesis y que ayudaron a enriquecer el trabajo.

Al CONACYT por el apoyo brindado para la realización de la investigación en base a la convocatoria *Apoyo para investigadores nacionales para el fortalecimiento de las actividades de tutoría y asesoría de estudiantes de nivel licenciatura*.

Y orgullosamente a la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, por brindarme un espacio para poder realizar mis estudios profesionales y desarrollarme como ser humano. Así como a la Facultad de Ciencias y el Centro de Ciencias de la Atmósfera que fueron mi segunda casa por mucho tiempo.

V.4.3 Análisis de las comunidades y el comportamiento de las especies en las comunidades con el índice de Lang	37
VI. Resultados y discusión	38
VI.1 Escenario base de vegetación	38
VI.1.1 Descripción de comunidades	39
VI.1.2 Análisis de clasificación aglomerativa	45
VI.1.3 Selección de especies de distribución amplia y especies de distribución restringida	48
VI.2 Escenario climático base	49
VI.2.1 Construcción de intervalos térmicos para el volcán	49
VI.2.2 Construcción de intervalos de precipitación para el volcán	50
VI.3 Definición de los pisos bioclimáticos	53
VI.4 Aplicación de las salidas de los modelos de cambio climático al escenario base	58
VI.5 Modificaciones en los tipos de clima de las comunidades	61
VI.5.1 Cambios en el clima de las comunidades para el horizonte temporal 2020	63
VI.5.2 Cambios en el clima de las comunidades para el horizonte temporal 2050	68
VI.6 Modificaciones en los pisos bioclimáticos del volcán Malinche según modelos de cambio climático	74
VI.6.1 Comunidades vegetales según modelos para el horizonte temporal 2020	75
VI.6.2 Comunidades vegetales según modelos para el horizonte temporal 2050	81
VI.7 Análisis de las comunidades y el comportamiento de las especies en las comunidades con el índice de Lang	88
VI.7.1 Comportamiento de las especies ante el cambio climático	91
VI.7.1.1 Comportamiento de las especies según modelos para el horizonte 2020	91
VI.7.1.2 Comportamiento de las especies según modelos para el horizonte 2050	94
VII. Conclusiones	98
VIII. Literatura citada	101
IX. Apéndices	108

Índice de figuras

Figura 1. Riesgos proyectados en los ecosistemas debido al aumento de temperatura a través del tiempo	7
Figura 2. Cuadro esquemático de los escenarios socioeconómicos de cambio climático	10
Figura 3. Mapa de localización del área de estudio	20
Figura 4. Mapa conceptual del método	26
Figura 5. Representatividad de las familias botánicas en los sitios de muestreo en la ladera norte del Parque Nacional Malinche	38
Figura 6. Dendrograma de los sitios de muestreo para obtener la clasificación de la vegetación mediante el análisis de CLUSTER	46
Figura 7. Perfil climático actual	66
Figura 8. Impactos del cambio climático sobre la vegetación actual según el modelo GFDL A2 2020	67
Figura 9. Impactos de cambio climático sobre la vegetación actual según el modelo HADLEY A2 2020	67
Figura 10. Impactos de cambio climático sobre la vegetación actual según el modelo GFDL B2 2020	66
Figura 11. Impactos de cambio climático sobre la vegetación actual según el modelo HADLEY B2 2020	67
Figura 12. Perfil climático actual	70
Figura 13. Impactos de cambio climático sobre la vegetación actual según el modelo GFDL A2 2050	71
Figura 14. Impactos de cambio climático sobre la vegetación actual según el modelo HADLEY A2 2050	71
Figura 15. Impactos de cambio climático sobre la vegetación actual según el modelo GFDL B2 2050	70
Figura 16. Impactos de cambio climático sobre la vegetación actual según el modelo HADLEY B2 2050	71
Figura 17. Perfil de vegetación del escenario base	79
Figura 18. Modificaciones en la vegetación según modelo GFDL A2 2020	80
Figura 19. Modificaciones en la vegetación según modelo HADLEY A2 2020	80
Figura 20. Modificaciones en la vegetación según modelo GFDL B2 2020	79
Figura 21. Modificaciones en la vegetación según modelo HADLEY B2 2020	80
Figura 22. Perfil de vegetación del escenario base	84
Figura 23. Modificaciones en la vegetación según modelo GFDL A2 2050	85
Figura 24. Modificaciones en la vegetación según modelo HADLEY A2 2050	85
Figura 25. Modificaciones en la vegetación según modelo GFDL B2 2050	84
Figura 26. Modificaciones en la vegetación según modelo HADLEY B2 2050	85

Índice de Tablas

Tabla 1. Pisos altitudinales térmicos para la región Puebla- Tlaxcala	22
Tabla 2. Tabla general fitosociológica	43
Tabla 3. Especies de distribución restringida a una comunidad y especies de amplia distribución en el gradiente altitudinal	48
Tabla 4. Temperatura promedio mensual de la estación Apizaco y Caseta 4 de la Malinche	49
Tabla 5. Gradiente térmico del volcán Malinche	50
Tabla 6. Comparación de la precipitación en tres estaciones meteorológicas	51
Tabla 7. Escenario base de precipitación del volcán Malinche	52
Tabla 8. Pisos bioclimáticos en la ladera norte del volcán Malinche	56
Tabla 9. Incrementos de temperatura mensual para los horizontes 2020 y 2050, según modelos y escenarios de emisiones aplicados	58
Tabla 10. Porcentajes de los incrementos o decrementos de precipitación mensuales para los horizontes 2020 y 2050, según modelos y escenarios socioeconómicos aplicados	59
Tabla 11. Temperatura promedio anual modificada según modelos de cambio climático para cada intervalo bioclimático	60
Tabla 12. Precipitación total anual según modelos de cambio climático, aplicable a todas las comunidades vegetales	60
Tabla 13. Tipos climáticos actuales de las comunidades vegetales del volcán Malinche	61
Tabla 14. Modificaciones en el tipo de clima bajo los diferentes modelos de cambio climático y horizontes temporales para las comunidades vegetales del volcán Malinche	64
Tabla 15. Índice de Lang, para el escenario base y según modelos por comunidad vegetal	89
Tabla 16. Índice de Lang aplicado a los tipos climáticos de México	89
Tabla 17. Valores del índice de Lang para cada una de las especies seleccionadas	92
Tabla 18. Cambios en los intervalos de distribución de las especies según modelos	93

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice 1. Formato de levantamiento de los muestreos que se realizaron en campo	109
Apéndice 2. Coordenadas, altitud y tipo de vegetación de los sitios de muestreo	110
Apéndice 3. Listado florístico de la ladera norte del Parque Nacional Malinche	112
Apéndice 4. Temperaturas modificadas según modelos de cambio climático por comunidad vegetal	116
Apéndice 5. Precipitación mensual y anual modificada según modelos, aplicable a todas las comunidades vegetales estudiadas	120
Apéndice 6. Temperatura y precipitación modificada según los modelos por comunidad vegetal	121

RESUMEN

Se realizó un análisis de los impactos potenciales en las comunidades vegetales del Parque Nacional Malinche según ciertos escenarios de cambio climático. El escenario climático base se construyó con las variables de temperatura y precipitación para el área de estudio, así como la descripción de la vegetación en base al método fitosociológico, reforzando los resultados mediante un análisis de clasificación aglomerativa. Se aplicaron dos Modelos de Circulación General para analizar el cambio climático, estos son el Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL-TR 90) y el HADLEY (HADLEY 3-TR-00), con dos escenarios de emisiones (A2 y B2) para los horizontes temporales de 2020 y de 2050. El análisis de los impactos del cambio climático se realizó bajo tres escalas de estudio, el primero a nivel de pisos bioclimáticos, el segundo por comunidad vegetal aplicando un índice que relacionó las variables de precipitación y temperatura; además de las modificaciones climáticas en las comunidades vegetales, y por último evaluar el posible impacto de algunas especies presentes en las diferentes comunidades vegetales.

Las proyecciones de los modelos de cambio climático indican que en el volcán Malinche podría haber una reorganización de las comunidades tanto a nivel altitudinal como en su composición, siendo las comunidades de *Calamagrostis tolucensis- Trisetum rosei* y *Pinus hartwegii-Muhlenbergia macroura* las más vulnerables. El clima posiblemente se hará más seco, influencia del aumento de la temperatura y la disminución de la precipitación; se perderá el tipo climático frío y el semifrío solo permanecerá hasta el 2020 además de la aparición de una sequía veraniega en la zona. Las comunidades estarán sometidas a cambios muy rápidos y de gran impacto por lo que las especies se verán obligadas a desarrollar estrategias que les permita adaptarse a las nuevas condiciones prevalecientes, de lo contrario verán reducida su distribución o desaparecerán en la zona.

En cuanto al comportamiento de las especies, los resultados señalan que un 8% de las especies mantienen su distribución, el 88% de las especies reducen su distribución, y solamente una especie (4%) expande su distribución según escenarios para 2020. El 12% de las especies desaparecen en 2050.

Palabras clave: Clima, cambio climático, comunidades vegetales, volcán Malinche, especies.

ABSTRACT

An analysis of potential impact of climate change on plant communities of the Malinche National park was carried out. The climatic root scenarios were constructed based on precipitation and temperature data from study area, as well as vegetation description based on phytosociological method, reinforcing results with an analysis of agglomerative classification. In order to analyze the climate change two General Circulation Models were applied, which are the Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL-TR 90) and the HADLEY (HADLEY 3-TR-00), considering two emission scenarios (A2 and B2) for the time horizons 2020 and 2050. The climate change impact was carry out under three study scales, first one at bioclimate intervals, the second at plant community level applying an index that related temperature and precipitation, and also a climate modification on plant communities; last one, to evaluate the possible impact of climate change on some species of the different plant communities.

The projections of climate change models indicate that in the Malinche volcano could be a reorganization of plant communities at elevation level and composition; among these, the communities of *Calamagrostis tolucensis-Trisetum rosei* and *Pinus hartwegii-Muhlenbergia macroura* are the most vulnerable due to their location in the highest and coldest part of the volcano. The climate possible will be more driest due to influence of increase in the temperature and drop in precipitation; the cold and semicold climates will lost and only will maintained until 2020, whereas temperature climate dominates in the regions and appearance of dry days during summer in the area. Plant communities will subject to rapid change of high-impact and for this reason plant species will be forced to develop strategies that let to adapt to a new conditions, in contrast these species will suffer a contraction of distribution prevalent or will became extinct in the area.

In relation to the changes in distribution four groups were recognized. The first one include those species that maintain their distribution (8%); the second group includes species with reduction in their distribution (88%); the third one includes only one species (4%)that extend their distribution. For 2050 12% of species will become extinct.

Key Word: Climate, climate change, plant communities, Malinche volcano, species.

I. INTRODUCCIÓN

El clima es producto de la constante y compleja interacción entre la atmósfera, los océanos, las capas de hielo y nieve, los continentes y la vida en el planeta (Conde, 2007), el cual se encuentra en un delicado equilibrio que puede ser alterado muy fácilmente. Los cambios climáticos se hacen presentes cuando alguno de los parámetros que rigen al clima, como son la precipitación y la temperatura, sale de su valor normal y se mantiene durante un período prolongado (generalmente durante decenios o por más tiempo). El cambio del clima puede deberse a procesos naturales internos, a un forzamiento externo (por ejemplo, las manchas solares) o por cambios antropogénicos duraderos (cambio de uso de suelo, la contaminación y la sobreexplotación de los recursos), que afectan la composición de la atmósfera o el uso de la tierra (Magaña-Rueda, 2004).

La concentración de contaminantes en la atmósfera repercute en la relación que existe entre la radiación recibida del sol y la radiación solar reflejada al espacio (albedo). El efecto invernadero es un mecanismo natural en la atmósfera que mantiene un balance en la temperatura del planeta a largo plazo. La radiación solar (onda corta) es recibida en la Tierra, una parte de esta es atrapada en la atmósfera debido a los gases de efecto invernadero (GEI) que en esta existen, tales como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O), lo que permite el calentamiento de la planeta. Otra parte de la radiación (onda larga) es emitida por la superficie terrestre hacia el espacio; logrando de esta forma mantener una temperatura cálida en el planeta. Al aumentar la concentración de los gases de efecto invernadero (principalmente CO_2) en la atmósfera se genera un desequilibrio en la energía emitida por la superficie, al tratar de salir del planeta la capa de GEI atrapa la radiación y la re-emite a la superficie terrestre, provocando un aumento en la temperatura del planeta. Los modelos del clima desarrollados recientemente muestran que a mayor concentración de GEI, mayor será el aumento de temperatura (Magaña-Rueda, 2004).

Las variaciones climáticas globales han ocurrido de manera constante a lo largo de la historia de la Tierra, como resultado de procesos exógenos y endógenos, así como de la interacción constante entre los componentes del sistema terrestre (Zachos *et al.* 2008). Sin embargo, desde las últimas décadas, la acción del hombre ha rebasado la capacidad de cambio de los procesos naturales, transformando la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera, con velocidades superiores a las de un ciclo natural (Ortega-Ramírez, 1994).

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), define como cambio climático a todo cambio del clima a lo largo del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como resultado de la actividad humana (Solomon *et al.*, 2007).

Existen cuatro factores principales que intervienen en los cambios en el clima de un sitio a otro, estos son: la latitud, la altitud, la continentalidad (distancia al océano) y la exposición a la circulación general (viento y corrientes oceánicas). La altitud es un factor determinante en el comportamiento del clima en las montañas, debido a que otros factores importantes en el clima como la temperatura, la humedad atmosférica, la precipitación, los vientos y la radiación solar varían dependiendo la altitud (Whiteman, 2000).

La característica más representativa en el clima en montaña son las modificaciones que influye la altitud. No se puede hablar de un único clima montañoso, sino de diversos climas de montaña, debido a las modificaciones que se presentan en la temperatura sobre el gradiente altitudinal (Barry, 1981).

Al aumentarse la altitud, generalmente la temperatura decrece, el valor promedio es de 6.5°C por Km, por lo que a grandes altitudes el clima es frío (Whiteman, 2000). En el caso de la precipitación, su presencia o ausencia se debe a múltiples factores. Un factor importante en la distribución, cantidad, intensidad y duración de la lluvia es la orografía. Generalmente las laderas que se encuentran hacia el lado del barlovento son las que perciben un mayor número de eventos de precipitación, mientras que el lado de sotavento es mucho más seco (Barry, 1981).

Para poder diferenciar tipos climáticos en México se han modificado y adaptado clasificaciones internacionales (García, 2004), y en diversos estudios se han usado índices que relacionan variables del clima, permitiendo tener una clasificación más fina de estos; el índice de Lang o P/T es un ejemplo. Este es un índice que representa la relación existente entre los dos elementos más importantes del clima y se interpreta como un índice de humedad o de aridez (García, 2004; Orellana *et al.*, 2009); es un estimador de eficiencia de la precipitación en relación con la temperatura, utilizado para subdividir regiones en subregiones que presenten particularidades climáticas, tratando de explicar el grado de humedad o de sequía de la región de forma simple; éste se calcula como el cociente entre la precipitación total anual y la temperatura media anual de un lugar (Orellana *et al.*, 2009).

Este índice es el fundamento inicial para las modificaciones al sistema de Köppen y fue adaptado a las condiciones de México por García (2004); lo que permitió que en muchas zonas del país los tipos de clima se definieran mejor (Soto *et al.*, 2001; Orellana *et al.*, 2009).

Dicho índice fue utilizado en el trabajo realizado por Soto *et al.* (2001), en el cual se hace una clasificación muy fina del clima en el estado de Veracruz tomando en cuenta las variables de temperatura y precipitación principalmente y correlacionando estas variables con dicho índice, logrando así una clasificación más detallada a partir de la humedad de la zona.

Un trabajo más reciente es el que elaboraron Orellana *et al.* (2009); quienes aplicaron el índice de Lang y analizaron la humedad y su relación con la distribución de la vegetación en la Península de Yucatán tomando en cuenta datos actuales y para años posteriores (2020) bajo escenarios y modelos de cambio climático.

I.1 CAUSAS Y CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Para finales del siglo XVII las actividades humanas comenzaron a cambiar y con ellas se incremento el uso de combustible fósil. Con el uso predominante de derivados del combustible fósil como son el carbón, el petróleo y el gas natural, como principales fuentes de energía, se han liberado grandes cantidades de GEI que antes estaban retenidas en capas subterráneas del suelo, generando un calentamiento general en el planeta (Solomon *et al.*, 2007). Los GEI se pueden dividir en dos grupos, los gases de corta vida, por ejemplo, el dióxido de azufre y el monóxido de carbono, que son químicamente reactivos y se degradan por lo general mediante procesos naturales de oxidación en la atmósfera, eliminándolos posteriormente gracias a las precipitaciones; por esta razón sus concentraciones son muy variables. El segundo grupo se trata de los gases de efecto invernadero de larga vida (GEILV), por ejemplo, el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), que son químicamente estables y persisten en la atmósfera durante escalas de tiempo desde décadas hasta siglos o más, de modo que sus emisiones ejercen su influencia en el clima a largo plazo. Debido a su larga vida, estos gases se mezclan bien en la atmósfera, mucho más rápido de lo que se eliminan (Jaramillo, 2004). Las alteraciones a los ciclos naturales de estos gases en la atmósfera y principalmente de CO₂, amenaza de diversas formas el funcionamiento del planeta. La concentración de CO₂ ha aumentado significativamente en los últimos años, de 280 partes por millón (ppm) en 1750 a 367 ppm en 1999, lo que significa un incremento en el 31% en poco más de 100 años (Jaramillo, 2004).

Actualmente se sabe que estos aumentos en la concentración de GEI han hecho cambiar los sistemas del clima mundial al atrapar más cantidad del calor del sol dentro de la atmósfera. Estos cambios se acelerarán en la medida en que continúe aumentando la concentración de estos gases. Aproximadamente un 45% de CO₂ permanece en la atmósfera, un 30% en los océanos y el resto se encuentra en la biosfera terrestre. La mitad del CO₂ emitido hacia la atmósfera se elimina en una escala de tiempo de 30 años; otro 30% se elimina en pocos siglos y el 20% restante permanecerá en la atmósfera durante miles de años (Solomon *et al.*, 2007).

En el cuarto reporte del IPCC (2007) se señala que el calentamiento del sistema climático global es inequívoco, siendo evidente por las observaciones en el incremento en la temperatura en el planeta. En la Figura 1 se observa que a partir del año 1900 se han incrementado constantemente las fluctuaciones en la temperatura, debido al aumento del impacto de las actividades antropogénicas. También se muestran las posibles temperaturas promedio globales para los últimos 1000 años y una simulación para el 2100, 2200 y 2300 según los escenarios de cambio climático del IPCC. Las proyecciones se realizaron según un posible comportamiento social y económico de la población humana en el futuro (Fischlin *et al.*, 2007), mostrando el posible impacto en los ecosistemas según un incremento en la temperatura mundial.

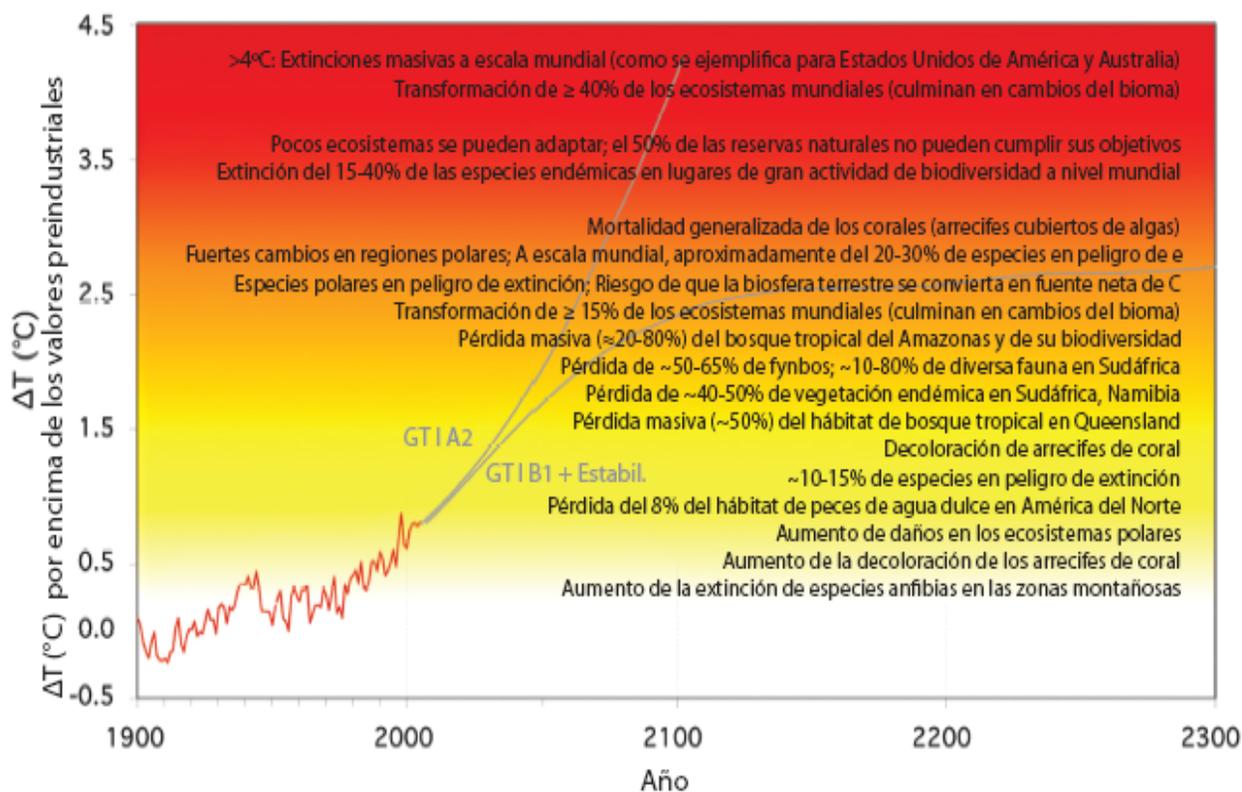


Figura 1. Riesgos proyectados en los ecosistemas debido al aumento de temperatura a través del tiempo.

Fynbos = matorral natural en Sudáfrica (fine bush); GTI = Grupo de Trabajo I; A2 = Escenario de Emisiones; B1 + Estabil. = Escenario de emisiones cuando el forzamiento radiativo después de 2100 se mantiene estable. Fuente: Fischlin *et al.*, 2007.

La biosfera terrestre sirve en la actualidad como un sumidero de carbono variable, pero generalmente en aumento; si bien probablemente esta situación alcanzará el máximo antes de mediados de siglo y después tenderá a una fuente neta de carbono, aumentando por lo tanto el cambio climático (Parry *et al.*, 2007).

Los ecosistemas se han adaptado siempre a los cambios climáticos, pero es probable que los cambios antes mencionados constituyan un desafío sin precedentes para su capacidad de resiliencia, principalmente por la velocidad del cambio climático que será mayor de lo que se ha experimentado durante los últimos miles de años, haciendo que sea más difícil para las especies adaptarse a las nuevas condiciones mediante el desarrollo de mecanismos apropiados para su supervivencia (Parry *et al.*, 2007).

I.2 MODELOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

La capacidad de predecir fenómenos es una de las metas más grandes de la ciencia, para lograrlo es necesario conocer el fenómeno o por lo menos tener las nociones de los mecanismos básicos que lo rigen. Dado este conocimiento es posible establecer ecuaciones matemáticas que describan el fenómeno, al resolver estas ecuaciones se puede hacer una predicción, a esto se le llama construir un modelo. Un modelo refleja matemáticamente las características físicas de un sistema, construye la descripción de una parte de la naturaleza, por lo tanto, si se conocen las condiciones iniciales y los forzantes de un sistema, es posible conocer su desarrollo tanto presente como futuro (Braun, 2008)

Existe un gran número de modelos de cambio climático, llamados Modelos de Circulación General (GCM, por sus siglas en inglés), debido a que son distintas representaciones matemáticas para simular condiciones del clima actual y de cambio climático considerando una gran variedad de variables físicas, tanto atmosféricas, continentales y oceánicas; en general son usados como proyecciones de lo que podría acontecer en el futuro. Estos modelos se han diseñado para ser aplicados a escalas que van desde la regional hasta el continental y global (Nakicenovic *et al.*, 2000).

Diferentes estudios de respuesta de la vegetación frente a cambios climáticos han sido realizados; estos van desde los muy particulares como la respuesta fisiológica, hasta los cambios a gran escala, como lo es el trazado de mapas de zonas ecoclimáticas de la vegetación y del impacto que recibirán los ecosistemas por una variación de concentración de CO₂ en la atmósfera. La mayoría de los estudios realizados sobre cambio climático y su relación con los ecosistemas forestales y áreas naturales protegidas, abordan las medidas de mitigación al Cambio Climático (CC), los cuales se basan en el papel que juegan los ecosistemas como fuentes de emisión o captación de carbono, este último caso se denomina también como sumideros de CO₂ (Gay *et al.*, 2007).

Para poder aplicar cualquier modelo de cambio climático se necesita crear un escenario base; este escenario permite describir las condiciones actuales promedio, así como las variaciones espaciales y temporales que se han presentado en cada área de estudio, incluyendo las situaciones anómalas que hayan impactado de manera significativa al sistema en estudio. Otro aspecto importante de los escenarios base es que permiten identificar posibles tendencias o ciclos que se hayan presentado, así como caracterizar la respuesta o respuestas del sistema a estos eventos (Gay *et al.*, 2007).

Además de los modelos GCM_s, recientemente se han acoplado a los escenarios socioeconómicos, contruidos por el IPCC (Nakicenovic *et al.*, 2000) y agrupados en el Reporte Especial de Escenarios de Emisiones (SRES, por sus siglas en inglés); estos consideran las posibles condiciones del desarrollo global para los próximos 100 años, basados en una extensa evaluación de las principales variables demográficas, económicas y tecnológicas relacionadas con emisiones de GEI y de dióxido de azufre; sin embargo, no contemplan ninguna iniciativa de mitigación o adaptación al cambio climático como lo estipula la Convención Marco sobre el Cambio Climático de la Organización de las Naciones Unidas (CMCC) o el Protocolo de Kioto (Nakicenovic *et al.*, 2000).

Para describir de manera coherente las relaciones entre las fuerzas socioeconómicas determinantes de las emisiones y su evolución, y para añadir un contexto a la cuantificación en los escenarios, los integrantes de IPCC desarrollaron cuatro líneas de desarrollo socioeconómico diferente, denominadas

familias A1, A2, B1 y B2. Cada una de ellas representa un cambio (o tendencia) demográfico, social, económico, tecnológico y medioambiental. A su vez, para cada familia se han desarrollado varios escenarios distintos, que sumados son 40 escenarios (Nakicenovic *et al.*, 2000) (Figura 2).

← Énfasis económico		
Integración mundial	<p>Línea argumental A1 <u>Mundo</u>: orientado hacia el mercado <u>Economía</u>: crecimiento per cápita acelerado <u>Población</u>: nivel máximo en 2050, después declive <u>Gobierno</u>: interacciones regionales fuertes; convergencia de ingresos <u>Tecnología</u>: tres grupos de escenarios: A1FI: fósil intensivo A1T: fuentes de energía no fósil A1B: equilibrado en todas las fuentes</p>	<p>Línea argumental A2 <u>Mundo</u>: diferenciado <u>Economía</u>: orientada hacia las regiones: crecimiento per cápita lento <u>Población</u>: aumento continuo <u>Gobierno</u>: autoconfianza en la conservación de la identidad local <u>Tecnología</u>: desarrollo más lento y fragmentado</p>
	<p>Línea argumental B1 <u>Mundo</u>: convergente <u>Economía</u>: basada en los servicios y la información, crecimiento menor que el A1 <u>Población</u>: igual al A1 <u>Gobierno</u>: soluciones mundiales al desarrollo económico sostenible, desarrollo social y del ambiente <u>Tecnología</u>: limpia y eficaz en cuestión de recursos</p>	<p>Línea argumental B2 <u>Mundo</u>: soluciones locales <u>Economía</u>: crecimiento intermedio <u>Población</u>: crecimiento continuo a una tasa más baja que el A2 <u>Gobierno</u>: soluciones locales y regionales a la protección del entorno y la equidad social <u>Tecnología</u>: más rápida que A2; más lenta, más diversa que el A1/B1</p>
	Énfasis medioambiental →	
		Énfasis regional ↓

Figura 2. Cuadro esquemático de los escenarios socioeconómicos de cambio climático

Fuente: Parry, *et al.*, 2007

La familia de líneas A1 describe un mundo futuro con un rápido crecimiento económico, una población mundial que alcanza su valor máximo hacia mediados de siglo XXI y disminuye posteriormente, una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. Las características distintivas son la convergencia entre regiones, el aumento de las interacciones culturales y sociales, acompañadas de una notable reducción de las diferencias regionales en cuanto a ingreso por habitante.

La familia A1 relaciona tres grupos que describen direcciones alternativas del cambio tecnológico en el sistema de energía:

1. Escenario A1F1: utilización intensiva de combustible de origen fósil.
2. A1T: utilización de fuentes de energía de origen no fósil.
3. A1B: utilización equilibrada de todo tipo de fuentes, es decir que no se dependerá de un solo tipo de fuente de energía.

La familia A2, describe un mundo muy heterogéneo. Sus características son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales, con un crecimiento continuo en la población mundial. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones, y el crecimiento económico por habitante, así como el cambio tecnológico, los cuales están más fragmentados y son más lentos que otras líneas.

La familia B1 describe un mundo convergente con una misma población mundial que alcanza un máximo hacia mediados del siglo XXI y desciende posteriormente, como en la familia A1, pero con rápidos cambios de las estructuras económicas orientados a una economía de servicios y de información, acompañados de una utilización menos intensiva de los materiales, además de la introducción de tecnologías limpias con un aprovechamiento eficaz de los recursos. En esta se da preponderancia a las soluciones de orden mundial encaminadas a la sustentabilidad económica, social y medioambiental, así como a una mayor igualdad, pero en ausencia de iniciativas adicionales en relación con el clima.

La familia B2 describe un mundo en el que predominan las soluciones locales, la sustentabilidad económica, social y medioambiental. En este mundo la población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2, con unos niveles de desarrollo económico intermedios, con un cambio tecnológico menos rápido y más diverso que en las líneas evolutivas B1 y A1. Aunque este escenario está también orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social, se centra principalmente en los niveles local y regional.

Todos los escenarios son igualmente válidos y representan proyecciones de lo que podría pasar en el futuro, pero no estrictamente debe acontecer alguno de los antes mencionados (Nakicenovic *et al.*, 2000).

I.3 VEGETACIÓN, ALTITUD Y CAMBIO CLIMÁTICO

La distribución de las especies es el resultado de una variedad de factores bióticos y abióticos que delimitan la presencia o ausencia de las especies en un lugar, además de las afinidades que estas tengan, permitiendo que las plantas tengan límites de distribución. Cuando una planta disminuye su afinidad por ciertas zonas, éstas quedan fuera de los límites de sus requerimientos ecológicos, por lo que no podrían sobrevivir en este lugar (Scheidel *et al.*, 2003). Este principio se aplica no solamente a los intervalos latitudinales y longitudinales, sino también a los intervalos altitudinales.

Numerosos estudios han demostrado que bajo condiciones normales en la troposfera la temperatura disminuye al aumentar la altitud, aunque la disminución de la temperatura no es uniforme, el promedio mundial es aproximadamente de 0.65 °C por cada 100 m de aumento en altitud. A esta disminución en temperatura con respecto al aumento en la altitud se le conoce como gradiente térmico (García, 1967). El gradiente de temperatura y la altitud son factores muy importantes que repercuten a nivel de comunidades vegetales y distribución espacial de las especies.

A partir de la influencia del clima sobre la distribución altitudinal de la vegetación se crea el concepto de piso bioclimático; este se refiere a una distribución escalonada de tipos de vegetación diferentes, los cuales están determinados por variaciones en el clima y la orografía de un lugar. Esta situación se hace evidente al observar la vegetación presente en una montaña, donde se encuentran diferentes tipos de comunidades partiendo desde la base de la montaña hasta la cima, como consecuencia del incremento de la altitud y a su vez de la disminución de la temperatura, además de otros factores físicos que limitan las posibilidades de supervivencia de las especies. El principio climático-ecológico rige fundamentalmente esta ordenación. Es la causa de un orden de la vegetación en un espacio más extendido, sobre todo en los pisos altitudinales (Klink, 1973).

El clima de México, que se modifica con el relieve según la altitud, es causa de una disposición de diferentes comunidades de plantas en forma de pisos altitudinales, dependientes de los tipos climáticos y de los diferentes grados de humedad. Otra influencia modificante en la división de la vegetación es la producida por las diferencias edáficas (Klink, 1973).

Recientemente se ha planteado el cambio en la distribución de las especies como consecuencia del cambio climático y particularmente del calentamiento global; estos factores tienen una fuerte influencia en los intervalos (latitudinales y altitudinales) de la distribución y abundancia de las especies (Lenoir *et al.*, 2008).

En los informes del IPCC (Parry, 2007) se señalan a escala planetaria posibles incrementos de 2 a 3 °C en la temperatura y disminuciones o aumentos en la precipitación anual en un corto periodo de tiempo; bajo estos conceptos los escenarios de cambio climático permiten que se puedan analizar los posibles alcances de este fenómeno. Con base en estas diferencias en los valores de temperatura y precipitación, se ha estimado cuales serían los tipos de vegetación más afectados en México, principalmente serán los bosques templados, los bosques tropicales y los bosques mesófilos de montaña (Villers-Ruiz y Trejo-Vázquez, 1998), así como los pastizales naturales y ciertos matorrales con afinidades templadas que cubren el país; todos estos tipos de vegetación podrían ser desplazados por elementos afines a climas más cálidos y xéricos (Villers-Ruiz y Trejo-Vázquez, 2004), lo que implicaría el cambio en la distribución de las especies que habitan en estos ecosistemas (Arriaga y Gómez, 2004); pero no sólo se verían afectadas las especies en cuanto a su distribución, sino que habría una pérdida de biodiversidad, afectando a todos los niveles de organización de la vida: desde el genético (empobrecimiento del legado genético) hasta las comunidades y los ecosistemas con la reducción en el número de especies de plantas y animales (Halffter, 1992). En este sentido, los bienes y servicios aportados por los ecosistemas se verían perjudicados, tales como el secuestro

de carbono, la regulación del clima, el suelo, la purificación del agua, así como los beneficios de recreación, cultural y espiritual (Fischlin, 2007).

Los seres vivos que habitan en las montañas se encuentran especialmente en riesgo ante el calentamiento global, debido a la presencia de diferentes tipos de ecosistemas y la riqueza de especies, encontrándose entre las más altas riquezas descritas a nivel mundial. Se ha documentado que existe un alto riesgo de extinción de muchas especies endémicas en varios ecosistemas montanos, así como bosques tropicales y bosques mesófilos de montaña; por lo que se requerirá que las especies migren hacia zonas altas para poder persistir según sus requerimientos térmicos originales (Fischlin, 2007). El reacomodo de las especies en un gradiente altitudinal es esperado como una respuesta individual de éstas, lo que implicaría la formación de nuevas comunidades y la reorganización de otras (Parry, 2007).

I.4 FITOSOCIOLOGÍA Y EL ESTUDIO DE LA VEGETACIÓN

La Fitosociología es una digna heredera de la concepción de la vegetación que construyó Humboldt en el primer tercio del siglo XIX (Papavero y Llorente, 2005). Estos estudios sirvieron de base para las primeras aproximaciones, a gran escala, de las clasificaciones de carácter fisonómico-ecológicas, con base en una florística para el estudio de las comunidades vegetales y su estructura elemental (Díaz-González, 2004).

Iniciada por J. Braun-Blanquet a mediados del siglo pasado, la fitosociología es un método para el estudio, descripción y análisis de las comunidades vegetales, de sus relaciones con el medio y de los procesos temporales que las modifican. La Escuela de Zürich-Montpellier (también conocida como fitosociología braunblanquetista) incluye conceptos como los dinámicos, biogeográficos, climáticos, históricos e incorpora información procedente de áreas científicas más o menos próximas (Biosistemática, Geomorfología, Edafología, Climatología, Ecofisiología), fundamentalmente para buscar soluciones desde planteamientos multidisciplinarios a problemas de muy diversa índole: metodológicos, sucesionales, climáticos, biogeográficos, funcionales o cartográficos (Díaz-González, 2004).

Las ideas esenciales en las bases del método fitosociológico son tres (Alcaraz-Ariza, 2010):

- Las comunidades de plantas se conciben como tipos de vegetación reconocidos a través de su composición florística. La composición completa de especies de la comunidad expresa mejor sus relaciones interespecíficas y con el ambiente que cualquier otra característica.
- Entre las especies que componen una comunidad, algunas son mejores indicadoras de las interrelaciones que otras. Para clasificaciones prácticas se usan mejor estas especies puesto que son más efectivas como indicadoras; estas son las especies de diagnóstico (especies de carácter, especies diferenciales y compañeras constantes).
- Las especies de diagnóstico se utilizan para organizar las comunidades en una clasificación jerárquica, en la cual la asociación es la unidad básica. La gran cantidad de información que manejan los fitosociólogos debe, necesariamente, ser organizada; la jerarquía no sólo es necesaria, sino que supone un instrumento insustituible para entender y comunicar las relaciones de la comunidad.

Esta metodología utiliza unidades de muestreo llamados levantamientos fitosociológicos o relevés, que consisten en tomar áreas representativas y homogéneas de las comunidades en estudio, resaltando la presencia y estimando la cobertura de las especies vegetales de cada unidad (Silva, 1998). Posteriormente, estos datos se organizan dentro de una tabla fitosociológica en donde se pueden comparar y obtener además de información clasificada, información no revelada en campo (Nava-López, 2003).

El producto final de la clasificación mediante el método fitosociológico es la asociación, que es la unidad base de este sistema de clasificación, y es equivalente al nivel de comunidad vegetal. La asociación se obtiene a partir de una serie de muestreos que presenta un número de especies en común, derivados del análisis individual de las especies, (Kent y Coker, 1992). Idealmente, cada grupo contendrá sitios con una composición de especies muy similar entre si. Otra forma de obtener las asociaciones es utilizando métodos

de agrupamiento como el Cluster que permite el análisis de grupos tomando como base sus afinidades, comprende una amplia variedad de técnicas para ordenar entidades en grupos sobre la base de ciertos criterios formales objetivamente establecidos (Herrera-Moreno, 2000). Desde principios del siglo XX la escuela fitosociológica de Braun-Blanquet estableció bases muy claras para la clasificación de las comunidades vegetales, los inventarios florísticos, factores climáticos, así como la ordenación espacial y cartografía son un ejemplo de combinación de parámetros ecológicos usados para lograr una subdivisión coherente de la vegetación, que posteriormente dio origen a la clasificación numérica (Herrera-Moreno, 2000).

La metodología en campo es poco formal en los cálculos de cobertura y asociación de especies sin embargo, la fitosociología ha sido una herramienta excelente para el ecólogo de campo y sirve de base en muchas ocasiones para la delimitación y evaluación de poblaciones faunísticas (Nava-López, 2003). De la misma forma, ha sido de gran utilidad para jerarquizar la vegetación y elaborar mapas, así como un método confiable y eficiente para el reconocimiento y clasificación de la vegetación en muchos países de Europa (Werger, 1974). Sus aplicaciones han sido de gran ayuda para el desarrollo de planes de manejo y conservación debido a que provee las bases para medir la heterogeneidad ambiental y la riqueza biológica, detectando unidades de interés particular para su conservación (Loidi, 1994; Molina *et al.*, 1998; Nava-López, 2003; Sánchez-Egea, 1975).

II. JUSTIFICACIÓN

México ha tenido una participación cada vez más activa dentro de las reuniones del IPCC y en las Conferencias de las Partes (COPs) en donde el gobierno ha rendido informes nacionales no solo sobre impacto y adaptación al cambio climático (Gay, 1994), sino sobre vulnerabilidad y opciones de adaptación al cambio climático en diversos sectores de importancia para el país (INE-SEMARNAP, 1997; INE-SEMARNAP, 2001; INE-SEMARNAP, 2006). Durante la COP 16 que se celebró en Cancún, México en noviembre y diciembre de 2010, se puso de manifiesto la importancia de que estos estudios se continúen para el país (INE-SEMARNAT, 2009). En este contexto, el presente estudio es una aportación de conocimiento del posible impacto, según ciertos modelos de cambio climático propuestos, sobre las especies y comunidades de montaña en el Parque Nacional Malinche.

III. OBJETIVOS

GENERAL

- Analizar el impacto del cambio climático en las comunidades vegetales presentes en la ladera norte del Parque Nacional Malinche.

PARTICULARES

- Definir las comunidades vegetales y sus especies por intervalo altitudinal en la ladera norte del Parque Nacional Malinche.
- Construir intervalos térmicos para la zona de estudio.
- Crear el escenario base para el área de estudio con las variables de precipitación y temperatura.
- Aplicar al escenario base las salidas de los modelos de cambio climático Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL-TR 90) y el HADLEY (HADLEY 3-TR-00) con dos escenarios de emisiones (A2 y B2) para los horizontes temporales de 2020 y de 2050.
- Analizar el impacto del cambio climático en tres aspectos diferentes: (1) analizar los cambios en el clima por comunidad, (2) a nivel de pisos bioclimáticos y (3) analizar las comunidades y el comportamiento de las especies dentro de las comunidades con un índice que relaciona la temperatura y la precipitación, todos ellos bajo los diferentes modelos y escenarios.

IV. ÁREA DE ESTUDIO

IV.1 LOCALIZACIÓN

El Parque Nacional Malinche es un área natural protegida decretada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de octubre de 1938, designada para la conservación y protección de los recursos naturales que se hacen presentes en el área (CONANP, 2003). Se encuentra ubicado en la zona centro-oriente de México, formando parte de la Faja Volcánica Transmexicana, entre los 19° 06' 04" y 19° 20' 06" de latitud Norte y 97° 55' 41" y 98° 10' 52" de longitud Oeste; comprende una superficie total de 46,093 ha, de las cuales 33,161 ha pertenecen al estado de Tlaxcala y 12,938 ha a Puebla (Figura 3). Su intervalo altitudinal va de los 2,300 msnm, considerando la altura promedio del valle, hasta los 4,461 m que es la cima de la montaña (López-Domínguez y Acosta, 2005). El volcán Malinche es el quinto más alto de la Faja Volcánica Transmexicana.

IV.2 GEOLOGÍA

La Malinche junto con los grandes volcanes del centro del país comenzó a formarse a mediados del periodo Terciario, hace unos 35 millones de años (Ortega *et al.*, 2000), por lo que la Malinche es considerada como una de las primeras montañas que conformaron la Faja Volcánica Transmexicana.

Al sur y oriente del volcán afloran calizas del Cretácico formando un relieve de lomeríos y montañas que se encuentran en contacto con los depósitos piroclásticos del mismo volcán y con las rocas volcánicas del Cuaternario (Hilger, 1973). En la ladera norte del volcán se encuentran elevaciones volcánicas del Plioceno y Pleistoceno denominadas como Bloque Tlaxcala, las cuales forman una estructura independiente del volcán (Hilger, 1973). También existen rocas volcánicas del Oligoceno que se correlacionan con las observadas en la cuenca de México que sobreyacen a los elementos del Cretácico y subyacen a los depósitos de la Malinche.

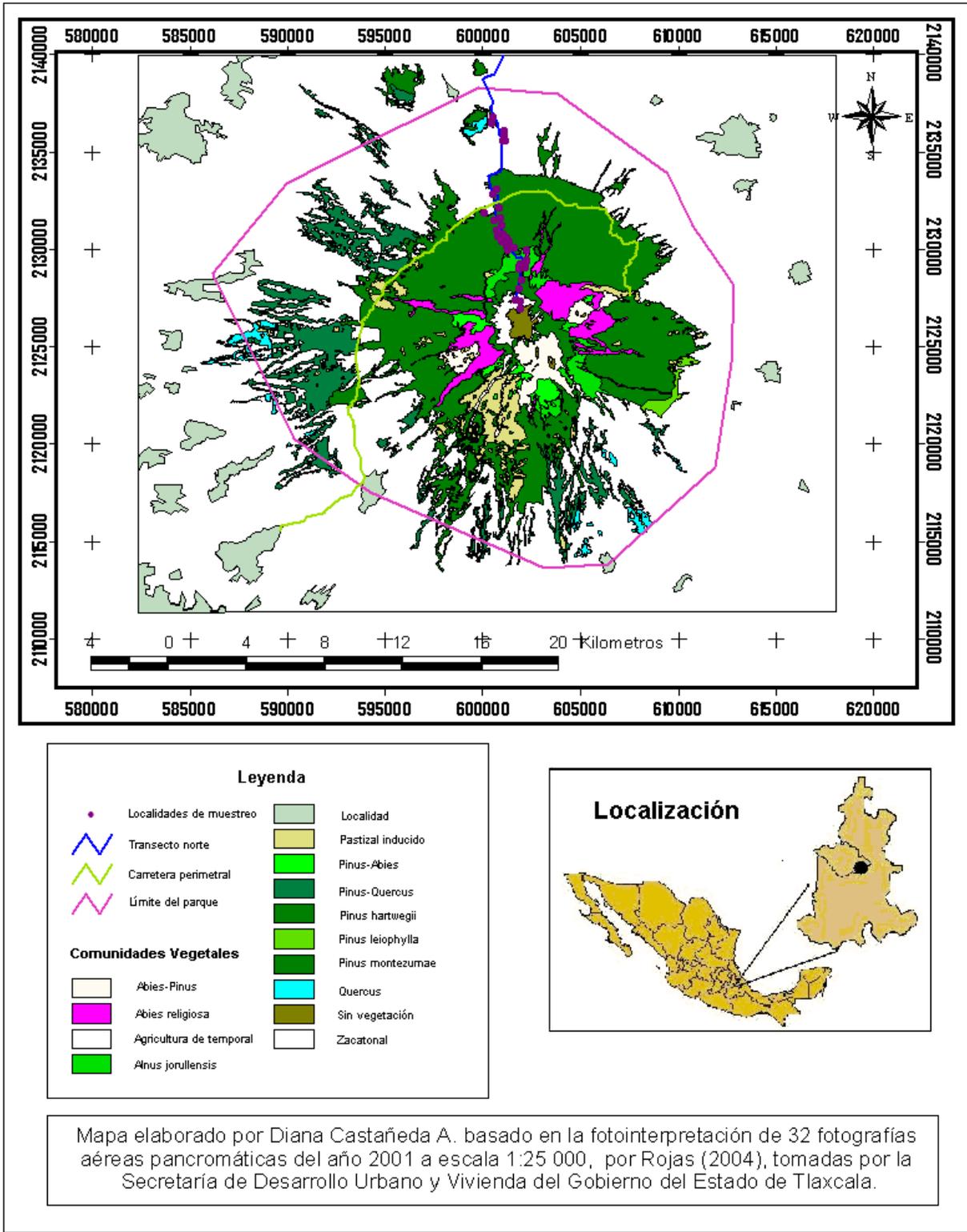


Figura 3. Mapa de localización del área de estudio.

Sobre la cima se encuentran rocas ígneas extrusivas, del tipo de las andesitas y sobre sus faldas predominan rocas sedimentarias como brecha sedimentaria; además se encuentran tobas y cenizas volcánicas del Cuaternario del grupo Chichinautzin, así como aluviones y domos volcánicos (López-Domínguez y Acosta, 2005).

La Malinche es un volcán extinto debido a que no se conocen erupciones históricas de dicho volcán. Actualmente no presenta un cráter central ni muestra actividad fumarólica y sus múltiples barrancas le dan una apariencia de un edificio volcánico fuertemente erosionado. Sin embargo existen observaciones que se contraponen a estas aseveraciones, pues los suelos desarrollados sobre depósitos más recientes son de poco espesor y la morfología de la cima del volcán aparenta ser muy joven pues las formas son muy abruptas (Castro, 1999).

IV.3 SUELO

Los principales tipos de suelos que persisten en el volcán son: regosol, litosol, cambisol, fluvisol, andosol, aertisol, aezem y endzina (Vargas, 2009). En la cima se encuentran suelos de tipo regosol de sedimentos de toba, presentando una textura arenosa o franca de color claro con estructura de bloques subangulares pequeños y pobres en materia orgánica.

En los valles y en algunas barrancas del volcán se encuentran litosoles. Son suelos poco desarrollados extremadamente pedregosos y delgados, la roca se encuentra a menos de 10 cm de profundidad y son susceptibles a erosionarse (Werner, 1979).

Las laderas están constituidas por andesitas, dacitas y en menor proporción por pómez, así como por fluvisoles. Son de textura arenosa a arenosa-gravosa, poco desarrollados y poco profundos, pobres en materia orgánica, presentan alto contenido de calcio y fósforo, mientras que el contenido de sodio, potasio y magnesio es bajo. En las laderas bajas y en las proporciones planas de las grandes barrancas, se utilizan principalmente para la agricultura. Las laderas compuestas por lavas antiguas se localizan aproximadamente de los 3200 m hasta la cima (Werner, 1979).

IV.4 CLIMA

En las montañas de la región Puebla-Tlaxcala se hace presente fenómenos climatológicos importantes que permiten una distribución vertical de diferentes tipos de climas, estos fenómenos son el carácter tropical marginal de la zona manifestada por la oscilación anual relativamente baja de hasta 6 °C de temperatura, el régimen de lluvia caracterizado por un período de precipitación veraniega y una estación seca invernal (Lauer y Stiehl, 1973).

En estudios realizados por Lauer y Stiehl (1973) se señala la distribución vertical de la región Puebla-Tlaxcala en nueve pisos altitudinales de temperatura. En la Tabla 1 se muestra como la temperatura se modifica cuando aumenta la altitud, además de la distribución vertical que se da en la vegetación según las condiciones climáticas. La tabla representa un gradiente altitudinal de los 1500 m a los 4800 m de altitud; para el caso del volcán Malinche los intervalos que le corresponden según esta clasificación son desde los 2400 hasta los 4400 m de altitud, para estos autores el clima frío, helado y subnevado son los que estarían presentes en el volcán.

Tabla 1. Pisos altitudinales térmicos para la región Puebla- Tlaxcala

Piso térmico (°C)	Altitud aproximada	Descripción	Vegetación
		Nevado	Límite climático de nieves
1	4800		
		Subnevado	Zacatonales
5	4000		Límite de árboles
		Helado	Bosque de Pinus hartwegii
9	3300		Límite de bosques
		Frío	Bosque de pinos y oyameles
13	2700		
		Semifrío	Bosque de pinos y encinos
15	2400		
		Fresco	Bosques mixtos de pinos y encinos
17	2100		
		Templado	Bosques de encinos, enebros y accacias
19	1800		Límite medio de heladas
		Semicálido	Vegetación de los trópicos cálidos
21	1500		
		Cálido	

Fuente: Lauer y Stiehl, 1973.

Según la clasificación climática para México de García (2004) a esta región le corresponde un clima templado subhúmedo de manera dominante con lluvias en verano, teniendo su mayor intensidad entre los meses de junio a septiembre y, los principales tipos de climas que le corresponderían al Parque Nacional Malinche según López-Domínguez y Acosta (2005) siguiendo la clasificación climática de García (2004) son:

- C (w₁) (w) clima templado subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual (TMA) de entre 11 y 17 °C; la temperatura promedio del mes más frío es de 3 °C. Se presenta en la parte meridional de la región.
- C (e) (w₂) (w) clima semifrío y subhúmedo, TMA de entre 5 y 12 °C; la temperatura del mes más frío oscila entre -3 °C y 18 °C; la precipitación del mes más seco es menor a 40 mm. Se presenta en las faldas superiores del volcán.
- E (T) H clima frío, temperatura media del mes más caliente menor a 6.5 °C, TMA de entre 2 y 5 °C, mientras que la temperatura promedio del mes más frío es menor a 0 °C, presentándose en la cumbre de la montaña.

El comportamiento de la lluvia en el área es variable, los meses que presentan registros bajos de lluvia van de noviembre a marzo siendo en promedio menos de 20 mm. En el mes de junio se presenta el mayor incremento que corresponde al umbral del año con precipitaciones que van aproximadamente de 140 a 200 mm, decrece ligeramente en los meses de julio y agosto, pero aumenta nuevamente en septiembre con niveles similares a los de junio. La diferencia entre el mes más húmedo y con respecto al más seco es de aproximadamente 140 mm (Castillo, 2006).

IV.5 VEGETACIÓN

En el Parque Nacional Malinche se establecen diferentes comunidades vegetales, según la clasificación de Rzedowski (1981): Bosque de encino, bosque de pino, bosque de *Alnus*, bosque de *Abies*, bosque de *Pinus hartwegii* y zacatonal.

Los bosques de encino se encuentran localizados entre los 2200 m y los 2800 m donde predominan *Quercus rugosa*, *Q. crassipes*, *Q. laurina*, *Q. crassifolia* y *Q. dysophylla*, y en menor proporción *Buddleia parviflora*, *B. cordata*, *Cupressus lusitanica*, *Salix paradoxa*, *Alnus jorullensis* y *Arbutus xalapensis*. En las cañadas se observa la presencia de *Juniperus flaccida* (López-Domínguez y Acosta, 2005). Existen reminiscencias de encinares a la orilla de los caminos y como cercas vivas ya que la agricultura de temporal ha cubierto gran parte de su hábitat.

Los bosques dominados por *Pinus* se distribuyen en altitudes de 2800 a 3600 m.s.n.m. con especies como *Pinus montezumae*, *P. pseudostrobus*, *P. leiophylla*, *P. devoniana* y *P. hartwegii*; siendo el primero el más abundante (López-Domínguez y Acosta, 2005). Es un bosque moderadamente alto (30 m), denso y con frecuencia monoespecífico, pero en ocasiones se pueden encontrar acompañado por especies de los géneros *Quercus*, *Abies*, *Arbutus*, *Alnus*, *Salix* y *Buddleia* (Villers-Ruiz *et al.*, 2006).

Otro componente de la vegetación del volcán es la presencia de la comunidad representada por *Alnus jorullensis* que crece entre los 3150 y 3500 m.s.n.m. Esta comunidad pudiera parecer parte del bosque de pino por sus mezclas *Alnus-Pinus* y *Alnus-Quercus*. Los bosques de *Alnus* con otras asociaciones parecen formar parte de series sucesionales de encinares y pinares (Rzedowski, 1981), sin embargo hace falta estudios para conocer el origen de este bosque en el volcán Malinche.

Otro tipo de comunidad es el bosque de *Abies religiosa*, encontrando bosques puros de esta especie o en asociación con especies del género *Pinus*. Este se encuentra establecido entre los 2700 y 3800 msnm. Regularmente crece sobre cañadas, barrancas y lugares con pendientes muy pronunciadas; son árboles que llegan a medir hasta 40 m de alto (Villers-Ruiz *et al.*, 2006). Éste tipo de bosque suele ser denso, lo que

genera que el desarrollo del estrato arbustivo y herbáceo sea limitado en algunos sitios, por el contrario en algunos sitios debido a lo abrupto del terreno, la cantidad de luz al interior de la comunidad puede ser mayor y permitir al sotobosque un mayor desarrollo y diversidad. El suelo se encuentra generalmente revestido por musgo.

El bosque de *Pinus hartwegii* se extiende de los 3400 hasta el límite de la vegetación arbórea a los 4000 msnm (Villers-Ruiz *et al.*, 2006), siendo un bosque monoespecífico. En el estrato herbáceo de este tipo de bosque un carácter distintivo son las gramíneas muy abundantes, (Musalem y Solís, 2000). *Pinus hartwegii* es una especie boreal típica de las zonas altas y templadas de México y es la principal especie que se encuentra formando el límite de la vegetación arbórea en el país (Lauer, 1978); es considerado como el pino mejor adaptado a las heladas comunes en el clima de alta montaña en México (Farjon y Styles, 1997); además es una especie que resiste satisfactoriamente el efecto de los incendios severos (Musalem y Solís, 2000).

Los zacatonales de alta montaña se presentan a una altitud superior a los 4000 m.s.n.m, formados por una comunidad de *Festuca tolucensis* y *Calamagrostis tolucensis* establecido por encima del bosque de *Pinus hartwegii* (Klink, 1973); los pastos crecen en amplios macollos hasta de 1 m de altura. Otro elemento importante de este tipo de vegetación es *Arenaria bryoides*, que llega a ser bastante densa su población, pero cuando aumenta la altitud se disuelve en agrupaciones pequeñas según las circunstancias edáficas (Klink, 1973). El único elemento leñoso que se puede encontrar en esta zona es *Juniperus monticola* (Villers-Ruiz *et al.*, 2006)

Todos los bosques del área están muy perturbados por las acciones destructivas humanas, sin embargo, a pesar de todas las modificaciones antropogénicas, la vegetación aún muestra restos naturales en algunos sitios (Klink, 1973).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Las actividades llevadas a cabo en el presente estudio se exponen en la Figura 4, a continuación se hace una descripción a detalle de las fases que lo constituyen.

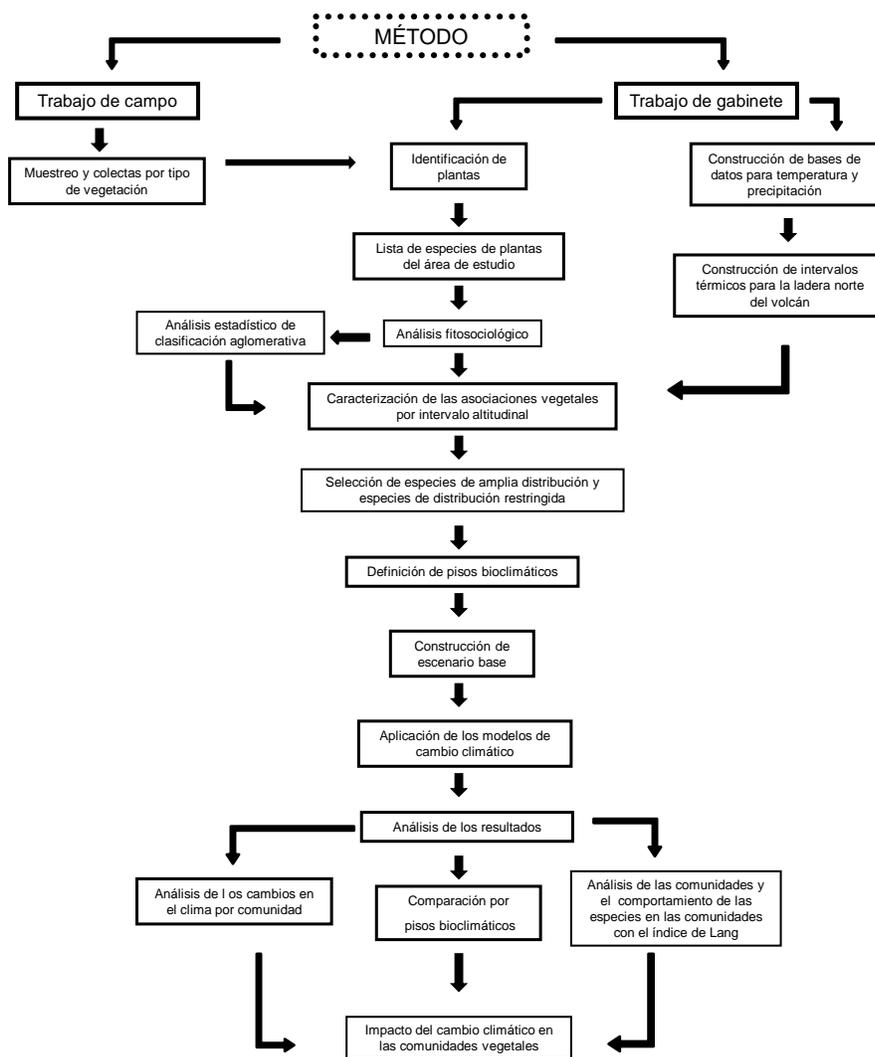


Figura 4. Mapa conceptual del método

V.1 DEFINICIÓN DE LAS COMUNIDADES Y ESPECIES VEGETALES EN MALINCHE

V.1.1 Trabajo de campo

El método fitosociológico de la Escuela de Zürich-Montpellier fue aplicado para reconocer las asociaciones de la vegetación que se encuentran en el volcán de acuerdo a un gradiente altitudinal, se realizó un transecto que inicia a los 2700 m y finaliza a los 4200 m de altitud en la ladera norte del volcán Malinche, donde se encuentran alineadas la estación meteorológica Apizaco (2410m) y la estación Davis en la Caseta 4 (3 000m) de vigilancia forestal.

En el campo se realizaron cuatro círculos de muestreo a cada lado del transecto en comunidades anteriormente definidas por Villers *et al.* (2006), según la clasificación de Rzedowski (1981) se tratan de: bosque de encino, bosque de pino, bosque de *Alnus*, bosque de *Abies*; bosque de *Pinus hartwegii* y zacatonal de alta montaña; se llevaron a cabo ocho levantamientos por comunidad vegetal, excepto en el zacatonal de alta montaña en el cual se realizaron cuatro muestreos, ya que en esta comunidad es menor el número de especies en relación a las anteriores debido a la altitud (Muller-Dumbois, 1974). En total se hicieron 44 muestreos. El período de muestreo fue de seis meses de noviembre de 2007 a junio de 2008.

Cada círculo de muestreo en campo cubrió un área de 400 m² en los cuales se inventariaron los estratos herbáceo, arbustivo y arbóreo. Se estimó cualitativamente la cobertura porcentual que presentaba cada estrato en el círculo, posteriormente se identificaron las especies que se encontraron en cada estrato y se determinó cualitativamente la cobertura que cada especie tenía en el estrato correspondiente; estas coberturas por especie se ajustaron a la cobertura total registrada por estrato.

El área muestreada total por comunidad vegetal fue de 3200 m². En este caso el método de muestreo es una modificación al propuesto por la escuela fitosociológica de Zurich Montpellier (Díaz-González, 2004), el cual propone realizar cinco cuadros de 600 m² (por comunidad vegetal) para muestrear el equivalente a 3000 m². Los muestreos realizados en este trabajo cumplen con el área total muestreada que se requiere para poder efectuar un estudio de tipo fitosociológico. Se decidió elaborar círculos más

pequeños porque se tiene una mejor apreciación porcentual que la que se puede tener en áreas mayores, además de que los círculos son una forma rápida y eficiente para establecer en campo, ya que tienen un rango menor de error al compararlos con otras formas geométricas como cuadrados, triángulos o rectángulos (Villa-Salas, 1973). Los sitios de muestreo se ubicaron a 200 m hacia la izquierda o derecha a partir de la línea del transecto, se seleccionaron los sitios donde la vegetación se encontrara conservada, cada 100 m altitudinales aproximadamente entre un sitio y otro.

En cada sitio de muestreo se tomaron datos de las variables ambientales de ubicación (coordenadas UTM), altitud, pendiente, así como la orientación de la ladera. Para caracterizar a la vegetación por estrato, se tomaron en cuenta los parámetros de cobertura porcentual por estrato (arbóreo, arbóreo bajo, arbustivo y herbáceo), el porcentaje cubierto por suelo desnudo, suelo rocoso y hojarasca.

Se registró el número de especies para cada estrato y de cada una de ellas se calculó el porcentaje de cobertura, la altura aproximada de los individuos, la presencia o no de plántulas y la altura general estimada del estrato. El formato de muestreo aplicado en cada círculo se presenta en el Apéndice 1.

Se colectaron ejemplares representativos de las especies que se encontraron en los muestreos; estos ejemplares fueron etiquetados y prensados para su posterior identificación.

V.1.2 Trabajo de gabinete

Los ejemplares colectados se identificaron con ayuda de literatura especializada (Rzedowski y Calderón de Rzedowski, 2001; Farjon y Styles, 1997; Villers-Ruiz *et al.*, 2006) y con la ayuda de especialistas, principalmente para determinar las especies de las familias Poaceae y Fagaceae. Algunas de las colectas fueron corroboradas con ejemplares disponibles en el Laboratorio de Ecosistemas de Montaña de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

Los ejemplares de referencia fueron depositados en el Herbario de las Facultad de Ciencias (FCME), el Herbario Nacional de México (MEXU) y en el Herbario de la Universidad Autónoma de Tlaxcala, además de conservar algunos ejemplares para uso interno en el Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

Una vez determinado el material colectado en campo, la información generada de las especies se almacenó en una lista que contiene los registros para el área de estudio. Esta lista incluye familia a la que pertenece la especie, nombre científico y autor(es). Los autores se abreviaron de acuerdo con Villaseñor *et al.* (2008). La lista fue ordenada alfabéticamente por familias, géneros y especies.

V.1.2.1 Análisis Fitosociológico

Para realizar el estudio fitosociológico se organizaron las especies de los 44 círculos muestreados de dos formas: una para obtener una tabla fitosociológica y la otra para realizar una clasificación aglomerativa a partir de un análisis jerárquico. En el primer caso se fabricó una matriz de datos donde en el encabezado general de la tabla se ordenaron los sitios de muestreo por altitud en las columnas, junto con algunos datos físicos y generales de cada estrato como cobertura y altura promedio. Posteriormente se enlistaron las especies presentes por comunidad en las filas según su cobertura; las especies con mayor cobertura en el muestreo se colocan encabezando el grupo, estas últimas fueron consideradas como las especies diagnósticas de la comunidad. Para cada especie enlistada de cada sitio se anotó el porcentaje de cobertura que se le estimó en campo en el cruce con el sitio en donde fue encontrada. Las especies que se encontraron presentes en la mayoría de los sitios muestreados fueron acomodadas hasta el final de la tabla, denominadas como especies acompañantes; al igual que las especies llamadas raras.

A partir de la información obtenida en campo y la determinación de los ejemplares colectados, se construyeron inicialmente seis tablas fitosociológicas que corresponden a cada comunidad vegetal muestreada, en las cuales se observa el nivel de importancia de las especies, según la cobertura ocupada por las mismas.

Posteriormente la información de las seis tablas fitosociológicas se conjuntó en una tabla general, que agrupó la información total de las comunidades y permitió analizar la presencia de una especie en varias de las comunidades a lo largo del gradiente altitudinal, así como las que se encuentran restringidas a una comunidad específica; adicionalmente estas tablas aportaron datos acerca de las características ambientales y la estructura fisonómica de la comunidad, facilitando con esto la descripción de cada comunidad.

V.1.2.2 Análisis de clasificación aglomerativa

Para poder corroborar los resultados de la tabla fitosociológica, se realizó un análisis estadístico de clasificación aglomerativa a los datos obtenidos de los muestreos, mediante el programa Cluster (Hierarchical Cluster Analysis, PC-ORD, Versión 4.25).

Para realizar el análisis se construyó una matriz con los datos de las especies y sus coberturas. En el encabezado de la matriz de datos se incorporo el número total de especies y el número total de sitios de muestreo. Las especies se colocaron en las filas, con un nombre resumido en máximo seis letras; en las columnas se introdujo un identificador del sitio de muestreo. En cada celda correspondiente al cruce especie-sitio se colocó el valor de cobertura de la especie; para las celdas restantes se escribió un cero. Posteriormente el documento que incluye la matriz de datos se convirtió a formato .wk2. Los datos se introdujeron al programa y se obtuvieron las asociaciones reflejadas en un dendrograma.

V.1.2.3 Selección de especies distribución restringida y especies de amplia distribución altitudinal

Con la finalidad de obtener información precisa del posible comportamiento de algunas especies ante el cambio climático en los diferentes horizontes temporales, se hizo una selección de aquellas que presentaran distribución amplia y otras con distribución restringida a partir de los resultados de la tabla fitosociológica. El primer grupo se refiere a las especies que se encuentran presentes en varios intervalos altitudinales del

volcán; se esperaría que estas especies sean las que puedan tener mayor oportunidad de poder subsistir ante las distintas proyecciones de cambio climático, dadas sus condiciones de adaptabilidad en diferentes comunidades. El segundo grupo se refiere a las especies que solo se encontraron en una sola comunidad o que tuvieron su mayor abundancia en una comunidad específica, aunque aparezcan en alguna otra comunidad aisladamente; se espera que las especies de este grupo tengan menores posibilidades de subsistir ya que se encuentran adaptadas a un solo tipo de comunidad y por lo tanto sean las que tiendan a desaparecer en la zona. Esta búsqueda se realizó considerando todas las comunidades del volcán.

V.2 CONSTRUCCIÓN DEL ESCENARIO BASE

Para obtener un escenario climático base del el volcán Malinche se construyó una base de datos climática a partir de dos fuentes de información, para el período 1971-2000, intervalo considerado para la creación del escenario base. La primera, de la estación del Servicio Meteorológico Nacional en Apizaco que se encuentra a 2410 m.s.n.m., con clave 029002 para los años 1971 al 2000; con las variables temperatura máxima y temperatura mínima, se calculó la temperatura promedio mensual de estas; asimismo se obtuvieron los datos de precipitación mensual. La segunda fuente de información fue una estación meteorológica Davis instalada dentro del Parque Nacional Malinche a 3000 m.s.n.m.; esta estación forma parte de cinco estaciones meteorológicas Davis instaladas en el año 2004, con el fin de mantener monitoreadas las variables climáticas, estas se ubican en las casetas de vigilancia forestal alrededor del volcán a una altitud de 3000 m, mismas que les dieron nombre a dichas estaciones meteorológicas (Villers-Ruiz, 2001). Éstas han sido de gran ayuda en los proyectos de investigación realizados en la zona, permaneciendo en funcionamiento a la fecha.

A partir de datos horarios de la estación Davis, se calcularon los promedios diarios y mensuales del periodo 2004 al 2008 de las variables temperatura y precipitación.

Los datos de temperatura de la estación Apizaco fueron tomados de las bases de datos del Extractor Rápido de Información Climática (ERIC 3) (CONAGUA, 2008), mientras que en el caso de la estación meteorológica Davis la información se extrajo directamente del equipo instalado. Ambas estaciones se encuentran orientadas sobre la ladera norte del volcán.

V.2.1 Construcción de intervalos térmicos para el volcán

Con los datos obtenidos de temperatura de las estaciones mencionadas anteriormente, se realizó el cálculo del gradiente térmico para el volcán según lo propuesto por García (1967), el cual indica que para calcular el gradiente térmico en un área específica se necesita tener dos puntos de altitud conocida, de los cuales se tengan datos de temperatura, y que se encuentren aproximadamente a la misma latitud, además de que tengan una diferencia de altitud suficiente; los datos se sustituyen en la siguiente fórmula:

$$\chi = \frac{100(\text{dif. en temp. en } ^\circ\text{C})}{\text{dif. en altitud en m.}}$$

Para realizar el cálculo del gradiente en la zona de estudio se utilizaron los datos de temperatura de la estación meteorológica de Apizaco (1971-2000) y la Davis (2004-2008) ubicada en la Caseta 4 de vigilancia forestal, se hizo la resta de los promedios de temperatura de ambas estaciones, así como el cálculo de la diferencia en metros de las altitudes a las que se encuentra cada estación; estos datos se sustituyeron en la fórmula para obtener el valor que indicó la temperatura que disminuye al aumentar la altitud en el volcán Malinche.

Aunque la estación Caseta 4 cuenta con sólo cinco años información meteorológica horaria, se hizo necesario tomarla en cuenta para poder establecer el gradiente térmico, esto debido a la ausencia de datos climáticos a grandes altitudes en la zona de estudio. Las estaciones se encuentran a altitudes diferentes, en el mismo intervalo latitud-longitud, con diferencias en minutos.

V.2.2 Construcción de intervalos de precipitación para el volcán

Con la finalidad de saber si existía un gradiente de precipitación para el volcán Malinche, según lo declarado por la carta 1:500 000 de Instituto de Geografía (Instituto de Geografía, 1970), en la cual se indica una isoyeta de 1000 mm alrededor de los 3000 m de altitud; se analizaron los datos de tres estaciones meteorológicas establecidas sobre la ladera norte del volcán. La primera fue la estación del Servicio Meteorológico Nacional 29001 Apizaco (2410 m.s.n.m.) y dos estaciones Davis ubicadas alrededor de los 3000 metros en las Casetas 3 y 4 de vigilancia forestal dentro del Parque Nacional Malinche.

Los datos analizados en las tres estaciones fueron del 2004 y 2005. Las referencias de la estación Apizaco fueron tomados de la página del Servicio Meteorológico Nacional y de las dos estaciones Davis directamente del equipo instalado. El propósito de haber analizado este periodo de tiempo fue comparar la cantidad de la lluvia a los 2410 m (estación Apizaco) y a los 3000 m de altitud (Casetas 3 y 4), en la misma temporalidad, tratando de saber si existen diferencias significativas en la cantidad de lluvia entre la parte alta y baja en el volcán Malinche. Debido a que ambas estaciones localizadas dentro del parque, no cuentan con datos anteriores al 2004, y la estación Apizaco solo cuenta con información meteorológica hasta el 2005, se ocupó el intervalo 2004 y 2005.

Se compararon los datos de las tres estaciones según la cantidad de la lluvia anual y en las estaciones de año primavera (marzo, abril y mayo), verano (junio, julio y agosto) y otoño (septiembre, octubre y noviembre); invierno no fue tomado en cuenta debido a la escasez de lluvia en este periodo.

Se realizó el promedio de los valores de los tres meses para representar la lluvia en cada estación del año por estación meteorológica y estos resultados fueron comparados entre cada una de las estaciones.

V.2.3 Descripción de comunidades vegetales

A partir de la interpretación de la tabla fitosociológica y del análisis de clasificación aglomerativa se realizó una descripción de las comunidades vegetales. En esta descripción se mencionan el nombre del tipo de vegetación y las principales asociaciones que se determinaron en cada uno; se presentan las especies dominantes en los muestreos, mostrando las coberturas porcentuales de las mismas; se indican otras especies que forman parte de la composición de la comunidad pero que presentan una menor cobertura en el muestreo, además de características ambientales de la comunidad. Se hace referencia a datos físicos como la altitud en la que se distribuye la comunidad definida a partir de los muestreos y los resultados del análisis estadístico de clasificación aglomerativa. Al final de las descripciones de las comunidades se mencionan a las especies consideradas como acompañantes, que son aquellas especies que se encontraron en varias partes del transecto altitudinal, seguidas de las especies raras las cuales se localizaron escasas veces en los muestreos.

V.2.4 Definición de pisos bioclimáticos

Los muestreos realizados permitieron conocer la amplitud altitudinal de las comunidades vegetales, este es un dato importante e indispensable para poder relacionar la altitud con los datos climáticos y delimitar la vegetación. Para conocer los intervalos de temperatura que le corresponden a cada comunidad vegetal, se comparó las altitudes en las que se establece una comunidad, según los análisis de vegetación, con las altitudes del gradiente térmico; mostrando así los valores de temperatura que coincide con determinado intervalo altitudinal en la que una comunidad se distribuye; estos valores fueron asignados para cada comunidad según su distribución sobre el gradiente altitudinal. Posteriormente se obtuvo un solo valor promedio de temperatura por comunidad.

Con la determinación de las asociaciones de la vegetación en el volcán Malinche, la precipitación y la temperatura correspondiente a cada una de las asociaciones, se definieron los pisos bioclimáticos para la

ladera norte del volcán; los límites de cada uno de los pisos bioclimáticos fueron determinados con los límites de las asociaciones propuestas por el análisis fitosociológico y respaldado con el análisis de Cluster.

V.3 APLICACIÓN DE LOS MODELOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

El escenario base es resultante de la relación entre el clima y las comunidades vegetales descritas. Asimismo se definieron los umbrales climáticos y de vegetación para las especies restringidas y de amplia distribución en el transecto altitudinal. Los modelos de cambio climático fueron directamente aplicados a los datos de las variables temperatura media y precipitación total anual.

Los modelos de cambio climático seleccionados fueron los GCM GFDL-TR 90 (GFDL) y el HADLEY 3-TR-00 (HADLEY) con escenarios socioeconómicos A2 y B2 del IPCC (2001), se aplicaron las salidas de los horizontes de tiempo señalados como 2020 y 2050. Los datos de las salidas de los modelos y escenarios fueron obtenidos de la página en internet del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM (Gay *et al.*, 2006). Dichas salidas de temperatura y precipitación son datos mensuales para cada horizonte temporal y escenarios de emisiones (A2 y B2). Los valores de las salidas describen un aumento o decremento para la variable a la que le corresponda dicho valor, este aumento o decremento fue señalado mediante la presencia de un signo negativo (-) en el caso de un decremento, o por la ausencia de signo para denotar un incremento en la variable.

La aplicación de estas modificaciones fue realizada a cada uno de los valores climáticos del escenario base. De esta forma se obtienen para cada una de las variables analizadas en total ocho posibles escenarios de cambio climático para cada una de las asociaciones vegetales definidas en el Parque Nacional Malinche.

V.4 ANÁLISIS DE LOS DATOS

Tres fueron los aspectos que se consideraron para el análisis de los resultados de la aplicación de los modelos de cambio climático:

IV.4.1. ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS EN EL CLIMA POR COMUNIDAD

Se construyó para cada comunidad su tipo de clima. Se analizaron los datos mensuales de temperatura y precipitación para caracterizar el clima de las comunidades, asimismo se obtuvieron los posibles cambios en el clima de las comunidades según los modelos. Se ingresaron los datos de temperatura y precipitación mensual actuales, así como los datos de las mismas variables con las modificaciones según los modelos de cambio climático al programa MODIFICA (García, 2004). Las modificaciones en el clima por comunidad fueron representados en perfiles altitudinales de la ladera norte en el volcán Malinche, mostrando visualmente las condiciones actuales y futuros cambios en los niveles de aridez, así como del clima en la zona.

V.4.2 COMPARACIÓN POR PISOS BIOCLIMÁTICOS

Este análisis fue hecho con los resultados de aplicar las salidas de los modelos de cambio climático al escenario base de cada comunidad; los incrementos de temperatura mensual promedio y los incrementos o decrementos de precipitación de cada modelo y escenario fueron comparados con los datos del escenario base permitiendo vislumbrar reacomodos altitudinales de la vegetación e incluso pérdidas de esta.

Se compararon los datos de temperatura y precipitación resultantes de los modelos para cada comunidad con los del escenario base, y se reubicaron las comunidades vegetales en el piso altitudinal que le correspondería según los requerimientos establecidos en el escenario base.

V.4.3. ANÁLISIS DE LAS COMUNIDADES Y EL COMPORTAMIENTO DE LAS ESPECIES EN LAS COMUNIDADES CON EL ÍNDICE DE LANG

Para analizar la relación entre temperatura y precipitación en las comunidades vegetales del volcán Malinche y sus especies se utilizó el índice de Lang o también llamado índice de P/T.

Este índice fue aplicado tanto en su escenario base, así como a las modificaciones del escenario base según cada uno de los escenarios de emisiones y modelos de cambio climático en los diferentes horizontes temporales. Se utilizaron los promedios anuales de temperatura y precipitación para cada comunidad, dividiendo la precipitación entre la temperatura. Los distintos valores de P/T fueron comparados con los valores de referencia señalados por García (2004) para los diferentes grupos de clima en el país. Una vez analizados los valores del índice actual se realizó el análisis de los valores de P/T obtenidos a partir de los datos climáticos con las modificaciones de los modelos de cambio climático.

Posteriormente con el mismo índice se analizaron los datos a nivel de especie. Este análisis se basa en la hipótesis de que las comunidades vegetales no podrán desplazarse en conjunto, algunas especies tendrán mayores posibilidades de subsistir al tolerar de manera diferencial los cambios en el ambiente.

Para este análisis se utilizaron a las especies denominadas como especies de distribución amplia y especies de distribución restringida. Se realizó una búsqueda de la presencia de cada especie en los sitios de muestreo sobre el transecto norte del volcán. A partir de la altitud a la que se encontró cada especie, se registró su clima base correspondiente; posteriormente se calculó el índice de P/T para cada especie. Esto mediante la división de la precipitación anual entre la temperatura media anual de cada sitio de muestreo donde fue registrada la especie; con esto se obtuvo un posible intervalo de los valores de P/T donde se localizó a la especie. Posteriormente se promediaron todos estos valores resultantes para cada especie, obteniendo un solo valor para ésta. Los valores de P/T de las especies fueron comparados con los valores de P/T de las comunidades para reubicar a estas especies a lo largo del gradiente térmico-altitudinal en los diferentes horizontes temporales.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VI.1 ESCENARIO BASE DE VEGETACIÓN

En el transecto altitudinal se llevaron a cabo 44 círculos de muestreo, 7600 m² en total; ocho correspondientes al bosque de encino (3200 m²), ocho al bosque de pino (3200 m²), ocho del bosque de *Alnus* (3200 m²), ocho del bosque de *Abies* (3200 m²), ocho del bosque de *Pinus hartwegii* (3200 m²) y cuatro de zacatonal (1600 m²) (Apéndice 2).

El número de especies registradas por comunidad es el siguiente: bosque de encino 38 especies, para el bosque de pino 72 especies, para el bosque de *Alnus jorullensis* 52 especies, para el bosque de *Abies religiosa* 33 especies, para el bosque de *Pinus hartwegii* 31 especies y para el zacatonal 19 especies.

El número total de especies encontradas en los muestreos se encuentra en el Apéndice 3, la lista florística consta de 137 especies pertenecientes a 75 géneros e incluidas en 33 familias. Para representar esta diversidad, se realizó una gráfica que resalta la presencia de las familias en el área de estudio y su porcentaje (Figura 5). En esta gráfica se observa que las familias más representativas son Asteraceae (39 especies), Poaceae (14 especies), Rosaceae (8 especies) y Scrophulariaceae (7 especies).

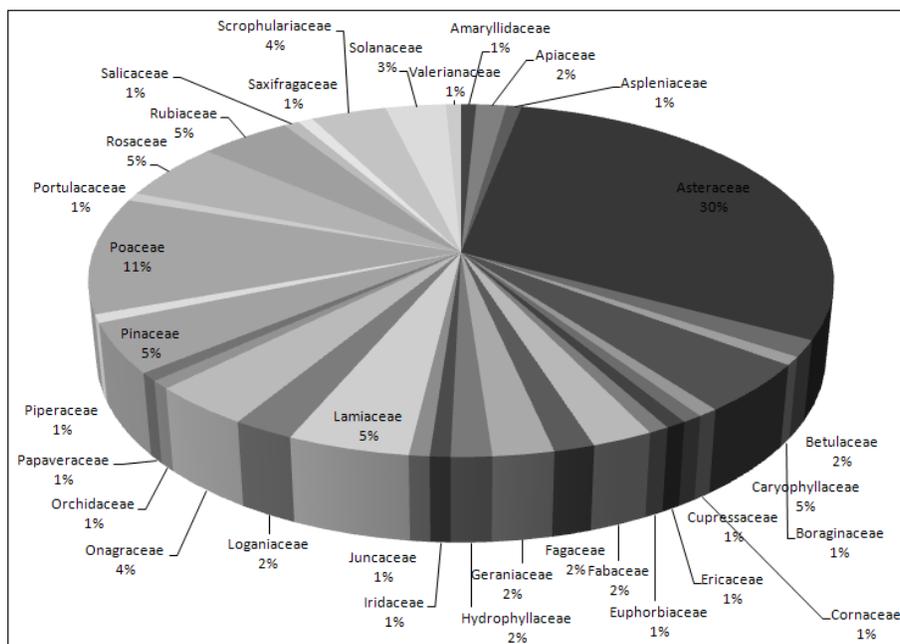


Figura 5. Representatividad de las familias botánicas en los sitios de muestreo en la ladera norte del Parque Nacional Malinche

VI.1.1 Descripción de Comunidades

La descripción de las comunidades vegetales fue hecha con base en los datos tomados en campo, la determinación de los ejemplares colectados, así como el análisis de la tabla fitosociológica (Tabla 2). El intervalo altitudinal señalado para cada comunidad vegetal fue acotado según la tabla fitosociológica, por lo que entre el límite de una comunidad y la siguiente existe una diferencia altitudinal de alrededor de 100 metros que corresponde a los ecotonos entre comunidades.

Zacatonal

Asociación *Calamagrostis tolucensis*-*Trisetum rosei* (4170 y 4020 msnm)

FISONOMÍA: Esta es una comunidad en la que dominan el estrato herbáceo con *Calamagrostis tolucensis*, con coberturas de 20 a 70% y *Trisetum rosei* con 1-20% (Tabla 2). Debido a los efectos de la altitud, las plantas alcanzan alturas que se encuentran entre 10 y 15 cm, el estrato arbustivo es casi inexistente, siendo *Juniperus monticola* la única especie presente.

COMPOSICIÓN: Especies con menor cobertura son: *Arenaria bryoides*, *Phacelia heterophylla*, *Gnaphalium lavandulaceum*, entre otras.

CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES: Presenta un suelo arenoso grisáceo, con rocas expuestas de tipo ígneo y en algunas ocasiones con presencia de ceniza. El suelo desnudo varía de un 20 hasta un 60% y la cobertura vegetal va de un 40 a un 80%.

Bosque de *Pinus hartwegii*

Asociación *Pinus hartwegii*-*Muhlenbergia macroura* (3760 y 3540 msnm)

FISONOMÍA: Se trata de un bosque monoespecífico de *Pinus hartwegii* con coberturas en el estrato arbóreo de 10 al 80% (Tabla 2). En el estrato herbáceo es codominante *Muhlenbergia macroura* con coberturas entre 60 a 80%. Otra especie importante dentro del mismo estrato es *Festuca tolucensis* con coberturas de 80 y

90%. El estrato arbustivo alcanza una cobertura máxima del 10%. La vegetación cubre en promedio un 90% y el resto esta conformado principalmente de hojarasca de pino (10%).

COMPOSICIÓN: Otras especies con menor cobertura son: *Lupinus montanus*, *Penstemon gentianoides* para el estrato herbáceo y para el arbustivo *Roldada angulifolia*.

CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES: En general, la comunidad presenta señales de perturbación por el gran número de tocones, árboles caídos y muérdago (*Viscum album*) parasitando a los árboles de pino.

Bosque de *Abies*

Asociación Abies religiosa-Roldana barba-johannis (3490 y 3325 msnm)

FISONOMÍA: Comunidad representada principalmente con un estrato arbóreo de *Abies religiosa* y un arbustivo con *Roldana barba-johannis*. Presenta una cobertura del estrato arbustivo muy denso desde un 1 hasta un 90%, seguido del estrato arbóreo con un 20 a 80% y finalmente el estrato herbáceo de 40 a 70% (Tabla 2).

COMPOSICIÓN: Otras especies que están en esta comunidad pero con menor cobertura son: *Ribes ciliatum*, *Acaena elongata* y *Senecio cinerarioides* en el estrato arbustivo y *Senecio toluccanus* para el herbáceo. Hay presencia muy significativa de musgos y helechos.

CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES: La vegetación cubre de un 40 a un 75% del suelo, presenta escaso suelo desnudo y rocas expuestas. Aunque la comunidad se encuentra bien representada en superficies con poca pendiente, podemos encontrarla también en cañadas sombreadas y muy húmedas.

Bosque mixto

En este tipo de vegetación se observan dos asociaciones principales, definidas según las especies diagnóstico de cada una y el intervalo altitudinal que ocupan. A continuación se menciona cada una de las comunidades con su respectiva descripción.

Asociación 1 Alnus jorullensis-Cinna poiformis (3330 y 3175 msnm)

FISONOMÍA: Comunidad caracterizada por la dominancia del estrato arbóreo de *Alnus jorullensis* con coberturas de 20 a 70%. Se observa un escaso estrato arbóreo bajo con coberturas entre 10 % (Tabla 2). El estrato arbustivo tiene poca representatividad con coberturas de hasta 30%. Es un bosque que presenta varios claros en su dosel lo que permite el crecimiento en el sotobosque del estrato herbáceo dominado por *Cinna poiformis* con coberturas entre 0.5 a 50%.

COMPOSICIÓN: Otras especies que caracterizan esta comunidad con menores coberturas son: *Buddleia parviflora*, *Pinus leiophylla* y *P. teocote* en el estrato arbóreo bajo; *Roldana angulifolia* y *Physalis stapelioides* en el arbustivo, así como *Bromus* sp. y *Stipa* sp. para el herbáceo.

CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES: La vegetación en promedio ocupa un 75% y el suelo desnudo no es muy abundante alcanzando en promedio un 1%, generalmente el suelo sin vegetación es ocupado por hojarasca.

Asociación 2 *Pinus montezumae*-*Baccharis conferta* (3150 y 2960 msnm)

FISONOMÍA: Caracterizada por la dominancia del estrato arbóreo representado por *Pinus montezumae* con coberturas entre 10 a 60% y por *Baccharis conferta* especie arbustiva con coberturas entre 1 a 20% (Tabla 2). El estrato herbáceo es denso teniendo coberturas de 10 a 85% encontrando especies como *Galium aschenbornii*. El estrato arbustivo presenta coberturas de 1 a 30% en la zona.

COMPOSICIÓN: Otras especies que comparten esta comunidad pero con menores coberturas son: *Buddleia sesilifolia* y *Stevia subpubescens* en el estrato arbustivo; *Geranium potentillifolium* y *Eupatorium pycnocephalum* por mencionar algunas para el estrato herbáceo.

CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES: El porcentaje de vegetación es variado cubriendo en promedio un 60%, en tanto que el 40% restante se trata de suelo cubierto por hojarasca.

Bosque de encino

Asociación *Quercus crassipes*-*Jarava ichu* (2800 y 2720 msnm)

FISONOMÍA: Comunidad caracterizada por la dominancia del estrato arbóreo con coberturas que van desde 30 a 80%, dominado por *Quercus crassipes* con coberturas de 10 a 80% y *Quercus rugosa* con hasta un 60% (Tabla 2). El estrato herbáceo presenta coberturas de 10 a 80% y es dominada por *Jarava ichu*, otra especie diagnóstica de la comunidad con coberturas entre 1 a 30%. El estrato arbustivo presenta coberturas de hasta 40%. Las coberturas de la vegetación varían de 10 a 80%.

COMPOSICIÓN: Otras especies con menores coberturas son: *Prunus serotina* para el estrato arbóreo, *Buddleia* sp. y *Fuchsia microphylla* para el arbustivo y *Ageratina pazcuarensis* para el herbáceo.

CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES: El suelo desnudo ocupa en algunos sitios hasta un 40%, persiste una frecuencia baja de roca expuesta en la zona. La hojarasca esta presente en todos los sitios de muestreo y en algunos alcanza hasta un 70%. Es una barranca profunda que en promedio tiene 17 m de profundidad, localizada en el cauce de un río.

De los 2410 a los 2610 m de altitud el uso del suelo se destina a la agricultura. En esta zona de piedemonte del volcán se desarrollaba un bosque de encino del que actualmente solo se pueden encontrar remanentes del mismo sobre los cauces y pequeñas barrancas en este intervalo altitudinal.

ESPECIES ACOMPAÑANTES: Las especies que acompañan a las seis comunidades a lo largo de todo el gradiente altitudinal son: *Vulpia bromoides* entre los 2700 a los 4200 m de altitud, *Alchemilla procumbens* desde los 2800 hasta los 4200 m de altitud y *Geranium seemannii* desde los 2800 hasta los 3500 m de altitud, las tres pertenecen al estrato herbáceo (Tabla 2).

De las especies raras que se encontraron en el área de estudio están: *Senecio mairitianus*, *Calandrina megarhiza*, *Bromus anomalus*, *Roldana sinuata*, *Lupinus elegans*, entre otras (Tabla 2).

V.1.2 Análisis de clasificación aglomerativa

Los resultados obtenidos con el programa Cluster se resumen en la Figura 6, con un dendrograma que agrupa en comunidades vegetales y asociaciones a los sitios de muestreos, en función de las especies y su cobertura.

El dendrograma indica la formación de dos grandes grupos de vegetación en el volcán Malinche; el primer grupo pertenece a las comunidades vegetales que se establecen en la parte media y baja del volcán, mientras que el segundo grupo lo forma las asociaciones que se encuentran a mayor altitud. En total se lograron definir seis conjuntos de vegetación en el volcán Malinche. Al dendrograma, se le adicionó una recta vertical que indica el corte en el índice de nivel de 56.2 para definir a las comunidades.

Dentro de la primera gran división en el dendrograma (Figura 6), que corresponde a la parte media y baja del volcán, se encuentran dos grupos de vegetación. El primer grupo está formado por los muestreos M1 al M8, las cuales forman parte del bosque de encino y el segundo grupo está constituido por el bosque mixto, dentro del cual se diferencian dos asociaciones, la primera *Pinus montezumae-Baccharis conferta* (M9 a M2 y M16) y la comunidad *Alnus jorullensis-Cinna poiformis* (M 13 y 14, M 17 a M24).

El segundo gran grupo, presente en la parte alta del volcán, está formado por cuatro conjuntos, el primero se trata del bosque de *Pinus hartwegii* formado por los muestreos M 35 a M40 y M15. El segundo grupo está delimitado por los muestreos M41 al M44 que corresponde al Zacatonal (Figura 6). El tercer grupo está representado por los muestreos M26 al M32 constituyendo el bosque de *Abies*. Por último se genera una división formado por los muestreos M25, M33 y M34; la formación de este último grupo difiere con la clasificación hecha a partir del análisis fitosociológico, debido a que se forma a partir de dos muestreos del bosque de *Pinus hartwegii* (M33 y M34) y uno del bosque de *Abies* (M25), según la clasificación fitosociológica.

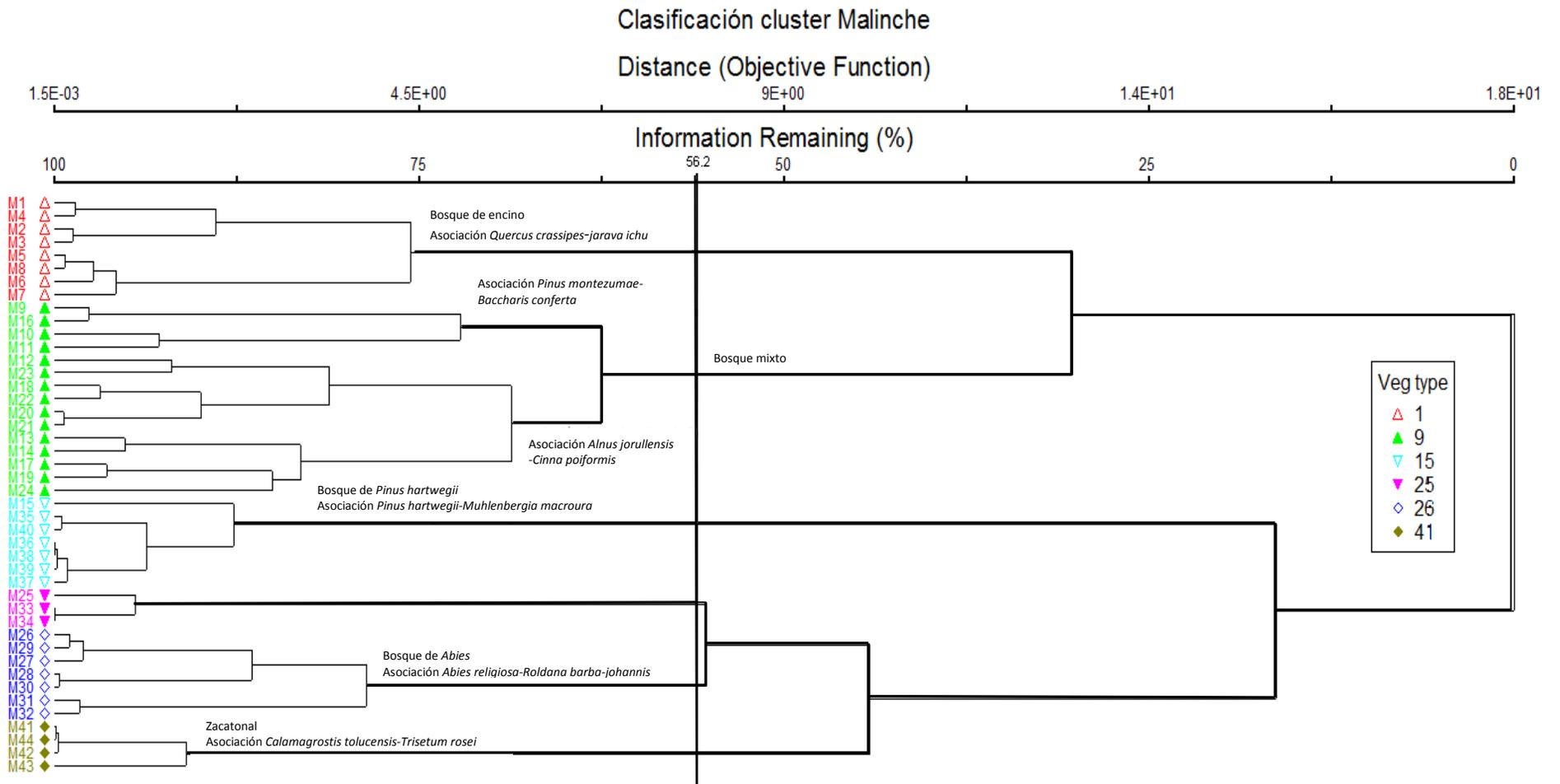


Figura 6. Dendrograma de los sitios de muestreo para obtener la clasificación de la vegetación mediante el análisis de CLUSTER para el volcán Malinche.

El reacondo se debe a una especie (*Festuca tolucensis*) que se encuentra en ambas comunidades y presenta altos porcentajes, por lo que el programa los asocia como un grupo separado; sin embargo este grupo fue considerado como un error numérico, que mediante el análisis fitosociológico pudo ser corregido.

Los resultados del análisis con el programa CLUSTER coinciden en general con la clasificación hecha a partir de la tabla fitosociológica. Cuatro de los grupos descritos a partir del método fitosociológico coinciden estrictamente con los resultados de la clasificación aglomerativa, agrupando los mismos muestreos y definiendo altitudinalmente a las comunidades, estas son: Bosque de encino, asociación *Quercus crassipes-Jarava ichu*; bosque mixto con sus dos asociaciones, *Pinus montezumae-Baccharis conferta* y *Alnus jorullensis-Cinna poiformis* y Zacatonal, asociación *Calamagrostis tolucensis-Trisetum rosei*; mientras que solo dos grupos difieren muy poco con los resultados del CLUSTER.

La clasificación por métodos numéricos es definida como objetiva únicamente en el sentido de la repetitividad. Cuando se usa la fitosociología, una clasificación numérica representa un conjunto de reglas que dirigirán el proceso de agrupamiento individual o de los muestreos. Al usar un método de clasificación numérica, generalmente se llega a los mismos resultados que con el método fitosociológico, solo que el elemento de la "subjetividad" en el proceso de clasificación es eliminado (Kent y Coker, 1992). La fitosociología ha generado críticas por ser un método subjetivo, demandar mucho tiempo en el análisis de los datos y dar mayor importancia a las especies diagnósticas, pero pese a estas críticas, tal vez sigue siendo el sistema florístico más utilizado pues ha demostrado ser eficiente y práctico (Molina *et al.*, 1998; Loid, 1994).

VI.1.3 Selección de especies de distribución amplia y especies de distribución restringida

A partir de la interpretación de la tabla fitosociológica general y la descripción de las comunidades, se seleccionaron a las especies restringidas y especies de amplia distribución, las cuales se muestran en la

Tabla 3.

Tabla 3. Especies de distribución restringida a una comunidad y especies de amplia distribución en el gradiente altitudinal.

Comunidad	Especies de distribución restringida	Especies de amplia distribución
<i>Calamagrostis tolucensis-Trisetum rosei</i>	<i>Calamagrostis tolucensis</i> , <i>Trisetum rosei</i> y <i>Arenaria bryoides</i>	<i>Alchemilla procumbens</i> y <i>Vulpia bromoides</i>
<i>Pinus hartwegi-Muhlenbergia macroura</i>	<i>Pinus hartwegii</i> , <i>Muhlenbergia macroura</i> , <i>Lupinus montanus</i> y <i>Penstemon gentianoides</i>	<i>Alchemilla procumbens</i> y <i>Vulpia bromoides</i>
<i>Abies religiosa-Senecio barba-johannis</i>	<i>Abies religiosa</i> , <i>Roldana barba-johannis</i> , <i>Senecio tolucanus</i> y <i>Arenaria reptans</i> .	<i>Alchemilla procumbens</i> , <i>Geranium seemannii</i> y <i>Vulpia bromoides</i>
<i>Alnus jorullensis-Cinna poiformis</i>	<i>Alnus jorullensis</i> , <i>Pinus leiophylla</i> , <i>Cinna poiformis</i> y <i>Physalis stapelioides</i> .	<i>Alchemilla procumbens</i> , <i>Geranium seemannii</i> y <i>Vulpia bromoides</i>
<i>Pinus montezumae-Baccharis conferta</i>	<i>Pinus montezumae</i> , <i>Baccharis conferta</i> y <i>Eupatorium pycnocephalum</i> .	<i>Alchemilla procumbens</i> , <i>Geranium seemannii</i> y <i>Vulpia bromoides</i>
<i>Quercus crassipes-Jarava ichu</i>	<i>Quercus crassipes</i> , <i>Quercus rugosa</i> , <i>Fuchsia microphylla</i> y <i>Jarava ichu</i> .	<i>Alchemilla procumbens</i> , <i>Geranium seemannii</i> y <i>Vulpia bromoides</i>

Se encontraron 22 especies con distribución restringida y tres especies con amplia distribución. En la tabla 3 se señalan las especies restringidas según la comunidad vegetal a la que pertenecen, así como las especies consideradas de amplia distribución, indicando las diferentes comunidades en las que se encontraron. Estas últimas se definieron como especies acompañantes para efectos de la descripción de las comunidades de la tabla fitosociológica; y fueron nombradas como especies de amplia distribución cuando se realizaron los análisis de cambio climático.

VI. 2 ESCENARIO CLIMÁTICO BASE

VI.2.1 Construcción de intervalos térmicos para el volcán

A partir de los datos de las estaciones meteorológicas de Apizaco y Davis se construyeron las bases de datos de temperatura. En la Tabla 4 se presentan los valores de la temperatura media mensual, la altitud a la que se encuentra la estación y el período de tiempo de los datos que se analizaron para cada una.

Con estos datos se realizó el cálculo del gradiente térmico altitudinal aplicando la fórmula de García (1967). Después de sustituir los datos en la fórmula, el resultado indica que para el volcán Malinche la temperatura disminuye 0.54 °C en promedio, cada que se incrementa la altitud 100 m. Este valor es cercano al cálculo teórico y generalizado para México señalado por García (1967) el cual es de 0.65 °C.

Tabla 4. Temperatura promedio mensual de la estación Apizaco y Caseta 4 de la Malinche

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Caseta 4 (2980m) Mar/04 a May/08	8.4	10.1	11.4	12.7	11.9	12.2	11.5	11.6	11.5	11.0	9.4	8.5
Apizaco (2410m) Ene/1971 a Dic/2000	10.6	11.7	14	15.3	17.8	15.7	14.8	15	15	13.8	12.4	11

El valor obtenido de la fórmula se aplicó a la base de datos mensual de la estación Apizaco, reduciendo 0.54 °C cada 100 m desde los 2410 hasta los 4510 m, contemplando que 4461 m es la altitud máxima del volcán, dando como resultado el gradiente térmico altitudinal del volcán (Tabla 5).

Tabla 5. Gradiente térmico del volcán Malinche.

Altitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
4510	-0.7	0.4	2.6	4.0	6.5	4.4	3.5	3.6	3.7	2.5	1.0	-0.3
4410	-0.2	0.9	3.2	4.5	7.0	4.9	4.0	4.2	4.2	3.0	1.6	0.2
4310	0.3	1.5	3.7	5.1	7.6	5.5	4.6	4.7	4.7	3.6	2.1	0.7
4210	0.9	2.0	4.3	5.6	8.1	6.0	5.1	5.3	5.3	4.1	2.7	1.3
4110	1.4	2.5	4.8	6.2	8.7	6.6	5.7	5.8	5.8	4.6	3.2	1.8
4010	2.0	3.1	5.3	6.7	9.2	7.1	6.2	6.3	6.4	5.2	3.7	2.4
3910	2.5	3.6	5.9	7.2	9.7	7.6	6.7	6.9	6.9	5.7	4.3	2.9
3810	3.0	4.2	6.4	7.8	10.3	8.2	7.3	7.4	7.4	6.3	4.8	3.4
3710	3.6	4.7	7.0	8.3	10.8	8.7	7.8	8.0	8.0	6.8	5.4	4.0
3610	4.1	5.2	7.5	8.9	11.4	9.3	8.4	8.5	8.5	7.3	5.9	4.5
3510	4.7	5.8	8.0	9.4	11.9	9.8	8.9	9.0	9.1	7.9	6.4	5.1
3410	5.2	6.3	8.6	9.9	12.4	10.3	9.4	9.6	9.6	8.4	7.0	5.6
3310	5.7	6.9	9.1	10.5	13.0	10.9	10.0	10.1	10.1	9.0	7.5	6.1
3210	6.3	7.4	9.7	11.0	13.5	11.4	10.5	10.7	10.7	9.5	8.1	6.7
3110	6.8	7.9	10.2	11.6	14.1	12.0	11.1	11.2	11.2	10.0	8.6	7.2
3010	7.4	8.5	10.7	12.1	14.6	12.5	11.6	11.7	11.8	10.6	9.1	7.8
2910	7.9	9.0	11.3	12.6	15.1	13.0	12.1	12.3	12.3	11.1	9.7	8.3
2810	8.4	9.6	11.8	13.2	15.7	13.6	12.7	12.8	12.8	11.7	10.2	8.8
2710	9.0	10.1	12.4	13.7	16.2	14.1	13.2	13.4	13.4	12.2	10.8	9.4
2610	9.5	10.6	12.9	14.3	16.8	14.7	13.8	13.9	13.9	12.7	11.3	9.9
2510	10.1	11.2	13.4	14.8	17.3	15.2	14.3	14.4	14.5	13.3	11.8	10.5

VI.2.2 Construcción de intervalos de precipitación para el volcán

Después analizar la cantidad de lluvia en tres estaciones meteorológicas situadas sobre la ladera norte del volcán, la información indica que no importando la altitud la precipitación no supera los 822.1 mm que reporta la estación Apizaco (2410 m.s.n.m.), ya que la estación Caseta 3 (2980 m.s.n.m.) reporta 787.5 mm anuales; y la estación Caseta 4 (2910 m.s.n.m.) reporta 596.4 mm anuales (Tabla 6). Por lo que estos datos no coinciden con la isoyeta de 1000 mm definida para el volcán a alrededor de los 3000 m que se señala en la carta 1:500 000 de Instituto de Geografía (Instituto de Geografía, 1970) fabricado a partir de bases de datos de los años anteriores a la fecha de publicación.

Con el fin de aclarar si existían diferencias marcadas en la precipitación según la estacionalidad, se realizó un análisis para el período anual de lluvias y se constató que en verano (junio, julio y agosto) se

registra la mayor cantidad de lluvia en el año (Tabla 6). Solamente caseta 3 reportó durante primavera y verano mayor cantidad de lluvia, 12 mm y 16.8 mm; mientras que caseta 4 durante todo el período de lluvias, reportó precipitaciones inferiores a Apizaco.

Tabla 6. Comparación de la precipitación en tres estaciones meteorológicas.

	Precipitación en mm			
	Anual	Primavera	Verano	Otoño
Apizaco	822.1	48.8	124.5	72.4
Caseta 3	787.5	60.8	141.3	52.3
Caseta 4	596.4	47.6	88.9	31.5

Estas diferencias en lluvia son muy bajas, ya que como se verá más adelante, bajo condiciones de cambio climático, estas cifras son despreciables, pues los modelos proyectan escenarios de reducción en la lluvia actual de hasta un 38.2%, lo que eliminaría estas pequeñas diferencias en lluvia.

Debido a la disponibilidad de los datos en la estación Apizaco, pues presenta información requerida para el período definido como escenario base (1971-2000); y como ya se mencionó, no existen datos que indiquen que llueva significativamente más a altitudes superiores, se decidió trabajar con los datos mensuales y anuales del período base de precipitación de la estación Apizaco.

El escenario base de precipitación para el volcán (Tabla 7) constó sólo de un valor mensual promedio obtenido a partir del análisis de los 30 años de datos de la estación Apizaco y un solo valor anual. A estos valores se le aplicaron las salidas de los modelos de cambio climático, mostrando los posibles escenarios de precipitación para el volcán en los horizontes temporales marcados en este estudio.

Tabla 7. Escenario base de precipitación del volcán Malinche

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Sum.
Promedio de													
1971-2000	9.2	9.1	16.0	47.4	90.7	150.1	140.3	137.8	131.3	68.8	14.4	7.2	822.1

Con estos análisis se logra observar que en la ladera norte del volcán Malinche no precipita mayor cantidad de lluvia en la zona alta en comparación con las partes bajas, por el contrario, las estaciones Davis instalada dentro del parque muestran que la cantidad de lluvia es menor que la registrada por la estación Apizaco. Estos resultados pueden deberse a la falta de datos a grandes altitudes, problemática no exclusiva de la región Puebla-Tlaxcala, sino generalizada en México. También puede deberse a que ha existido una disminución en la cantidad de lluvia de lo reportado por las estaciones meteorológicas analizadas cuando se realizó la carta de clima (1970) a lo que reportan actualmente las estaciones Davis.

Asimismo hay que considerar que durante sus comunicaciones el IPCC ha establecido diferentes series de tiempo para la creación del escenario base, por lo que el escenario base utilizado para realizar el presente estudio, ya contempla una porción de tiempo con modificaciones en el clima debidas al cambio climático, según lo reportado por Gay y Estrada (2009), este estudio señala que el punto de inflexión de cambio climático se encuentra a partir de 1975, por lo que la mayoría de los estudios realizados de cambio climático donde el escenario base incluye fechas posteriores a 1975 realmente no representan la variabilidad natural del clima actual.

VI.3 Definición de los pisos bioclimáticos

El escenario base relaciona cada uno de los componentes descritos con anterioridad, esto es, el nombre de las principales asociaciones y especies vegetales que constituyen los tipos de vegetación, las especies restringidas, así como las que se encuentran en varios intervalos altitudinales, además de una síntesis de todos los datos climáticos (temperatura y precipitación) de la zona de estudio. En conjunto todas las variables analizadas constituyen y delimitan los pisos bioclimáticos en el volcán. Se lograron definir cinco pisos bioclimáticos que corresponden con las comunidades vegetales (Tabla 8), descritas por el método fitosociológico y respaldadas por el análisis de CLUSTER.

A lo largo del gradiente altitudinal del volcán se logra observar un gradiente de vegetación y es posible dar cuenta de ello porque los principales componentes fisonómicos cambian de una altitud a otra. Si bien es sabido que la distribución de las especies está dada por sus requerimientos ambientales, en la vegetación analizada, las especies de amplia distribución y las especies de distribución restringida fueron parte importante del estudio.

Los cinco tipos de vegetación muestran diferentes grados de conservación siendo las partes mejor conservadas aquellas que se encuentra más cerca de la cima, conforme va disminuyendo la altitud se puede apreciar diferentes grados de perturbación por influencia humana, dada las condiciones de turismo en la zona.

En el piso bioclimático definido por el Zacatonal y su asociación *Calamagrostis tolucensis-Trisetum rosei*, se encuentra en la parte más alta del volcán entre los 4200 y 4010 m.s.n.m. (Tabla 8), es un piso perfectamente diferenciado y delimitado del resto de los pisos bioclimáticos, en la cual la mayoría de las especies se limitan a esta y presenta un buen estado de conservación; la temperatura promedio de este piso bioclimático es de 4.8° C y una precipitación de 822.1 mm anuales.

Se aprecia claramente la restricción de las especies al intervalo altitudinal definido por el Zacatonal sin entremezclarse con otros intervalos, estas especies son muy particulares y características de este tipo de

vegetación dada las condiciones de la misma. Para el resto de los grupos de vegetación se observa que la restricción de las especies ya no es tan estricta y pueden presentarse, aún siendo de las especies más importantes para la comunidad, en otros intervalos térmico-altitudinal, variando en su cobertura de presencia en los sitios.

En el piso bioclimático ocupado por el bosque de *Pinus hartwegii* y su asociación *Pinus hartwegii-Muhlenbergia macroura*, es representado por un bosque monoespecífico de *Pinus hartwegii* el cual muestra una conservación mayor en las partes cercanas al límite de la vegetación arbórea, mientras que en las zonas bajas la perturbación de la vegetación es mayor, indicado por la presencia de un estrato arbustivo más denso; la comunidad se desarrolla entre los 3910 y 3610 m.s.n.m. (Tabla 8). En la mayor parte de esta se puede observar a la especie parásita *Viscum album* sobre los pinos, siendo esta especie otro claro indicador de perturbación. El componente principal es *Pinus hartwegii* que se restringe a este mismo piso bioclimático, este pino es característico de los bosques que se desarrollan a grandes altitudes, en los picos y montañas más altas de México (Farjon y Styles, 1997; Musalem y Solís, 2000). Otro componente importante es *Muhlenbergia macroura* esta especie no es totalmente exclusiva, pues aunque su principal distribución esta representada dentro esta comunidad y generalmente asociada con *P. hartwegii*; también se encuentra un pequeño manchón de esta especie a los 3080 m en la asociación de *Pinus montezumae-Baccharis conferta*. La temperatura promedio de este nivel es de 6.6 ° C.

El siguiente piso bioclimático es el que forma el bosque de *Abies* y su asociación *Abies religiosa-Roldana barba-johannis* (Tabla 8), un bosque monoespecífico de *Abies religiosa* y muy denso en los estratos arbóreo y arbustivo; se encuentra claramente distribuida en sitios con poca pendiente, pero también se encuentra en cañadas muy húmedas, con la presencia de varias especies epífitas; su principal distribución se encuentra entre los 3510 y 3410 m.s.n.m. Comparte una porción del gradiente altitudinal con la comunidad *Pinus hartwegii-Muhlenbergia macroura*. El principal componente fisonómico es *Abies religiosa*; se pueden encontrar algunos individuo de esta especie en las asociaciones descritas como *Pinus hartwegii-Muhlenbergia macroura* y *Alnus jorullensis-Cinna poiformis*. Otras especies que se encuentran restringida

son *Senecio toluccanus* y *Arenaria reptans*. La temperatura media anual de este nivel bioclimático se encuentra entre los 8.3°C.

El siguiente piso bioclimático está caracterizado por un bosque mixto, el cual se divide en dos asociaciones principales: la asociación de *Alnus jorullensis*-*Cinna poiformis* y *Pinus montezumae*-*Baccharis conferta* (Tabla 8). La comunidad *Alnus jorullensis*-*Cinna poiformis* muestra un alto grado de perturbación por los grandes claros que se pueden observar al interior de esta, además de presentar un estrato arbustivo muy denso; se distribuye entre los 3310 y 3110 m.s.n.m. Los individuos de *Alnus jorullensis* son árboles que se pueden diferenciar a simple vista por su gran tamaño y grosor, por lo que esta especie es fisonómicamente la más importante. *Cinna poiformis* es una especie restringida a esta comunidad y se encuentra asociada a *Alnus jorullensis*. *Pinus leiophylla* una especie importante en esta asociación por sus altos porcentajes de cobertura, encontrando solo algunos individuos de esta especie en la comunidad *Pinus montezumae*-*Baccharis conferta* a los 3085 m. Finalmente un componente exclusivo es *Physalis stapelioides* que aunque presenta bajas coberturas no se reconoció en ningún otro sitio del gradiente altitudinal. Esta asociación comparte varias de sus especies con *Pinus montezumae*-*Baccharis conferta*. La temperatura promedio es de 9.6°C en este piso bioclimático, la precipitación corresponde a 822.1 mm anuales.

En las partes más bajas de l bosque mixto se encuentra la asociación *Pinus montezumae*-*Baccharis conferta* entre los 3010 y 2910 m de altitud (Tabla 8). Se aprecia un gran número de árboles de la especie *Pinus montezumae* identificados fácilmente por su tallo de tipo monopodial y se encuentra formando grupos bien definidos, por lo que es el principal componente fisonómico; el estrato arbustivo es muy denso en algunos sitios, *Baccharis conferta* componente de este estrato, muestra una mayor frecuencia en los muestreos, y puede encontrarse individuos aislados de esta especie en la comunidad *Pinus hartwegii*-*Muhlenbergia macroura*. *Eupatorium pycnocephalum* es una especie importante a pesar de su baja

Tabla 8. Pisos bioclimáticos en la ladera norte del volcán Malinche

Altitud (msnm)	Comunidad vegetal	Especies dominantes y acompañantes	Precipitación anual	Temperatura mensual													
				Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom	
Zacatonal																	
4210 a 4010	Asociación <i>Calamagrostis toluensis</i> - <i>Trisetum rosei</i>	<i>Calamagrostis toluensis</i> , <i>Trisetum rosei</i> y * <i>Arenaria bryoides</i>	822.1 mm	1.4	2.5	4.8	6.2	8.7	6.6	5.7	5.8	5.8	4.6	3.2	1.8	4.8	
Bosque de <i>Pinus hartwegii</i>																	
3910 a 3610	Asociación <i>Pinus hartwegii</i> - <i>Muhlenbergia macroura</i>	<i>Pinus hartwegii</i> , <i>Muhlenbergia macroura</i> , * <i>Lupinus montanus</i> y * <i>Penstemon gentianoides</i>	822.1 mm	3.3	4.4	6.7	8.1	10.6	8.4	7.5	7.7	7.7	6.5	5.1	3.7	6.6	
Bosque de <i>Abies</i>																	
3510 a 3410	Asociación <i>Abies religiosa</i> - <i>Roldana barba-johannis</i>	<i>Abies religiosa</i> , <i>Roldana barba-johannis</i> * <i>Senecio toluccanus</i> y * <i>Arenaria reptans</i>	822.1 mm	4.9	6.1	8.3	9.7	12.2	10.1	9.2	9.3	9.3	8.2	6.7	5.3	8.3	
Bosque mixto																	
3310 a 3110	Asociación <i>Alnus jorullensis</i> - <i>Cinna poiformis</i>	<i>Alnus jorullensis</i> , <i>Cinna poiformis</i> , * <i>Pinus leiophylla</i> y * <i>Physalis stapelioides</i>	822.1 mm	6.3	7.4	9.7	11.0	13.5	11.4	10.5	10.7	10.7	9.5	8.1	6.7	9.6	
3010 a 2910	Asociación <i>Pinus montezumae</i> - <i>Baccharis conferta</i>	<i>Pinus montezumae</i> , <i>Baccharis conferta</i> y * <i>Eupatorium pycnocephalum</i>	822.1 mm	7.6	8.8	11.0	12.4	14.9	12.8	11.9	12.0	12.0	10.9	9.4	8.0	11.0	
Bosque de encino																	
2810 a 2710	<i>Quercus crassipes</i> - <i>Jarava ichu</i>	<i>Quercus crassipes</i> , * <i>Quercus rugosa</i> , * <i>Fuchsia microphylla</i> y <i>Jarava ichu</i>	822.1 mm	8.7	9.8	12.1	13.5	16.0	13.8	12.9	13.1	13.1	11.9	10.5	9.1	12.0	

* Especies acompañantes

cobertura, pues se encuentra frecuentemente en los muestreos de esta asociación, siendo una especie restringida. Ésta comunidad muestra un alto grado de perturbación, indicado por la presencia de *Lupinus montanus*, mostrando ser un importante componente fisonómico de la asociación. Se observan también muchos senderos por donde transitan los visitantes del parque, troncos caídos, tocones, ocoteo y claros en el dosel del bosque. A este piso bioclimático le corresponde una temperatura media anual de 11°C y una precipitación de 822.1 mm anuales.

El último piso bioclimático se encuentra en la parte baja del piedemonte y definido por un bosque de encino, siendo su principal asociación *Quercus crassipes*-*Jarava ichu* que se desarrolla entre los 2800 y 2700 m de altitud (Tabla 8). Debido al cambio de uso de suelo, actualmente la mayor parte de este piso bioclimático ha sido reemplazado por una zona de cultivo. Esta comunidad se encuentra en remanentes ubicados en las barrancas con profundidades de alrededor de 20 m, con una gran abundancia de hojarasca y la presencia de algunos elementos de tipo epífita como helechos, bromelias y musgos debido a la gran cantidad de humedad de las barrancas. En la superficie aún prevalecen algunos individuos de encinos custodiando los campos de siembra, desempeñándose como cercas vivientes.

Este piso bioclimático se encuentra bien representado por la especie *Quercus crassipes* la cual tiene altos porcentajes de cobertura y sólo se encuentra distribuida en esta comunidad; por otro lado, *Jarava ichu* es una especie que cuenta con altos porcentaje de cobertura así como una frecuencia alta dentro de este piso bioclimático, aunque se encuentra en otras asociaciones, su principal representatividad se encuentra en este grupo; *Quercus rugosa* es otra especie restringida, con coberturas bajas, así mismo, *Fuchsia microphylla* forma parte de las especies restringidas y se encuentra bien representada en este grupo. La temperatura media anual que corresponde a este piso bioclimático es de 12°C y precipitación media anual de 822.1 mm anuales.

VI.4 APLICACIÓN DE LAS SALIDAS DE LOS MODELOS DE CAMBIO CLIMÁTICO AL ESCENARIO BASE

Las salidas de los modelos de cambio climático para la temperatura se muestran en la Tabla 9 y los porcentajes de incrementos o decrementos de la precipitación se indican en la Tabla 10. En ambos casos se muestran los datos mensuales para cada una de las variables climáticas aplicables para la zona según modelo, escenario de emisiones y horizonte temporal. Para la temperatura todas las salidas muestran incrementos en la zona, estos incrementos son de 0.83 hasta 4.9 °C; mientras que para la precipitación se indican decrementos entre 0.38 a 38.27% de la precipitación actual y algunos incrementos de 0.64 a 22.31%. El modelo que marca mayor número de incrementos en precipitación es el GFDL 2050, mientras que el que mayor número de disminuciones de la misma variable están en el HADLEY A2 2020.

Tabla 9. Incrementos de temperatura mensual para los horizontes 2020 y 2050, según modelos y escenarios de emisiones aplicados.

Mes	TEMPERATURA								
	2020					2050			
	Actual	A2		B2		A2		B2	
		GFDL	HADLEY	GFDL	HADLEY	GFDL	HADLEY	GFDL	HADLEY
Enero	10.6	1.37	2.01	1.16	1.78	1.4	1.78	1.18	2.53
Febrero	11.7	1.35	1.84	1.35	1.82	1.91	3.14	2.59	3.63
Marzo	14	0.96	1.41	0.96	1.4	1.6	2.74	1.9	2.86
Abril	15.3	1.34	1.34	1.22	1.22	1.86	1.86	1.57	1.57
Mayo	17.8	1.41	1.53	1.24	1.53	2.07	2.81	2.39	3.02
Junio	15.7	1.36	2.07	1.28	1.98	2.37	4.18	2.57	4.09
Julio	14.8	1.5	1.9	1.4	1.78	2.72	3.72	2.29	3.13
Agosto	15	1.34	2.03	1.06	1.73	2.71	4.45	2.11	3.58
Septiembre	15	1.11	2.2	0.83	1.89	2.15	4.9	1.6	3.92
Octubre	13.8	1.39	1.49	1.15	1.25	2.72	2.98	2.29	2.51
Noviembre	12.4	0.97	0.96	0.99	0.97	2.1	2.07	2.1	2.08
Diciembre	11	0.93	1.45	1.06	1.56	1.08	2.38	2.06	3.15

Tabla 10. Porcentajes de los incrementos o decrementos de precipitación mensuales para los horizontes 2020 y 2050, según modelos y escenarios socioeconómicos aplicados.

Mes	PRECIPITACIÓN									
	2020					2050				
	A2			B2		A2			B2	
	Actual	GFDL	HADLEY	GFDL	HADLEY	GFDL	HADLEY	GFDL	HADLEY	
Enero	9.2	-2.84	-2.84	-0.66	-4.57	12.83	2.68	10.8	2.25	
Febrero	9.1	-9.86	-9.86	-4.29	-4.1	-11.25	-10.76	-4.51	-4.09	
Marzo	16	-1.59	-9.33	3.04	-4.47	-5.34	-24.87	7.33	-9.1	
Abril	47.4	-2.81	-0.3	-0.38	2.05	-2.34	3.99	0.64	5.96	
Mayo	90.7	-17.04	-10.31	-9.73	-3.2	-33.08	-16.09	-17.98	-3.68	
Junio	150.1	-5.91	-20.37	-7.27	-21.31	14.26	-22.23	-7.58	-38.27	
Julio	140.3	-3.36	-12.81	-3.15	-9.13	1.67	-20.71	1.41	-17.73	
Agosto	137.8	-7.98	-8.02	-4.27	-4.31	-17.78	-17.89	-8.66	-8.76	
Septiembre	131.3	-10.06	-18.67	-1.76	-10.13	-13.2	-34.93	1.84	-16.45	
Octubre	68.8	-6.82	-9.04	3.27	1.12	-6.14	-11.73	12.02	7.32	
Noviembre	14.4	8.26	-8.18	9.77	-6.19	25.94	-15.55	22.31	-12.58	
Diciembre	7.2	-6.84	-14.61	-1.83	-9.38	-6.32	-9.38	1.03	-15.48	

Los resultados de aplicar las salidas de los modelos de cambio climático al escenario base de temperatura de cada comunidad vegetal se presentan en el Apéndice 4, donde se presentan ocho tablas que muestran cambios en la temperatura desglosados mensualmente y se indica un promedio por piso bioclimático. Una síntesis de estos datos se muestra en la Tabla 11 donde el valor que aparece se refiere al promedio de los 12 meses para cada comunidad vegetal.

Tabla 11. Temperatura promedio anual modificada según modelos de cambio climático para cada intervalo bioclimático.

Comunidad Vegetal	TEMPERATURA								
	2020					2050			
	Actual	A2		B2		A2		B2	
		GFDL	HADLEY	GFDL	HADLEY	GFDL	HADLEY	GFDL	HADLEY
Sin vegetación aparente (4510m)	2.6	3.9	4.3	3.7	4.2	4.7	5.7	4.7	5.6
Sin vegetación aparente (4410m)	3.1	4.4	4.8	4.3	4.7	5.2	6.2	5.2	6.1
Sin vegetación aparente (4310m)	3.7	4.9	5.4	4.8	5.3	5.7	5.7	5.7	6.7
<i>Calamagrostis tolucensis-Trisetum rosei</i>	4.8	6.0	6.4	5.9	6.3	6.8	7.8	6.8	7.8
<i>Pinus hartwegii-Muhlenbergia macroura</i>	6.6	7.9	8.3	7.8	8.2	8.7	9.7	8.7	9.7
<i>Abies religiosa-Roldana barba-johannis</i>	8.3	9.5	10.0	9.4	9.8	10.3	11.4	10.3	11.3
<i>Alnus jorullensis-Cinna poiformis</i>	9.6	10.9	11.3	10.8	11.2	11.7	12.7	11.7	12.6
<i>Pinus montezumae-Baccharis conferta</i>	11	12.2	12.7	12.1	12.5	13.0	14.1	13.0	14.0
<i>Quercus crassipes-Jarava ichu</i>	12	13.3	13.7	13.2	13.6	14.1	15.1	14.1	15.1

Para el caso de la precipitación se muestran los resultados de los posibles cambios en la lluvia para los diferentes horizontes temporales (2020 y 2050), bajo los distintos modelos (GFDL y HADLEY) escenarios de emisiones de cambio climático (A2 y B2) (Apéndice 5). Una síntesis con las sumatorias de cada comunidad vegetal se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Precipitación total anual según modelos de cambio climático, aplicable a todas las comunidades vegetales

	PRECIPITACION								
	2020					2050			
	Actual	A2		B2		A2		B2	
		GFDL	HADLEY	GFDL	HADLEY	GFDL	HADLEY	GFDL	HADLEY
Precipitación en mm	822.1	762.1	717.42	793.16	753.88	771.3	660.8	800.5	706.0

VI.5 MODIFICACIONES EN LOS TIPOS DE CLIMA DE LAS COMUNIDADES

Se realizó la clasificación del clima para el escenario base y la reclasificación según los modelos de cambio climático para cada comunidad vegetal del volcán Malinche, con el fin de evaluar los cambios que podrían ocurrir en el clima y el impacto que tendría sobre las comunidades vegetales. En la Tabla 13 se encuentran los tipos climáticos que corresponde a las comunidades vegetales para el escenario base.

Los resultados de este análisis indican que actualmente según los pisos bioclimáticos señalados se presentan cuatro tipos de clima, el de mayor altitud es el E (T) (w₂) (w) (e) g Clima Frío, el más húmedo de los subhúmedo y oscilación térmica extremosa que se presenta en la asociación *Calamagrostis tolucensis-Trisetum rosei* de los 4010 m de latitud hasta la cima del volcán.

Tabla 13. Tipos climáticos actuales de las comunidades vegetales del volcán Malinche.

Comunidad	Tipo de Clima
Zacatonal Asociación <i>Calamagrostis tolucensis-Trisetum rosei</i>	E(T)(w ₂)(w)(e)g
Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> Asociación <i>Pinus hartwegii-Muhlenbergia macroura</i>	Cc(w ₂)(w)(e)g
Bosque de <i>Abies</i> Asociación <i>Abies religiosa-Roldana barba-johannis</i>	Cc(w ₂)(w)(e)g
Bosque mixto Asociación <i>Alnus jorullensis-Cinna poiformis</i> Asociación <i>Pinus montezumae-Baccharis conferta</i>	Cb'(w ₂)(w)(e)g
Bosque de encino Asociación <i>Quercus crassipes-Jarava ichu</i>	Cb(w ₂)(w)(e)g

El Cc (w₂) (w) (e) g clima templado semifrío, el más húmedo de los subhúmedos, con verano fresco corto y oscilación térmica extremosa, se encuentra en las comunidades *Pinus hartwegii-Muhlenbergia macroura* y *Abies religiosa-Roldana barba-johannis* entre los 3410 a los 3910 m de altitud. El clima Cb' (w₂) (w) (e) g Templado semifrío, el más húmedo de los subhúmedos, con verano fresco largo y oscilación térmica extremosa; este tipo de clima se localiza en el bosque mixto, asociado a sus dos comunidades *Alnus jorullensis-Cinna poiformis* y *Pinus montezumae-Baccharis conferta* de los 2910 a los 3310 m y por último el tipo climático Cb (w₂) (w) (e) g clima templado, el más húmedo de los subhúmedos, con verano fresco largo

y oscilación térmica extrema se encuentra en la comunidad *Quercus crassipes-Jarava ichu* de los 2710 a los 2810 m de altitud.

El desarrollo de la reclasificación climática según los modelos para cada una de las comunidades aportó datos nuevos, al relacionar la temperatura y la precipitación que son de gran relevancia para el análisis de las comunidades; en la Tabla 14 se presentan los cambios en el clima según las proyecciones de los modelos analizados. De la Figura 7 a 16 se encuentra el perfil del escenario base de vegetación con la respectiva reclasificación climática según las modificaciones de los modelos de cambio climático.

Los resultados muestran como el clima en la región del volcán Malinche se vuelve más cálido, debido a la desaparición del clima frío E (T) para el horizonte temporal 2020 (Tabla 14), dominando el clima templado semifrío según proyecciones del modelo GFDL A2 y B2, mientras que en el modelo HADLEY A2 y B2 prevalece el clima templado. Solo el modelo HADLEY A2 muestra cambios en la humedad de la zona, pasando del w_2 a w_1 . Para el horizonte temporal 2050, la disminución en la humedad planteada es mayor, debido a que un gran número de proyecciones indican un cambio dentro de las categorías de humedad pasando de los w_2 a la categoría w_1 y se señalan también una gran variación en el comportamiento de la lluvia entre los modelos y escenarios de emisiones. Un cambio importante en términos de humedad, lo exponen los modelos GFDL A2 y B2, y HADLEY A2, pues plantean la posibilidad de la aparición de una canícula entre los meses de julio y agosto en la zona (Tabla 14), la cual no existe actualmente señalando las condiciones que pueden presentarse en cuanto a la disponibilidad del agua en la región.

VI.5.1 Cambios en el clima de las comunidades para el horizonte temporal 2020

Para este horizonte de tiempo la comunidad *Calamagrostis tolucensis-Trisetum rosei* bajo los dos modelos de cambio climático posiblemente cambiaría el tipo de clima presente de E (T) Frío a Cc Templado semifrío, con variaciones en su oscilación térmica según el modelo de cambio climático, particularmente para el modelo GFDL (Figuras 8 y 10) bajo los dos escenarios de emisiones la oscilación térmica permanecería similar a la actual siendo esta extremosa, mientras que para el modelo HADLEY (Figuras 9 y 11) cambiaría a poca oscilación térmica, lo que indica que la diferencia de la temperatura del mes más cálido y la temperatura del mes más frío sería baja (Tabla 14).

En la comunidad *Pinus hartwegii-Muhlenbergia macroura* y la comunidad *Abies religiosa-Roldana barba-johannis* el clima cambia de Cc templado semifrío con verano fresco corto a Cb' templado semifrío con verano fresco largo; particularmente para el modelo GFDL (Figuras 8 y 10) bajo los dos escenarios de emisiones se mantiene la condición de la oscilación térmica extrema, mientras que para el modelo HADLEY (Figuras 9 y 11) en ambos escenarios la oscilación térmica se modifica a la condición de poca oscilación térmica (Tabla 14). Este cambio indica que la temperatura de las comunidades se hace más cálida debido a que se mantiene predominantemente una condición templada y no fría.

Para la comunidad *Alnus jorullensis-Cinna poiformis* no hay un cambio en el tipo de clima manteniéndose bajo cualquier modelo y escenario de cambio climático el tipo Cb' templado semifrío con verano fresco largo. La única modificación observable que probablemente ocurriría sería el cambio en la oscilación térmica anual, ya que el modelo HADLEY bajo escenarios de emisiones A2 y B2 (Figuras 9 y 11) indican un cambio de oscilación térmica extrema a poca oscilación.

En la comunidad *Pinus montezumae-Baccharis conferta* el tipo de clima cambia de Cb' templado semifrío con verano fresco largo a Cb templado, este cambio lo indican ambos modelos de cambio climático. Aunque los dos modelos señalan cambios en el tipo climático actual, solo el modelo HADLEY A2 y B2 (Figuras 9 y 11) señala un cambio de extremoso a poca oscilación térmica para la comunidad.

Tabla 14. Modificaciones en el tipo de clima bajo los diferentes modelos de cambio climático y horizontes temporales para las comunidades vegetales del volcán Malinche.

Comunidad	2020					2050			
	Clima actual	A2		B2		A2		B2	
		GFDL	HADLEY	GFDL	HADLEY	GFDL	HADLEY	GFDL	HADLEY
<i>Calamagrostis tolucensis-</i> <i>Trisetum rosei</i>	E(T)(w2)(w)(e)g	Cc(w2)(w)(e)g	Cb'(w2)(w)(i')g	Cc(w2)(w)(e)g	Cb'(w2)(w)(i')g	Cc(w2)(w)(e)gw"	Cb'(w2)(w)(e)gw"	Cc(w2)(w)(e)gw"	Cb'(w2)(w)(e)g
<i>Pinus hartwegii-</i> <i>Muhlenbergia macroura</i>	Cc(w2)(w)(e)g	Cb'(w2)(w)(e)g	Cb'(w2)(w)(i')g	Cb'(w2)(w)(e)g	Cb'(w2)(w)(i')g	Cb'(w2)(w)(e)gw"	Cb'(w2)(w)(e)gw"	Cb'(w2)(w)(e)gw"	Cb'(w2)(w)(e)g
<i>Abies religiosa-</i> <i>Roldana barba-johannis</i>	Cc(w2)(w)(e)g	Cb'(w2)(w)(e)g	Cb'(w2)(w)(i')g	Cb'(w2)(w)(e)g	Cb'(w2)(w)(i')g	Cb'(w2)(w)(e)gw"	Cb'(w2)(w)(e)gw"	Cb'(w2)(w)(e)gw"	Cb'(w2)(w)(e)g
<i>Alnus jorullensis-</i> <i>Cinna poiformis</i>	Cb'(w2)(w)(e)g	Cb'(w2)(w)(e)g	Cb'(w2)(w)(i')g	Cb'(w2)(w)(e)g	Cb'(w2)(w)(i')g	Cb'(w2)(w)(e)gw"	Cb(w1)(w)(e)gw"	Cb'(w2)(w)(e)gw"	Cb(w2)(w)(e)g
<i>Pinus montezumae-</i> <i>Baccharis conferta</i>	Cb'(w2)(w)(e)g	Cb(w2)(w)(e)g	Cb(w2)(w)(i')g	Cb(w2)(w)(e)g	Cb(w2)(w)(i')g	Cb(w2)(w)(e)gw"	Cb(w1)(w)(e)gw"	Cb(w2)(w)(e)gw"	Cb(w1)(w)(e)g
<i>Quercus crassipes-</i> <i>Jarava ichu</i>	Cb(w2)(w)(e)g	Cb(w2)(w)(e)g	Cb(w1)(w)(i')g	Cb(w2)(w)(e)g	Cb(w2)(w)(i')g	Cb(w1)(w)(e)gw"	Cb(w1)(w)(e)gw"	Cb(w2)(w)(e)gw"	Cb(w1)(w)(e)g

Tipo de clima

Descripción

- E(T)(w2)(w)(e)g Clima frío, el más húmedo de los húmedos, extremoso
- Cb(w1)(w)(e)g Clima templado, el intermedio de los subhúmedos, con verano fresco largo, extremoso
- Cb(w1)(w)(e)gw" Clima templado, el intermedio de los subhúmedos, con verano fresco largo, extremoso, presencia de canícula
- Cb(w1)(w)(i')g Clima templado, el intermedio de los subhúmedos, con verano fresco largo, con poca oscilación térmica
- Cb(w2)(w)(e)g Clima templado, el más húmedo de los subhúmedos, con verano fresco largo, extremoso
- Cb'(w2)(w)(e)g Clima templado semifrío, el más húmedo de los subhúmedos, con verano fresco largo extremoso
- Cb(w2)(w)(e)gw" Clima templado, el más húmedo de los subhúmedos, con verano fresco largo, extremoso, presencia de canícula
- Cb'(w2)(w)(e)gw" Clima templado semifrío, el más húmedo de los subhúmedos, con verano fresco largo, extremoso, presencia de canícula
- Cb(w2)(w)(i')g Clima templado, el más húmedo de los subhúmedos, con verano fresco largo, con poca oscilación térmica
- Cb'(w2)(w)(i')g Clima templado semifrío, el más húmedo de los subhúmedos, con verano fresco largo, con poca oscilación térmica
- Cc(w2)(w)(e)g Clima templado semifrío el más húmedo de los subhúmedos, con lluvias en verano, verano fresco corto, extremoso
- Cc(w2)(w)(e)gw" Templado semifrío el más húmedo de los subhúmedos, con lluvias en verano, verano fresco corto, extremoso con presencia de canícula

Las proyecciones de los modelos de cambio climático indican que no habría cambios severos en el clima de la comunidad *Quercus crassipes-Jarava ichu* para este horizonte temporal, manteniéndose el tipo climático Cb templado. Bajo el modelo GFDL A2 y B2 (Figuras 8 y 10) la comunidad permanecerá bajo condiciones similares a las actuales, mientras que para el modelo HADLEY se observarían algunos cambios. El escenario A2 (Figura 9) señala un cambio en cuanto al nivel de humedad en la comunidad cambiando de w_2 a w_1 , lo que significa pérdida de humedad en el ambiente, manteniéndose la condición de extrema en la oscilación de la temperatura anual. Bajo el escenario B2 (Figura 11) solo se observa un posible cambio en la condición de oscilación térmica extrema a una condición de poca oscilación térmica en la comunidad.

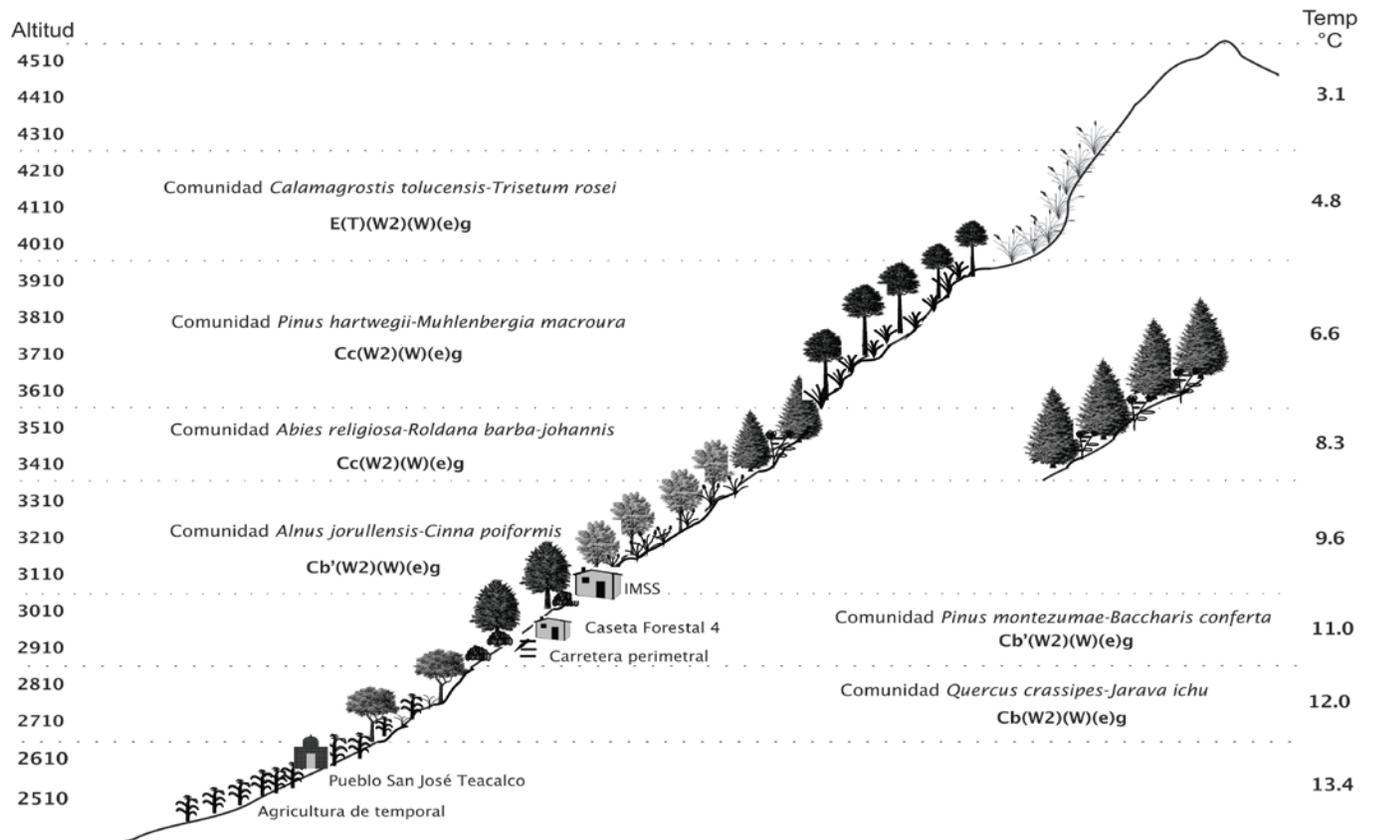


Figura 7. Perfil climático actual.

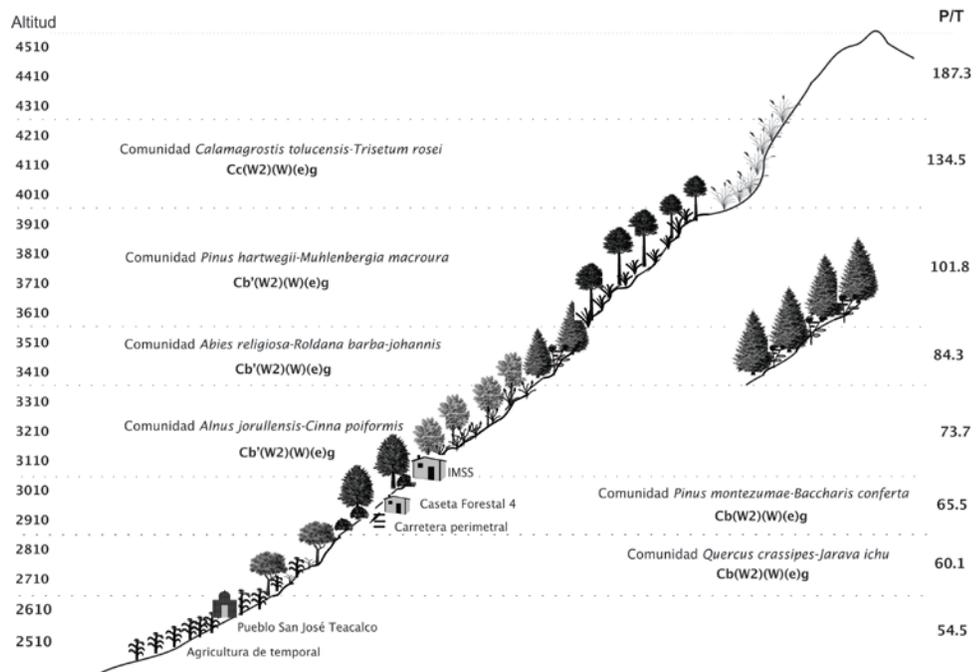


Figura 10. Impactos de cambio climático sobre la vegetación actual según el modelo GFDL B2 2020.

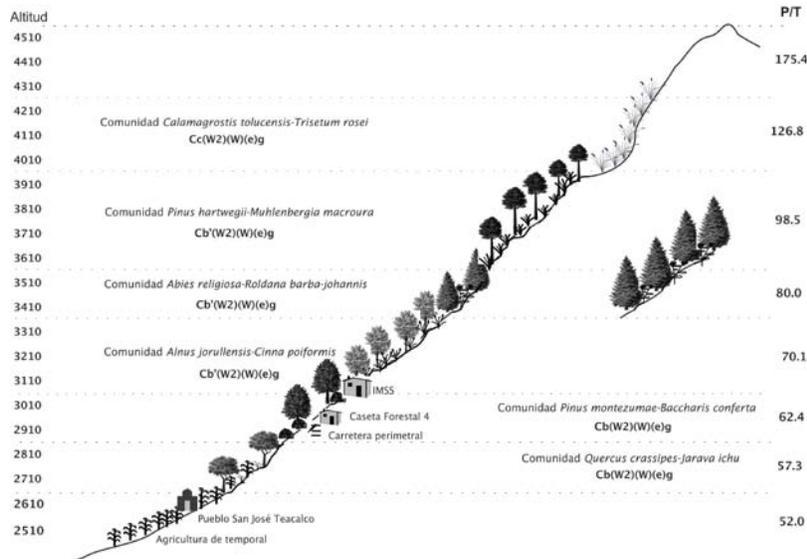


Figura 8. Impactos del cambio climático sobre la vegetación actual según el modelo GFDL A2 2020.

Figura 9. Impactos de cambio climático sobre la vegetación actual según el modelo HADLEY A2 2020.

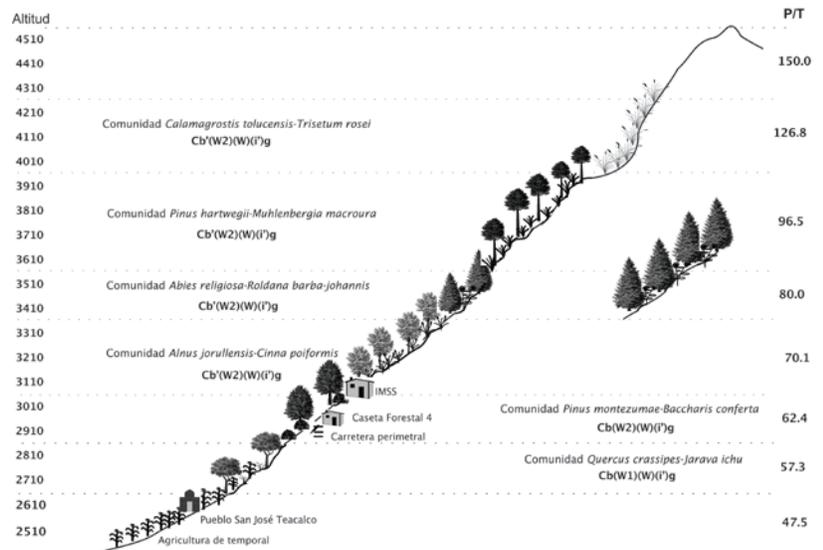
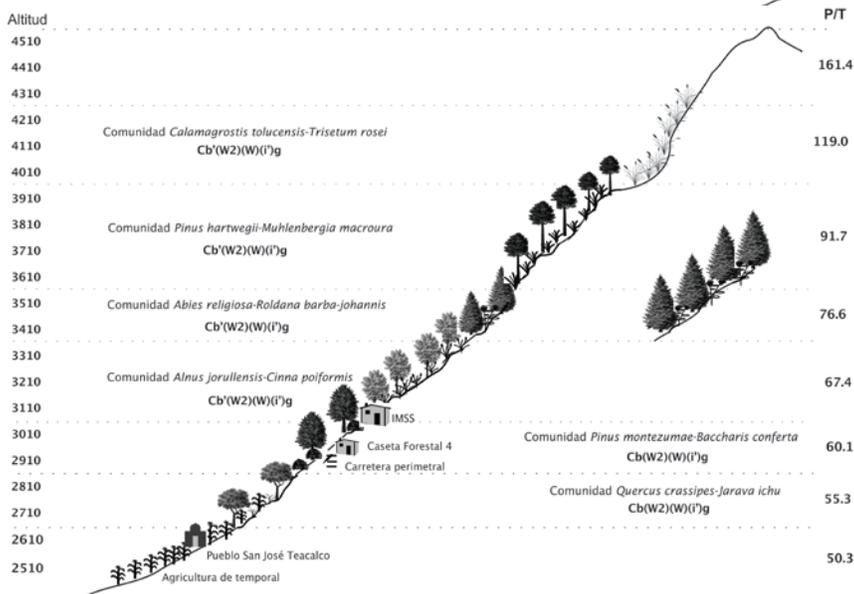


Figura 11. Impactos de cambio climático sobre la vegetación actual según el modelo HADLEY B2 2020.



VI.5.2 Cambios en el clima de las comunidades para el horizonte temporal 2050

En general para este horizonte temporal se hace más notoria la disminución de la precipitación en la zona, pues en la mayoría de los modelos se señala la aparición de la canícula, evento que se trata de una pequeña temporada menos húmeda que se presenta en la mitad caliente y lluviosa del año, la cual en la actualidad no se hace presente en el volcán Malinche.

Para la comunidad *Calamagrostis toluensis-Trisetum rosei* se presentarían dos cambios importantes en el clima. El primero lo indica el modelo GFDL A2 y B2 (Figuras 13 y 15), en el cual se observa un posible cambio de clima E (T) clima frío a Cc templado semifrío con verano fresco corto y la presencia de la canícula. El segundo posible cambio en la comunidad lo señala el modelo HADLEY en donde podría presentarse un cambio de clima E (T) frío a clima Cb' templado semifrío con verano fresco largo; particularmente el escenario A2 (Figura 14) sugiere la aparición de la canícula, mientras que en el escenario B2 (Figura 16) no se presenta. Bajo cualquier modelo y escenario esta comunidad posiblemente permanezca dentro del grupo de los w_2 .

El clima de las comunidades *Pinus montezumae-Muhlenbergia macroura* y *Abies religiosa-Roldana barba-johannis* tendría un evidente cambio, ya que todos los modelos concuerdan en que esta comunidad cambiará del tipo climático Cc templado semifrío con verano fresco corto a Cb' templado semifrío con verano fresco largo, además de la aparición de la canícula, este último solo descrito por los modelos GFDL A2 y B2, y HADLEY A2 (Figuras 13-15).

Para el bosque mixto, las proyecciones de cambio climático describen cambios por asociación. El modelo GFDL A2 y B2 (Figuras 13 y 15) indica que para la comunidad *Alnus jorullensis-Cinna poiformis* no se presentarán cambios en el tipo de clima de la comunidad, permaneciendo el clima Cb' Templado semifrío con verano fresco largo, aunque contempla la aparición de la canícula. El modelo HADLEY plantea un cambio de clima de Cb' a Cb templado con verano fresco largo, particularmente el escenario A2 (Figura 14) indica una reducción de la precipitación pasando del w_2 al w_1 , además de la aparición de la

canícula; mientras que el escenario B2 (Figura 16) describe la posible permanencia de la comunidad en los w_2 .

En la comunidad *Pinus montezumae-Baccharis conferta* se hace evidente un posible cambio en el tipo de clima para el horizonte temporal 2050, pasando de tipo climático Cb' templado semifrío a Cb templado con verano fresco largo, proyectándose cambios en la humedad de la comunidad. Bajo las proyecciones del escenario GFDL A2 y B2 (Figuras 13 y 15) se plantea la aparición de la canícula en la zona y la comunidad se mantiene dentro de los w_2 . Por otro lado el modelo HADLEY A2 (Figura 14) indica la aparición de la canícula, además una reducción de la humedad en la comunidad pasando de tipo w_2 a w_1 , esta última se comparte con las proyecciones del escenario B2 (Figura 16).

Para la comunidad *Quercus crassipes-Jarava ichu* posiblemente no habrá cambios en el tipo de clima manteniéndose el tipo Cb templado con verano fresco largo, particularmente para esta comunidad se plantean mayores posibilidades en la reducción de la humedad. Las proyecciones de los modelos GFDL A2 (Figura 13) y HADLEY A2 (Figura 14) concuerdan en señalar para la comunidad un cambio de humedad pasando de los w_2 a los w_1 , además de indicar la aparición de la canícula. Por otro lado, el modelo GFDL B2 (Figura 15) indica la persistencia de la comunidad dentro de los w_2 , aunque menciona la posible aparición de la canícula, mientras que el modelo HADLEY B2 (Figura 16) solo señala la reducción de humedad de la comunidad pasando de tipo w_2 a w_1 .

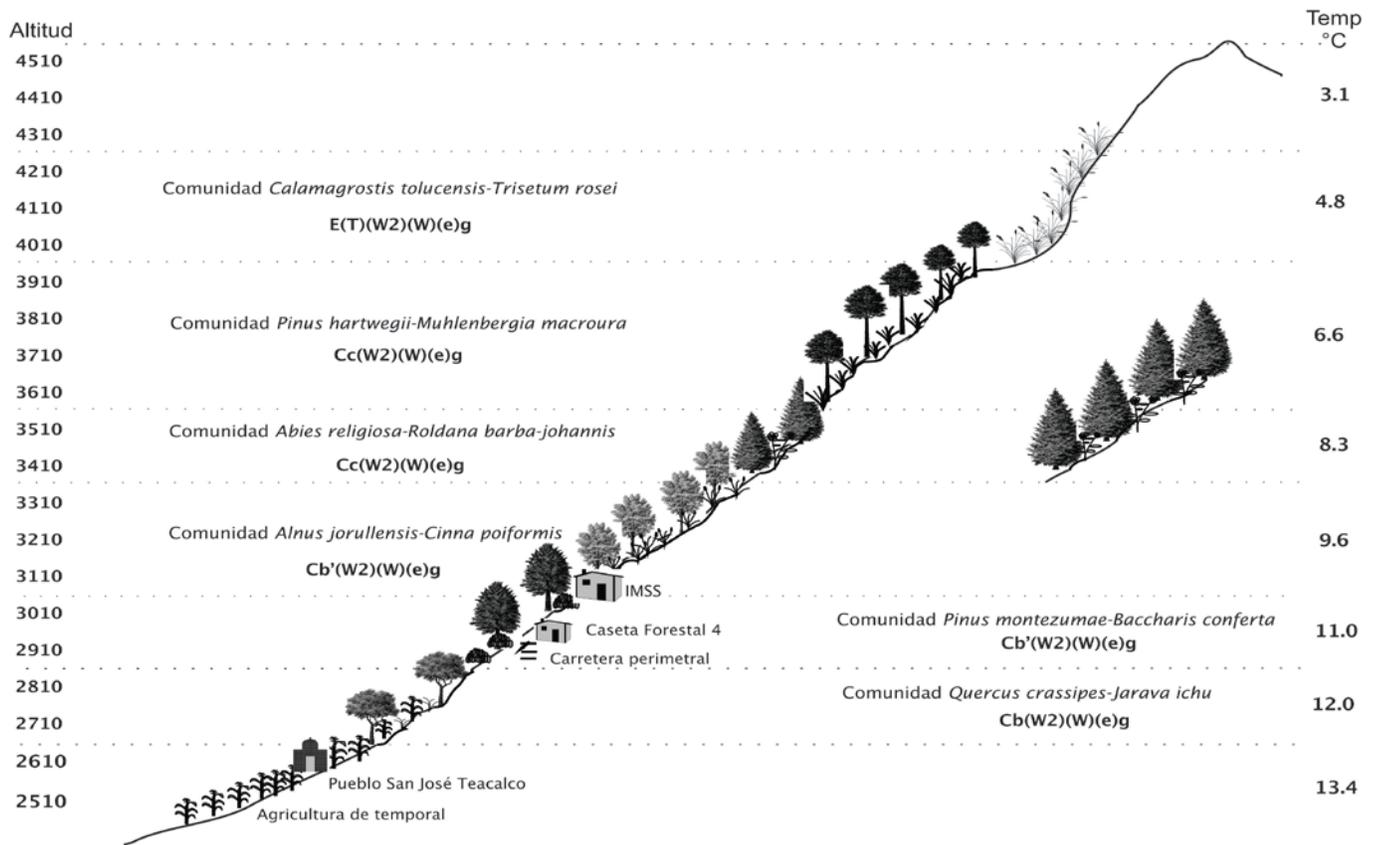


Figura 12. Perfil climático actual.

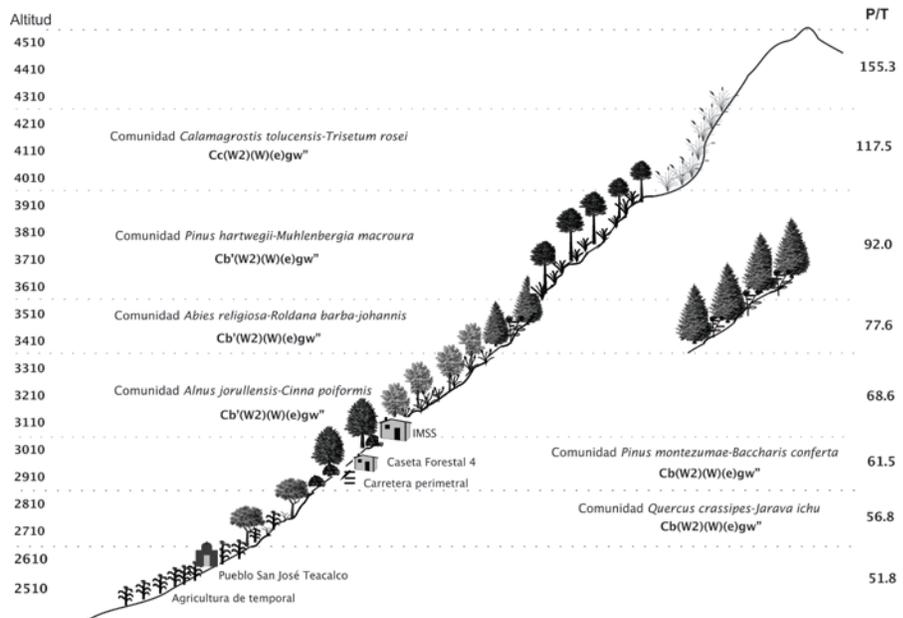


Figura 15. Impactos de cambio climático sobre la vegetación actual según el modelo GFDL B2 2050.

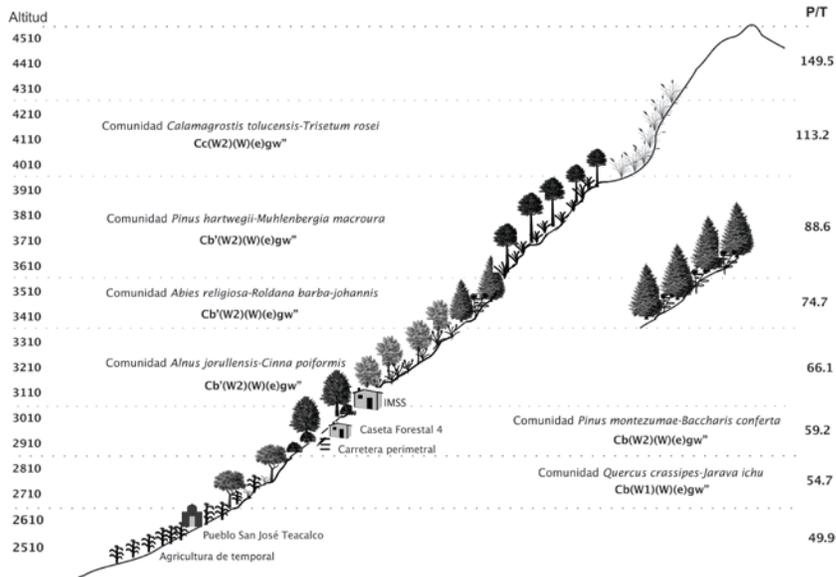


Figura 13. Impactos de cambio climático sobre la vegetación actual según el modelo GFDL A2 2050.

Figura 14. Impactos de cambio climático sobre la vegetación actual según el modelo HADLEY A2 2050.

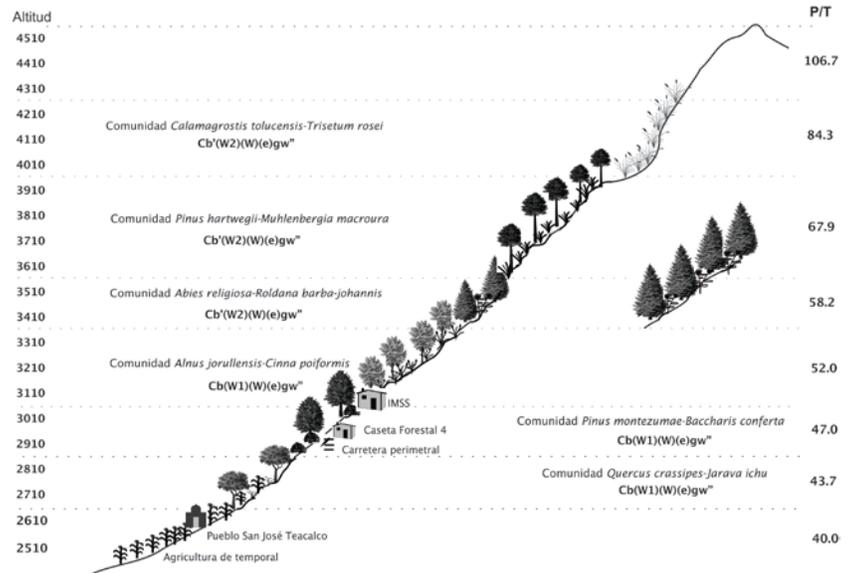
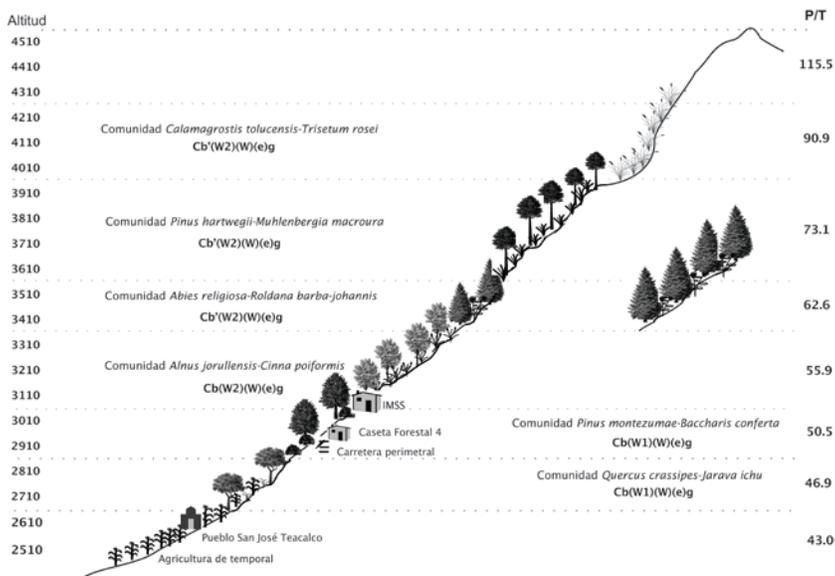


Figura 16. Impactos de cambio climático sobre la vegetación actual según el modelo HADLEY B2 2050.



Los análisis anteriormente descritos de los dos modelos y escenarios socioeconómicos de cambio climático indican que en el volcán Malinche la temperatura aumenta, mientras que la precipitación disminuye, afectando a los sistemas naturales existentes. Bajo esta perspectiva, solo el modelo GFDL B2 2050 señala incrementos en la precipitación en comparación con el resto de los modelos acercándose a la precipitación que actualmente se presenta en la zona. Los análisis realizados concuerdan en cada uno de los posibles cambios en los niveles de humedad y se reflejan en los cambios del clima propuestos en los resultados, lo que refuerza la teoría de que aumentará el nivel de aridez y el clima será más cálido en la región (Solomon *et al.*, 2007), poniendo en riesgo a todas las comunidades que en el volcán habitan, generando cambios en la composición y abundancia de especies de cada comunidad, así como desapariciones locales de las mismas (Field *et al.*, 2007; Sáenz-Romero *et al.*, 2010). Estos cambios se aprecian en mayor número para el horizonte temporal 2050.

Al observar los resultados de los análisis realizados en el presente trabajo, se aprecia la pérdida de tipos climáticos típicos de ecosistemas montañosos como es el clima frío y templado semifrío, por incrementos en la temperatura de hasta 4.2°C, además del cambio en el régimen de lluvias (decrementos de hasta 38.2% y aumentos de 22.3%), con la aparición de la canícula en el verano para esta zona (Field *et al.*, 2007; Magrin *et al.*, 2007). El cambio del clima en la ladera norte del volcán Malinche indica que la región en general será más cálida y más seca en algunos años producto del incremento en la temperatura, junto con una oscilación menor que la actual de esta variable, ocasionando que los veranos sean más largos y la disminución de la precipitación (Solomon *et al.*, 2007), esto generará cambios en la distribución de la vegetación actual y dará cabida para el establecimiento de ecosistemas con afinidades más áridas, poniendo en riesgo a la comunidad *Quercus crassipes-Jarava ichu*. Estas son pruebas claras que corroboran una vez más la presencia de un cambio climático en el planeta y que potencialmente modificará las condiciones que hasta ahora se conocen (Parry *et al.*, 2007).

El cambio en el clima posiblemente tendrá impactos severos sobre las comunidades vegetales que se distribuyen en el volcán, provocando la pérdida o al menos la reducción de las comunidades que concuerdan a nivel altitudinal con los climas frío y templado semifrío (Fischlin *et al.* 2007). La comunidad *Calamagrostis tolucensis-Trisetum rosei* asociada al clima frío, para el horizonte temporal 2050 posiblemente desaparezca, asociada a la pérdida de este tipo climático. Otra comunidad igualmente afectada por los cambios en el clima será *Pinus hartwegii-Muhlenbergia macroura*, pues al perderse el tipo climático templado semifrío donde se ubica esta comunidad, la reducción en su distribución es ineludible y posiblemente para el horizonte marcado como 2050 solamente existan remanentes de la distribución de esta comunidad (Arriaga y Gómez, 2004).

VI.6 MODIFICACIONES EN LOS PISOS BIOCLIMÁTICOS DEL VOLCÁN MALINCHE SEGÚN MODELOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

A continuación se presentan los posibles cambios en la distribución de las comunidades vegetales en los intervalos altitudinales del volcán Malinche de acuerdo con los modelos de cambio climático. Las descripciones de estos posibles escenarios se presentan ordenadas por horizonte temporal. En el Apéndice 6 se muestran para cada comunidad vegetal los datos de temperatura mensual y promedio anual, así como la precipitación total anual por modelo. Se presentan los perfiles de vegetación (Figuras 17-26) señalando los intervalos altitudinales, la temperatura y la precipitación por comunidad vegetal para el escenario base (Figura 17) y los posibles intervalos que ocuparían las comunidades según cada modelo (Figuras 18-26).

Las proyecciones de los modelos y escenarios de emisiones indican cambios en la vegetación a diferentes escalas, desde la reducción, reorganización y reubicación de las comunidades, hasta la pérdida de ecosistemas en el volcán Malinche. Se puede apreciar que el reacomodo de las comunidades es distinto dependiendo del modelo que se analice, pero todas las proyecciones concuerdan con la tendencia de las comunidades a elevarse a zonas más frescas, concordantes con el tipo de clima en el que se distribuyen actualmente. En el modelo HADLEY tanto en escenario socioeconómico A2 como en el B2, se muestra cómo las comunidades se desplazarían y ocuparían específicamente el sitio del grupo de vegetación que se encuentra por arriba de dicha comunidad. En cambio, en el caso del modelo GFDL las comunidades se desplazarían a zonas más altas, pero no ocuparían todo el intervalo en el que se encontraba la comunidad superior, sino ocuparían parte de su actual distribución y parte del sitio donde se encontraba otra comunidad; una peculiaridad que señala este modelo es que entre las comunidades bien definidas, se observan amplias zonas en las que aparentemente no habría una comunidad estricta; esto puede interpretarse como una zona de interacción entre las especies de comunidades distintas y podría funcionar como los ecotonos actuales.

VI.6.1 Comunidades vegetales según modelos para el Horizonte Temporal 2020

Las migraciones potenciales a continuación descritos para las comunidades vegetales del volcán Malinche fueron realizados considerando el intervalo de temperatura de cada comunidad a partir de lo descrito en el escenario base (Figura 17) y ubicando la comunidad en el piso altitudinal que le correspondería ese mismo intervalo según el modelo de cambio climático aplicado (Figuras 18-21). Las modificaciones en la precipitación se encuentran señaladas al interior de cada figura. Los decrementos de la precipitación para este horizonte temporal oscilan entre los 28.9 a 104.6 mm, el primero señalado por el modelo GFDB B2, mientras que el mayor decremento es indicado por el modelo HADLEY A2.

Comunidad *Calamagrostis tolucensis-Trisetum rosei*

Esta comunidad tiene, en general, poca posibilidad de permanecer a la altitud actual de su distribución, ya que para el horizonte de tiempo 2020, las salidas de los modelos de cambio climático indican incrementos de 1.1 a 1.6 °C, siendo el modelo HADLEY A2 el que muestra incrementos extremos de 1.6 °C. La proyección del modelo GFDL y escenario de emisiones B2 (Figura 20) plantea la posibilidad de permanencia de un pequeño remanente de la comunidad (a los 4200m), mientras que bajo los modelos y escenarios restantes (Figuras 18, 19 y 21), esta asociación no permanecería en su distribución actual. Por arriba de los 4200 m las posibilidades de mantenerse, considerando únicamente la temperatura, se incrementan pues los promedios de temperatura por arriba de los 4310 coinciden con los promedios de temperatura actual de la comunidad, pero esta tendría poca posibilidad de establecerse en zonas más altas, pues existen también limitantes edáficas que impedirían el establecimiento de la comunidad.

Comunidad *Pinus hartwegii*- *Muhlenbergia macroura*

Para esta comunidad los modelos de cambio climático proyectan incrementos de entre 1 y 1.6. Los modelos GFDL A2 y B2 (Figuras 18 y 20) refieren una reducción en la distribución actual, distribuyéndose solo entre los 3800 y 3900 msnm, mientras que el modelo HADLEY (Figuras 19 y 21) plantea una reducción más estricta de su distribución actual, permaneciendo solo a los 3900m de altitud. Esta comunidad tendría la posibilidad de establecerse en zonas más altas que las actuales, ocupando parcialmente su altitud actual según el modelo GFDL (de los 3810 a 4110 m) o migrando a altitudes mayores según el modelo HADLEY (de los 3900 a 4200 m), ocupando el sitio de la comunidad *Calamagrostis tolucensis-Trisetum rosei*, esto es, por arriba de los 4010 msnm. A esta altitud la temperatura proyectada por los modelos concuerda con la temperatura actual de la comunidad, por lo que bajo cualquiera de los modelos, a esta altitud la comunidad podría permanecer. Para que esta comunidad pudiera establecerse según lo descrito anteriormente, tendría que adaptarse a nuevas condiciones ambientales que prevalecen a partir de los 4000 m.s.n.m., que son desfavorables para permitir la presencia de la misma.

Comunidad *Abies religiosa*-*Roldana barba-johannis*

Los incrementos de temperatura para esta comunidad son entre 1.2 y 1.7°C, siendo el modelo HADLEY A2 (Figura 19) el que indica los incrementos más intensos. Bajo cualquiera de las proyecciones de los modelos de cambio climático esta comunidad tendría que ocupar zonas más altas; el modelo GFDL A2 y B2 (Figuras 18 y 20) plantea que la comunidad pudiera establecerse entre los 3610 y 3710 msnm; mientras que el modelo HADLEY (Figuras 19 y 21) proyecta una posible reubicación entre los 3710 y 3810 m. En ambos casos la comunidad ocuparía la zona de distribución que actualmente ocupa la comunidad *Pinus hartwegii*- *Muhlenbergia macroura*.

Comunidad *Alnus jorullensis-Cinna poiformis*

Para esta comunidad los modelos proponen incrementos de temperatura entre 1.2 y 1.7°C, lo cual llevaría a la comunidad a tener que desplazarse a una altitud mayor ocupando nuevos sitios. Analizando los datos de temperatura, el modelo GFDL A2 y B2 (Figuras 18 y 20) indica que la comunidad tendría una reducción de su distribución actual manteniéndose solo a los 3310 m de su distribución actual y ocuparía el sitio donde actualmente se distribuye la comunidad *Abies religiosa-Roldana barba-johannis*, hasta los 3510 m. Las proyecciones del modelo HADLEY A2 y B2 (Figuras 19 y 21) indican que la comunidad tendría que desplazarse entre los 3410 y 3610 m reemplazando a la comunidad *Abies religiosa-Roldana barba-johannis* y una pequeña parte de la comunidad *Pinus hartwegii-Muhlenbergia macroura*, encontrando condiciones de temperatura muy parecidas en las que actualmente se distribuyen.

Comunidad *Pinus montezumae-Baccharis conferta*

Bajo las salidas de los modelos de cambio climático, esta comunidad se verá afectada por aumentos de entre 1.1 y 1.7°C. Los valores de temperatura que se acercan a las condiciones actuales de esta comunidad, se encontrarían entre los 3110 y 3310 msnm, altitud en la que actualmente se encuentra la comunidad *Alnus jorullensis-Cinna poiformis*. El modelo GFDL A2 y B2 (Figuras 18 y 20) indica que la comunidad podría establecerse entre los 3110 y 3210 m; mientras que el modelo HADLEY A2 y B2 (Figuras 19 y 21) muestra que la comunidad podría establecerse entre los 3210 y 3310 m.

Comunidad *Quercus crassipes-Jarava ichu*

Esta comunidad le corresponden incrementos entre 1.2 y 1.7°C, en el caso de que no pudiera mantenerse en la franja altitudinal actual, tendría que desplazarse a sitios que presenten temperaturas menores a las proyectadas y que le permitan subsistir. Las salidas de los modelos GFDL A2 y B2, así como HADLEY B2 (Figuras 18, 20 y 21) indican que la comunidad tendría que desplazarse a la altitud en la que

actualmente se encuentra la comunidad *Pinus montezumae-Baccharis conferta* (entre los 2910 y 3010 msnm) pues en este sitio se encontrarían temperaturas similares a las que en promedio la comunidad presenta actualmente (entre 12.1 y 12.2°C). Las salidas del modelo HADLEY A2 (Figura 19) son las que muestran mayores incrementos en la temperatura para esta comunidad, bajo esta proyección es inminente que la comunidad tendría que desplazarse a zonas superiores incluso pudiendo llegar a altitudes entre 3010 y 3110 m altitud actual de la comunidad *Alnus jorullensis-Cinna poiformis*, y probablemente para este horizonte temporal esta comunidad se mezclaría con componentes de la comunidad de *Pinus montezumae-Baccharis conferta*.

Para esta comunidad en particular, los cambios actuales en el uso del suelo han dañado severamente su presencia en el volcán, por lo que su abundancia se ha visto reducida y modificada a agricultura. Esta situación muy probablemente afectará en el posible reacomodo de los fragmentos de comunidad que aún existen en la zona, y aunque en altitudes superiores según modelos y horizontes temporales planteados, pudieran existir condiciones favorables para el establecimiento de la comunidad, estará en riesgo su permanencia en el volcán Malinche dadas las condiciones actuales de este tipo de asociación; posiblemente solo algunas especies (arbustivas o herbáceas) que pertenecen a esta comunidad, tengan la posibilidad de entremezclarse con otros grupos permitiendo de esta forma lograr mantenerse en el volcán.

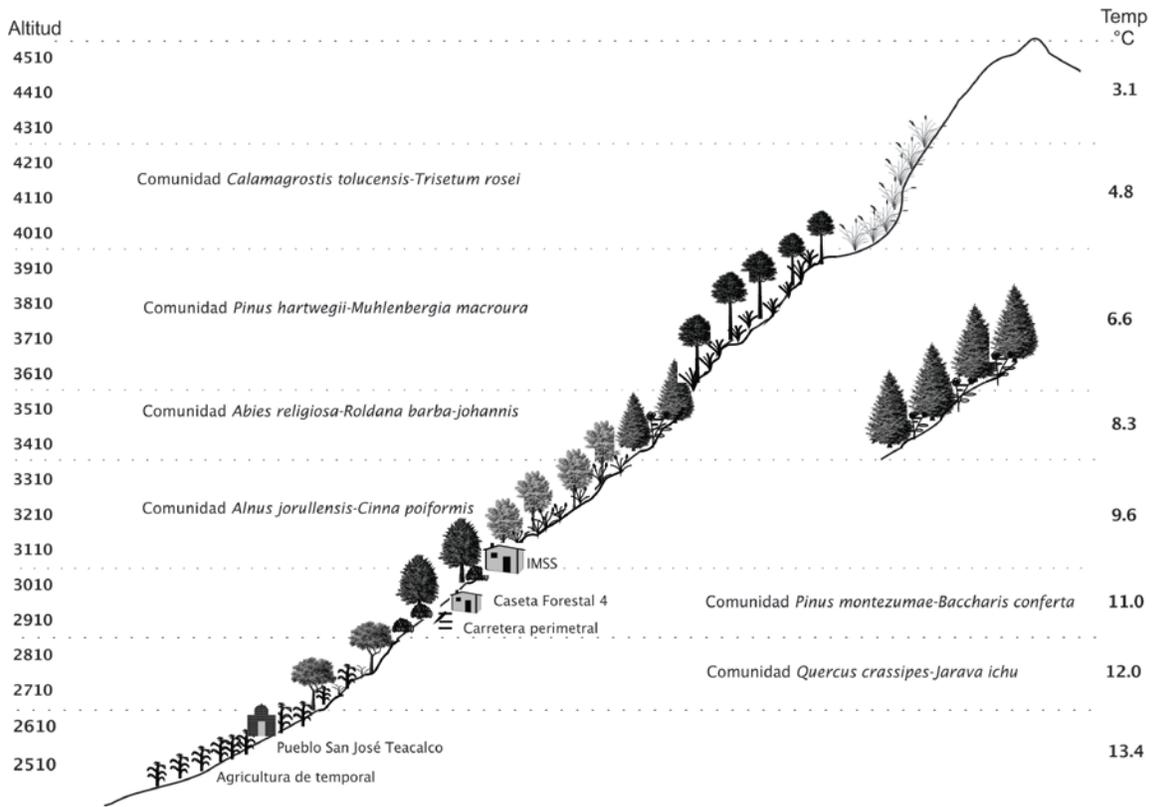


Figura 17. Perfil de vegetación del escenario base.

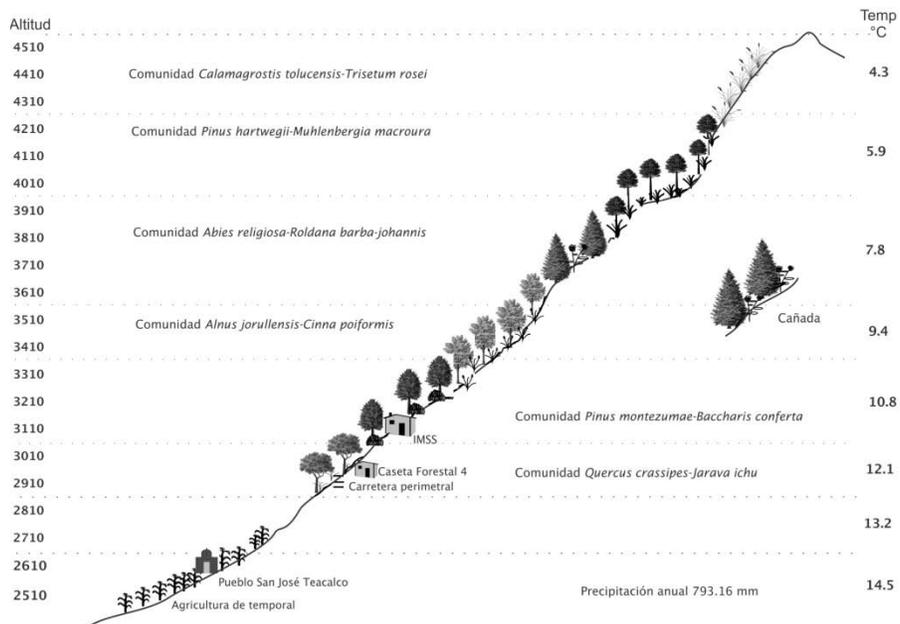


Figura 20. Modificaciones en la vegetación según modelo GFDL B2 2020.

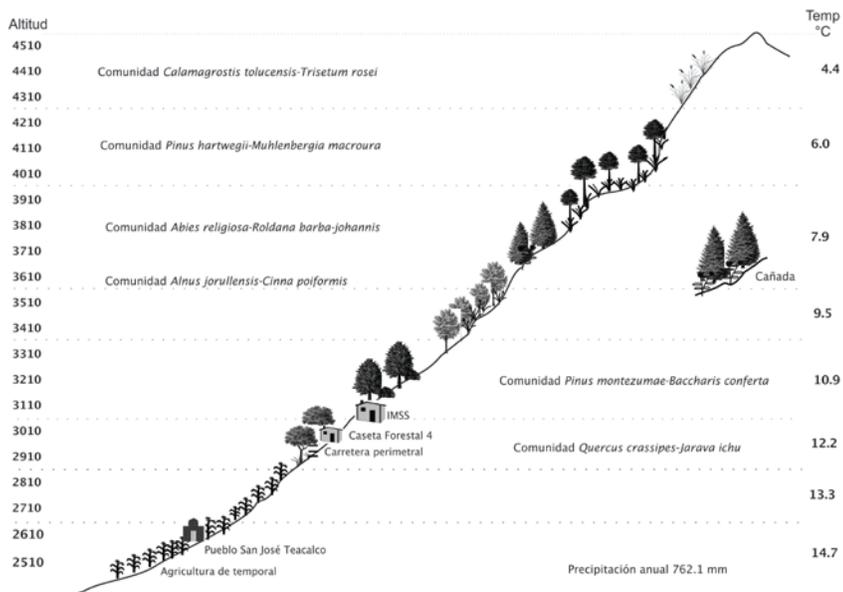


Figura 18. Modificaciones en la vegetación según modelo GFDL A2 2020.

Figura 19. Modificaciones en la vegetación según modelo HADLEY A2 2020.

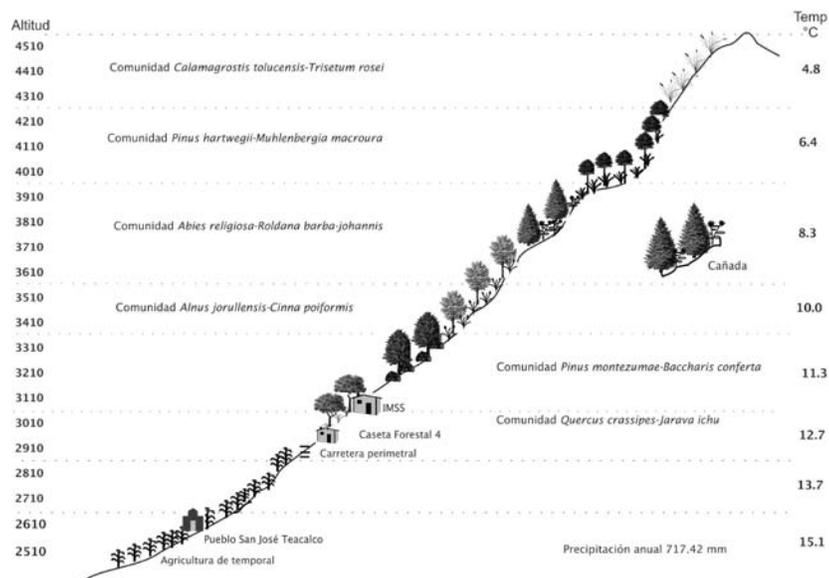
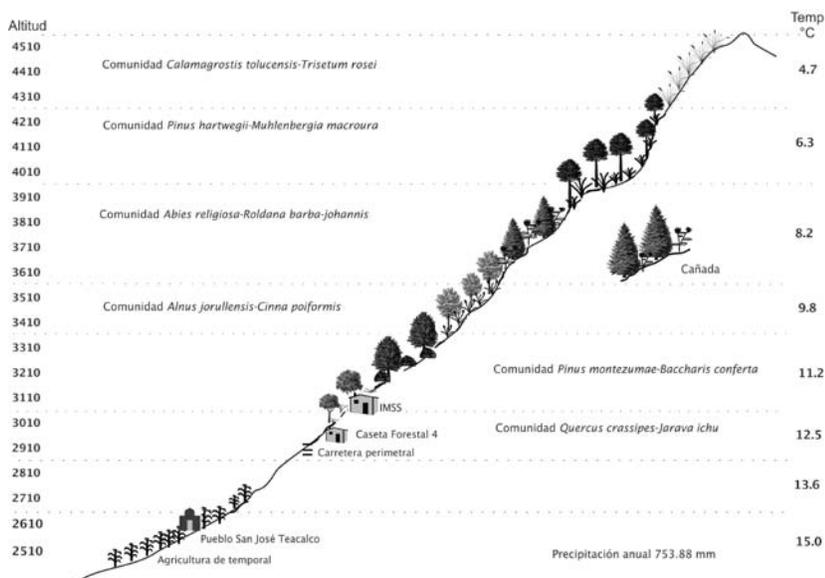


Figura 21. Modificaciones en la vegetación según modelo HADLEY B2 2020.



VI.6.2 Comunidades vegetales según modelos para el Horizonte Temporal 2050

A continuación se describen los impactos potenciales del cambio climático sobre las comunidades vegetales, proyectadas por los modelos y escenarios de emisiones planteados. En este horizonte temporal, los posibles escenarios son parecidos a los proyectados para el horizonte 2020, sólo que los cambios se acentúan considerablemente debido principalmente a incrementos de temperatura de 2 a 3°C y decrementos en precipitación entre 21.6 y 161.3 mm anuales. También se describen la posible desaparición de una comunidad y la reducción de otras.

Comunidad *Calamagrostis toluensis-Trisetum rosei*

Las condiciones proyectadas por los modelos son realmente desfavorables para esta comunidad (Figuras 23-26), pues para este horizonte temporal los incrementos de temperatura llegarían a ser de 2 a 3°C ocasionando que esta comunidad desaparezca en la mayoría de los escenarios analizados. Únicamente en los escenarios de los modelos GFDL A2 y B2 (Figuras 23 y 25), y prácticamente en la cumbre del volcán, la temperatura se encontraría cercana al límite de la temperatura en la que actualmente se distribuye dicha comunidad, por lo que las posibilidades de permanecer son casi nulas.

Comunidad *Pinus hartwegii-Calamagrostis toluensis*

Los aumentos de temperatura en esta comunidad varían entre 2°C a 3°C que implicaría para la comunidad una gran reducción de su distribución actual. Para poder permanecer en el volcán bajo el modelo GFDL A2 y B2 (Figuras 23 y 25) la comunidad en análisis tendría que desplazarse entre los 4010 y 4210 m de altitud, intervalo actual de la comunidad *Calamagrostis toluensis-Trisetum rosei*, debido a que la temperatura promedio para el horizonte temporal 2050 se encuentra dentro de la temperatura en la que se encuentra actualmente la comunidad *Pinus hartwegii-Calamagrostis toluensis*, particularmente el modelo GFDL A2 indica una reducción en la distribución de esta comunidad

permitiendo establecerse entre los 4110 y los 4210 m; mientras que en el modelo GFDL B2 la comunidad podría subsistir entre los 4010 y 4210, una distribución más amplia para este grupo. Las condiciones planteadas por el modelo HADLEY A2 y B2 (Figuras 24 y 26) indican que para dicho horizonte temporal la comunidad tendería a desplazarse por arriba de los 4210 m, pues a esta altitud probablemente se encuentre la temperatura adecuada para esta, sin embargo aspectos edáficos podrían ser restrictivos para esta comunidad.

Comunidad *Abies religiosa*-*Roldana barba-johannis*

En esta comunidad el incremento de temperatura va de 2 a 3 °C comparado con las condiciones actuales del bosque. Bajo las proyecciones de los modelos HADLEY A2 y B2 (Figuras 48 y 26) la comunidad tendría que desplazarse varios metros arriba, entre los 4010 y lo 4110 m de altitud, distribución actual de la comunidad de *Calamagrostis tolucensis*-*Trisetum rosei*, debido a que la temperatura promedio para la comunidad estaría en esta zona. Bajo las salidas del modelo GFDL A2 y B2 (Figuras 23 y 25) la comunidad podría permanecer entre los 3810 y 3910 m, sitio que corresponde a la distribución que actual de la comunidad *Pinus hartwegii*-*Muhlenbergia macroura*.

Comunidad *Alnus jorullensis*-*Cinna poiformis*

De acuerdo a los resultados de la aplicación de los modelos de cambio climático, estos proyectan incrementos entre 2 y 3 °C a la altitud que actualmente se distribuye. Bajo los modelos HADLEY A2 y B2 (Figuras 24 y 26) la comunidad podría desplazarse a la altitud que actualmente presenta la comunidad *Pinus hartwegii*-*Muhlenbergia macroura* entre los 3710 y 3810 m, pues la temperatura permitiría el establecimiento de la comunidad. Bajo el modelo GFDL A2 y B2 (Figuras 23 y 25) la reubicación de la comunidad estaría entre la comunidad *Pinus hartwegii*-*Muhlenbergia macroura* y *Abies religiosa*-*Roldana barba-johannis* entre los 3510 y 3610 m.

Comunidad *Pinus montezumae-Baccharis conferta*

Para este grupo se presentan variaciones en cuanto a la magnitud del desplazamiento hacia las partes altas en el volcán según las salidas de los modelos. Las proyecciones del modelo GFDL A2 y B2 (Figuras 23 y 25) muestran que encontraría buenas condiciones para establecerse a los 3310 y 3410 m, entre la distribución actual de las comunidades *Abies religiosa-Roldana barba-johannis* y *Alnus jorullensis-Cinna poiformis*. Bajo el modelo HADLEY A2 y B2 (Figuras 24 y 26) la comunidad tendría que desplazarse hasta alrededor de los 3510 y 3610 msnm, en las partes bajas de lo que actualmente es la comunidad de *Pinus hartwegii-Muhlenbergia macroura*.

Comunidad *Quercus crassipes- Jarava ichu*

Debido a que los incrementos de temperatura a la altitud de esta comunidad son de 2 a 3°C, la comunidad tendría que desplazarse a zonas más altas buscando zonas más frías. El modelo GFDL A2 y B2 (Figuras 23 y 25) indica el posible desplazamiento de esta comunidad al intervalo altitudinal comprendido entre 3110 y 3210 m ocupado actualmente por la comunidad *Alnus jorullensis-Cinna poiformis*. Bajo las proyecciones del modelo HADLEY A2 y B2 (Figuras 24 y 26) los incrementos son de tres grados centígrados lo cual llevaría a la comunidad a tener que desplazarse a zonas entre los 3310 y 3410 m de altitud en la que actualmente se encuentran las comunidades *Alnus jorullensis-Cinna poiformis* y *Abies religiosa-Roldana barba-johannis*.

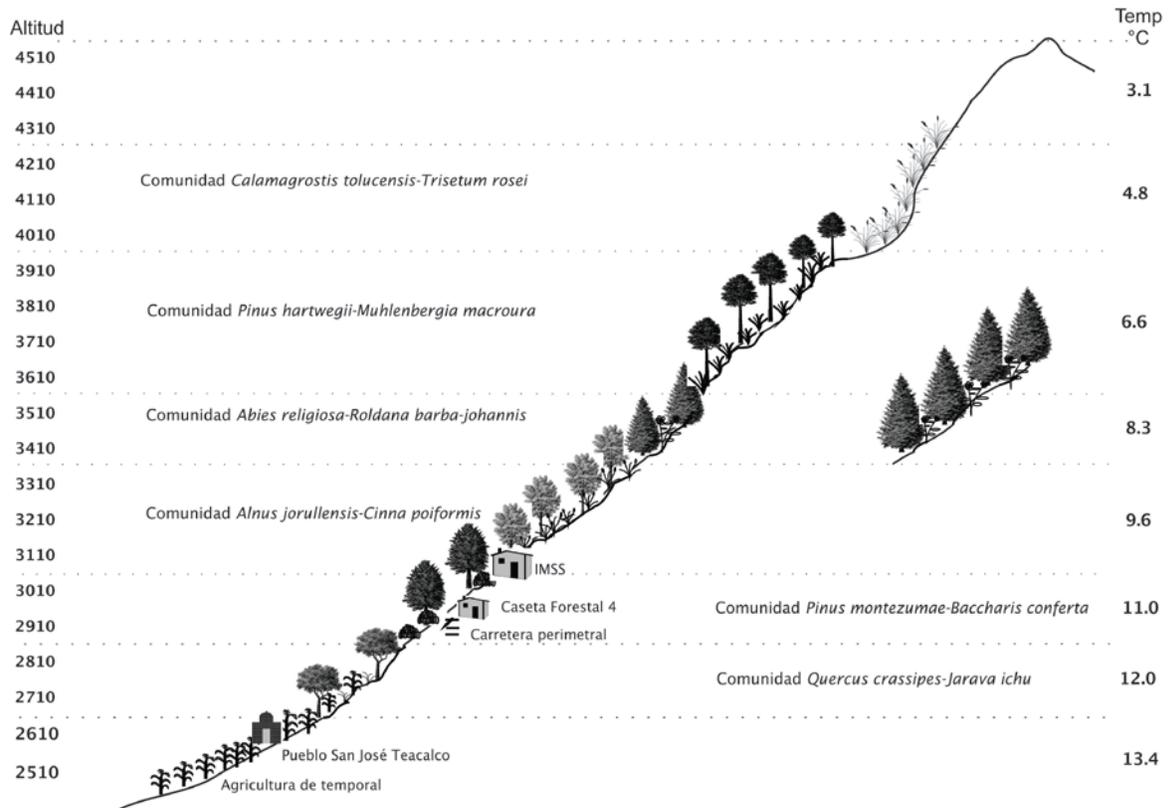


Figura 22. Perfil de vegetación del escenario base.

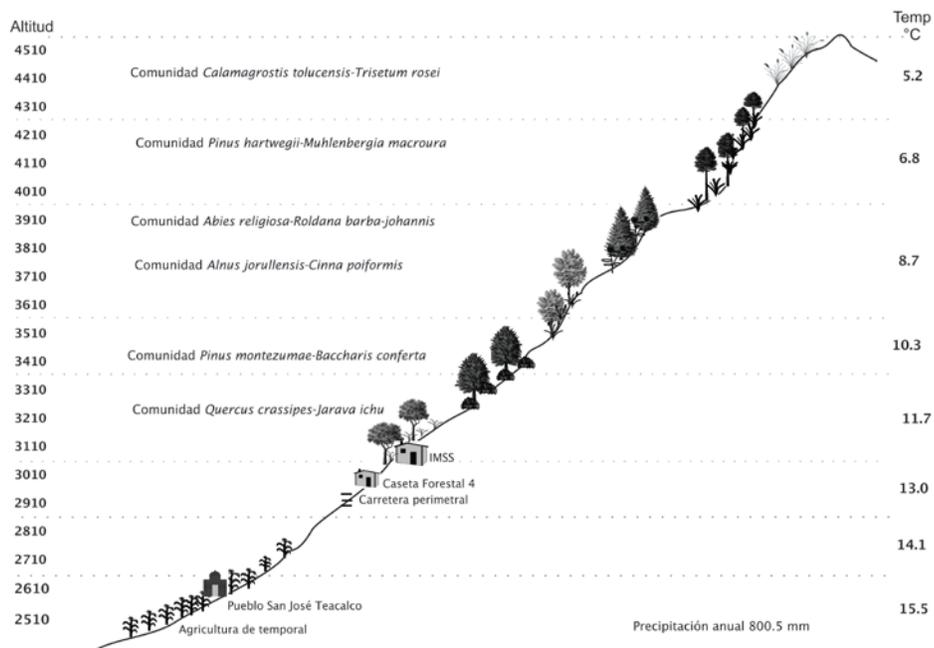


Figura 25. Modificaciones en la vegetación según modelo GFDL B2 2050.

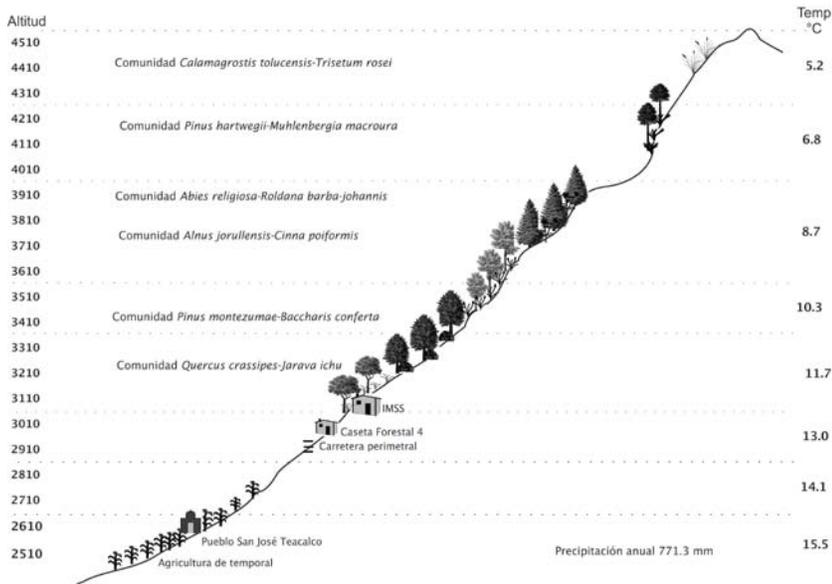


Figura 23. Modificaciones en la vegetación según modelo GFDL A2 2050.

Figura 24. Modificaciones en la vegetación según modelo HADLEY A2 2050.

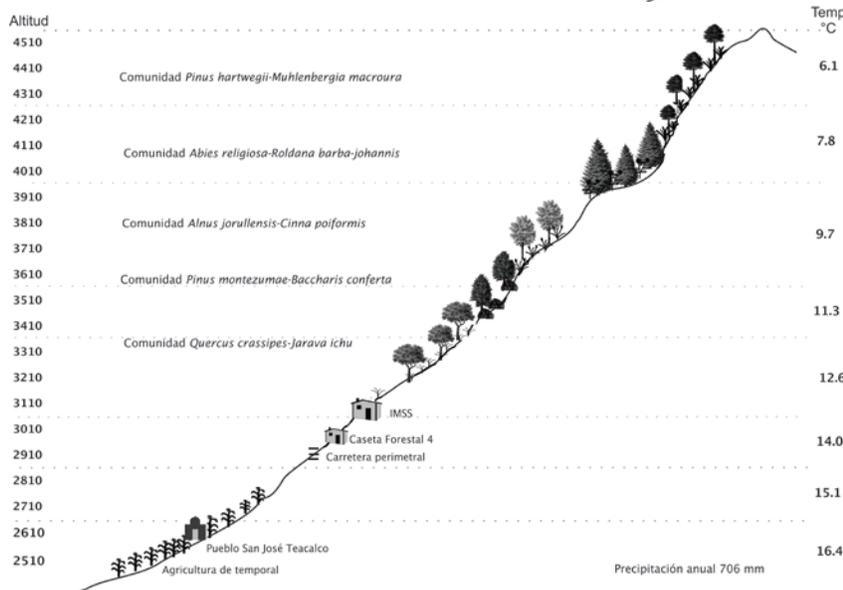
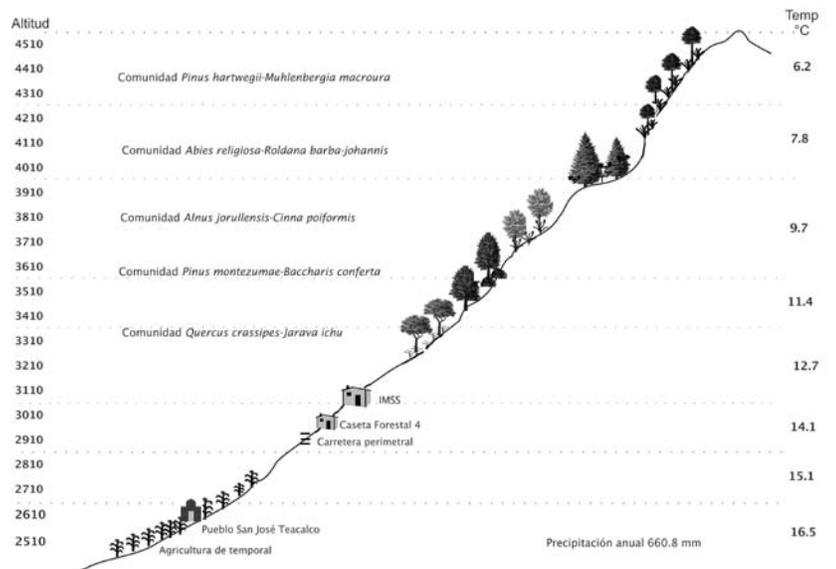


Figura 26. Modificaciones en la vegetación según modelo HADLEY B2 2050.

El cambio climático es un evento que tiene y tendrá fuertes impactos sobre los sistemas naturales actuales, así como los bienes y servicios que estos proveen al hombre (Fischlin, 2007). El caso del volcán Malinche es emblemático de los ecosistemas de montaña del centro de México, representativo de todas y cada una de las comunidades que se encuentran habitando e interaccionando con el ambiente, que sin lugar a duda resentirán de forma severa los impactos del cambio climático, de tal forma que podría haber una posible reorganización entre las comunidades persistentes, variando en la tasa de recambio y abundancia en las especies e incluso posiblemente se perderán ecosistemas debido a la rapidez con la que se registran los impactos de este fenómeno, dejando a las comunidades sin oportunidad de desarrollar medidas que les permitan subsistir a estos acontecimientos (Parry *et al.*, 2007; Leinor *et al.*, 2008; Sáenz-Romero *et al.*, 2010).

Según los modelos de cambio climático, las condiciones más favorables para los ecosistemas se plantean mediante el modelo GFDL bajo el escenario de emisiones B2, por el contrario para el modelo HADLEY A2 se proyectan cambios más extremos. Las condiciones denotadas por el primer modelo muestran que si se sigue la trayectoria establecida por este, se pueden tener impactos menos severos en el ambiente, lo que se reflejará en la calidad de vida de las personas (Parry, 2007). El cambio de uso de suelo y la deforestación son factores muy importantes que influirán en la intensidad de los impactos del cambio climático en los ecosistemas, por lo que deben ser controlados, pues en la medida que estos disminuyan o se tenga un mejor plan de manejo, las repercusiones serán menores (Fischlin, 2007). La pérdida de biodiversidad generada por estas acciones es muy alta e incluso favorecerá la desaparición de ecosistemas (Villers-Ruíz y Trejo-Vázquez, 2004). Un caso particular del volcán Malinche es la comunidad que se encuentra en la zona de piedemonte *Quercus crassipes-Jarava ichu*, donde se ejemplifica claramente esta situación, en la que el cambio de suelo forestal a suelo agrícola ha consumido la mayor parte de esta comunidad, ocasionando que este ecosistema sea casi inexistente. Esta situación refleja la baja posibilidad de que esta comunidad pueda mantenerse en el volcán, aunque las proyecciones de los modelos de cambio climático bajo distintos escenarios de emisiones y horizontes temporales indiquen que posiblemente existan

condiciones favorables para que esta comunidad pueda establecerse en otro sitio; la situación de degradación de la comunidad debido a actividades humanas será una causa fundamental para la pérdida de este tipo de vegetación en el volcán.

Otras condiciones prevalecientes dentro del parque como serían la tala legal e ilegal de árboles, la extracción de germoplasma y los incendios provocados derivados de problemas internos; aumentarán la tasa de desaparición de especies, no solo de especies vegetales sino también faunísticas (Magrin *et al.*, 2007), además de las condiciones de manejo dentro del parque, como son las reforestaciones y el uso de los recursos por los habitantes de la zona, aunadas al cambio climático. Otros factores que pueden intervenir en el comportamiento de las comunidades ante el cambio climático son las especies consideradas plagas (como insectos y plantas parásitas) que podrían ser favorecidas ante el aumento de la temperatura, ocasionando disturbios en la comunidades, acelerando la pérdida de especies nativas y favoreciendo la invasión de especies exóticas (Sala *et al.*, 2000; Field *et al.*, 2007).

VI.7 ANÁLISIS DE LAS COMUNIDADES Y EL COMPORTAMIENTO DE LAS ESPECIES EN LAS COMUNIDADES CON EL ÍNDICE DE LANG

Los resultados de aplicar el índice de P/T o de Lang a los datos climáticos del escenario base y a los valores modificados para cada modelo y escenario socioeconómico se muestran en la Tabla 15. El valor del índice describe posibles variaciones de la humedad en la zona (Orellana, 2009) dados por los escenarios y modelos de cambio climático, contrastándolo con el escenario base del volcán Malinche. Los valores resultantes del análisis de P/T es inversamente proporcional con la aridez, es decir, mientras más bajo sea el valor reportado de P/T, en este caso con respecto al valor del escenario base, mayor será el grado de aridez de la comunidad vegetal correspondiente (García, 2004).

Todas las comunidades vegetales en el volcán Malinche para el escenario base presentan un valor de P/T superior a 55 que corresponde según la clasificación de García (2004) al grupo de los más húmedos (w_2). En la Tabla 16 se encuentran señalados los umbrales para separar los tres niveles de humedad para los distintos grupos climáticos reportados para México según García (2004). Los resultados de aplicar el índice de Lang al perfil bioclimático base del volcán muestran que el valor más alto de P/T lo presenta la comunidad *Calamagrostis tolucensis-Trisetum rosei* y el valor más bajo la comunidad *Quercus crassipes-Jarava ichu*.

Los valores de P/T con las modificaciones de cambio climático indican que para el horizonte temporal 2020 podría haber un cambio en cuanto al grado de humedad (pasando de w_2 el más húmedo de los húmedos a w_1 el intermedio de los húmedos), indicado en el modelo HADLEY A2 para la comunidad *Quercus crassipes-Jarava ichu* (Tabla 15).

Tabla 15. Índice de Lang, para el escenario base y según modelos por comunidad vegetal

INDICE DE P/T O DE LANG										
Altitud	Comunidad Vegetal	Escenario base	GFDL		HADLEY		GFDL		HADLEY	
			A2-2020	B2-2020	A2-2050	B2-2050				
4510	Sin vegetación aparente	316.5	197.93	167.48	212.10	180.63	165.68	116.30	172.08	125.99
4410	Sin vegetación aparente	262.0	173.59	148.73	185.34	159.93	148.46	106.20	154.18	114.92
4310	Sin vegetación aparente	223.5	154.57	133.76	164.57	143.50	134.48	97.72	139.65	105.63
4210		194.9	139.32	121.52	147.99	130.12	122.91	90.50	127.63	97.73
4110	<i>Calamagrostis tolucensis</i> -	172.8	126.80	111.34	134.45	119.03	113.17	84.26	117.51	90.94
4010	<i>Trisetum rosei</i>	155.2	116.35	102.73	123.17	109.68	104.86	78.84	108.88	85.02
3910		140.8	107.48	95.36	113.64	101.69	97.69	74.06	101.43	79.83
3810	<i>Pinus hartwegii</i> -	128.9	99.88	88.97	105.48	94.78	91.44	69.84	94.94	75.24
3710	<i>Muhlenbergia macroura</i>	118.8	93.28	83.39	98.41	88.76	85.94	66.07	89.22	71.14
3610		110.2	87.49	78.46	92.23	83.45	81.06	62.68	84.16	67.47
3510	<i>Abies religiosa</i> -	102.8	82.39	74.09	86.78	78.75	76.71	59.63	79.64	64.16
3410	<i>Roldana barba-johannis</i>	96.3	77.84	70.17	81.94	74.54	72.80	56.86	75.58	61.16
3310		90.6	73.77	66.65	77.61	70.76	69.27	*54.33	71.91	58.43
3210	<i>Alnus jorullensis</i> -	85.5	70.11	63.47	73.72	67.35	66.06	*52.02	68.58	55.93
3110	<i>Cinna poiformis</i>	80.9	66.79	60.57	70.19	64.25	63.14	*49.90	65.55	*53.63
3010	<i>Pinus montezumae</i> -	76.8	63.77	57.93	66.99	61.42	60.47	*47.95	62.77	*51.52
2910	<i>Baccharis conferta</i>	73.2	61.02	55.51	64.07	58.83	58.01	*46.14	60.22	*49.57
2810	<i>Quercus crassipes</i> -	69.8	58.49	*53.29	61.39	56.45	55.75	*44.46	57.87	*47.76
2710	<i>Jarava ichu</i>	66.7	56.16	*51.23	58.93	*54.26	*53.65	*42.90	55.70	*46.07

* Valores de P/T que indican el cambio en la comunidad del grupo de los w_2 a los w_1

Tabla 16. Índice de Lang aplicado a los tipos climáticos de México

Grupo de clima	W_0 (más seco)	W_1 (intermedio)	W_2 (más húmedo)
Cálido A	Aw_0 menor 43.2	Aw_1 entre 43.2 y 55.3	Aw_2 mayor 55.3
Templado C	Cw_0 menor 43.2	Cw_1 entre 43.2 y 55.0	Cw_2 mayor a 55.0
Seco BS	Bs_0 menor 22.9	Bs_1 mayor 22.9	

Fuente: García, 2004

Para el horizonte denominado como 2050 (Tabla 15) se incrementa el número de casos que presentan decrementos en los valores promedio de P/T y por lo tanto una tendencia hacia la aridez. Bajo el modelo GFDL A2 existe un cambio de los w_2 a los w_1 en la comunidad *Quercus crassipes-Jarava ichu*. Principalmente en el modelo HADLEY A2 se presentan las mayores tendencias a la sequía en las comunidades *Quercus crassipes-Jarava ichu*, *Alnus jorullensis-Cinna poiformis* y *Pinus montezumae-Baccharis conferta*; (2710 m a los 3310 m), ya que pasarían de categoría w_2 a w_1 . El modelo HADLEY B2 plantea que existirían cambios en cuanto al nivel de humedad para las comunidades *Pinus montezumae-Baccharis conferta* y *Quercus crassipes-Jarava ichu* cambiando de categoría a w_1 . En general la comunidad más afectada debido a los cambios en los grados de aridez es la comunidad *Quercus crassipes-Jarava ichu* debido a que es la comunidad que se encuentra a un menor nivel altitudinal y es la que se encontraría muy cercana a los tipos de vegetación más cálidos.

Tomando como parámetro los valores de P/T del escenario base y comparándolo con los valores de las proyecciones de los modelos resulta evidente que el valor de P/T para cada comunidad en los diferentes escenarios de emisiones presenta grandes disminuciones, siendo el modelo HADLEY el que reporta el mayor número de cambios de humedad, con reducciones de hasta un 60% en la humedad de las comunidades bajo el escenario de emisiones A2 2050, cubriendo gran parte del transecto altitudinal (3310 a 2710 m de altitud). El GFDL es el modelo que reporta el menor número de cambios en la humedad.

VI.7.1 Comportamiento de las especies ante el cambio climático

Los resultados del análisis del índice de Lang para cada una de las especies seleccionadas se encuentran en la Tabla 17; estos datos muestran los valores de intervalos de P/T para cada especie, así como el promedio de temperatura y la precipitación de los sitios donde fue localizada; los valores resultantes se encuentran dentro del rango de P/T de las comunidades señalado en la Tabla 15.

Los posibles cambios en la distribución de las especies sobre el gradiente altitudinal se sintetizan en la Tabla 18. Para generar esta tabla se consideraron los P/T actuales de las especies con respecto a los P/T que las comunidades tendrían según modelos, de forma tal que al ser comparados dichos valores, se puede ubicar el piso altitudinal que le correspondería según las distintas proyecciones. En general, las especies aparentemente soportarían un mayor nivel de aridez en el volcán y podrían permanecer en la zona, solo una pequeña parte de éstas podría extinguirse; las especies de amplia distribución no tendrán modificaciones severas en su distribución. Todas las especies concuerdan con una presencia en zonas más altas y frescas.

VI.7.1.1 Comportamiento de las especies según modelos para el horizonte 2020

Para el horizonte temporal 2020 la mayoría de las especies tenderán a reducir su distribución, todos los modelos indican que del total de las especies (25), el 88% (22) disminuirán su distribución (por ejemplo *Pinus hartwegii*, *Alnus jorullensis* y *Abies religiosa*), de éstas, solo el modelo GFDL A2 indica que 41% (9), mientras que en los modelos restantes que el 54.5% (12) de las especies reducirían severamente su distribución a sitios muy particulares en el gradiente, tal es el caso de *Pinus montezumae*, *Quercus crassipes*, *Calamagrostis tolucensis* y *Jarava ichu* (Tabla 18).

Tabla 17. Valores del índice de Lang para cada una de las especies seleccionadas

Especies de distribución restringida	Tmed	Pcp	Intervalo de P/T	P/T promedio
Comunidad <i>Calamagrostis tolucensis</i>-<i>Trisetum rosei</i>				
<i>Calamagrostis tolucensis</i>	5.1	822.1	171.2-155.1	163.2
<i>Trisetum rosei</i>	5.1	822.1	171.2-155.1	163.2
<i>Arenaria bryoides</i>	5.1	822.1	171.2	163.2
Comunidad <i>Pinus hartwegii</i>-<i>Muhlenbergia macroura</i>			155.1	
<i>Pinus hartwegii</i>	7.5	822.1	119.1-102.7	110.1
<i>Muhlenbergia macroura</i>	7.4	822.1	119.1-109.6	111.5
<i>Lupinus montanus</i>	7.0	822.1	205-102.7	124.5
<i>Penstemon gentianoides</i>	7.5	822.1	109.6	109.6
Comunidad <i>Abies religiosa</i>-<i>Roldana barba-johannis</i>				
<i>Abies religiosa</i>	8.7	822.1	102.7-90.3	94.6
<i>Roldana barba-johannis</i>	8.8	822.1	96.7-85.6	93.3
<i>Senecio toluccanus</i>	8.8	822.1	96.7-90.3	93.5
<i>Arenaria reptans</i>	9.4	822.1	96.7-66.8	89.5
Comunidad <i>Alnus jorullensis</i>-<i>Cinna poiformis</i>				
<i>Alnus jorullensis</i>	9.6	822.1	90.3-80.5	86.2
<i>Cinna poiformis</i>	9.5	822.1	90.3-80.5	86.3
<i>Pinus leiophylla</i>	9.5	822.1	90.3-80.5	86.4
<i>Physalis stapelioides</i>	9.6	822.1	85.6	85.6
Comunidad <i>Pinus montezumae</i>-<i>Baccharis conferta</i>				
<i>Pinus montezumae</i>	11.0	822.1	76.8-73.4	75.1
<i>Baccharis conferta</i>	10.8	822.1	80.5-73.4	76.3
<i>Eupatorium pycnocephalum</i>	10.8	822.1	80.5-73.4	76.3
Comunidad <i>Quercus crassipes</i>-<i>Jarava ichu</i>				
<i>Quercus crassipes</i>	12.3	822.1	66.8	66.8
<i>Jarava ichu</i>	12.3	822.1	66.8	66.8
<i>Quercus rugosa</i>	12.3	822.1	66.8	66.8
<i>Fuchsia microphylla</i>	12.3	822.1	66.8	66.8
Especies de amplia distribución				
<i>Alchemilla procumbens</i>	9.0	822.1	171.2- 66.8	97.3
<i>Vulpia bromoides</i>	9.6	822.1	109.6-66.8	88.4
<i>Geranium seemannii</i>	9.8	822.1	96.7-66.8	84.6

Tabla 18. Cambios en los intervalos de distribución de las especies según modelos.

Especie	Distribución actual (msnm)	2020				2050			
		A2		B2		A2		B2	
		GFDL	HADLEY	GFDL	HADLEY	GFDL	HADLEY	GFDL	HADLEY
<i>Calamagrostis tolucensis</i>	4170-4020	4410-4310	4460	4310	4410	4460	D	4410	D
<i>Trisetum rosei</i>	4170-4020	4410-4310	4460	4310	4410	4460	D	4410	D
<i>Arenaria bryoides</i>	4170-4020	4410-4310	4460	4310	4410	4460	D	4410	D
<i>Pinus hartwegii</i>	4000-3540	4010-3810	4210-4010	4010-3800	4110-3910	4210-4010	4460-4410	4110-3910	4410-4310
<i>Muhlenbergia macroura</i>	3760-3619	4010-3910	4210-4110	4010-3910	4110-4010	4210-4110	4460-4410	4110-4010	4410-4310
<i>Lupinus montanus</i>	3760-3540	3910-4510	4460-4010	4460-3810	4460-3910	4460-4010	4460-4410	4460-3910	4460-4310
<i>Penstemon gentianoides</i>	4030-3619	3910	4110	3810	4010	4010	4410	4010	4310
<i>Abies religiosa</i>	3540-3315	3810-3710	4010-3910	3710-3610	3910-3810	3800-2900	4310-4210	3910-3810	4210-4110
<i>Roldana barba-johannis</i>	3490-3320	3710-3610	3910-3810	3610-3510	3810-3710	3810-3710	4310-4210	3810-3710	4110-4010
<i>Senecio tolucanus</i>	3455-3390	3710	3910	3610	3810	3810	4210	3810	4110
<i>Arenaria reptans</i>	3475-3390	3710	3910	3610	3810	3810	4210	3810	4110
<i>Alnus jorullensis</i>	3315-2740	3610-3510	3810-3710	3510-3410	3710-3610	3710-3610	4210-4110	3710-3610	4110-4010
<i>Cinna poiformis</i>	3315-3175	3610-3510	3810-3710	3510-3410	3710-3610	3710-3610	4210-4110	3710-3610	4110-4010
<i>Pinus leiophylla</i>	3315-3085	3610-3510	3810-3710	3510-3410	3710-3610	3710-3610	4210-4110	3710-3610	4110-4010
<i>Physalis stapelioides</i>	3245-3220	3510	3710	3410	3610	3610	4110	3610	4010
<i>Pinus montezumae</i>	3220-2720	3310	3510	3210	3410	3510	3910	3410	3810
<i>Baccharis conferta</i>	3150-3050	3410-3310	3610-3510	3310-3210	3510-3410	3510-3410	4010-3910	3510-3410	3910-3810
<i>Eupatorium pycnocephalum</i>	3175-3050	3410-3310	3610-3510	3310-3210	3510-3410	3510-3410	4010-3910	3510-3410	3910-3810
<i>Quercus crassipes</i>	2800-2700	3110	3310	3010	3210	3210	3710	3110	3510
<i>Jarava ichu</i>	3315-2700	3110	3310	3010	3210	3210	3210	3110	3510
<i>Quercus rugosa</i>	2800-2700	3110	3310	3010	3210	3210	3210	3110	3510
<i>Fuchsia microphylla</i>	2800-2700	3110	3310	3010	3210	3210	3210	3110	3510
<i>Alchemilla procumbens</i>	4210-2800	4410-3110	4460-3310	4310-3010	4410-3210	4460-3210	4460-3710	4460-3210	4460-3610
<i>Vulpia bromoides</i>	3610-2700	3910-3110	4010-3310	3810-3010	4010-3210	4010-3210	4410-3710	4010-3210	4310-3610
<i>Geranium seemannii</i>	3400-2800	3710-3110	3910-3310	3610-3010	3810-3210	3810-3210	4210-3710	3810-3210	4110-3610

D: Desaparece la especie

El 8% de las especies (2) mantendrían su distribución, pero se presentarían en sitios con mayor altitud, estas son *Geranium seemanii* distribuyéndose a partir de los 3010 m y *Baccharis conferta* presentándose a partir de los 3210 m. Solo una especie ampliará su presencia en el gradiente altitudinal (Tabla 18), este es el caso de *Lupinus montanus* que podría reportarse a partir de los 3800 m hasta las partes altas del volcán; su distribución se verá mayormente favorecida bajo las proyecciones del modelo GFDL B2.

En cuanto a las especies denominadas como de amplia distribución, *Alchemilla procumbens* y *Vulpia bromoides* se encontrarían en pisos bioclimáticos más altos, actualmente se encuentran a partir de los 2700 m de altitud, pero con los análisis de cambio climático se podrían encontrar a partir de los 3000 m.s.n.m.

VI.7.1.2 Comportamiento de las especies según modelos para el horizonte 2050

En este horizonte temporal es en el que se presenta un mayor número de cambios en la presencia y distribución de las especies. El modelo GFDL con escenarios de emisiones A2 y B2 señalan que el 88% de las especies (22) reducirán su distribución, entre ellas *Cinna poiformis*, *Pinus leiophylla* y *Trisetum rosei*, de éstas el 54% (12) se encontrarán a altitudes muy particulares en el gradiente (como *Arenaria reptans*, *Quercus rugosa* y *Senecio toluccanus*).

Bajo las proyecciones del modelo HADLEY A2 y B2, el 84% de las especies (21) reducirá su distribución (*Roldana barba-johannis*, *Cinna poiformis* y *Eupatorium pycnocephalum*), mientras que el 42.8% (9) de las especies que reducirían su distribución se localizarán en altitudes específicas sobre el gradiente, por ejemplo *Fuchsia microphylla*, *Physalis stapelioides* y *Penstemon gentianoides* (Tabla 18). Bajo este modelo tres de las especies (12%) desaparecerán del volcán, estas son: *Calamagrostis toluccensis*, *Trisetum rosei* y *Arenaria bryoides*. El caso particular de *Lupinus montanus*, bajo las salidas del modelo GFDL A2 y B2 expande su distribución posiblemente a partir de los 3910 m; mientras que bajo las proyecciones del modelo HADLEY A2 y B2 dicha especie contrae su distribución, siendo más estricta esta reducción en el modelo HADLEY A2. Solamente *Baccharis conferta* mantendrá su distribución, pero se localizará a partir de los 3410

bajo el modelo GFDL A2 y B2, mientras que bajo las proyecciones del modelo HADLEY A2 y B2 podrá encontrarse a partir de los 3910 (Tabla 18).

En cuanto a las especies denominadas como de amplia distribución, *Alchemilla procumbens* y *Vulpia bromoides*, reducirán su distribución; por otro lado, *Geranium seemannii* bajo el modelo GFDL A2 y B2 mantendrá su distribución y se podrá establecer a partir de los 3210 m, mientras que las proyecciones del modelo HADLEY A2 y B2, la distribución de esta especie se reducirá y se podrá localizar entre los 3610 y 3710 m. La reducción de la distribución de las especies de amplia distribución se hace más estricta en las proyecciones del modelo HADLEY A2.

A partir de los resultados aquí presentados, es claro que cada especie responderá diferente a los cambios a los que sea sometida y derivado de los cambios tan rápidos en el clima ocasionados por el cambio climático, las especies tendrán que desarrollar estrategias que les permitan adaptarse a nuevas condiciones (Mawdsley *et al.*, 2009); lo que representa a nivel de comunidad la aparición de nuevas asociaciones y la reestructuración de algunas otras (Fischlin *et al.*, 2007). Es posible que en el volcán Malinche como en muchas áreas del mundo, donde la fragmentación del paisaje prevalece y el cambio de uso de suelo cambia rápidamente, las especies sean incapaces de migrar a una tasa que sea lo suficiente rápida para mantenerse a pesar del cambio climático. En tales casos los posibles escenarios de las distribuciones proyectadas derivadas de modelos bioclimáticos podrían ser erróneas (Pearson y Dawson, 2003).

Se observa la formación de cuatro diferentes grupos en las especies analizadas. El grupo de las especies que mantienen su distribución (aunque ésta se podría encontrar a mayor altitud), las especies que reducen su distribución, el grupo de las especies que desaparecen y solo una especie extiende su distribución, demostrando nuevamente que las especies tendrán respuestas individuales y distintas a los cambios en el clima (Téllez-Valdés y Dávila-Aranda, 2003). Los impactos potenciales más severos en las especies se observan en el horizonte temporal 2050, donde bajo las proyecciones de ciertos modelos, al desaparecer la comunidad *Calamagrostis tolucensis-Trisetum rosei*, también desaparecerán las especies características de la comunidad (Arriaga y Gómez, 2004).

Es importante analizar el posible comportamiento de las especies que podrían extender su distribución, tal es el caso de *Lupinus montanus* y *Baccharis conferta*. *Lupinus montanus* es una especie que habita frecuentemente en lugares que han sido afectados por incendios, presenta una gran potencialidad para el uso en plantaciones de restauración y para sistemas agroforestales (Acosta-Percástegui y Rodríguez-Trejo, 2005). Por otra parte *Baccharis conferta* aunque no aumenta su distribución, la mantiene bajo cualquiera de los modelos y escenarios analizados; se trata de una especie que abunda en terrenos deforestados, principalmente a orillas y en claros de los bosque donde se distribuye (Rzedowski y Calderón, 2001). Ambas especies se encuentran asociadas a procesos sucesionales naturales y su distribución se beneficia a partir de las actividades humanas.

Con los análisis de vegetación a nivel de pisos bioclimáticos es posible apreciar el reacomodo de las comunidades bajo diferentes escenarios y es claro que las comunidades serán sometidas a grandes presiones y se verá modificada la composición de las mismas. Bajo esta perspectiva, las especies que comúnmente se encuentran asociadas a procesos de perturbación y que forman parte de procesos sucesionales naturales, como es el caso de *Lupinus montanus* y *Baccharis conferta* serán beneficiadas (Fischilin *et al.*, 2007), debido a que las especies que constituyen las comunidades ahora existentes, reducirán su distribución, reemplazarán a otras comunidades o desaparecerán de estas, permitiendo que dichas especies puedan ocupar sitios aparentemente sin vegetación definida o competir para establecerse en nuevos sitios, también favorecido por los cambios en el clima. Estas especies son ejemplo claro de las capacidades adaptativas que las especies pueden presentar ante el cambio climático y que dependerá en gran medida de la plasticidad de cada especie para ocupar nuevos sitios. El presente estudio reafirma la hipótesis acerca de que el cambio climático ocasionará pérdidas mundiales en biodiversidad, incluyéndose la extinción de las especies, cambios fundamentales en los biomas, tales como la aparición de biomas nuevos y cambios en las interacciones ecológicas entre las especies (Parry *et al.*, 2007).

En México existen sobre las montañas y volcanes muchas especies forestales de gran importancia, tanto en el aspecto de biodiversidad como en el económico y que representan en conjunto una fuente muy

importante de captura de carbono, por lo que la conservación de este tipo de ecosistemas representará una medida de mitigación ante el cambio climático. Un comportamiento generalizado en las comunidades y las especies es una migración potencial a zonas altas que podría ser muy complicada dadas las condiciones temporales. Recientemente se han realizado esfuerzos para conservar y ayudar a las comunidades a persistir ante los impactos del cambio climático, una de ellas es la “migración asistida” (Aitken *et al.*, 2008; Sáenz-Romero, 2010), donde bajo la idea de que el cambio climático generará un desfase entre los ambientes y la adaptación de las poblaciones, se reubican las especies en sus posibles ambientes en el futuro. Esto se realiza colectando semilla, produciendo plantas en vivero y reforestando un sitio donde bajo las proyecciones de modelos de cambio climático el clima será el idóneo para la especie de la que se colectó la semilla (Sáenz-Romero, 2010). El objetivo es obtener una cubierta vegetal similar a la original, conservando los recursos genéticos forestales y coadyuvando una adaptación al cambio climático; este método necesita realizarse con previas y adecuadas valoraciones en campo, así como ser aplicada a especies que tengan la potencialidad de subsistir y que existan en los sitios a reubicar condiciones necesarias para mantener a la especie. Esta puede ser una actividad efectiva que permita mantener la diversidad biológica del país, una forma de mitigar el cambio climático y que tiene potencialidad de aplicarse en Áreas Naturales Protegidas (Del Castillo *et al.*, 2009; Sáenz-Romero *et al.*, 2010) como el Parque Nacional Malinche.

El índice de Lang fue una herramienta que permitió realizar un análisis a mejor detalle de los posibles alcances del cambio climático, al poder relacionar la temperatura y precipitación. A partir del análisis de pisos bioclimáticos se puede apreciar a una escala menor los impactos potenciales del cambio climático sobre las comunidades vegetales; sin embargo, el aplicar el índice de Lang se logró vislumbrar y precisar las tendencias climáticas en el volcán Malinche, además de dar un mejor nivel de análisis al valor único de precipitación para todo el gradiente altitudinal de la zona.

VII. CONCLUSIONES

La clasificación fitosociológica resultante de la vegetación muestra cinco comunidades vegetales con seis asociaciones principales a saber, Zacatonal asociación *Calamagrostis tolucensis-Trisetum rosei*, Bosque de *Pinus hartwegii* asociación *Pinus hartwegii-Muhlenbergia macroura*, Bosque de *Abies* asociación *Abies religiosa-Roldana barba-johannis*, Bosque mixto asociación *Alnus jorullensis-Cinna poiformis* y asociación *Pinus montezumae-Baccharis conferta*; Bosque de encino asociación *Quercus crassipes-Jarava ichu*.

El cambio climático es un evento inequívoco que afectará a gran parte de los ecosistemas existentes, ocasionando cambios en la composición y distribución de las comunidades vegetales, así como la desaparición y aparición de nuevos tipos de vegetación. Estos cambios impactarán directamente en las especies, las cuales tendrán respuestas individuales a las modificaciones en el clima que sucederán en un período de tiempo muy corto, dependiendo de sus estrategias y capacidades de adaptación. Sin embargo, las especies que se encuentran asociadas a sucesiones ecológicas o a perturbación serán beneficiadas con el cambio climático, permitiendo que extiendan su distribución y la posibilidad de competir con las especies nativas para establecerse en sitios donde la vegetación posiblemente tendrá reacomodos y reorganizaciones.

Las proyecciones de los modelos de cambio climático concuerdan en que el clima será más cálido, pues la oscilación térmica proyectada refiere que los veranos serán más largos. Los tipos climáticos típicos de montaña como son el clima frío y templado semifrío se perderán a consecuencia del aumento en la temperatura. Los regímenes de lluvia se verán afectados observándose una disminución general con respecto a la precipitación actual, asimismo se proyecta la aparición de la canícula en verano, condición que actualmente no existe en el área de estudio. Esto afectará en la distribución de la vegetación y podría propiciar la selección de vegetación con afinidades más áridas. Los impactos del clima serán mayores para el horizonte temporal 2050, en el que posiblemente desaparecerá el pastizal y estarán en riesgo el bosque de *Pinus hartwegii*, así como el bosque de encino.

Además de los impactos producto del cambio climático sobre la vida silvestre, se deben considerar las acciones antropogénicas, tales como la deforestación, los incendios y el cambio de uso de suelo, que

ocasionará que las especies no puedan desarrollar estrategias que les permitan adaptarse a los cambios tan repentinos y acrecentará la pérdida de biodiversidad (especies y ecosistemas), así como el deterioro de los recursos, lo que impactará directamente en la calidad de vida del ser humano.

Se deben realizar mayores esfuerzos por conservar los ecosistemas montañosos tomando en cuenta su presente y futura distribución; un primer acercamiento de esto puede ser la migración asistida, que potencialmente puede ser utilizada en zonas de manejo como son las Áreas Naturales Protegidas de México, debido al conocimiento existente de las comunidades que habitan en este tipo de áreas, aplicándose sobre grupos de vegetación de los cuales se tenga información de los posibles escenarios de la distribución de las especies con proyecciones de cambio climático, en los cuales se indique que existen condiciones adecuadas para el establecimiento de estas en otros sitios y que potencialmente las especies responderán adecuadamente. Esta representa una estrategia que coadyuva a enfrentar a las especies al cambio climático, la cual podría contribuir a la disminución de la pérdida de biodiversidad y permitiría conservar los recursos genéticos de los ecosistemas mexicanos.

El modelo de cambio climático que señala las condiciones más desfavorables para la vegetación fue el HADLEY con escenario de emisiones A2, mientras que las condiciones de menor impacto fueron indicadas por el modelo HADLEY con escenario de emisiones B2.

Las políticas que se realicen en el futuro para el manejo de la vida silvestre en el país deben de incluir la protección y el manejo sustentable de los recursos, planeación y flexibilidad en estas, así como tomar en cuenta los impactos potenciales que el cambio climático puede generar en estos. Los esfuerzos por la conservación de los ecosistemas se verán reflejados en la disposición de los bienes y servicios que nos proveen. Las áreas naturales protegidas ofrecen una mayor oportunidad para aplicar este tipo de estrategias al estar decretadas oficialmente como áreas para la conservación en donde el Parque Nacional Malinche junto con otras áreas de país que contengan sistemas montañosos y donde la vegetación natural será mayormente afectada, según muestran la proyecciones de cambio climático.

Estudios futuros de cambio climático deben utilizar diferentes herramientas de análisis que les permitan obtener información más allá de los resultados de un análisis primario, aportando información relevante para la toma de decisiones en cuanto a las estrategias de adaptación ante el cambio climático, la conservación, el manejo de los ecosistemas y su biodiversidad, así como para facilitar el ajuste de la sociedad humana y los sistemas ecológicos a regímenes climáticos alterados.

VIII. LITERATURA CITADA

- Acosta-Percástegui, J. y D. A. Rodríguez-Trejo. 2005. Factors affecting germination and pregerminative treatments of *Lupinus montanus* seeds. *Interciencia* 30: (9) 576-579.
- Aitken S. N., S. Yeaman, J. A. Holliday, T. Wang y S. Curtis-McLane. 2008. Adaptation, migration or expiration: Climate change outcomes for tree population. *Evolutionary Applications* 1: 95-111.
- Alcaraz-Ariza, F. J. 2010. El método fitosociológico. *Geobotánica*. Universidad de Murcia, España. www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/tema13.pdf
- Arriaga, L. y L. Gómez. 2004. Efectos del cambio climático en algunos componentes de la biodiversidad. En: Martínez, J. y A. Fernández-Bremauntz (eds.), *Cambio climático: una visión desde México*. INE y SEMARNAT, México D.F. 255-265 pp.
- Barry R. G. 1981. *Mountain, weather and climate*. Mathuen & Co. Ltd. Nueva York. 319 pp.
- Barry R. G. y R. J. Chorley. 2003. *Atmosphere, weather and climate*. Routledge. Nueva York. 425 pp.
- Braun, E. 2008. *Caos, fractales y cosas raras*. Fondo de Cultura Económica. México D.F.
- Castillo, R. M. E. 2006. Delimitación de unidades ambientales biofísicas en el volcán La Malinche con base en el análisis de unidades morfogénicas. Tesis de Maestría. Facultad de Filosofía y Letras, División de Estudios de posgrado, UNAM. México. 135pp.
- Castro, G. R. 1999. Historia eruptiva reciente del volcán la Malinche. Tesis de Maestría. Instituto de Geofísica, Posgrado en Geofísica, UNAM. México.
- Conde, C. 2007. México y el cambio climático global. SEMARNAT-UNAM. México. 31 pp.
- CONAGUA Comisión Nacional del Agua. 2008. Extractor Rápido de Información Climatológica. ERIC III.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). 2003. Decreto de Parques Naturales. www.conanp.gob.mx/anp/pn.php
- Del Castillo R. F., S. Trujillo-Argueta y C. Sáenz-Romero. 2009. *Pinus chiapensis*, a keystone species: genetics, ecology, and conservation. *Forest Ecology and Management* 257: 2201-2208.
- Díaz-González, T. E. 2004. Pasado, presente y futuro de la fitosociología española. *Lazaroa* 25: 3-13.
- Farjon A. y B. T. Styles. 1997. *Pinus* (Pinaceae). *Flora Neotrópica Monografía* 75. The New York Botanical Garden, Nueva York.

- Field, C.B., L.D. Mortsch, M. Brklacich, D.L. Forbes, P. Kovacs, J.A. Patz, S.W. Running y M.J. Scott. 2007. North America. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. En: Parry M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson (eds.). *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 617-652 pp.
- Fischlin, A., G. F. Midgley, J. T. Price, R. Leemans, B. Gopal, C. Turley, M. D. A. Rounsevell, O. P. Dube, J. Tarazona y A. A. Velichko. 2007. Ecosystem their properties, goods and service. En: M.L., Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson (eds). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 211-272 pp.
- García, E. 1967. Apuntes de Climatología. Instituto de Geografía, UNAM. México. 121pp.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Quinta edición: corregida y aumentada. Instituto de Geografía, UNAM. 90 pp.
- Gay C. y F. Estrada. 2009. Global and hemispheric temperatures revisited. *Climatic Change* 94: 333-349.
- Gay, C., F. Estrada y C. Conde. 2007. Some implications of time series analysis for describing climatologic conditions and for forecasting. An illustrative case: Veracruz, México. *Atmósfera* 20 (2): 147-170.
- Gay, C., C. Conde y O. Sánchez. 2006. Escenarios de Cambio Climático para México. Temperatura y Precipitación. Documento en línea. Disponible en: http://www.atmosfera.unam.mx/gcclimatico/index.php?option=com_content&view=article&id=72&Itemid=74
- Gay, C. 1994. Propuesta de programa nacional sobre cambio climático global. En: *Memorias del Primer Taller de Estudio de País, México ante el cambio climático*. Tomo I. Instituto Nacional de Ecología (INE), U. S. Country Studies Program y Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Cuernavaca, Morelos, México. 9-12 pp.
- Halffter, G. 1992. Diversidad biológica y cambio global. *Ciencia*. México. 43: 45-48.
- Herrera-Moreno A. 2000. La clasificación numérica y su aplicación en la ecología. Instituto Tecnológico de Santo Domingo. Primera edición. Editorial Sammenycar C. x A. Santo Domingo, República Dominicana. 88 pp.

- Hilger, W. 1973. Observaciones respecto a la Geología de la región Puebla-Tlaxcala. Comunicaciones 7. Fundación Alemana para la Investigación Científica. México.
- INE-SEMARNAP (Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 1997. Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. INE-SEMARNAP. México.
- INE-SEMARNAT (Instituto Nacional de Ecología y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2001. México, Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. INE-SEMARNAT. México. 376 pp.
- INE-SEMARNAT (Instituto Nacional de Ecología y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2006. México, Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. INE-SEMARNAT. México. 252 pp.
- INE-SEMARNAT (Instituto Nacional de Ecología y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2009. México, Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. INE-SEMARNAT. México. 274 pp.
- Instituto de Geografía, UNAM. Mapa climático, carta Veracruz 14Q-VI. Escala 1: 500,000. México 1970.
- Jaramillo, J. V. 2004. El ciclo global del carbono. En: Martínez, J. y A. Fernández-Bremauntz (eds.), *Cambio climático: una visión desde México*. INE y SEMARNAT. México D.F. 77-85 pp.
- Kent M. y P. Coker. 1992. Vegetation description and analysis. A practical approach. John Wiley & Sons. Inglaterra. 363 pp.
- Klink, H. 1973. La división de la vegetación natural en la región Puebla-Tlaxcala. Comunicaciones 7: 25-30.
- Lauer, W. 1978. Timberline studies in Central Mexico. *Artic and Alpine Research* 10:383-396.
- Lauer, W. y E. Stiehl. 1973. La Clasificación del clima en la región Puebla-Tlaxcala. Comunicaciones 7: 31-35.
- Lenoir, J., J.C. Gégout, P. A. Marquet, P. de Ruffray y H. Brisse. 2008. A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *Science* 320: 1768-1771.
- Loidi, J. 1994. Phytosociology applied to nature conservation and land management. En: Song, Y., H. Dierschke y X. Wang (eds.). 1994. *Applied Vegetation Ecology. Proceed. 35th Symposium IAVS in Shanghai*. East China Normal University Press, Shanghai, China. 17-30 pp.
- López-Domínguez, J. C. y R. Acosta. 2005. Descripción del Parque Nacional Malinche. En: López-Domínguez J. C. y J. A. Fernández (eds.). *Biodiversidad del Parque Nacional Malinche. Tlaxcala, México*. Coordinación General de Ecología del gobierno del Estado de Tlaxcala, México. 223 pp.

- Magaña-Rueda, V. O. 2004. El cambio climático global: comprender el problema. pp. En: Martínez, J. y A. Fernández-Bremauntz (eds.), *Cambio climático: una visión desde México*. INE y SEMARNAT. México D.F. 17-27 pp.
- Magrin G., C. Gay-García, D. Cruz Choque, J.C. Giménez, A.R. Moreno, G.J. Nagy, C. Nobre y A. Villamizar. En: M.L., Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson (eds). 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of working group II to the fourth Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 581-615 pp.
- Mawdsley J. R., R. O'Malley y D. S. Ojima. 2009. A review of climate-change adaptation strategies for wildlife management and biodiversity conservation. *Conservation Biology*. 23 (5): 1080-1089.
- Molina, L. A., E. Serna y L. E. Urrego. 1998. Clasificación fitosociológica de un bosque de niebla en la Reserva Natural Karagabi, Pueblo Rico, Risaralda. *Crónica Forestal y del Medio Ambiente* 13 (1): 1-17
- Muller-Dumbois, D. y H. Ellemberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley & Sons, Nueva York. 547p.
- Musalem, S. M. A. y M. A. Solís. 2000. Monografía de *Pinus hartwegii*. SAGAR. INIFAP. CIRCE Campo Experimental Valle de México. Libro técnico No. 3, Chapingo, Estado de México. 96 pp.
- Nava-López M. Z. 2003. Los bosques de la cuenca alta del río Magdalena, D.F., México: un estudio de vegetación y fitodiversidad. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias UNAM. 64 pp.
- Nakicenovic, N., J. Alcamo, G. Davis, B. de Vries, J. Fenhann, S. Gaffin, K. Gregory, A. Grübler, T. Yong Jung, T. Kram, E. Lebre La Rovere, L. Michaelis, S. Mori, T. Morita, W. Pepper, H. Pitcher, L. Price, K. Riahi, A. Roehrl, H. Rogner, A. Sankovski, M. Schlesinger, P. Shukla, S. Smith, R. Swart, S. van Rooijen, V. Nadejda y Z. Dadi (eds.). 2000. Reporte Especial de Escenarios de Emisiones. Contribución del Grupo de Trabajo III del Panel Intergubernamental de Cambio Climático al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Cambridge University Press, Cambridge. 599 pp.
- Orellana, R., C. Espadas, C. Conde y C. Gay. 2009. Atlas Escenarios de cambio climático en la península de Yucatán. Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán y Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México. Mérida, Yucatán, México. 111 pp.
- Ortega, F., R. L. Sedlock y R. C. Speed. 2000. Evolución tectónica de México durante el Fanerozoico. En: Llorente J., E. González y N. Papavero (eds), *Biodiversidad taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento*. UNAM-CONABIO, México D. F. 3-59 pp.

- Ortega-Ramírez J. 1994. Cambio global: la paleoclimatología y los modelos climáticos. En: *Memorias del Primer Taller de Estudio de País, México ante el cambio climático*. Tomo I. Instituto Nacional de Ecología (INE), U. S. Country Studies Program y Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Cuernavaca, Morelos, México. 131-139 pp.
- Papavero N. y J. Llorente. 2005. Historia de la Biología comparada. Desde el génesis hasta el siglo de las luces. Volumen 8. Las Prensas de Ciencias. UNAM. 251 pp.
- Parry, M. L., O. F. Canziani y J. P. Palutikof. 2007. Resumen Técnico. En: M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson (eds.). *Cambio Climático 2007: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad*. Aportes del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Pearson, R.G. y T.P. Dawson. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimatic envelope models useful?. *Global Ecology and Biogeography* 12: 361-371.
- Rzedowski, J. 1981. La Vegetación de México. Limusa. México, D. F. 432pp.
- Rzedowski, J. y G. Calderón. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. Instituto de Ecología y CONABIO, Pátzcuaro, Michoacán, México. 1406 pp.
- Sala, O.A., F.S. Chapin III, J.J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber-Sanwald, L.F. Huenneke, R.B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D.M. Lodge, H.A. Mooney, M. Oesterheld, N.L. Poff, M.T. Sykes, B.H. Walker, M. Walker y D.H. Wall. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287:1770-1774.
- Sánchez-Egea J. 1975. El clima. Los dominios climáticos y los pisos de vegetación de las provincias de Madrid, Ávila y Segovia: ensayo de un modelo fitoclimático. *Anales del Instituto de Botánica de Cavanilles*. 32(2): 1039-1078.
- Sáenz-Romero, C. 2010. Guía para mover altitudinalmente semillas y plantas de *Pinus oocarpa*, *P. devoniana* (= *P. michoacana*), *P. pseudostrobus*, *P. patula* y *P. hartwegii* para restauración ecológica, conservación, plantaciones comerciales, y adaptación al cambio climático. Versión 3.0. Memorias del Curso Zonificación Altitudinal y Manejo de Recursos Genéticos Forestales para Reforestación y Adaptación al Cambio Climático. Ixtlán de Juárez, Oax., Oaxaca, Oax. y Morelia, Mich., México. CONAFOR-UMSNH, 1-4 febrero 2010. 6 pp.

- Sáenz-Romero, C., G.E. Rehfeldt, N.L. Crookston, P. Duval, R. St-Amant, J. Beaulieu y B.A. Richardson. 2010. Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for México and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. *Climatic Change* 102: 595-623.
- Scheidel, U., S. Rohl y H. Bruelheide. 2003. Altitudinal gradients of generalist and specialist herbivory on three montane Asteraceae. *International Journal of Ecology* 24: 275-283.
- Silva, L. del C. 1998. Los bosques de coníferas del sur de la cuenca de México: fitosociología, diversidad y uso tradicional. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias. UNAM. 63 pp.
- Solomon, S., D. Qin, M. Manning, R.B. Alley, T. Berntsen, N.L. Bindoff, Z. Chen, A. Chidthaisong, J.M. Gregory, G.C. Hegerl, M. Heimann, B. Hewitson, B.J. Hoskins, F. Joos, J. Jouzel, V. Kattsov, U. Lohmann, T. Matsuno, M. Molina, N. Nicholls, J. Overpeck, G. Raga, V. Ramaswamy, J. Ren, M. Rusticucci, R. Somerville, T.F. Stocker, P. Whetton, R.A. Wood y D. Wratt. 2007. Resumen Técnico. En: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y H.L. Miller (eds.). *Cambios Climáticos 2007: Base Física de la Ciencia. Aportes del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambios Climáticos*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Estados Unidos.
- Soto, M., L. Gama y M. Gómez. 2001. Los climas cálidos subhúmedos del estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 2(3): 31-40.
- Téllez-Valdés O. y P. Dávila-Aranda. 2003. Protected areas and climate change: a case study of the cacti in the Tehuacán-Cuicatlan Biosphere Reserve, Mexico. *Conservation Biology* 17(3): 846-853.
- Vargas, V. R. M. 2009. Evaluación del riesgo por procesos gravitacionales en los barrancos occidentales del volcán Malinche. Tesis de maestría. Facultad de Filosofía y Letras UNAM. México. 145 pp.
- Villa-Salas A. B. 1973. Generalidades sobre la forma y el tamaño de los sitios de muestreo usados en Inventarios Forestales. *Inventario Nacional Forestal No. 23*. México.
- Villaseñor, J.L., E. Ortiz y R. Redonda-Martínez. 2008. Catálogo de Autores de plantas Vasculares de México. Instituto de Biología, UNAM-CONABIO. México, 69 pp.
- Villers-Ruiz, L. 2001. Comportamiento del fuego y evaluación de riesgos a incendios en áreas forestales de México: un estudio en el volcán La Malinche, Proyecto CONACYT 38607-V.
- Villers-Ruiz, L. e I. Trejo-Vázquez. 1998. Impacto del cambio climático en los bosques y áreas naturales protegidas de México. *Interciencia* 23: 10-19.

- Villers-Ruiz, L. e I. Trejo-Vázquez. 2004. Evaluación de la vulnerabilidad en los sistemas forestales. En: Martínez, J. y A. Fernández-Bremauntz (eds.), *Cambio climático: una visión desde México*, INE y SEMARNAT, México D.F. 239-254 pp.
- Villers-Ruiz, L., F. Rojas-García y P. Tenorio-Lezama. 2006. Guía botánica del Parque Nacional Malinche Tlaxcala-Puebla. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 196 pp.
- Werger M. J. A. 1974. On concepts and techniques applied in the Zurich-Montpellier method of vegetation survey. *Bothalia* 11: 309-323.
- Werner, H. 1979. Aplicación del Sistema de Clasificación de la FAO/UNESCO para un mapeo de suelo en escala 1:1000000. Se ejemplifica en un mapa de suelos de la Altiplanicie Mexicana. Comunicaciones 17. Proyecto Puebla-Tlaxcala. Fundación Alemana para la Investigación Científica. México.
- Whiteman C. D. 2000. *Mountain Meteorology. Fundamental and applications*. Oxford University Press. Nueva York. 357 pp.
- Zachos J. C., G. R. Dickens y R. E. Zeebe. 2008. An early Cenozoic perspective on greenhouse warming and carbon cycle dynamics. *Nature* 451: 279-283.

IX.

Apéndices

Apéndice 1. Formato de levantamiento de los muestreos que se realizaron en campo.



MUESTREO EN CAMPO



Responsable: _____

Integrantes: _____ Fecha: _____

DATOS DEL MUESTREO

Círculo: _____ Lado del levantamiento con respecto al centro del transecto _____

Tipo de vegetación: _____ Altitud: _____

Coordenadas UTM: X _____ Y _____

Orientación de la ladera _____

Pendiente _____

Observaciones generales lugar _____

Círculo de 400 m de superficie, $r = 11.3$ m

Estratos de vegetación

	Cobertura	Altura promedio
Herbáceo	_____	_____
Arbustivo	_____	_____
Arbóreo	_____	_____
Suelo desnudo	_____	_____
Suelo rocoso	_____	_____

Estrato arbóreo

Especie	Cobertura %	Altura	Observaciones

Estrato arbustivo

Especie	Cobertura %	Altura	Observaciones

Estrato herbáceo

Especie	Cobertura %	Altura	Observaciones

Apéndice 2. Coordenadas, altitud y tipo de vegetación de los sitios de muestreo.

Clave del muestreo	Coordenadas	Altitud mns	Tipo de vegetación
S30C1	X: 600468 Y: 2136800	2720 m	Bosque de encino
S30C2	X: 600475 Y: 2136738	2740 m	Bosque de encino
S31C1	X: 601068 Y: 2136076	2740 m	Bosque de encino
S30C3	X: 600447 Y: 2136602	2750 m	Bosque de encino
S30C4	X: 600452 Y: 2136438	2760 m	Bosque de encino
S31C2	X: 601052 Y: 2135885	2760 m	Bosque de encino
S31C3	X: 601155 Y: 2135547	2800 m	Bosque de encino
S31C4	X: 600988 Y: 2135528	2800 m	Bosque de encino
S32C2	X: 600498 Y: 2132824	2960 m	Bosque de pino
S32C1	X: 600708 Y: 2133088	2990 m	Bosque de pino
S33C1	X: 600811 Y: 2132132	3050 m	Bosque de pino
S33C2	X: 600023 Y: 2131877	3060 m	Bosque de pino
S35C2	X: 600575 Y: 2131475	3070 m	Bosque de pino
S35C1	X: 600884 Y: 2131566	3085 m	Bosque de pino
S34C2	X: 600925 Y: 2131231	3150 m	Bosque de pino
S34C1	X: 600714 Y: 2130921	3175 m	Bosque de pino
S39C1	X: 601006 Y: 2130730	3220 m	Bosque de <i>Alnus</i>
S39C2	X: 600780 Y: 2130618	3229 m	Bosque de <i>Alnus</i>
S38C1	X: 601197 Y: 2130560	3235 m	Bosque de <i>Alnus</i>
S38C2	X: 600941 Y: 2130407	3245 m	Bosque de <i>Alnus</i>
S37 C1	X: 601316 Y: 2130405	3270 m	Bosque de <i>Alnus</i>
S37C2	X: 601203 Y: 2130142	3280 m	Bosque de <i>Alnus</i>
S36C1	X: 601560 Y: 2130033	3315 m	Bosque de <i>Alnus</i>
S36C2	X: 601277 Y: 2129905	3330 m	Bosque de <i>Alnus</i>
S42C2	X: 0602213	3390 m	Bosque de <i>Abies</i>

	Y:2129946		
S42C1	X: 0602213	3405 m	Bosque de <i>Abies</i>
	Y:2129446		
S43C2	X: 0602330	3414 m	Bosque de <i>Abies</i>
	Y: 2130019		
S41C2	X: 0602203	3420 m	Bosque de <i>Abies</i>
	Y: 2129379		
S43C1	X: 0602210	3447 m	Bosque de <i>Abies</i>
	Y: 2129804		
S41C1	X: 0602183	3455 m	Bosque de <i>Abies</i>
	Y: 2129229		
S40C2	X: 062178	3475 m	Bosque de <i>Abies</i>
	Y: 2129072		
S40C1	X: 0602158	3490 m	Bosque de <i>Abies</i>
	Y: 2129015		
S44C1	X: 601845	3540 m	Bosque de <i>P. hartwegii</i>
	Y: 2127950		
S44C2	X: 601921	3540 m	Bosque de <i>P. hartwegii</i>
	Y: 2129230		
S45C1	X: 0602015	3619 m	Bosque de <i>P. hartwegii</i>
	Y: 2129080		
S45C2	X: 601838	3620 m	Bosque de <i>P. hartwegii</i>
	Y: 2129075		
S46C1	X: 0601938	3636 m	Bosque de <i>P. hartwegii</i>
	Y: 2129003		
S46C2	X: 0601834	3660 m	Bosque de <i>P. hartwegii</i>
	Y: 2128984		
S47C1	X: 0601945	3760 m	Bosque de <i>P. hartwegii</i>
	Y: 2128397		
S47C2	X: 0601763	3760 m	Bosque de <i>P. hartwegii</i>
	Y: 212843		
S48C1	X: 0601899	4020 m	Zacatonal
	Y:2127297		
S48C2	X: 601664	4030 m	Zacatonal
	Y: 2127397		
S49C1	X: 601722	4165 m	Zacatonal
	Y: 2127397		
S49C2	X: 601879	4170 m	Zacatonal
	Y: 2126913		

Apéndice 3. Listado florístico de la ladera norte del Parque Nacional Malinche.

Familia	Especie	Autor
Amaryllidaceae	<i>Sprekelia formosissima</i>	Heist.
Apiaceae	<i>Eringyum</i> sp. <i>Oreomyrrhis toluicana</i>	I.M. Johnst.
Aspleniaceae	<i>Asplenium monanthes</i>	L.
Asteraceae	<i>Achillea millefolium</i> <i>Ageratina pazcuarensis</i> <i>Ageratina</i> sp. <i>Ageratina glabrata</i> <i>Baccharis conferta</i> <i>Baccharis</i> sp. <i>Bidens ballsii</i> <i>Bidens serrulata</i> <i>Chionolaena salicifolia</i> <i>Chionolaena lavandulifolia</i> <i>Cirsium ehrenbergii</i> <i>Cirsium</i> sp. <i>Conyza schiedeana</i> <i>Erigeron</i> sp. <i>Eupatorium pycnocephalum</i> <i>Gnaphalium liebmannii</i> <i>Gnaphalium semiaplexicaule</i> <i>Gnaphalium</i> sp. <i>Gnaphalium lavandulaceum</i> <i>Hieracium mexicanum</i> <i>Jaegeria bellidifolia</i> <i>Roldana sinuata</i> <i>Roldana angulifolia</i> <i>Roldana barba-johannis</i> <i>Roldana lineolata</i> <i>Senecio cinerarioides</i> <i>Senecio callosus</i> <i>Senecio</i> sp. <i>Senecio roseus</i> <i>Senecio sinuatus</i> <i>Senecio toluccanus</i>	L. (Kunth) R.M. King et H. Rob. Spach (Kunth) R.M. King et H. Rob. Kunth Sherff. (Poir.) Desf. (Bertol.) G.L. Nesom (Kunth) Benth. et Hook. f. ex B.D. Jacks. Sch. Bip. Mill. (Less.) Cronq. Less. Sch. Bip. ex Klatt DC. DC. Less. (Sessé et Moc. ex DC.) Torres et Beaman B. L. Turner (DC.) H. Rob. et Brettell (DC.) H. Rob. et Brettell (DC.) H. Rob. et Brettell Kunth Sch. Bip. Sch. Bip. Gilib. DC.

	<i>Senecio mairetianus</i>	DC.
	<i>Simsia amplexicaulis</i>	(Cav.) Pers.
	<i>Sonchus</i> sp.	
	<i>Sonchus asper</i>	(L.) Hill
	<i>Stevia monardifolia</i>	Kunth
	<i>Stevia subpubescens</i>	Lag.
	<i>Stevia</i> sp.	Cav.
	<i>Stevia purpurea</i>	Hieron.
Betulaceae		
	<i>Alnus</i> sp.	
	<i>Alnus jorullensis</i>	Kunth
Boraginaceae		
	<i>Hackelia mexicana</i>	(Schltdl. et Cham.) I.M. Johnst.
Caryophyllaceae		
	<i>Arenaria lycopodioides</i>	Willd. ex Schlecht.
	<i>Arenaria reptans</i>	Hemsl.
	<i>Arenaria bryoides</i>	Willd. ex Schltdl.
	<i>Cerastium nutans</i>	L.
	<i>Stellaria cuspidata</i>	Willd. ex Schltdl.
	<i>Stellaria</i> sp.	
Cornaceae		
	<i>Garrya</i> sp.	
Cupressaceae		
	<i>Juniperus deppeana</i>	Steud.
	<i>Juniperus monticola</i>	Martínez
Ericaceae		
	<i>Vaccinium</i> sp.	
Euphorbiaceae		
	<i>Euphorbia</i> sp.	
Fabaceae		
	<i>Lupinus montanus</i>	Kunth
	<i>Lupinus elegans</i>	Kunth
	<i>Lupinus glabratus</i>	J. Agardh
	<i>Quercus crassipes</i>	Humb. et Bonpl.
	<i>Quercus rugosa</i>	Née
Geraniaceae		
	<i>Geranium</i> sp.	
	<i>Geranium seemannii</i>	Peyr.
	<i>Geranium potentillaefolium</i>	DC.
Hydrophyllaceae		
	<i>Phacelia</i> sp.	
	<i>Phacelia heterophylla</i>	Pursh
Iridaceae		
	<i>Sisyrinchium</i> sp.	

Juncaceae		
	<i>Luzula racemosa</i>	Desv.
Lamiaceae		
	<i>Cunila lythrifolia</i>	Benth.
	<i>Cunila</i> sp.	
	<i>Salvia</i> sp.	
	<i>Salvia amarissima</i>	Ortega
	<i>Salvia elegans</i>	Vahl
	<i>Stachys eriantha</i>	Benth.
Loganiaceae		
	<i>Buddleia sessiliflora</i>	Kunth
	<i>Buddleia parviflora</i>	Kunth
	<i>Buddleia</i> sp.	
Onagraceae		
	<i>Fuchsia microphylla</i>	Kunth
	<i>Fuchsia</i> sp.	
	<i>Fuchsia thymifolia</i>	Kunth
	<i>Lopezia racemosa</i>	Cav.
	<i>Oenothera</i> sp.	
Orchidaceae		
	<i>Platanthera sparsiflora</i>	(S. Watson) Schltr.
Papaveraceae		
	<i>Argemone</i> sp.	
Pinaceae		
	<i>Abies religiosa</i>	(Kunth) Schltld. et Cham.
	<i>Pinus leiophylla</i>	Schiede ex Schltld. et Cham.
	<i>Pinus montezumae</i>	Lamb.
	<i>Pinus teocote</i>	Schltld. et Cham.
	<i>Pinus pseudostrobus</i>	Lamb.
	<i>Pinus hartwegii</i>	Lindley
Piperaceae		
	<i>Peperomia campylotropae</i>	A.W. Hill
Poaceae		
	<i>Brachypodium mexicanum</i>	(Roem. et Schult.) Link
	<i>Bromus anomalus</i>	Rupr. ex E. Fourn.
	<i>Calamagrostis tolucensis</i>	(Kunth) Trin. ex Steud.
	<i>Cinna poiformis</i>	(Kunth) Scribn. et Merr.
	<i>Festuca</i> sp.	
	<i>Festuca tolucensis</i>	Kunth
	<i>Muhlenbergia</i> sp.	
	<i>Muhlenbergia macroura</i>	(Kunth) Hitchc.
	<i>Piptochaetium virescens</i>	(Kunth) Parodi
	<i>Jarava ichu</i>	Ruiz et Pav.
	<i>Jarava</i> sp.	Ruiz et Pav.

	<i>Trisetum rosei</i>	Scribn. et Merr
	<i>Vulpia bromoides</i>	(L.) Gray
	<i>Vulpia</i> sp.	
Portulacaceae		
	<i>Calandrinia megarhiza</i>	Hemsl.
Rosaceae		
	<i>Acaena elongata</i>	L.
	<i>Acaena</i> sp.	
	<i>Alchemilla</i> sp.	
	<i>Alchemilla procumbens</i>	Rose
	<i>Potentilla ranunculoides</i>	Kunth
	<i>Prunus serotina</i>	Ehrh.
	<i>Prunus</i> sp.	
	<i>Rubus pumilus</i>	Focke
Rubiaceae		
	<i>Bouvardia ternifolia</i>	(Cav.) Schlecht.
	<i>Bouvardia</i> sp.	Salisbury
	<i>Didymaea alsimoides</i>	(Cham. et Schltldl.) Standl.
	<i>Galium aschenbornii</i>	Nees et S. Schauer
	<i>Galium</i> sp.	
	<i>Hedyotis</i> sp.	
Salicaceae		
	<i>Salix</i> sp.	
Saxifragaceae		
	<i>Ribes ciliatum</i>	Humb. et Bonpl. ex Roem. et Schult.
	<i>Ribes</i> sp.	
Scrophulariaceae		
	<i>Castilleja tenuiflora</i>	Benth.
	<i>Castilleja</i> sp.	
	<i>Castilleja arvensis</i>	Schltldl. et Cham.
	<i>Penstemon campanulatus</i>	(Cav.) Willd.
	<i>Penstemon gentianoides</i>	(Kunth) Poir.
	<i>Penstemon</i> sp.	
	<i>Penstemon roseus</i>	(Cerv. ex Sweet) G. Don
Solanaceae		
	<i>Physalis orizabae</i>	Dunal
	<i>Physalis</i> sp.	
	<i>Physalis stapelioides</i>	(Regel) Bitter
	<i>Physalis pringlei</i>	Greenm.
	<i>Solanum corymbosum</i>	Jacq.
Valerianaceae		
	<i>Valeriana</i> sp.	

Apéndice 4. Temperaturas modificadas según modelos de cambio climático por comunidad vegetal.

Temperatura modificada según proyecciones del modelo GFDL, escenario A2 para 2020

Comunidad	Ene (1.37)	Feb (1.35)	Mar (0.96)	Abr (1.34)	May (1.41)	Jun (1.36)	Jul (1.5)	Ago (1.34)	Sep (1.11)	Oct (1.39)	Nov (0.97)	Dic (0.93)	Promedio anual
Sin vegetación aparente (4510m)	0.6	1.7	3.6	5.3	7.9	5.7	4.9	4.9	4.7	3.8	2.0	0.5	3.9
Sin vegetación aparente (4410m)	1.1	2.2	4.1	5.8	8.4	6.3	5.5	5.5	5.3	4.4	2.5	1.1	4.4
Sin vegetación aparente (4310m)	1.7	2.8	4.6	6.4	8.9	6.8	6.0	6.0	5.8	4.9	3.1	1.6	4.9
<i>Calamagrostis toluensis-</i> <i>Trisetum rosei</i>	2.8	3.9	5.8	7.5	10.1	7.9	7.2	7.1	6.9	6.0	4.2	2.7	6.0
<i>Pinus hartwegii-Muhlenbergia</i> <i>macroura</i>	4.7	5.8	7.6	9.4	12.0	9.8	9.0	9.0	8.8	7.9	6.1	4.6	7.9
<i>Abies religiosa-Roldana barba-</i> <i>johannis</i>	6.3	7.4	9.3	11.0	13.6	11.4	10.7	10.6	10.4	9.5	7.7	6.3	9.5
<i>Alnus jorullensis-Cinna poiformis</i>	7.7	8.8	10.6	12.4	14.9	12.8	12.0	12.0	11.8	10.9	9.0	7.6	10.9
<i>Pinus montezumae-Baccharis</i> <i>conferta</i>	9.0	10.1	12.0	13.7	16.3	14.1	13.4	13.3	13.1	12.2	10.4	9.0	12.2
<i>Quercus crassipes-Jarava ichu</i>	10.1	11.2	13.0	14.8	17.4	15.2	14.4	14.4	14.2	13.3	11.5	10.0	13.3

Temperatura modificada según proyecciones del modelo HADLEY, escenario A2 para 2020

Comunidad	Ene (2.01)	Feb (1.84)	Mar (1.41)	Abr (1.34)	May (1.53)	Jun (2.07)	Jul (1.9)	Ago (2.03)	Sep (2.2)	Oct (1.49)	Nov (0.96)	Dic (1.45)	Promedio anual
Sin vegetación aparente (4510m)	1.2	2.2	4.0	5.3	8.0	6.4	5.3	5.6	5.8	3.9	2.0	1.1	4.3
Sin vegetación aparente (4410m)	1.8	2.7	4.5	5.8	8.5	7.0	5.9	6.2	6.4	4.5	2.5	1.6	4.8
Sin vegetación aparente (4310m)	2.3	3.3	5.1	6.4	9.1	7.5	6.4	6.7	6.9	5.0	3.0	2.1	5.4
<i>Calamagrostis toluensis-</i> <i>Trisetum rosei</i>	3.4	4.4	6.2	7.5	10.2	8.6	7.6	7.8	8.0	6.1	4.2	3.3	6.4
<i>Pinus hartwegii-Muhlenbergia</i> <i>macroura</i>	5.3	6.3	8.1	9.4	12.1	10.5	9.4	9.7	9.9	8.0	6.1	5.2	8.3
<i>Abies religiosa-Roldana barba-</i> <i>johannis</i>	6.9	7.9	9.7	11.0	13.7	12.1	11.1	11.3	11.5	9.6	7.7	6.8	10.0
<i>Alnus jorullensis-Cinna poiformis</i>	8.3	9.2	11.1	12.4	15.1	13.5	12.4	12.7	12.9	11.0	9.0	8.1	11.3
<i>Pinus montezumae-Baccharis</i> <i>conferta</i>	9.6	10.6	12.4	13.7	16.4	14.8	13.8	14.0	14.2	12.3	10.4	9.5	12.7
<i>Quercus crassipes-Jarava ichu</i>	10.7	11.7	13.5	14.8	17.5	15.9	14.8	15.1	15.3	13.4	11.5	10.6	13.7

(i) Incrementos de la temperatura

Temperatura modificada según proyecciones del modelo GFDL, escenario B2 para 2020

Comunidad	Ene (1.16)	Feb (1.35)	Mar (0.96)	Abr (1.22)	May (1.24)	Jun (1.28)	Jul (1.4)	Ago (1.06)	Sep (0.83)	Oct (1.15)	Nov (0.99)	Dic (1.06)	Promedio anual
Sin vegetación aparente (4510m)	0.4	1.7	3.6	5.2	7.7	5.6	4.8	4.6	4.4	3.6	2.0	0.7	3.7
Sin vegetación aparente (4410m)	0.9	2.2	4.1	5.7	8.2	6.2	5.4	5.2	5.0	4.1	2.5	1.2	4.3
Sin vegetación aparente (4310m)	1.5	2.8	4.6	6.3	8.8	6.7	5.9	5.7	5.5	4.7	3.1	1.7	4.8
<i>Calamagrostis toluensis-</i> <i>Trisetum rosei</i>	2.6	3.9	5.8	7.4	9.9	7.8	7.1	6.9	6.7	5.8	4.2	2.9	5.9
<i>Pinus hartwegii-Muhlenbergia</i> <i>macroua</i>	4.5	5.8	7.6	9.3	11.8	9.7	8.9	8.7	8.5	7.7	6.1	4.8	7.8
<i>Abies religiosa-Roldana barba-</i> <i>johannis</i>	6.1	7.4	9.3	10.9	13.4	11.3	10.6	10.4	10.2	9.3	7.7	6.4	9.4
<i>Alnus jorullensis-Cinna poiformis</i>	7.4	8.8	10.6	12.2	14.8	12.7	11.9	11.7	11.5	10.7	9.1	7.7	10.8
<i>Pinus montezumae-Baccharis</i> <i>conferta</i>	8.8	10.1	12.0	13.6	16.1	14.0	13.3	13.1	12.9	12.0	10.4	9.1	12.1
<i>Quercus crassipes-Jarava ichu</i>	9.9	11.2	13.0	14.7	17.2	15.1	14.3	14.1	13.9	13.1	11.5	10.2	13.2

Temperatura modificada según proyecciones del modelo HADLEY, escenario B2 para 2020

Comunidad	Ene (1.78)	Feb (1.82)	Mar (1.4)	Abr (1.22)	May (1.53)	Jun (1.98)	Jul (1.78)	Ago (1.73)	Sep (1.89)	Oct (1.25)	Nov (0.97)	Dic (1.56)	Promedio anual
Sin vegetación aparente (4510m)	1.0	2.2	4.0	5.2	8.0	6.3	5.2	5.3	5.5	3.7	2.0	1.2	4.2
Sin vegetación aparente (4410m)	1.5	2.7	4.5	5.7	8.5	6.9	5.8	5.9	6.0	4.2	2.5	1.7	4.7
Sin vegetación aparente (4310m)	2.1	3.2	5.1	6.3	9.1	7.4	6.3	6.4	6.6	4.8	3.1	2.2	5.3
<i>Calamagrostis toluensis-</i> <i>Trisetum rosei</i>	3.2	4.4	6.2	7.4	10.2	8.5	7.4	7.5	7.7	5.9	4.2	3.4	6.3
<i>Pinus hartwegii-Muhlenbergia</i> <i>macroua</i>	5.1	6.3	8.1	9.3	12.1	10.4	9.3	9.4	9.6	7.8	6.1	5.3	8.2
<i>Abies religiosa-Roldana barba-</i> <i>johannis</i>	6.7	7.9	9.7	10.9	13.7	12.0	10.9	11.0	11.2	9.4	7.7	6.9	9.8
<i>Alnus jorullensis-Cinna poiformis</i>	8.1	9.2	11.1	12.2	15.1	13.4	12.3	12.4	12.6	10.8	9.0	8.2	11.2
<i>Pinus montezumae-Baccharis</i> <i>conferta</i>	9.4	10.6	12.4	13.6	16.4	14.7	13.6	13.7	13.9	12.1	10.4	9.6	12.5
<i>Quercus crassipes-Jarava ichu</i>	10.5	11.7	13.5	14.7	17.5	15.8	14.7	14.8	15.0	13.2	11.5	10.7	13.6

() Incrementos de la temperatura

Temperatura modificada según proyecciones del modelo GFDL, escenario A2 para 2050

Comunidad	Ene (1.4)	Feb (1.91)	Mar (1.6)	Abr (1.86)	May (2.07)	Jun (2.37)	Jul (2.72)	Ago (2.71)	Sep (2.15)	Oct (2.72)	Nov (2.1)	Dic (1.08)	Promedio anual
Sin vegetación aparente (4510m)	0.6	2.2	4.2	5.8	8.5	6.7	6.2	6.3	5.8	5.2	3.1	0.7	4.7
Sin vegetación aparente (4410m)	1.2	2.8	4.7	6.4	9.1	7.3	6.7	6.8	6.3	5.7	3.6	1.2	5.2
Sin vegetación aparente (4310m)	1.7	3.3	5.3	6.9	9.6	7.8	7.2	7.4	6.8	6.2	4.2	1.8	5.7
<i>Calamagrostis toluensis-</i> <i>Trisetum rosei</i>	2.8	4.5	6.4	8.0	10.7	8.9	8.4	8.5	8.0	7.4	5.3	2.9	6.8
<i>Pinus hartwegii-Muhlenbergia</i> <i>macroura</i>	4.7	6.3	8.3	9.9	12.6	10.8	10.3	10.4	9.9	9.3	7.2	4.8	8.7
<i>Abies religiosa-Roldana barba-</i> <i>johannis</i>	6.3	8.0	9.9	11.5	14.2	12.4	11.9	12.0	11.5	10.9	8.8	6.4	10.3
<i>Alnus jorullensis-Cinna poiformis</i>	7.7	9.3	11.3	12.9	15.6	13.8	13.2	13.4	12.8	12.2	10.2	7.8	11.7
<i>Pinus montezumae-Baccharis</i> <i>conferta</i>	9.0	10.7	12.6	14.2	16.9	15.1	14.6	14.7	14.2	13.6	11.5	9.1	13.0
<i>Quercus crassipes-Jarava ichu</i>	10.1	11.7	13.7	15.3	18.0	16.2	15.7	15.8	15.3	14.7	12.6	10.2	14.1

Temperatura modificada según proyecciones del modelo HADLEY, escenario A2 para 2050

Comunidad	Ene (1.78)	Feb (3.14)	Mar (2.74)	Abr (1.86)	May (2.81)	Jun (4.18)	Jul (3.72)	Ago (4.45)	Sep (4.9)	Oct (2.98)	Nov (2.07)	Dic (2.38)	Promedio anual
Sin vegetación aparente (4510m)	1.0	3.5	5.3	5.8	9.3	8.5	7.2	8.0	8.5	5.4	3.1	2.0	5.7
Sin vegetación aparente (4410m)	1.5	4.0	5.9	6.4	9.8	9.1	7.7	8.6	9.1	6.0	3.6	2.5	6.2
Sin vegetación aparente (4310m)	2.1	4.6	6.4	6.9	10.3	9.6	8.2	9.1	9.6	6.5	4.2	3.1	6.8
<i>Calamagrostis toluensis-</i> <i>Trisetum rosei</i>	3.2	5.7	7.5	8.0	11.5	10.7	9.4	10.2	10.7	7.6	5.3	4.2	7.8
<i>Pinus hartwegii-Muhlenbergia</i> <i>macroura</i>	5.1	7.6	9.4	9.9	13.4	12.6	11.3	12.1	12.6	9.5	7.2	6.1	9.7
<i>Abies religiosa-Roldana barba-</i> <i>johannis</i>	6.7	9.2	11.0	11.5	15.0	14.2	12.9	13.8	14.2	11.1	8.8	7.7	11.4
<i>Alnus jorullensis-Cinna poiformis</i>	8.1	10.5	12.4	12.9	16.3	15.6	14.2	15.1	15.6	12.5	10.1	9.1	12.7
<i>Pinus montezumae-Baccharis</i> <i>conferta</i>	9.4	11.9	13.7	14.2	17.7	16.9	15.6	16.5	16.9	13.8	11.5	10.4	14.1
<i>Quercus crassipes-Jarava ichu</i>	10.5	13.0	14.8	15.3	18.8	18.0	16.7	17.5	18.0	14.9	12.6	11.5	15.1

(i) Incrementos de la temperatura

Temperatura modificada según proyecciones del modelo GFDL, escenario B2 para 2050

Comunidad	Ene (1.18)	Feb (2.59)	Mar (1.9)	Abr (1.57)	May (2.39)	Jun (2.57)	Jul (2.29)	Ago (2.11)	Sep (1.6)	Oct (2.29)	Nov (2.1)	Dic (2.06)	Promedio anual
Sin vegetación aparente (4510m)	0.4	2.9	4.5	5.5	8.8	6.9	5.7	5.7	5.2	4.7	3.1	1.7	4.7
Sin vegetación aparente (4410m)	0.9	3.5	5.0	6.1	9.4	7.5	6.3	6.2	5.8	5.3	3.6	2.2	5.2
Sin vegetación aparente (4310m)	1.5	4.0	5.6	6.6	9.9	8.0	6.8	6.8	6.3	5.8	4.2	2.7	5.7
<i>Calamagrostis toluensis-</i> <i>Trisetum rosei</i>	2.6	5.1	6.7	7.7	11.1	9.1	7.9	7.9	7.4	6.9	5.3	3.9	6.8
<i>Pinus hartwegii-Muhlenbergia</i> <i>macroua</i>	4.5	7.0	8.6	9.6	12.9	11.0	9.8	9.8	9.3	8.8	7.2	5.8	8.7
<i>Abies religiosa-Roldana barba-</i> <i>johannis</i>	6.1	8.6	10.2	11.2	14.6	12.6	11.5	11.4	10.9	10.4	8.8	7.4	10.3
<i>Alnus jorullensis-Cinna poiformis</i>	7.5	10.0	11.6	12.6	15.9	14.0	12.8	12.8	12.3	11.8	10.2	8.7	11.7
<i>Pinus montezumae-Baccharis</i> <i>conferta</i>	8.8	11.3	12.9	13.9	17.3	15.3	14.2	14.1	13.6	13.1	11.5	10.1	13.0
<i>Quercus crassipes-Jarava ichu</i>	9.9	12.4	14.0	15.0	18.3	16.4	15.2	15.2	14.7	14.2	12.6	11.2	14.1

Temperatura modificada según proyecciones del modelo HADLEY, escenario B2 para 2050

Comunidad	Ene (2.53)	Feb (3.63)	Mar (2.86)	Abr (1.57)	May (3.02)	Jun (4.09)	Jul (3.13)	Ago (3.58)	Sep (3.92)	Oct (2.51)	Nov (2.08)	Dic (3.15)	Promedio anual
Sin vegetación aparente (4510m)	1.8	4.0	5.5	5.5	9.5	8.4	6.6	7.2	7.5	5.0	3.1	2.8	5.6
Sin vegetación aparente (4410m)	2.3	4.5	6.0	6.1	10.0	9.0	7.1	7.7	8.1	5.5	3.6	3.3	6.1
Sin vegetación aparente (4310m)	2.8	5.0	6.5	6.6	10.6	9.5	7.7	8.2	8.6	6.0	4.2	3.8	6.7
<i>Calamagrostis toluensis-</i> <i>Trisetum rosei</i>	4.0	6.2	7.7	7.7	11.7	10.6	8.8	9.4	9.7	7.2	5.3	5.0	7.8
<i>Pinus hartwegii-Muhlenbergia</i> <i>macroua</i>	5.8	8.1	9.5	9.6	13.6	12.5	10.7	11.3	11.6	9.0	7.2	6.9	9.7
<i>Abies religiosa-Roldana barba-</i> <i>johannis</i>	7.5	9.7	11.2	11.2	15.2	14.2	12.3	12.9	13.3	10.7	8.8	8.5	11.3
<i>Alnus jorullensis-Cinna poiformis</i>	8.8	11.0	12.5	12.6	16.5	15.5	13.6	14.2	14.6	12.0	10.1	9.8	12.6
<i>Pinus montezumae-Baccharis</i> <i>conferta</i>	10.2	12.4	13.9	13.9	17.9	16.9	15.0	15.6	16.0	13.4	11.5	11.2	14.0
<i>Quercus crassipes-Jarava ichu</i>	11.2	13.5	14.9	15.0	19.0	17.9	16.1	16.7	17.0	14.4	12.6	12.3	15.1

(i) Incrementos de la temperatura

Apéndice 5. Precipitación mensual y anual modificada según modelos, aplicable a todas las comunidades vegetales estudiadas.

Cambios en la precipitación modelo GFDL, escenario A2, año 2020

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Sum
8.9	8.2	15.7	46.1	75.3	141.2	135.6	126.8	118.1	64.1	15.6	6.7	762.1

Cambios en la precipitación modelo HADLEY, escenario A2, año 2020

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Sum
8.9	8.1	14.4	47.2	81.4	119.5	122.3	126.7	106.7	62.6	13.2	6.1	717.4

Cambios en la precipitación modelo GFDL, escenario B2, año 2020

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Sum
9.1	8.6	16.4	47.2	81.9	139.1	135.8	131.8	128.9	71.0	15.7	7.0	793.1

Cambios en la precipitación modelo HADLEY, escenario B2, año 2020

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Sum
8.7	8.6	15.2	48.3	87.8	118.1	127.4	131.8	117.9	69.5	13.4	6.4	753.8

Cambios en la precipitación modelo GFDL, escenario A2, año 2050

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Sum
10.4	8.0	15.1	46.3	60.7	171.5	142.6	113.3	113.9	64.6	18.1	6.7	771.3

Cambios en la precipitación modelo HADLEY, escenario A2, año 2050

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Sum
9.4	8.1	12.0	49.3	76.2	116.7	111.2	113.1	85.4	60.7	12.1	6.5	660.8

Cambios en la precipitación modelo GFDL, escenario B2, año 2050

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Sum
10.2	8.6	17.1	47.7	74.4	138.7	142.3	125.8	133.7	77.1	17.6	7.2	800.5

Cambios en la precipitación modelo HADLEY, escenario B2, año 2050

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Sum
9.4	8.7	14.5	50.2	87.2	92.7	115.4	125.7	109.7	73.9	12.6	6.1	706.0

Apéndice 6. Temperatura y precipitación modificada según los modelos por comunidad vegetal.

<i>Calamagrostis tolucensis- Trisetum rosei</i>	Pcp	Temperatura												
	Anual (mm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Escenario Base	822.1	1.4	2.5	4.8	6.2	8.7	6.6	5.7	5.8	5.8	4.6	3.2	1.8	4.8
GFDL A2-2020	761.1	2.8	3.9	5.8	7.5	10.1	7.9	7.2	7.1	6.9	6.0	4.2	2.7	6.0
HADLEY A2-2020	717.4	3.4	4.4	6.2	7.5	10.2	8.6	7.6	7.8	8.0	6.1	4.2	3.3	6.4
GFDL B2-2020	793.1	2.6	3.9	5.8	7.4	9.9	7.8	7.1	6.9	6.7	5.8	4.2	2.9	5.9
HADLEY B2-2020	753.8	3.2	4.4	6.2	7.4	10.2	8.5	7.4	7.5	7.7	5.9	4.2	3.4	6.3
GFDL A2-2050	771.3	2.8	4.5	6.4	8.0	10.7	8.9	8.4	8.5	8.0	7.4	5.3	2.9	6.8
HADLEY A2-2050	660.0	3.2	5.7	7.5	8.0	11.5	10.7	9.4	10.2	10.7	7.6	5.3	4.2	7.8
GFDL B2-2050	800.5	2.6	5.1	6.7	7.7	11.1	9.1	7.9	7.9	7.4	6.9	5.3	3.9	6.8
HADLEY B2-2050	706.0	4.0	6.2	7.7	7.7	11.7	10.6	8.8	9.4	9.7	7.2	5.3	5.0	7.8

<i>Pinus hartwegii- Muhlenbergia macroura</i>	Temperatura													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio	
Escenario Base	822.1	3.3	4.4	6.7	8.1	10.6	8.4	7.5	7.7	7.7	6.5	5.1	3.7	6.6
GFDL A2-2020	761.1	4.7	5.8	7.6	9.4	12.0	9.8	9.0	9.0	8.8	7.9	6.1	4.6	7.9
HADLEY A2-2020	717.4	5.3	6.3	8.1	9.4	12.1	10.5	9.4	9.7	9.9	8.0	6.1	5.2	8.3
GFDL B2-2020	793.1	4.5	5.8	7.6	9.3	11.8	9.7	8.9	8.7	8.5	7.7	6.1	4.8	7.8
HADLEY B2-2020	753.8	5.1	6.3	8.1	9.3	12.1	10.4	9.3	9.4	9.6	7.8	6.1	5.3	8.2
GFDL A2-2050	771.3	4.7	6.3	8.3	9.9	12.6	10.8	10.3	10.4	9.9	9.3	7.2	4.8	8.7
HADLEY A2-2050	660.0	5.1	7.6	9.4	9.9	13.4	12.6	11.3	12.1	12.6	9.5	7.2	6.1	9.7
GFDL B2-2050	800.5	4.5	7.0	8.6	9.6	12.9	11.0	9.8	9.8	9.3	8.8	7.2	5.8	8.7
HADLEY B2-2050	706.0	5.8	8.1	9.5	9.6	13.6	12.5	10.7	11.3	11.6	9.0	7.2	6.9	9.7

Temperatura														
<i>Abies religiosa-Roldana barba-johannis</i>	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio	
Escenario Base	822.1	4.9	6.1	8.3	9.7	12.2	10.1	9.2	9.3	9.3	8.2	6.7	5.3	8.3
GFDL A2-2020	761.1	6.3	7.4	9.3	11.0	13.6	11.4	10.7	10.6	10.4	9.5	7.7	6.3	9.5
HADLEY A2-2020	717.4	6.9	7.9	9.7	11.0	13.7	12.1	11.1	11.3	11.5	9.6	7.7	6.8	10.0
GFDL B2-2020	793.1	6.1	7.4	9.3	10.9	13.4	11.3	10.6	10.4	10.2	9.3	7.7	6.4	9.4
HADLEY B2-2020	753.8	6.7	7.9	9.7	10.9	13.7	12.0	10.9	11.0	11.2	9.4	7.7	6.9	9.8
GFDL A2-2050	771.3	6.3	8.0	9.9	11.5	14.2	12.4	11.9	12.0	11.5	10.9	8.8	6.4	10.3
HADLEY A2-2050	660.0	6.7	9.2	11.0	11.5	15.0	14.2	12.9	13.8	14.2	11.1	8.8	7.7	11.4
GFDL B2-2050	800.5	6.1	8.6	10.2	11.2	14.6	12.6	11.5	11.4	10.9	10.4	8.8	7.4	10.3
HADLEY B2-2050	706.0	7.5	9.7	11.2	11.2	15.2	14.2	12.3	12.9	13.3	10.7	8.8	8.5	11.3

Temperatura														
<i>Alnus jorullensis-Cinna poiformis</i>	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio	
Escenario Base	822.1	6.3	7.4	9.7	11.0	13.5	11.4	10.5	10.7	10.7	9.5	8.1	6.7	9.6
GFDL A2-2020	761.1	7.7	8.8	10.6	12.4	14.9	12.8	12.0	12.0	11.8	10.9	9.0	7.6	10.9
HADLEY A2-2020	717.4	8.3	9.2	11.1	12.4	15.1	13.5	12.4	12.7	12.9	11.0	9.0	8.1	11.3
GFDL B2-2020	793.1	7.4	8.8	10.6	12.2	14.8	12.7	11.9	11.7	11.5	10.7	9.1	7.7	10.8
HADLEY B2-2020	753.8	8.1	9.2	11.1	12.2	15.1	13.4	12.3	12.4	12.6	10.8	9.0	8.2	11.2
GFDL A2-2050	771.3	7.7	9.3	11.3	12.9	15.6	13.8	13.2	13.4	12.8	12.2	10.2	7.8	11.7
HADLEY A2-2050	660.0	8.1	10.5	12.4	12.9	16.3	15.6	14.2	15.1	15.6	12.5	10.1	9.1	12.7
GFDL B2-2050	800.5	7.5	10.0	11.6	12.6	15.9	14.0	12.8	12.8	12.3	11.8	10.2	8.7	11.7
HADLEY B2-2050	706.0	8.8	11.0	12.5	12.6	16.5	15.5	13.6	14.2	14.6	12.0	10.1	9.8	12.6

		Temperatura												
<i>Pinus montezumae- Baccharis conferta</i>		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Escenario Base	822.1	7.6	8.8	11.0	12.4	14.9	12.8	11.9	12.0	12.0	10.9	9.4	8.0	11.0
GFDL A2-2020	761.1	9.0	10.1	12.0	13.7	16.3	14.1	13.4	13.3	13.1	12.2	10.4	9.0	12.2
HADLEY A2-2020	717.4	9.6	10.6	12.4	13.7	16.4	14.8	13.8	14.0	14.2	12.3	10.4	9.5	12.7
GFDL B2-2020	793.1	8.8	10.1	12.0	13.6	16.1	14.0	13.3	13.1	12.9	12.0	10.4	9.1	12.1
HADLEY B2-2020	753.8	9.4	10.6	12.4	13.6	16.4	14.7	13.6	13.7	13.9	12.1	10.4	9.6	12.5
GFDL A2-2050	771.3	9.0	10.7	12.6	14.2	16.9	15.1	14.6	14.7	14.2	13.6	11.5	9.1	13.0
HADLEY A2-2050	660.0	9.4	11.9	13.7	14.2	17.7	16.9	15.6	16.5	16.9	13.8	11.5	10.4	14.1
GFDL B2-2050	800.5	8.8	11.3	12.9	13.9	17.3	15.3	14.2	14.1	13.6	13.1	11.5	10.1	13.0
HADLEY B2-2050	706.0	10.2	12.4	13.9	13.9	17.9	16.9	15.0	15.6	16.0	13.4	11.5	11.2	14.0

		Temperatura												
<i>Quercus crassipes- Jarava ichu</i>		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Escenario Base	822.1	8.7	9.8	12.1	13.5	16.0	13.8	12.9	13.1	13.1	11.9	10.5	9.1	12.0
GFDL A2-2020	761.1	10.1	11.2	13.0	14.8	17.4	15.2	14.4	14.4	14.2	13.3	11.5	10.0	13.3
HADLEY A2-2020	717.4	10.7	11.7	13.5	14.8	17.5	15.9	14.8	15.1	15.3	13.4	11.5	10.6	13.7
GFDL B2-2020	793.1	9.9	11.2	13.0	14.7	17.2	15.1	14.3	14.1	13.9	13.1	11.5	10.2	13.2
HADLEY B2-2020	753.8	10.5	11.7	13.5	14.7	17.5	15.8	14.7	14.8	15.0	13.2	11.5	10.7	13.6
GFDL A2-2050	771.3	10.1	11.7	13.7	15.3	18.0	16.2	15.7	15.8	15.3	14.7	12.6	10.2	14.1
HADLEY A2-2050	660.0	10.5	13.0	14.8	15.3	18.8	18.0	16.7	17.5	18.0	14.9	12.6	11.5	15.1
GFDL B2-2050	800.5	9.9	12.4	14.0	15.0	18.3	16.4	15.2	15.2	14.7	14.2	12.6	11.2	14.1
HADLEY B2-2050	706.0	11.2	13.5	14.9	15.0	19.0	17.9	16.1	16.7	17.0	14.4	12.6	12.3	15.1