



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA**

**“Evaluación del papel del clima en la distribución
potencial de las especies de la familia Cactaceae, en
la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, para
proponer estrategias de conservación a largo plazo”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)**

P R E S E N T A

Biol. José Manuel Ayala Razo

DIRECTOR DE TESIS: Dr. Oswaldo Téllez Valdés

MÉXICO, D.F.

Septiembre, 2007.



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.


Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez
Director General de Administración Escolar, UNAM
P r e s e n t e

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 9 de octubre de 2006, acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de grado de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental) del alumno **AYALA RAZO JOSÉ MANUEL** con número de cuenta **91022972** con la tesis titulada: **"Evaluación del papel del clima en la distribución potencial de las especies de la familia Cactaceae, en la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, para proponer estrategias de conservación a largo plazo"** bajo la dirección del **DR. OSWALDOD TÉLLEZ VALDÉS**.

Presidente:	Dra. Mercedes Isolda Luna Vega
Vocal:	Dr. Enrique Martínez Meyer
Secretario:	Dr. Oswaldo Téllez Valdés
Suplente:	Dr. Rafael Lira Saade
Suplente:	Dr. José Luis Villaseñor Ríos

Sin dudar de su atención, me es grato enviarle un cordial saludo.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F. a, 31 de agosto del 2007


Dr. Juan Núñez Farfán
Coordinador del Programa

RECONOCIMIENTOS

El presente trabajo fue realizado en el Laboratorio de Recursos Naturales de la Unidad de Biotecnología y Prototipos (UBIPRO) de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM.

A **CONACYT** por haberme otorgado la beca con numero 182094 la cual me ha permitido cotinuar y terminar los estudios de Maestría.

Al Estado de México por la beca de **COMECYT** la cual tambien me permitió terminar los estudios de Maestría.

A los miembros del Comité Tutorial quienes han dirigido la presente tesis de maestría y que estuvo integrado por:

Dr. Oswaldo Téllez Valdés.
(Tutor principal)

Dr. Rafael Lira Saade.

Dr. José Luis Villaseñor Ríos.

DEDICATORIAS

A la memoria de:

Doña Marcelina Ramírez † y

Don Manuel Razo †, mis padres.

*A mis Padres María Razo
y Francisco Ayala,
gracias por darme la vida,
enseñarme como enfrentarla,
por educarme
y por ser mis amigos.*

*A Carmen Castillo,
el Amor de mi vida.*

*Gracias Mely por tu paciencia,
apoyo y comprensión.*

*Con mucho cariño a mis hermanos, Gilberto, Belén, Francisco, Nico, Magdalena,
Rodolfo, Guadalupe, Sandra, Alfredo, Luis y mis cuñadas Catalina, Fernanda,
Minerva y Ricardo. Por soportarme tanto Gracias.*

*A mis sobrinos Ariadna, el pequeño alfredin, Daniela, Frida, Monserrat, Dana
Belén, Yanin, Alan, Emilio y Tadeo.*

*A Toda mi Familia, en especial a mis tios Alfonso, Amelia, Angel, Esperanza,
Francisco, Raquel, y Ricardo porque me enseñaron e inculcaron el respeto, la
lealtad, la tolerancia y el compromiso. Gracias.*

*A mis suegros Sr. Jesus Castillo y Gloria López gracias por permitirme ser
parte de la familia. A mis cuñados Hortencia, Oscar, Libertad, mi sobrino
Ameyaltzin y a mi concuño Daniel Herrera, por su amistad Gracias.*

AGRADECIMIENTOS

De manera particular quiero agradecer al Dr. Oswaldo Téllez Valdés por la dirección de esta tesis, sus revisiones, comentarios, la paciencia que ha tenido para conmigo pero sobre todo por su amistad.

Un sincero agradecimiento a los miembros del sínodo por sus valiosas observaciones y comentarios, que ayudaron a mejorar este trabajo.

Dra. Mercedes Isolda Luna Vega

Dr. Enrique Martínez Meyer

Dr. Oswaldo Téllez Valdés

Dr. Rafael Lira Saade

Dr. José Luis Villaseñor Ríos

Al Biólogo Leonardo Ulises Guzmán por su gran ayuda en el reconocimiento y enseñanzas del maravilloso mundo de las cactáceas.

Al Dr. Oswaldo Téllez Valdés a Carmen Castillo, Karla Gutiérrez, Elisa Parra, Violeta González, Isidro Méndez, Irving Rosas, Ricardo Alvarez, José Luis Montoya y Fabian González por su valiosa colaboración, amistad y paciencia para el trabajo de campo.

A mis grandes amigos:

De la UBIPRO, Laboratorio de Recursos Naturales:

Carmen Castillo, Elisa Parra, Eufrosina Hinojosa, Isabelle Blanckaert, Isela Rodríguez, Karla Gutiérrez, Mayra Hernández, Rocío Rosas, Violeta González, Carlos Morín, Cesar Montemayor, Fabian González, Humberto Macías, Isidro Méndez, Irving Rosas, Juan Ismael Calzada, Leobardo Sánchez, Mario Suárez, Martín Paredes, Miguel Jiménez, Olmo Téllez, Oswaldo Téllez, Ricardo Alvarez y Saul Flores, a todos ustedes por su amistad muchas gracias.

De toda la vida:

Guillermo De Sales y Victor Barraza. Gracias por seguir aquí.

A los proyectos PAPIIT 212407; PAPIIT IN 224505; PAPCA Fes Iztacala 2003; CONABIO BK 029 y a la compañía Volkswagen con el proyecto por amor al planeta, gracias a los cuales tuve la oportunidad de participar en diversos proyectos y salir al campo coleccionar material botánico.

CONTENIDO

	PAGINA
CONTENIDO	IV
INDICE de Cuadros	V
INDICE de Figuras	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
1. INTRODUCCION	1
2. ANTECEDENTES	9
3. JUSTIFICACION	11
4. OBJETIVO	12
5. AREA DE ESTUDIO	13
5.1 Clima	14
5.2 Vegetación	14
5.3 Geología	15
5.4 Suelos	17
6. MATERIALES Y METODOS	18
6.1 Base de Datos	18
6.2 Modelado de la distribución potencial	18
6.3 Verificación	21
7. RESULTADOS	22
8. DISCUSION	53
9. CONCLUSIONES	57
10. LITERATURA CITADA	58
11. ANEXO I	64
12. ANEXO II	65

INDICE de Cuadros

CUADROS	PAGINA
Cuadro 1. Parámetros bioclimáticos empleados para generar los modelos de distribución potencial de las especies.	19
Cuadro 2. Especies de cactáceas reportadas para el Valle de Tehuacán-Cuicatlán con número de registros utilizados para crear los perfiles bioclimáticos.	22
Cuadro 3. Áreas (ha) de ocupación potencial actual de 70 especies de cactáceas por intervalos porcentuales del perfil bioclimático.	24
Cuadro 4. Especies de cactáceas y sus áreas (ha) de distribución potencial actual y con los dos escenarios de cambio climático propuestos por el PICC (+0.8°C y -5% precipitación y +2°C y -15% de lluvia).	28
Cuadro 5. Grupos de especies acuerdo con la semejanza de sus perfiles bioclimáticos.	33
Cuadro 6. Resultado del análisis de componentes principales.	35
Cuadro 7. Resultados del análisis Kappa.	51
Cuadro 1A. Perfiles bioclimáticos de los grupos de especies de cactáceas en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán.	64
Cuadro 1B. Áreas (ha) de distribución potencial actual y con el escenario de cambio climático (+0.8°C y -5% de precipitación propuesto para el año 2025).	65
Cuadro 2B. Áreas (ha) de distribución potencial actual y con el escenario de cambio climático (+2°C y -15% de precipitación propuesto para el año 2100).	66

INDICE de Figuras

FIGURAS	PAGINA
Figura 1. Ubicación de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán.	13
Figura 2. Gráfica de porcentajes de cambio de áreas potenciales en los dos escenarios de cambio climático para las especies endémicas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.	30
Figura 3. Gráfica de porcentajes de cambio de áreas potenciales en los dos escenarios de cambio climático para las especies del Valle de Tehuacán-Cuicatlán endémicas de México.	30
Figura 4. Gráfica de porcentajes de cambio de áreas potenciales en los dos escenarios de cambio climático para las especies de cactáceas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán de amplia distribución.	31
Figura 5. Dendrograma del agrupamiento de 70 especies de cactáceas.	34
Figura 6. Cambio en áreas de distribución potencial con los dos escenarios de cambio climático	36
Figura 7. Áreas de distribución potencial intervalo 3 (5-95%) del perfil bioclimático para el grupo 1 con el escenario actual y para el año 2025.	37
Figura 8. Áreas de distribución potencial intervalo 3 (5-95%) del perfil bioclimático para el grupo 1 con el escenario actual y para el año 2100.	38
Figura 9. Áreas de distribución potencial del intervalo 3 (5-95%) del perfil bioclimático para el grupo 2 con el escenario actual y para el año 2025.	39
Figura 10. Áreas de distribución potencial del intervalo 3 (5-95%) del perfil bioclimático para el grupo 2 con el escenario actual y para el año 2100.	39
Figura 11. Áreas de distribución potencial del intervalo 4 (10-90%) del perfil bioclimático para el grupo 3 con el escenario actual y para el año 2025.	40
Figura 12. Áreas de distribución potencial del intervalo 4 (10-90%) del perfil bioclimático para el grupo 4 con el escenario actual y para el año 2025.	41
Figura 13. Áreas de distribución potencial del intervalo 4 (10-90%) del perfil bioclimático para el grupo 4 con el escenario actual y para el año 2100.	42
Figura 14. Áreas de distribución potencial del intervalo 3 (5-95%) del perfil bioclimático para el grupo 5 con el escenario actual y para el año 2025.	43
Figura 15. Áreas de distribución potencial del intervalo 3 (5-95%) del perfil bioclimático para el grupo 5 con el escenario actual y para el año 2100.	43
Figura 16. Áreas de distribución potencial en el intervalo 4 (10-90%) del perfil bioclimático para el grupo 6 con el escenario actual y para el año 2025.	44
Figura 17. Áreas de distribución potencial en el intervalo 4 (10-90%) del perfil bioclimático para el grupo 6 con el escenario actual y para el año 2100.	45
Figura 18. Áreas de distribución potencial del intervalo 3 (5-95%) del perfil bioclimático para el grupo 7 con el escenario actual y para el año 2025.	46
Figura 19. Áreas de distribución potencial del intervalo 3 (5-95%) del perfil bioclimático para el grupo 7 con el escenario actual y para el año 2100.	46
Figura 20. Áreas de distribución potencial del intervalo 4 (10-90 %) del perfil bioclimático para el grupo 8 con el escenario actual y para el año 2025.	47
Figura 21. Áreas de distribución potencial del intervalo 4 (10-90 %) del perfil bioclimático para el grupo 8 con el escenario actual y para el año 2100.	48
Figura 22. Áreas de distribución potencial de los Hotspots en el escenario actual.	49
Figura 23. Errores de omisión y número de registros por grupo de especies de cactáceas.	51
Figura 24. Errores de comisión y número de registros por grupo de especies de cactáceas.	52

RESUMEN

Se examinaron los efectos de dos escenarios de cambio climático sobre las áreas de distribución potencial de las especies de cactáceas en la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán (RBTC), con el fin de evaluar el papel que jugará en su conservación a largo plazo. Se seleccionaron 83 especies de cactáceas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, algunas consideradas como endémicas, raras y/o amenazadas por la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL-2000) e incluidas por CITES. Se extrajeron datos de distribución geográfica de la base de datos de la UBIPRO-FES Iztacala para cada especie, y se empleó el software BIOCLIM para generar los modelos de distribución potencial de las especies; así mismo, con este programa se generaron los dos escenarios de cambio climático, basados en las tendencias y variaciones de la temperatura y la precipitación que se han pronosticado para el año 2025 (+0.8°C y -5% de precipitación) y para el año 2100 (+2°C y -15% de precipitación) en la latitud donde se encuentra localizada la RBTC. Se generaron perfiles bioclimáticos para cada especie y mediante un análisis de clasificación utilizando el algoritmo UPGMA se agruparon las especies de acuerdo con la semejanza climática de los sitios en donde habitan. De igual manera para los grupos resultantes se modeló su distribución potencial con los dos escenarios de cambio climático propuestos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático. De las 83 especies 13 no se incorporaron al análisis debido a que solo contaban con 1 o 2 registros gerreferenciados. Los resultados muestran que para el escenario de cambio climático en el año 2025, 6 especies de cactáceas perderán más del 50% de sus áreas potenciales actuales, 6 especies incrementarán entre 1 y 26 % sus áreas potenciales, 2 especies mantienen sus áreas de distribución potencial sin cambio y sólo una especie se extinguirá. Para los 9 grupos de especies la reducción en sus áreas potenciales será menos del 30%. Para el año 2100, 65 especies perderán más del 50% de sus áreas potenciales actuales y 12 de ellas se extinguirán; todos los grupos perderán más del 60% de sus áreas potenciales actuales. Finalmente, estos resultados en conjunto con el conocimiento ecológico de varias de las especies permitirán proponer estrategias adecuadas para su conservación a largo plazo en esta zona del país.

ABSTRACT

The effects of climate change on the potential distribution of the species of the family Cactaceae in the Tehuacan-Cuicatlan biosphere reserve (RBTC) were evaluated, with the aim of assessing the role the reserve will play in the long term conservation of this plant group. The study includes 83 species some endemic some widespread, but several of them considered as rare and/or threatened by the Mexican Official Norm 59 and CITES. A data base was built up from two sources, the data base of the FES Iztacala and from the fieldwork. The bioclimatic analysis approach was that of the program BIOCLIM, this was used for generating the bioclimatic profiles of the species, as well as, for setting the two scenarios of climate change up following the Panel Intergovernmental of Climate Change proposals. A conservative one for 2025 when temperature increases in about 0.8° C and rainfall decreases in about -5%, an a drastic one for 2080-2100 when temperature increases in about 2° C and rainfall decreases in about -15% to the latitude where the reserve is located. The results show that as for 2025, six of the species will loose more than 50% of their current potential distribution, another six of the species will increase them from 1 to 26%, two more will maintain their areas with no change, and only one of the species will become extinct. To the group level, all the nine will contract their potential distribution in less than 30%. While for the drastic scenario, 65 species will contract in more than 60% their current potential distributions. As a consequence after climate change the resulting potential distribution of most of the species would remain out of the reserve boundaries. Finally, these results show the need of a detailed conservation assessment of most of the species of Cactaceae to be able to propose strategies for assessing the role the reserve is playing for the long term conservation of these very important plant group.

1. INTRODUCCIÓN

Más del 50% del territorio mexicano comprende zonas áridas y semiáridas, las cuales concentran un alto porcentaje de flora y fauna endémica. En muchas de estas áreas las cactáceas son las plantas que caracterizan fisionómicamente al paisaje, aunque no son exclusivas de estos ambientes, pues incluso se pueden encontrar en zonas tropicales y templadas (Hernández & Godinez, 1994).

La familia Cactaceae Juss. Originaria de América se distribuye desde Canadá hasta la Patagonia (Sánchez-Mejorada, 1982), comprende entre 100 y 110 géneros y más de 1500 especies. En México se encuentran cerca de 51 géneros y aproximadamente 850 especies, de las cuales el 80% se estima que son endémicas del territorio nacional (Arias, et al., 1997). Desafortunadamente, las cactáceas son uno de los grupos más amenazados del reino vegetal. Las poblaciones naturales de muchas de las especies han sido afectadas por las presiones del desarrollo humano, principalmente debido a la agricultura, el aprovechamiento forestal, la ganadería, y a las actividades de extracción de las plantas de su hábitat para su venta y comercio ilegal (Hernández & Godinez, 1994). Otro factor que podrá afectar el desarrollo y sobrevivencia, no solo de las cactáceas, sino de toda la diversidad biológica, son los efectos del cambio climático que han sido reconocidos, documentados y pronosticados desde finales de la década de los 80's en Canadá (Protocolo de Montreal 1990), en la Convención Cumbre para la Tierra en 1992 en Río de Janeiro y con el Protocolo de Kyoto en la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático en 1997 en Japón (SEMARNAP-INE, 2000).

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (PICC) ha evaluado y proyectado diversos escenarios de emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero para estimar los cambios en el clima del planeta. A esta serie de escenarios de emisiones se les conoce como Informes Especiales sobre Escenarios de Emisiones (SRES, por sus siglas en inglés) (IPCC, 2000). Los escenarios de emisiones se clasifican por familias: A1B donde las emisiones son altas; A2 las emisiones se consideran de medias a altas; B2 emisiones medias-bajas y B1 con emisiones bajas (INE-SEMARNAT, 2006).

En el año 2000, el PICC finalizó su informe especial sobre escenarios de emisión (IE-EE) en reemplazo del conjunto anterior de seis escenarios (IS92) elaborados para el PICC en 1992. Estos nuevos escenarios examinan en el período de 1990 a 2100 el incremento de los nuevos escenarios que varían en un rango de 0.8 °C a 2.6 °C para el año 2050 y de 1.4 °C hasta 5.8 °C en el año 2100 (IPCC, 2001). En el caso de México se usaron diversos modelos del clima de los grandes centros de pronóstico meteorológico del mundo y se generaron escenarios del clima para cada uno de los SRES. Cada climatología se contruye utilizando en promedio las condiciones climáticas en treinta años. Por ello se consideran los periodos 2010-2039, 2040-2069 y 2070-2099, refiriéndose a cada uno de ellos como climatologías del 2020, 2050 y 2080 respectivamente. Considerando un ensamble de las proyecciones de los Modelos de Circulación General (MCG), y la dispersión entre las proyecciones de temperatura y precipitación para los climas 2020, 2050 y 2080, se encuentra que en general el clima de México será más cálido entre 2 y 4 °C (INE-SEMARNAT, 2006).

Por principio, la radiación solar entra en la atmósfera principalmente en forma de radiación visible; una parte es reflejada al espacio exterior y la mayoría es absorbida y reemitida por la superficie terrestre en forma de radiación infrarroja. De esta última, una buena parte, en lugar de retornar al espacio, es absorbida y reemitida por una serie de gases traza de la atmósfera conocidos como gases de efecto invernadero (GEI). Este proceso retiene momentáneamente el calor de la atmósfera con lo que calienta la superficie terrestre. Cuanto mayor es la concentración de GEI, mayor es el calor y, por tanto, el calentamiento del planeta. De hecho el efecto invernadero permite que la temperatura de equilibrio de la Tierra sea de 13° C, en lugar de -20° C si no existiera (Masera, 2006).

El fenómeno del cambio climático se define como el posible incremento en la temperatura superficial de la Tierra por el rápido aumento de la concentración de GEI en la atmósfera. Los principales GEI son el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso y los halofluorocarbonos (HFC) y en menor proporción son el ozono troposférico y otros gases. A excepción del vapor de agua, los demás gases han aumentado rápidamente sus concentraciones producto de las actividades humanas. De ellos el CO₂ se refiere como el principal responsable

(aprox. 60%) del calentamiento global; sus principales fuentes incluyen la quema de combustibles fósiles y los procesos de deforestación. El metano es básicamente emitido a la atmósfera por procesos de descomposición anaeróbica en los cultivos de inundación, por la fermentación entérica del ganado y por las fugas de gas natural durante su extracción y distribución. El óxido nitroso es liberado por la aplicación de fertilizantes químicos en la agricultura y durante los procesos de deforestación. Por último los HFC se utilizan como propelentes en los aerosoles, como refrigerantes y como aislantes.

Algunos de los impactos resultantes de cambios proyectados en episodios climáticos son en el caso de extremos simples, temperaturas máximas mayores, más días cálidos y olas de calor extremas; temperaturas mínimas en aumento, menos días fríos, días de heladas y olas de frío. Sucesos de precipitación más intensos. En el caso de extremos complejos los veranos serán más secos y riesgos de sequías, aumento en la intensidad máxima del viento en caso de ciclones tropicales e intensidad media y máxima de precipitaciones, intensificación de sequías e inundaciones relacionadas con sucesos de El Niño, etc. El aumento o la disminución de los impactos y la vulnerabilidad con el paso del tiempo dependerán en parte de los ritmos, intensidad y frecuencia de la amenaza (ej. huracanes, sequías) (IPCC, 2001).

Debido a los efectos que se han pronosticado sobre los sistemas naturales y la biodiversidad, pero sobre todo en las respuestas en la distribución de las especies al cambio climático es que se ha incrementado el interés en realizar investigaciones científicas (Peterson et al., 2001; Berry, et al., 2002; Konvicka, et al., 2003; Pearson & Dawson, 2003; Telléz-Valdés & Dávila-Aranda, 2003; Meynecke, 2004; Araújo, et al., 2004; Martínez-Meyer, 2005; Convey & Smith, 2006). El cambio climático es un fenómeno complejo y a menudo se analiza con la visión de mitigar los efectos de emisiones de gases (Houghton et al., 1992). Aunque, las dimensiones físicas han sido analizadas en detalle, los efectos del cambio climático global sobre la biodiversidad son aún poco entendidos. Se han examinado respuestas potenciales en especies y hábitats para predecir cambios, pero éstas han sido dirigidas a pocas especies y hábitats específicos (Meynecke, 2004), por lo que hay una clara necesidad de analizar las respuestas de las especies al cambio climático. Básicamente existen tres posibles respuestas de los organismos al cambio climático: migración, adaptación (fisiológica y genética) y extinción. Para especies móviles e inmóviles existe la

posibilidad de una rápida adecuación o utilización de un amplio espectro de tolerancia fisiológica. Si la adecuación no puede llevarse a cabo entonces el resultado es la extinción (Holt, 1990).

Dado lo anterior es necesario elaborar y conducir políticas orientadas a conservar la diversidad biológica, así como promover su aprovechamiento sustentable y proteger las zonas de mayor importancia biológica. Pero el éxito en la conservación de la biodiversidad depende en gran medida del conocimiento de las especies o sistemas que se requieren conservar. Ante esto surge la necesidad de conocer cuál es nuestra diversidad biológica, cómo se distribuye geográficamente y cómo debemos conservarla; pero la posibilidad de proponer medidas para la conservación está implícita en la disponibilidad y adecuado análisis de información biológica (florística, faunística, ecológica, etc.) y ambiental (clima, suelo, litología, etc.). Sin embargo, la información sobre inventarios biológicos, requerimientos ecológicos de las especies y sus patrones de distribución aún es incompleta pues la mayoría de los registros se encuentran cerca de las vías de comunicación o de las principales poblaciones (Bojórquez-Tapia et al., 1994). Esto se debe a que los métodos de recolección o registro, en general, nunca han sido sistemáticos y ordenados, es decir, no han seguido un método de registro de las especies a través de su intervalo real total de distribución geográfica, así como a través del gradiente ambiental que ocupan. Estos métodos de recolecta han sido determinados en esencia por la accesibilidad de los sitios de colecta, la disponibilidad de recursos económicos y el tiempo disponible (Rocha, 2006).

Tradicionalmente, los estudios florísticos han pretendido reconocer a las especies que habitan en una zona determinada, al menos registrándolas sólo una vez. Por tal motivo, se han incorporado nombres de especies a listados florísticos sin que se incorporen registros acerca de su distribución geográfica a través de toda el área de estudio, es decir, no se han registrado a las especies tantas veces como éstas pudieran aparecer durante el muestreo en campo. Esta concepción dominante del inventariado no ha permitido reflejar la distribución real total de las especies de plantas que componen cualquier tipo de vegetación (Rocha, 2006; Rosas, 2004).

La distribución de las especies, así como de los factores bióticos y abióticos que la determinan, constituye un tema central en diferentes disciplinas de la biología. Aunque se han discutido

aspectos generales de la distribución de conjuntos de taxa a nivel de tipos de vegetación, en la mayoría de los casos muy poco se ha hecho para documentar el área total que una especie pudiera o debiera estar ocupando en la superficie del territorio nacional. Los escasos esfuerzos en esta dirección se reflejan en mapas de distribución elaborados como un conjunto de puntos, cada uno representando la localidad donde la especie ha sido registrada (Villaseñor & Téllez-Valdés, 2004). A partir de estos puntos, un límite es delineado y así se circunscribe un área que representa su distribución geográfica, pero sin seguir una metodología formal, sino con base principalmente en la experiencia del taxónomo (Rapoport, 1982; Skov, 2000). Otras formas muy comunes con las que se representa la distribución geográfica de especies han sido con referencia a límites políticos de estados y/o municipios, etc., o delimitando cuadros dentro de una superficie, definida por grados o minutos de latitud y longitud, hectáreas o kilómetros cuadrados (Villaseñor & Téllez-Valdés, 2004).

Frente a la escasez de información sobre todo de la distribución de especies, los modelos estadísticos espaciales han demostrado ser una alternativa en la descripción y simulación para la toma de decisiones en el manejo de recursos bióticos (Bojórquez-Tapia et al., 1990). La mayoría de los modelos que predicen la probable presencia de una especie en un sitio no explorado, generalmente lo que hacen es correlacionar los sitios ya conocidos donde la especie prospera, a partir de los registros de colecta existentes, con las variables ambientales asociadas a tales sitios.

En la actualidad, se conocen diversas técnicas desarrolladas para estimar la distribución potencial de una especie. Algunas utilizan métodos estadísticos, siendo los más comunes el de regresión múltiple o los multivariados, otros hacen uso de los Sistemas de Información Geográfica, utilizando los registros de presencia de las especies y la información ambiental (Sánchez-Cordero et al., 2001). Los métodos utilizados han sido diversos y van desde simplemente delimitar el contorno del área de distribución hasta el uso de métodos cuantitativos.

Farber & Kadmon (2003) indican que los modelos para predecir la distribución de los organismos pueden contribuir a comprender los factores que controlan los patrones de distribución de especies, además de la planeación, conservación y programas de manejo. Una clase de modelos predictivos que han sido aplicados por una variedad de investigadores son los

modelos de cobertura climática (CEMs por sus siglas en inglés) o modelado del nicho ecológico, modelado bioclimático o modelado de la envoltura climática (MNE) (Martínez-Meyer, 2005). Estos modelos generan mapas predictivos de distribución de especies usando datos de las características climáticas de los sitios donde las especies son registradas (Nix, 1986). Los CEMs o MNE involucran dos pasos conceptuales. El primer paso es la asociación de los registros de los sitios a un espacio multidimensional definido por un grupo de variables climáticas. El propósito de este paso es identificar el nicho climático (cobertura climática o perfil climático) de las especies. El segundo paso es la proyección del nicho climático desde el espacio climático multidimensional a un espacio geográfico (p. ej: un mapa) para identificar áreas potenciales de su distribución. Este paso también se denomina “Homoclimate matching” o búsqueda homoclimática en el cual se identifican áreas con condiciones climáticas similares (Lindenmayer et al., 1996)

Dentro del MNE uno de los enfoques que se han utilizado como estrategia para modelar la distribución de las especies, tanto de flora como de fauna, es el método del programa BIOCLIM. Este método, al igual que los CEMs, relaciona las localidades con referencia geográfica (latitud, longitud y altitud) en donde ha sido registrada una especie con los factores climáticos que se presentan en dichas localidades. En función de la correlación de esta información –las localidades y sus atributos climáticos- se genera un “perfil climático”, característico para cada especie y que ayuda a predecir su presencia (Sánchez-Cordero et al., 2001).

Los MNE dependen conceptualmente de la teoría del nicho. Existen diversas definiciones del nicho ecológico, pero en el contexto de la Biogeografía generalmente la definición más reconocida se refiere al conjunto de condiciones ambientales, bióticas y abióticas, en las cuales las especies pueden crecer y sobrevivir indefinidamente sin inmigrar (Grinnel, 2005; Hutchinson, 1957). Incluso se ha definido como un conjunto de relaciones y actividades propias de una especie, un “modo de vida” único y particular que cada especie tiene. Este concepto es abstracto, y se refiere a la estrategia de supervivencia de cualquier especie, que engloba desde la manera por la cual una especie se alimenta, sus condiciones de reproducción, tipo de morada, hábitos, enemigos naturales, la de competir con otras, de cazar, de evitar ser comida, etc. En otras palabras, es la función, “profesión” u “oficio” que cumple una especie animal o vegetal dentro del ecosistema (Elton, 1927). Hutchinson se refiere no sólo al espacio físico ocupado por un

organismo (nicho espacial o de hábitat), sino también a su papel funcional en la comunidad (nicho trófico) y a su posición en los gradientes ambientales de temperatura, humedad, pH, suelos, etc. denominado nicho multidimensional o de hipervolumen, *el nicho fundamental* (rango total de posibilidades en el espacio ecológico donde la población de especies puede persistir) y, de acuerdo con la teoría del nicho ecológico, la porción del nicho fundamental actualmente ocupado por las especies en el espacio geográfico fue llamado *nicho realizado* (Hutchinson, 1957).

No obstante que existen numerosas definiciones del nicho ecológico, Hutchinson (1957) realizó una valiosa distinción entre el nicho “fundamental”, que es el rango de posibilidades teóricas, y el nicho “real” (parte que actualmente es ocupada en el espacio geográfico). Aunque se puede discutir que solo el nicho “real” puede ser observado en la naturaleza, las posibilidades distribucionales de especies estudiadas a través del total de su distribución geográfica, pueden ser observadas en condiciones semejantes o contrastantes de varias comunidades, y de esta forma una vista del nicho ecológico fundamental se puede armar o ensamblar para ser predicha. Para Hutchinson, el nicho fundamental define las propiedades ecológicas de una especie: un concepto que incluye todos los ejes de las variables ambientales que afectan a las especies. Por lo tanto, la cobertura bioclimática puede ser definida como el componente climático del nicho ecológico fundamental o el nicho climático (Pearson & Dawson, 2003).

Resultados de algunos estudios indican que los factores climáticos imponen límites en la distribución de las especies y a escalas más finas la distribución y abundancia están influenciadas por otros factores, como la disponibilidad de nutrientes en suelo, disturbios y competencia. Por lo tanto, evaluaciones de los ambientes climáticos hacen una importante contribución para entender los patrones de distribución de las especies vegetales (Lindenmayer et al., 1996). Actualmente hay un gran interés en algunos de estos factores para determinar la distribución potencial de las especies, desde una perspectiva enfocada a su conservación.

Independientemente de los modelos empleados para determinar o entender la distribución de organismos o grupos de ellos y su relación espacio-temporal, la complejidad de los sistemas naturales presenta limitantes para un adecuado modelado de la distribución geográfica (Anderson

et al., 2003; Pearson & Dawson 2003). Las limitantes tienen que ver con la capacidad para explicar sobre todo las interacciones bióticas, el cambio evolutivo y la dispersión, elementos importantes en el concepto de nicho de especie. Lo anterior hace que el error en la predicción sea inevitable.

Cualquier método de modelado que sea empleado para predecir la distribución, producirá dos tipos de errores, de omisión y de comisión (el primero se refiere al área en donde la especie está presente pero el modelo no predice su presencia y el segundo al área en donde la especie no se presenta y el modelo predice su presencia). Cabe señalar además que el error en el modelado espacial tiene dos componentes: 1) la exactitud, la cual se refiere a la cercanía entre el dato original y el promedio de la predicción del modelo, y 2) la precisión, que se refiere a la variación inherente en las respuestas del modelo. Un modelo tiene mayor precisión cuando obtiene el mismo resultado con los datos de diferentes repeticiones y tiene poca precisión cuando produce resultados diferentes en cada repetición. Esto provoca incertidumbre en los resultados obtenidos. La incertidumbre es el efecto de los mecanismos de medición en la exactitud y precisión de las mediciones. En el caso de los modelos de distribución de especies estos mecanismos están representados en los registros de campo con referencia geográfica y los mapas temáticos (Alcantar, 2001; Summers et al., 1993).

2. ANTECEDENTES

Existen estudios florísticos, sinecológicos y fitogeográficos realizados en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, actualmente este conocimiento florístico se encuentra reflejado en artículos científicos y fascículos de diversas familias y géneros de la flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán editados por el Instituto de Biología de la UNAM. Entre los trabajos científicos más importantes por orden cronológico se encuentra el de Zavala (1982) quien describe los tipos de vegetación para el valle de Zapotitlán Salinas, su clasificación es mediante un criterio fisonómico y utilizando un análisis multivariado, encontrando cuatro tipos de vegetación: matorral espinoso, tetechera, izotal y cardonal. García (1986), realiza un estudio ecogeográfico de las comunidades vegetales de Zapotitlán Salinas, destacando la interacción que tienen los factores geomorfológicos, hidrológicos, edafológicos y climatológicos en la dinámica de las comunidades vegetales, además de resaltar que es un área que se encuentra en serios problemas de alteración por actividades antropogénicas. García (1987) hace una descripción fisonómica del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla, correlacionando los tipos de vegetación con las condiciones climáticas. Villaseñor et al. (1990), realizan una descripción fitogeográfica del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, encontrando aquí el límite meridional de algunas comunidades vegetales propias de climas áridos y semiáridos de Norteamérica. Dávila et al. (1993) elaboran lo que es hasta ahora el listado florístico más completo para la región, describiendo cerca de 3000 especies de plantas vasculares. Así mismo, Montaña & Valiente (1998) realizan un estudio en la región semiárida de Tehuacán-Cuicatlán donde relacionan la variación altitudinal de los factores climáticos de temperatura y precipitación y características del suelo (contenido de nitrógeno, materia orgánica, carbonatos y pH), asociados a los cambios de los tipos de vegetación, diversidad de formas de vida y la diversidad florística. Flores et al. (1999), describen la vegetación esclerófila perennifolia en dos localidades del Valle de Tehuacán-Cuicatlán y la comparan con la vegetación del mismo tipo en lugares con climas mediterráneos, encontrando que por sus similitudes florísticas, estructurales y de incidencia de caracteres, presentan una relación estrecha, la cual no se debe sólo a procesos climáticos sino más bien a factores históricos. Valiente-Banuet *et al.* (2000) describen 29 diferentes tipos de asociaciones vegetales para el Valle de Tehuacán-Cuicatlán; su clasificación se basa en criterios estructurales, fisonómicos y de composición florística de las comunidades vegetales.

Por otra parte, Casas et al. (2000) reportan las especies vegetales registradas como útiles para la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, de un total de 808 especies de plantas, 151 se reportan como útiles para la obtención de combustible, 91 se utilizan para la obtención de materiales de construcción, etc. Rosas (2004) realizó el modelado bioclimático de especies potencialmente importantes para la reforestación dentro del Valle de Zapotitlán Salinas. También existe una base de datos, con más de 30 000 registros de plantas vasculares que incluyen alrededor de 2 000 especies; sin embargo, el conocimiento de la distribución de la flora es aún general y fragmentario, por lo que no se puede conocer con certeza la distribución real total de cada una de las especies.

Los modelos de cobertura climática o del nicho ecológico han sido aplicados para varias propuestas (ej: análisis de factores que afectan la distribución de patrones de un amplio rango de taxa, incluyendo plantas, invertebrados, reptiles, anfibios, aves y mamíferos) no sólo en Australia sino en otros lugares como África y América del norte (Lindenmayer et al., 1996). Incluso el modelado de cobertura climática se ha utilizado en la reconstrucción florística y faunística en distintos escenarios de cambio climático, clasificación de hábitats de vida silvestre, así como para la exploración de áreas potenciales para la reintroducción de especies amenazadas (Farber & Kadmon, 2003).

En México se han construido modelos predictivos de algunos taxa (géneros y familias), lo cual ha permitido identificar patrones generales de riqueza de la biodiversidad y ayudado a estimar la distribución potencial de especies, lo que ha facilitado la toma de decisiones acerca de las prioridades de conservación de la biodiversidad a gran escala (Rosas, 2004; Tellez-Valdés et al., 2004; Rocha, 2006; Villaseñor & Téllez-Valdés, 2004). De igual forma Téllez-Valdés & Dávila-Aranda (2003) modelaron la distribución geográfica y los posibles efectos del cambio climático sobre los patrones de distribución de 20 especies endémicas de cactáceas de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán.

3. JUSTIFICACIÓN

Se ha reconocido que existen presiones naturales y antropogénicas que causan cambios en el paisaje y las especies y sus hábitats. Un posible cambio es el concerniente al cambio climático. Considerando las proyecciones de los escenarios de cambio climático se puede encontrar que varios modelos proyectan aumentos en la temperatura, aunque existen algunos que en ciertos escenarios de emisiones pueden proyectar cambios menores o mayores (INE-SEMARNAT, 2006). Estos escenarios validan evidencias de observaciones y muestran qué cambios regionales en temperatura afectan a sistemas físicos y biológicos alrededor del mundo. Sin embargo, las proyecciones de cambio en el clima no se distribuyen de igual forma en el planeta. Particularmente, se ha propuesto que en el año 2100, la temperatura se incrementará cerca de 2°C en la latitud donde se encuentra localizada la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, mientras que la precipitación disminuirá cerca del 15% (Karl, 1998) y corresponden con la proyección de la climatología del 2080 en México (INE-SEMARNAT, 2006). Estos cambios futuros proyectados, podrían tener profundos efectos sobre la funcionalidad de los hábitats y la distribución de las especies, por lo que es necesario que tales cambios se anticipen con la finalidad de tomar medidas apropiadas para su conservación (Karl, 1998).

Por lo tanto, en este trabajo se pretende evaluar la distribución potencial de especies de cactáceas mediante el uso de modelos de cobertura bioclimática, además de evaluar los efectos sobre las especies en los posibles escenarios de cambio climático propuestos por el PICC para el año 2025 y 2100. Con ello se podrá superar la carencia del conocimiento de la distribución geográfica de los organismos y reconocer los posibles efectos del cambio climático en su distribución y evaluar el papel que la reserva jugará en la conservación a largo plazo.

4. OBJETIVO

El presente estudio tiene como objetivo determinar los efectos del clima sobre las áreas de distribución potencial de las especies de cactáceas reportadas para el Valle de Tehuacán-Cuicatlán y que se encuentran dentro de los límites de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlan, así como en las áreas de distribución potencial en un posible escenario de cambio climático en la reserva y evaluar el papel que la reserva jugará en la conservación a largo plazo.

Objetivos Particulares:

- Estructurar una base de datos de las especies de cactáceas de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán.
- Generar perfiles bioclimáticos de las especies de cactáceas.
- Generar modelos de distribución potencial actual de las especies de cactáceas.
- Generar modelos de distribución potencial futura de las especies de cactáceas, aplicando un escenario de cambio climático.
- Agrupar a las especies de acuerdo con la semejanza de sus perfiles bioclimáticos.
- Generar modelos de distribución potencial de los grupos de especies de cactáceas.
- Generar modelos de distribución potencial, aplicando dos escenarios de cambio climático a los grupos de especies de cactáceas.
- Sobreponer las áreas de distribución potencial de grupos de especies de cactáceas y determinar hotspots (áreas con riqueza de especies) por la coincidencia de dos o más grupos de especies.
- Analizar y evaluar los patrones de distribución potencial resultantes antes y después de aplicar los escenarios de cambio climático.
- Verificar las áreas resultantes de los modelos de distribución potencial.
- Proponer sitios propicios para proteger a las especies de cactáceas.

5. ÁREA DE ESTUDIO.

El 18 de septiembre de 1998 se decretó dentro del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, con una superficie total de 490 mil 186 hectáreas, con la finalidad de mantener su integridad biológica, ambiental y cultural (Fig. 1).

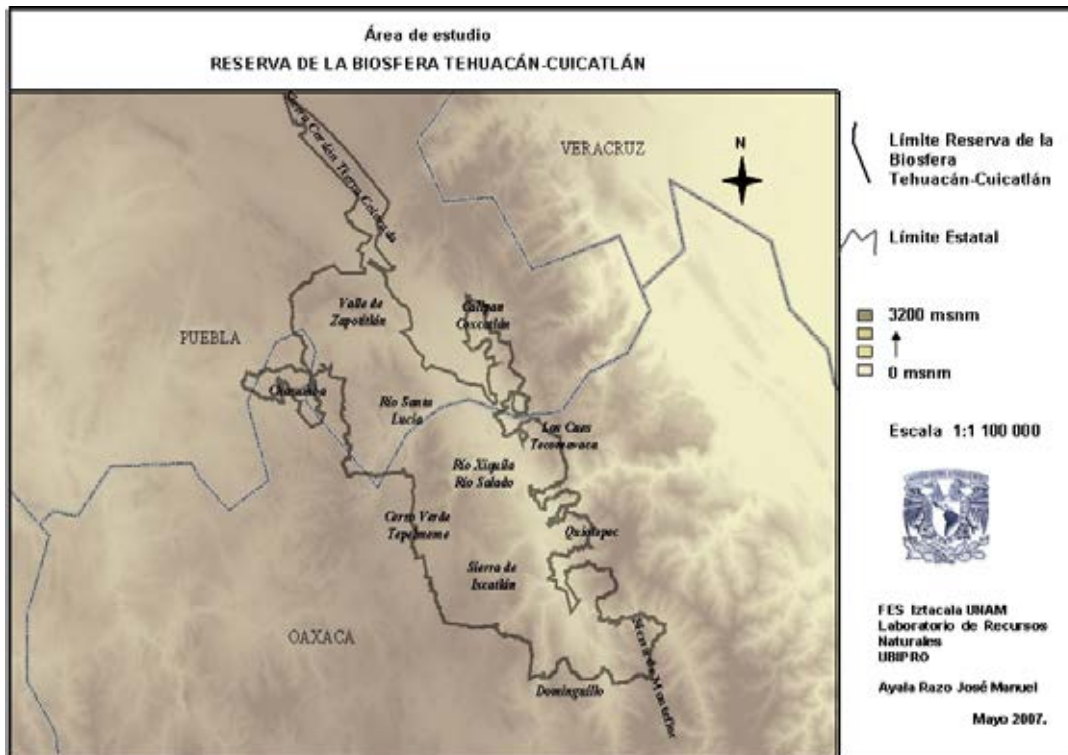


Figura 1. Ubicación de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán.

La Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán se localiza en los estados de Puebla y Oaxaca, dentro de la provincia fitogeográfica del Valle de Tehuacán-Cuicatlán siguiendo una dirección sureste-noroeste, por las Sierras de Juárez, Zongolica y Tecamachalco, en la parte sureste del estado de Puebla y noroeste de Oaxaca (Rzedowski, 1978; Ochoa, 2001). Fisiográficamente, el Valle de Tehuacán es parte de la provincia Mixteca-Oaxaqueña (Valiente-Banuet et al., 2000; Tamayo, 1962) y abarca varios valles de origen tectónico, entre los que destacan los de Cuicatlán, Huajuapán, Tehuacán, Tepelmeme y Zapotitlán, formando parte de la Cuenca Alta del río Papaloapan principalmente, y en menor proporción de la Cuenca Alta del río Balsas.

Sus límites orográficos principales son al este y noreste la Sierra Madre Oriental, aquí llamada Sierra Zongolica y la Sierra de Juárez al sur. Todos estos valles que conforman la provincia están limitados por una serie de serranías que en su conjunto determinan la Sierra Mixteca, la cual forma parte de la Sierra Madre Oriental (Ochoa, 2001).

5.1 Clima

El clima es predominantemente semiárido y está determinado principalmente por los patrones generales de circulación de la atmósfera, como son la predominancia de vientos del este (alisios) durante el verano con lluvias de tipo monzónico y vientos del oeste durante el invierno; en ocasiones, durante la época invernal los vientos polares (nortes) provocan precipitaciones en las partes más altas de las montañas. La aridez de la región en gran parte se debe al fenómeno de sombra orográfica, provocada por la Sierra Zongolica. De acuerdo con Valiente-Banuet et al. (2000), el Valle de Tehuacán-Cuicatlán comprende diferentes tipos climáticos, que van desde cálidos, con precipitación media anual de 700 a 800 mm en la porción sureste del Valle, en los poblados de Teotitlán, Dominguillo y Cuicatlán; semicálidos con precipitación media anual de 400 a 500 mm en la porción central y oeste, por ejemplo en la ciudad de Tehuacán, Zapotitlán y poblados cercanos; y los templados con precipitación de 600 mm anuales en la región de la Sierra de Tecamachalco.

5.2 Vegetación

Valiente-Banuet et al. (2000) caracterizaron la vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán y de acuerdo con criterios estructurales y fisionómicos reconocen 29 asociaciones vegetales agrupadas en seis categorías:

i) Bosques de cactáceas columnares arborescentes:

- Jiotillal de *Escontria chiotilla*.
- Cardonal de *Pachycereus weberi*.
- Cardonal de *Stenocereus stellatus*.
- Tetechera de *Neobuxbaumia tetetzo*.
- Cardonal de *Cephalocereus columna-trajani*.
- Tetechera de *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. macrocephala*.
- Tetechera de *Neobuxbaumia macrocephala* y *Stenocereus dumortieri*.
- Cardonal de *Mitrocereus fulviceps*.
- Chichipera de *Polaskia chichipe*.

ii) Vegetación arbolada:

Selva baja espinosa perennifolia o mezquital de *Prosopis laevigata*

Selva baja caducifolia.

Selva baja caducifolia dominada por árboles inermes de tallo fotosintético I: cuajiotales.

Selva baja caducifolia dominada por árboles espinosos de tallo fotosintético II: fouqueriales.

Izotal de *Beaucarnea gracilis*.

Izotal de *Yucca periculosa*.

Izotal de *Beaucarnea purpusii*.

iii) Vegetación arbolada de montaña:

Bosque de *Juniperus flaccida* y *J. deppeana*.

Izotal de montaña de *Nolina longifolia*.

Bosque de encino.

Bosque de pino-encino.

Bosque de pino.

iv) Vegetación asociada a ríos con agua permanente:

Bosque de galería de *Taxodium mucronatum* y *Astianthus viminalis*.

Tular de *Typha domingensis*.

v) Matorrales dominados por plantas arbustivas espinosas perennifolias:

Matorral rosulifolio de *Dasyilirion* spp. y *Agave* ssp.

Matorral espinoso con espinas laterales.

Candelillar de *Euphorbia antisiphilitica*.

Matorral de *Echinocactus platyacanthus*.

vi) Matorrales dominados por plantas arbustivas inermes perennifolias:

Matorral esclerófilo perennifolio (Mexical).

Matorral de *Gochmatia hypoleuca*.

5.3 Geología

La geología del Valle se puede describir con base en diversos autores (Nava, 1965; Fuentes-Aguilar, 1971).

- i. La formación del complejo basal, que data del Paleozoico y principios del Mesozoico (Jurásico), compuesto por rocas metamórficas (esquistos, pizarras, gneis, cuarzitas, mármoles), sedimentarias (areniscas y lutitas) y volcánicas (diques). Este complejo ha sido sometido a deformaciones tectónicas e intrusiones magmáticas, manifestadas en pliegues,

- derrames de lava y metamorfismo regional y de contacto. La mayoría de las rocas son de origen continental y se agrupan dentro de la formación Matzitzi.
- ii. Durante el Cenozoico Medio y Superior, la región fue invadida por los mares, depositándose gruesos paquetes de sedimentos marinos, constituyendo las formaciones Zapotitlán, San Juan Raya y Miahutepec, las cuales están constituidas por calizas con rudistas y nerineidos y también por calizas con pedernales y margas.
 - iii. A finales del Mesozoico y principios del Cenozoico tuvieron lugar diferentes procesos que dieron lugar a la configuración de la cuenca: a) regresión marina y separación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán del Golfo de México. b) procesos orogénicos (plegamiento de la Sierra Madre Oriental), fracturamiento, fallamiento y actividad volcánica. c) formación tectónica de la cuenca y depositación de sedimentos de origen químico y continental, derivados de la erosión de las nuevas estructuras montañosas. Las rocas de estos depósitos están formadas por yesos, travertinos y conglomerados, limolitas, nódulos de calcedonia, calizas lacustres, tobas y areniscas, respectivamente. Estas rocas pertenecen a las formaciones Tehuacán, Huajuapán y Yanhuatlán y afloran en el Cerro Colorado (cerca de Tehuacán), en el Cerro Colorado de Ajalpan, en los valles de Huajuapán, y en los alrededores de Yanhuatlán, estas últimas en el estado de Oaxaca; d) posterior a los movimientos orogénicos, tuvo lugar un periodo de gran actividad volcánica, cuyas evidencias se tienen en las rocas riolíticas, piroclásticas (tobas) y andesitas, las cuales afloran en el transecto de San Gabriel Chilac y Atzingo, así como en los alrededores de la cuenca de Tlaxiaco.
 - iv. Durante el cenozoico (terciario medio y superior) la gran cuenca tectónica contenía un gran lago, como lo demuestran los depósitos lacustres y travertinos que afloran al noreste de la ciudad de Tehuacán (Cerro de la Mesa), en Altepexi y en la localidad de Axusco.
 - v. A principios del cuaternario, la cuenca endorreica hasta entonces formada, fue seccionada por fenómenos tectónicos (neotectónicos), drenando los escurrimientos vía Río Santo Domingo hacia la cuenca del Río Papaloapan, formándose así la configuración geomorfológica del Valle de Tehuacán.
 - vi. Para el cuaternario tardío (pleistoceno-holoceno), se describen de manera general los depósitos aluviales, costras de carbonatos de calcio y rocas de origen volcánico. Dentro de este periodo se menciona que tuvieron lugar importantes variaciones climáticas que dieron como resultado la formación y evolución de suelos, abanicos aluviales, pedimentos,

formación de caliches, depósitos de tipo “Debris y Mud-Flow”, y depósitos fluviales y aluviales.

5.4 Suelos

Los suelos son de diferentes tipos, a pesar de que se originaron del mismo tipo de roca madre, y de su intemperización. La formación de suelos depende de las características topográficas como la altitud, la pendiente, la orientación y el drenaje, de los factores climáticos (temperatura y precipitación) y de los factores bióticos, como el desarrollo y descomposición de las comunidades vegetales y la actividad de los microorganismos del suelo. A pesar de que no existe hasta la actualidad una descripción edafológica completa y detallada (la información solo es parcial y general) se reconocen ocho unidades de suelo en el Valle: vertisoles, cambisoles, rendzinas, feozem, xerosoles, regosoles, litosoles y acrisoles.

Los suelos con escaso desarrollo dominan la superficie, debido al relieve montañoso de la región son suelos de tipo regosol y litosol, que se encuentran en las laderas de las pendientes mayores a 8° de las Tierras Altas de Oaxaca y en las Sierras Mazateca y de Juárez.

En la planicie del valle existen una gran diversidad de floramientos geológicos con diferentes tipos de rocas, los suelos que se originan son someros, pedregosos, alomórficos con diferentes estados de alcalinidad y salinidad. Entre ellos encontramos cambisoles cálcicos, xerosoles cálcicos derivados de evaporitas del cretácico inferior; en cambio, en los alrededores del valle hay suelos calcáreos, salino calcáreos, yesosos y calcáreo-yesosos de lomerío que corresponden, según Aguilera (1970), a suelos de regiones áridas derivados de evaporitas, de tipo holomórfico también con diferentes estados de salinidad y alcalinidad.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Base de Datos

Se construyó una base de datos, con la ubicación geográfica de las especies a partir de la base de datos de la Unidad de Biología, Tecnología y Prototipos (UBIPRO), FES Iztacala, donde se seleccionaron a las 83 especies de la familia Cactaceae reportadas para el Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Los registros de especies se revisaron, actualizaron y complementaron con literatura y trabajo de campo en la reserva donde se realizaron 15 recorridos para la obtención de registros (georreferenciados) y algunas colectas para su identificación. Se tomaron como transectos de muestreo la accesibilidad de carreteras, caminos y brechas o veredas, con la finalidad de incrementar los registros y hacer más robusta la base de datos de cactáceas.

6.2 Modelado de la distribución potencial

Se empleó el algoritmo BIOCLIM del programa ANUCLIM (Houlder et al., 2000), el cual utiliza superficies climáticas (en formato raster) interpoladas matemática y estadísticamente a partir de datos registrados en una red de estaciones meteorológicas estándar. Los archivos digitales son generados por el método “thin-plate smoothing spline”, usando el paquete ANUSPLIN (Hutchinson, 1991, 1995a, b, 1997; Hutchinson & Gessler, 1994). Esas superficies consideran valores mensuales promedio de precipitación y temperatura para periodos mayores a 15 años en más de 6 600 estaciones meteorológicas. Datos de 4 000 estaciones se utilizan para valores de temperatura y de 6 218 estaciones para valores de precipitación, todas del mismo conjunto de estaciones. Los errores promedio estimados para las áreas varían de 8 a 13% para los valores mensuales de precipitación y alrededor de 0.4 y 0.5°C para los de temperatura, semejantes a los instrumentos meteorológicos estándar (Nix, 1986).

La idea general de BIOCLIM es asociar los registros conocidos a las coberturas climáticas referidas, con lo que se genera un perfil con base en la acumulación de frecuencias de los valores de las celdas en que éstos registros ocurren, para cada uno de 19 parámetros bioclimáticos (Cuadro 1) y son el fundamento para generar los perfiles bioclimáticos usados para elaborar los modelos de distribución potencial de las especies.

Cuadro 1. Parámetros bioclimáticos empleados para generar los modelos de distribución potencial de las especies.

	Descripción	Unidades
1	Temperatura promedio anual	(° C)
2	Oscilación diurna de la temperatura	(° C)
3	Isotermalidad	(° C) (cociente entre parámetros 2 y 7)
4	Estacionalidad de la Temperatura	(coeficiente de variación, en %)
5	Temperatura máxima promedio del periodo más calido	(° C)
6	Temperatura mínima promedio del periodo más frío	(° C)
7	Oscilación anual de la temperatura	(° C) (cociente entre parámetros 5 y 6)
8	Temperatura promedio cuatrimestre más lluvioso	(° C)
9	Temperatura promedio del cuatrimestre más seco	(° C)
10	Temperatura promedio del cuatrimestre más calido	(° C)
11	Temperatura promedio del cuatrimestre más frío	(° C)
12	Precipitación anual	(mm)
13	Precipitación del periodo más lluvioso	(mm)
14	Precipitación del periodo más seco	(mm)
15	Estacionalidad de la Precipitación	(coeficiente de variación, en %)
16	Precipitación del cuatrimestre más lluvioso	(mm)
17	Precipitación del cuatrimestre más seco	(mm)
18	Precipitación del cuatrimestre más calido	(mm)
19	Precipitación del cuatrimestre más frío	(mm)

Se creó un perfil bioclimático para cada especie y por medio del análisis de estos perfiles, BIOCLIM determina teóricamente los límites probables de la distribución de las especies. Después se definen áreas con condiciones climáticas similares (homoclimas). En esta búsqueda homoclimática se utilizaron cinco intervalos porcentuales del perfil bioclimático: valores extremos mínimos y máximos (entre 0 y 100%) y menos extremos (entre 2.5 – 97.5%, 5 – 95%, 10 – 90%, y 25 – 75%). Normalmente uno de tales intervalos coincide con el grueso de los datos usados para generar el modelo, lo que es interpretado como el intervalo “preferido”

dentro del nicho fundamental de la especie bajo análisis, aunque algunos datos pueden coincidir con los otros intervalos (Téllez-Valdés et al., 2004).

Con los perfiles bioclimáticos para cada especie, se generaron los modelos de distribución potencial en dos escenarios de cambio climático futuros, el primero con un incremento de 0.8°C y disminución del 5% de precipitación y el segundo escenario con incremento de 2°C y disminución del 15% de lluvia. Las áreas definidas por los homoclimas y que representan los ambientes climáticos adecuados donde pudieran habitar las especies, fueron proyectadas a un espacio geográfico (mapas de distribución potencial) con el programa ArcView 3.2 (ESRI, 2000).

Con los perfiles de cada especie, se construyó una matriz de datos y se aplicaron técnicas de agrupamiento utilizando un análisis de conglomerados (CA). La técnica de agrupamiento resulta conveniente porque con ello es posible interpretar las unidades empleadas como clases o grupos. Se utilizó el coeficiente de Gower y el algoritmo del ligamiento promedio aritmético “no ponderado” (UPGMA), lo que permitió agrupar a las especies de acuerdo con la semejanza climática de los sitios donde las especies habitan o se distribuyen. Además, con el fin de determinar cuáles parámetros bioclimáticos están explicando mejor el agrupamiento climático de las especies, se aplicó un análisis de componentes principales (PCA).

A partir del agrupamiento de las especies, se elaboró el perfil bioclimático para cada grupo de especies y por medio del principio de homoclima se generaron los modelos por grupos, mediante el reconocimiento homoclimático se llevó de igual manera a los cinco intervalos porcentuales posibles, pero finalmente sólo se proyectó en los mapas el intervalo que coincide con la mayoría de los registros, interpretado aquí como el intervalo preferido. Con ayuda del algoritmo COMBINE en ArcView 3.2 (ESRI, 2000), los modelos de los grupos de especies fueron recortados, considerando sólo aquellas áreas en donde coincidían dos o más modelos de los grupos con la finalidad de poder delimitar áreas de concentración o riqueza de especies (hotspots). Para obtener las distribuciones futuras de los grupos de cactáceas con el perfil bioclimático generado para cada grupo, se proyectó a los escenarios de cambio climático propuestos por el PICC (+0.8 °C y -5% de precipitación y +2°C y -15 % de lluvia) y de igual

manera se llevó a cabo el reconocimiento homoclimático para todos los intervalos del perfil, incluyéndose en el mapa sólo el intervalo utilizado en el modelo de distribución potencial en el tiempo actual.

Al proyectar los perfiles bioclimáticos a un espacio geográfico se produjo un archivo en formato ARCINFO ASCII GRID, con ayuda del programa BIOMAP del programa ANUCLIM y el Modelo Digital de Elevación (MDE). La cartografía digital se generó con el modelo digital de elevación 90 x 90 m² (aproximadamente 0.00006723° o 0.0081 km²) de resolución espacial.

6.3 Verificación

Los modelos de distribución potencial pueden probarse o verificarse con datos de distribución no utilizados para generarlos (datos prueba) o con colectas de campo. Para conocer el porcentaje de los errores de omisión, comisión y evaluar la fortaleza y confiabilidad de los modelos, se calculó el índice del coeficiente Kappa, implementado en el programa ArcView 3.2 (Jennes & Wynne, 2006).

Se aplicó el análisis con el coeficiente Kappa a los grupos de especies de cactáceas, los registros se partieron aleatoriamente en dos juegos, con los cuales se generaron dos modelos de distribución potencial para cada grupo de especies, con un modelo y un conjunto de datos se realizó el ejercicio de verificación del otro de modelo y el otro conjunto de datos.

El coeficiente Kappa es empleado para medir la coincidencia entre dos subconjuntos de clases de un juego de datos con base en el tamaño de la muestra y la clasificación de los datos que se incorporan a esta aplicación. El resultado de este análisis muestra valores de los errores de omisión y comisión (de 0 a 1), así como un valor de probabilidad de que el modelo se ajuste mejor que al azar. (Jennes y Wynne, 2006).

7. RESULTADOS

De la compilación bibliográfica, la consulta de bases de datos, material de herbario y de datos georreferenciados en campo de presencia de las especies de cactáceas, se obtuvieron un total de 2326 registros georreferenciados para todas las especies registradas para el Valle de Tehuacán-Cuicatlán (Cuadro 2).

De las 83 especies, *Mammillaria tepexicensis*, *Echinocereus pulchellus* y *Opuntia* sp. no se incorporaron a los análisis debido a la carencia de registros adecuados, es decir, aunque bibliográficamente están citadas para el valle, las localidades son muy imprecisas y difíciles de localizar y georreferenciar.

Existen otros casos como las 10 especies (*Aporocactus martianus*, *Cylindropuntia imbricata*, *Heliocereus schrankii*, *Mammillaria duoformis*, *M. hernandezii*, *M. varieaculeata*, *Nopalea cochenillifera*, *Opuntia tehuantepecana*, *Rhipsalis baccifera* y *Selenicereus vagans*) marcadas con asterisco (Cuadro 2) que cuentan con uno o dos registros georreferenciados a las cuales solo se les pudo obtener los perfiles bioclimáticos, pero no se lograron proyectar a su espacio geográfico, por lo que al no obtener áreas de distribución potencial no fueron incluidas en este estudio.

Cuadro 2. Especies de cactáceas reportadas para el Valle de Tehuacán-Cuicatlán con número de registros utilizados para crear los perfiles bioclimáticos.

Genero	Especie	Autor	No. de Registros
<i>Acanthocereus</i>	<i>subinermis</i>	Britton & Rose	5
<i>Aporocactus</i>	<i>martianus</i> *	(Zucc.) Britton & Rose	2
<i>Cephalocereus</i>	<i>columna-trajani</i>	(Karw. ex Pfeiff.) K. Schum.	70
<i>Coryphantha</i>	<i>calipensis</i>	(Mart.) Lem.	26
<i>Coryphantha</i>	<i>pallida</i>	Britton & Rose	80
<i>Coryphantha</i>	<i>radians</i>	(DC.) Britton & Rose	9
<i>Coryphantha</i>	<i>retusa</i>	(Pfeiff.) Britton & Rose	15
<i>Cylindropuntia</i>	<i>imbricata</i> *	(Haw.) DC.	1
<i>Cylindropuntia</i>	<i>kleiniae</i>	DC.	4
<i>Cylindropuntia</i>	<i>leptocaulis</i>	DC.	13
<i>Cylindropuntia</i>	<i>rosea</i>	DC.	16

<i>Echinocactus</i>	<i>platyacanthus</i>	Link & Otto	83
<i>Echinocereus</i>	<i>pulchullus</i>	(Mart.) K. Shum.	0
<i>Escontria</i>	<i>chiotilla</i>	(F.A.C. Weber) Rose	72
<i>Ferocactus</i>	<i>flavovirens</i>	(Scheidw.) Britton & Rose	29
<i>Ferocactus</i>	<i>haematacanthus</i>	(Salm-Dyck) Bravo	15
<i>Ferocactus</i>	<i>macrodiscus</i>	(Mart.) Britton & Rose	12
<i>Ferocactus</i>	<i>recurvus</i>	(Mill.) Borg	105
<i>Ferocactus</i>	<i>robustus</i>	(Pfeiff.) Britton & Rose	54
<i>Heliocereus</i>	<i>schrunkii</i> *	(Zucc. ex Seitz) Britton & Rose	2
<i>Hylocereus</i>	<i>purpusii</i>	(Weing.) Britton & Rose	6
<i>Hylocereus</i>	<i>undatus</i>	(Haw.) Britton & Rose	9
<i>Mammillaria</i>	<i>carnea</i>	Zucc. ex Pfeiff.	94
<i>Mammillaria</i>	<i>crucigera</i>	Mart.	8
<i>Mammillaria</i>	<i>discolor</i>	Haw.	10
<i>Mammillaria</i>	<i>dixanthocentron</i>	Backeb.	29
<i>Mammillaria</i>	<i>duoformis</i> *	R.T. Craig & E.Y. Dawson	1
<i>Mammillaria</i>	<i>haageana</i>	Pfeiff.	127
<i>Mammillaria</i>	<i>hernandezii</i> *	Glass & R. Foster	2
<i>Mammillaria</i>	<i>huitzilopochtli</i>	D.R. Hunt	7
<i>Mammillaria</i>	<i>karwinskiana</i>	Mart.	3
<i>Mammillaria</i>	<i>kraehenbuehlii</i>	(Krainz) Krainz	7
<i>Mammillaria</i>	<i>mystax</i>	Mart.	30
<i>Mammillaria</i>	<i>napina</i>	J.A. Purpus	7
<i>Mammillaria</i>	<i>oteroi</i>	Glass & R. Foster	3
<i>Mammillaria</i>	<i>pectinifera</i>	(Stein) F.A.C. Weber	7
<i>Mammillaria</i>	<i>polyedra</i>	Mart.	11
<i>Mammillaria</i>	<i>solisoides</i>	Backeb.	6
<i>Mammillaria</i>	<i>sphacelata</i>	Mart.	107
<i>Mammillaria</i>	<i>supertexta</i>	Mart. ex Pfeiff.	4
<i>Mammillaria</i>	<i>tepexcensis</i>	J. Meyrán	0
<i>Mammillaria</i>	<i>uncinata</i>	Zucc. ex Pfeiff.	3
<i>Mammillaria</i>	<i>varieaculeata</i> *	F.G. Buchenau	1
<i>Mammillaria</i>	<i>zephyranthoides</i>	Scheidw.	4
<i>Mitrocereus</i>	<i>fulviceps</i>	(F.A.C. Weber ex K. Schum.)	44
<i>Myrtillocactus</i>	<i>geometrizzans</i>	(Mart. ex Pfeiff.) Console	115
<i>Myrtillocactus</i>	<i>schenckii</i>	(J.A. Purpus) Britton & Rose	19
<i>Neobuxbaumia</i>	<i>macrocephala</i>	(F.A.C. Weber) Dawson	44
<i>Neobuxbaumia</i>	<i>mezcalaensis</i>	(Bravo) Backeb.	21
<i>Neobuxbaumia</i>	<i>tetetzo</i>	(F.A.C. Weber) Backeb.	88
<i>Nopalea</i>	<i>auberi</i>	(Pfeiff.) Salm-Dyck	6
<i>Nopalea</i>	<i>cochenillifera</i> *	(L.) Salm-Dyck	2
<i>Opuntia</i>	<i>decumbens</i>	Salm-Dyck	25
<i>Opuntia</i>	<i>depressa</i>	Rose	60
<i>Opuntia</i>	<i>huajuapensis</i>	Bravo	25
<i>Opuntia</i>	<i>hyptiacantha</i>	F.A.C. Weber	10
<i>Opuntia</i>	<i>lasiacantha</i>	Pfeiff	18
<i>Opuntia</i>	<i>parviclada</i>	S. Arias & S. Gama	4

<i>Opuntia</i>	<i>pilifera</i>	F.A.C. Weber	140
<i>Opuntia</i>	<i>pubescens</i>	J.C. Wendel	22
<i>Opuntia</i>	<i>sp.</i>		0
<i>Opuntia</i>	<i>streptacantha</i>	Lem.	8
<i>Opuntia</i>	<i>tehuacana</i>	S. Arias & L.U. Guzmán	5
<i>Opuntia</i>	<i>tehuantepecana</i> *	(Bravo) Bravo	2
<i>Opuntia</i>	<i>tomentosa</i>	Salm-Dyck	16
<i>Opuntia</i>	<i>velutina</i>	F.A.C. Weber	16
<i>Pachycereus</i>	<i>grandis</i>	Rose	7
<i>Pachycereus</i>	<i>hollianus</i>	(F.A.C. Weber) Buxb.	110
<i>Pachycereus</i>	<i>marginatus</i>	(DC.) Britton & Rose	46
<i>Pachycereus</i>	<i>weberi</i>	(J.M. Coulter) Backeb.	63
<i>Peniocereus</i>	<i>serpentinus</i>	(Lagasca & Rodríguez) N.P. Taylor	4
<i>Peniocereus</i>	<i>viperinus</i>	(F.A.C. Weber) Buxb.	10
<i>Peresklopsis</i>	<i>rotundifolia</i>	(DC.) Britton & Rose	5
<i>Pilosocereus</i>	<i>chrysacanthus</i>	(F.A.C. Weber) Byles & G.D. Rowley	68
<i>Polaskia</i>	<i>chende</i>	(Gosselin) Gibson & Horak	32
<i>Polaskia</i>	<i>chichipe</i>	(Gosselin) Backeb.	32
<i>Rhipsalis</i>	<i>baccifera</i> *	(J.S. Muell.) Stearn	2
<i>Selenicereus</i>	<i>vagans</i> *	(K. Brandegee) Britton & Rose	1
<i>Stenocactus</i>	<i>crispatus</i>	(DC.) A. Berger ex A.W. Hill	12
<i>Stenocereus</i>	<i>dumortieri</i>	(Scheidw.) Buxb.	19
<i>Stenocereus</i>	<i>pruinus</i>	(Otto es Pfeiff.) Buxb.	59
<i>Stenocereus</i>	<i>stellatus</i>	(Pfeiff.) Riccob.	56
<i>Stenocereus</i>	<i>treleasei</i>	(Rose) Backeb.	11

Con base en la representación gráfica de cada perfil se obtuvieron las áreas de distribución potencial de 70 de las 83 especies de cactáceas (Cuadro 3). Se encontró que en la mayoría de los casos los modelos de distribución potencial reflejan de manera muy razonable la distribución de cada especie, debido a que coinciden los modelos con los registros conocidos de cada especie.

Cuadro 3. Áreas (ha) de ocupación potencial actual de 70 especies de cactáceas por intervalos porcentuales del perfil bioclimático.

Especie		Área potencial actual (ha) ocupada con respecto a los intervalos porcentuales del perfil bioclimático						
		Intervalos (%)	0-100	2.5-97.5	5-95	10-90	25-75	Área total (ha)
<i>Acanthocereus</i>	<i>subinermis</i>		1037	268	1467	14186	0	16958
<i>Cephalocereus</i>	<i>columna-trajani</i>		25535	32804	99016	34598	2443	194396
<i>Coryphantha</i>	<i>pycnacantha</i>		22864	35825	105176	84358	2573	250796
<i>Coryphantha</i>	<i>pallida</i>		196449	944061	513401	0	0	1653911
<i>Coryphantha</i>	<i>radians</i>		40920	16911	333017	19834	0	410682
<i>Coryphantha</i>	<i>retusa</i>		42663	43759	302211	195413	0	584046

<i>Cylindropuntia</i>	<i>kleiniae</i>	302	118	702	21877	515	23514
<i>Cylindropuntia</i>	<i>leptocaulis</i>	5500	5209	16299	9753	1044	37805
<i>Cylindropuntia</i>	<i>rosea</i>	0	330	260	5797	538	6925
<i>Echinocactus</i>	<i>platyacanthus</i>	69706	145061	47069	37636	3520	302992
<i>Escontria</i>	<i>chiotilla</i>	116197	573953	422869	222763	0	1335782
<i>Ferocactus</i>	<i>flavovirens</i>	26423	5891	51162	99044	0	182520
<i>Ferocactus</i>	<i>haematacanthus</i>	29946	20403	88391	69615	690	209045
<i>Ferocactus</i>	<i>macrodiscus</i>	913	16697	7055	44969	0	69634
<i>Ferocactus</i>	<i>recurvus</i>	345711	659400	318175	146706	0	1469992
<i>Ferocactus</i>	<i>robustus</i>	90407	274516	436472	0	0	801395
<i>Hylocereus</i>	<i>purpusii</i>	3090	323	1052	10851	3512	18828
<i>Hylocereus</i>	<i>undatus</i>	5518	3530	71038	12447	0	92533
<i>Mammillaria</i>	<i>carnea</i>	624158	599744	190374	146216	0	1560492
<i>Mammillaria</i>	<i>crucigera</i>	8980	8964	21784	48520	1541	89789
<i>Mammillaria</i>	<i>discolor</i>	17001	37892	200153	343114	777	598937
<i>Mammillaria</i>	<i>dixanthocentron</i>	144399	202148	802632	58953	0	1208132
<i>Mammillaria</i>	<i>haageana</i>	966099	995584	1665593	0	0	3627276
<i>Mammillaria</i>	<i>huitzilopochtli</i>	10140	83901	706	18652	1831	115230
<i>Mammillaria</i>	<i>karwinskiana</i>	131	0	7357	0	0	7488
<i>Mammillaria</i>	<i>kraehenbuehlii</i>	18480	6811	49291	142551	0	217133
<i>Mammillaria</i>	<i>mystax</i>	109098	121453	255704	348231	0	834486
<i>Mammillaria</i>	<i>napina</i>	869	503	433	19305	9	21119
<i>Mammillaria</i>	<i>oteroi</i>	9532	15937	21288	3298	3216	53271
<i>Mammillaria</i>	<i>pectinifera</i>	60369	9797	475025	3275	0	548466
<i>Mammillaria</i>	<i>polyedra</i>	71617	27337	243733	23865	4868	371420
<i>Mammillaria</i>	<i>solisoides</i>	3088	4767	4666	36760	8206	57487
<i>Mammillaria</i>	<i>sphacelata</i>	48329	619985	629622	0	0	1297936
<i>Mammillaria</i>	<i>supertexta</i>	14724	7179	147570	45788	4823	220084
<i>Mammillaria</i>	<i>uncinata</i>	161	363	463	390	8	1385
<i>Mammillaria</i>	<i>zephyranthoides</i>	52	21	1154	7562	1976	10765
<i>Mitrocereus</i>	<i>fulviceps</i>	162787	65813	213195	90607	0	532402
<i>Myrtillocactus</i>	<i>geometrizans</i>	291732	155347	224452	72835	0	744366
<i>Myrtillocactus</i>	<i>schenkii</i>	36498	35969	90501	320119	0	483087
<i>Neobuxbaumia</i>	<i>macrocephala</i>	256238	337116	106071	56469	0	755894
<i>Neobuxbaumia</i>	<i>mezcalaensis</i>	6235	12032	32248	129275	5146	184936
<i>Neobuxbaumia</i>	<i>tetetzo</i>	364737	211988	131183	79970	0	787878
<i>Nopalea</i>	<i>auberi</i>	1299	8733	4617	48208	1522	64379
<i>Opuntia</i>	<i>decumbens</i>	51733	73504	305681	11022	0	441940
<i>Opuntia</i>	<i>depressa</i>	73575	576635	277814	94156	0	1022180
<i>Opuntia</i>	<i>huajuapensis</i>	203394	186777	1181286	14484	0	1585941
<i>Opuntia</i>	<i>hyptiacantha</i>	30901	20713	101428	139297	2605	294944
<i>Opuntia</i>	<i>lasiacantha</i>	104978	84873	653117	90690	277	933935
<i>Opuntia</i>	<i>parviclada</i>	1632	4204	3071	113162	16819	138888
<i>Opuntia</i>	<i>pilifera</i>	1035544	493631	471842	182696	0	2183713
<i>Opuntia</i>	<i>pubescens</i>	105380	116699	258120	538117	11322	1029638
<i>Opuntia</i>	<i>streptacantha</i>	2927	11924	29658	174929	0	219438
<i>Opuntia</i>	<i>tehuacana</i>	1189	53034	566	6514	1833	63136
<i>Opuntia</i>	<i>tomentosa</i>	123595	99280	431773	22790	0	677438
<i>Opuntia</i>	<i>velutina</i>	90719	73683	971637	26528	0	1162567
<i>Pachycereus</i>	<i>grandis</i>	933	16349	514	1335	518	19649
<i>Pachycereus</i>	<i>hollianus</i>	57389	62912	46920	30191	0	197412
<i>Pachycereus</i>	<i>marginatus</i>	211028	159945	552887	352551	0	1276411
<i>Pachycereus</i>	<i>weberi</i>	264596	491873	482615	1854	0	1240938
<i>Peniocereus</i>	<i>serpentinus</i>	1889	3354	25191	20479	0	50913
<i>Peniocereus</i>	<i>viperinus</i>	10639	25427	86662	54392	0	177120
<i>Pereskia</i>	<i>rotundifolia</i>	439	19686	1319	37321	1029	59794
<i>Pilosocereus</i>	<i>chrysacanthus</i>	282343	490781	629048	10717	0	1412889
<i>Polaskia</i>	<i>chende</i>	164301	484000	1198559	5298	0	1852158
<i>Polaskia</i>	<i>chichipe</i>	104464	238151	122841	0	0	465456

<i>Stenocactus</i>	<i>crispatus</i>	1643	4392	187024	48119	73	241251
<i>Stenocereus</i>	<i>dumortieri</i>	34325	91984	117651	134348	0	378308
<i>Stenocereus</i>	<i>pruinosis</i>	88376	469532	690452	6920	0	1255280
<i>Stenocereus</i>	<i>stellatus</i>	103355	333197	416858	328070	0	1181480
<i>Stenocereus</i>	<i>treleasei</i>	9061	4636	35082	8505	0	57284

El modelado de la distribución potencial revela que el escenario de cambio climático (+0.8°C y -5% precipitación) propuesto por el PICC para el año 2025 no es tan drástico, pues solamente 11 de las 70 especies pierden más del 40% de sus áreas de distribución potencial y todas quedan dentro y entre los límites de la reserva. En el caso del otro escenario de cambio climático (+2°C y -15% de precipitación) 66 especies pierden más del 40% de sus áreas potenciales y 11 especies son las que pierden todas sus áreas potenciales con respecto a las áreas de distribución potencial actual (Cuadro 4) la mayoría quedan entre los límites y dentro de la reserva, pero existen especies como: *Coryphantha pycnacantha*, *C. radians*, *C. retusa*, *Ferocactus haematacanthus*, *F. macrosiscus*, *Mammillaria dixanthocentron*, *M. pectinifera*, *Myrtillicactus geometrizans*, *Neobuxbaumia macrocephala*, *N. tetetzo*, *Opuntia decumbens*, *O. huajuapensis*, *O. hyptiacantha*, *O. lasiacantha*, *O. streptacantha*, *Pachycereus hollianus* y *Pilosocereus chrysacanthus* las cuales independientemente de la cantidad de áreas que pierdan con este escenario de cambio climático para el año 2100 la mayoría de las áreas de estas especies quedarán fuera de los límites de la reserva. Caso contrario el de especies como: *Ferocactus robustus*, *Mamillaria napina*, *M. huitzilopochtli*, *M. crucigera* y *Neobuxbaumia mezcalaneis* las cuales mantienen sus áreas dentro de los límites de la reserva a pesar de los efectos drásticos de este escenario de cambio climático.

Los resultados para el año 2025 revelan otros casos como el de *Pereskiaopsis rotundifolia*, *Mammillaria polyedra* endémicas de México y *Cephalocereus columna-trajani* especie endémica del Valle de Tehuacán Cuicatlán (VTC) las cuales incrementan su áreas potenciales en 26%, 20% y 10% respectivamente. También se encuentran especies como *Coryphantha pycnacantha* endémica del VTC y *Pachycereus grandis* endémica de México que incrementan sus áreas 3% y 2% y *Peniocereus viperinus* también endémica de México y *Nopalea auberi*, las cuales incrementan 1% de sus áreas. En el caso de *Mammillaria kraehenbuehlii* y *Neobuxbaumia macrocephala*, ambas endémicas del VTC, mantienen su áreas de distribución potencial sin cambio bajo este escenario de cambio climático (Cuadro 4 y Figura 2).

Para las demás especies, con el primer escenario de cambio climático se presenta una disminución en sus áreas potenciales entre el 1% y 57%, pero con el escenario de cambio climático del 2100 (+2°C y -15% precipitación) la respuesta individual está representado por un mayor porcentaje de disminución en las áreas de distribución potencial en comparación con las áreas de distribución actual (Cuadro 4). Por ejemplo, las especies que son endémicas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán: *Cephalocereus columna-trajani*, *Echinocactus platyacanthus*, *Ferocactus flavovirens*, *Ferocactus haematacanthus*, *Ferocactus recurvus*, *Ferocactus robustus*, *Mammillaria crucigera*, *M. huitzilopochtli*, *M. napina*, *M. pectinifera*, *M. supertexta*, *Opuntia parviclada*, *O. tehuacana*, *Pachycereus hollianus*, *Polaskia chende* y *P. chichipe*, pierden con el primer escenario de cambio climático entre el 1 y el 20% y con el segundo escenario de cambio climático pierden en el casos de *Ferocactus haematacanthus* 10% y en las demás especies entre el 53% y hasta el 100% de sus áreas. *Coryphantha pycnantha*, con el primer escenario de cambio climático incrementa su área potencial en 3% y con el escenario para el 2100 pierde el 72% de su área potencial. *Mammillaria kraehenbuehlii* y *Neobuxbaumia macrocephala* con el escenario menos drástico mantienen sus áreas de distribución potencial pero con el otro escenario pierden el 92% y 54% de sus áreas potenciales (Cuadro 4 y Figura 2).

Las especies endémicas de México *Coryphantha radians*, *Mammillaria dixanthocentron*, *M. haageana*, *M. mystax*, *Opuntia hyptiacantha* y *O. pilifera* pierden con el primer escenario de cambio climático entre el 1 y el 10% de sus áreas y con el otro escenario de cambio pierden entre el 40 y el 89% de sus áreas potenciales. En el caso de *Nopalea auberi*, *Mammillaria polyedra*, *Peniocereus viperinus* y *Pereskopsis rotundifolia* incrementan sus áreas en 1%, 1%, 20% y 26% respectivamente y con el segundo escenario de cambio climático más drástico pierden el 100%, 83%, 30% y 88% de sus áreas potenciales respectivamente (Cuadro 4 y Figura 3).

Las especies *Acanthocereus subinermis*, *Coryphantha pallida*, *C. retusa*, *Cylindropuntia rosea*, *Escontria chiotilla*, *Mammillaria carnea*, *M. solisoides*, *M. sphacelata*, *M. uncinata*, *M. zephyranthoides*, *Myrtillocactus geometrizans*, *M. schenckii*, *Opuntia depressa*, *O.*

huajuapensis, *O. lasiacantha*, *O. streptacantha*, *O. velutina*, *Peniocereus serpentinus*, *Pilosocereus chrysacanthus*, *Stenocereus dumortieri*, *S. pruinosus*, *S. stellatus* y *S. treleasei* también endémicas de México, pierden entre 11 y 57% de sus áreas potenciales con el primer escenario de cambio climático, con el otro escenario de cambio en el clima pierden más de la mitad y hasta el 100% de sus áreas potenciales. Un último caso es el de las especies endémicas de México *Ferocactus macrodiscus*, *Hylocereus purpusii* y *Mammillaria karwinskiana*, que con el primer escenario de cambio climático pierden el 71%, 81% y 100% respectivamente y que con el escenario de cambio más drástico pierden el 100% de sus áreas de distribución potencial (Cuadro 4 y Figura 3).

Para el caso de las especies de amplia distribución *Cylindropuntia kleiniae*, *C. leptocaulis*, *Hylocereus undatus*, *Neobuxbaumia mezcalaensis*, *Opuntia decumbens*, *O. pubescens*, *O. tomentosa*, *Pachycereus marginatus*, *P. weberi* y *Stenocactus crispatus* pierden con el primer escenario de cambio climático entre 1% y 33% de sus áreas potenciales y con el escenario más drástico pierden entre más de la mitad y hasta el 100% de sus áreas de distribución potencial y *Pachycereus grandis* gana 2% de las áreas potenciales para el año 2025, pero pierde con el otro escenario de cambio el 96% de su área de distribución potencial (Cuadro 4 y Figura 4).

Cuadro 4. Especies de cactáceas y sus áreas (ha) de distribución potencial actual y con los dos escenarios de cambio climático propuestos por el PICC (+0.8°C y -5% precipitación y +2°C y -15% de lluvia).

Especies		Áreas de distribución potencial			% de cambio de áreas de distribución potencial año 2025 (+0.8°C -5% lluvia)	% de cambio de áreas de distribución potencial año 2100 (+2°C -15% lluvia)
		actual	Escenario de cambio climático año 2025 +0.8°C -5% lluvia	Escenario de cambio climático año 2100 +2°C -15% lluvia		
<i>Acanthocereus</i>	<i>subinermis</i>	16958	14342	559	-15	-97
<i>Cephalocereus</i>	<i>columna-trajani</i>	194396	213267	60719	10	-69
<i>Coryphantha</i>	<i>pallida</i>	1653911	1376436	544380	-17	-67
<i>Coryphantha</i>	<i>pycnantha</i>	250796	259209	71333	3	-72
<i>Coryphantha</i>	<i>radians</i>	410682	402416	46707	-2	-89
<i>Coryphantha</i>	<i>retusa</i>	584046	510953	105156	-13	-82
<i>Cylindropuntia</i>	<i>kleiniae</i>	23514	19800	0	-16	-100
<i>Cylindropuntia</i>	<i>leptocaulis</i>	37805	27316	218	-28	-99
<i>Cylindropuntia</i>	<i>rosea</i>	6925	5265	0	-24	-100
<i>Echinocactus</i>	<i>platyacanthus</i>	302992	269752	171511	-11	-43
<i>Escontria</i>	<i>chiotilla</i>	1335782	1156187	398887	-13	-70
<i>Ferocactus</i>	<i>flavovirens</i>	182520	148221	7554	-19	-96

<i>Ferocactus</i>	<i>haematacanthus</i>	209045	200472	187363	-4	-10
<i>Ferocactus</i>	<i>macrodiscus</i>	69634	20266	0	-71	-100
<i>Ferocactus</i>	<i>recurvus</i>	1469992	1314314	695224	-11	-53
<i>Ferocactus</i>	<i>robustus</i>	801395	678460	252749	-15	-68
<i>Hylocereus</i>	<i>purpusii</i>	18828	3610	0	-81	-100
<i>Hylocereus</i>	<i>undatus</i>	92533	91797	24137	-1	-74
<i>Mammillaria</i>	<i>carnea</i>	1560492	1390552	731743	-11	-53
<i>Mammillaria</i>	<i>crucigera</i>	89789	77153	1239	-14	-99
<i>Mammillaria</i>	<i>discolor</i>	598937	481552	219134	-20	-63
<i>Mammillaria</i>	<i>dixanthocentron</i>	1208132	1125155	334875	-7	-72
<i>Mammillaria</i>	<i>haageana</i>	3627276	3317404	2177093	-9	-40
<i>Mammillaria</i>	<i>huitzilopochtli</i>	115230	91825	6694	-20	-94
<i>Mammillaria</i>	<i>karwinskiana</i>	7488	0	0	-100	-100
<i>Mammillaria</i>	<i>kraehenbuehlii</i>	217133	216409	16939	0	-92
<i>Mammillaria</i>	<i>mystax</i>	834486	790368	347678	-5	-58
<i>Mammillaria</i>	<i>napina</i>	21119	19952	821	-6	-96
<i>Mammillaria</i>	<i>oteroi</i>	53271	28186	1543	-47	-97
<i>Mammillaria</i>	<i>pectinifera</i>	548466	521650	50013	-5	-91
<i>Mammillaria</i>	<i>polyedra</i>	371420	446991	61464	20	-83
<i>Mammillaria</i>	<i>solisoides</i>	57487	43528	0	-24	-100
<i>Mammillaria</i>	<i>sphacelata</i>	1297936	1004391	566414	-23	-56
<i>Mammillaria</i>	<i>supertexta</i>	220084	196302	85733	-11	-61
<i>Mammillaria</i>	<i>uncinata</i>	1385	596	0	-57	-100
<i>Mammillaria</i>	<i>zephyranthoides</i>	10765	9272	0	-14	-100
<i>Mitrocereus</i>	<i>fulviceps</i>	532402	491779	100258	-8	-81
<i>Myrtillocactus</i>	<i>geometrizans</i>	744366	569847	178114	-23	-76
<i>Myrtillocactus</i>	<i>schenkii</i>	483087	384728	71114	-20	-85
<i>Neobuxbaumia</i>	<i>macrocephala</i>	755894	752149	346159	0	-54
<i>Neobuxbaumia</i>	<i>mezcalaensis</i>	184936	139431	7278	-25	-96
<i>Neobuxbaumia</i>	<i>tetetzo</i>	787878	585359	154335	-26	-80
<i>Nopalea</i>	<i>auberi</i>	64379	65298	0	1	-100
<i>Opuntia</i>	<i>decumbens</i>	441940	295239	81612	-33	-82
<i>Opuntia</i>	<i>depressa</i>	1022180	739460	253001	-28	-75
<i>Opuntia</i>	<i>huajuapensis</i>	1585941	1417664	681685	-11	-57
<i>Opuntia</i>	<i>hyptiacantha</i>	294944	290700	176106	-1	-40
<i>Opuntia</i>	<i>lasiacantha</i>	933935	834800	412231	-11	-56
<i>Opuntia</i>	<i>parvielada</i>	138888	100687	15446	-28	-89
<i>Opuntia</i>	<i>pilifera</i>	2183713	1977332	1086582	-9	-50
<i>Opuntia</i>	<i>pubescens</i>	1029638	921163	344718	-11	-67
<i>Opuntia</i>	<i>streptacantha</i>	219438	104775	16350	-52	-93
<i>Opuntia</i>	<i>tehuacana</i>	63136	7722	0	-88	-100
<i>Opuntia</i>	<i>tomentosa</i>	677438	612809	306455	-10	-55
<i>Opuntia</i>	<i>velutina</i>	1162567	897264	327770	-23	-72
<i>Pachycereus</i>	<i>grandis</i>	19649	19955	825	2	-96
<i>Pachycereus</i>	<i>hollianus</i>	197412	157006	15208	-20	-92
<i>Pachycereus</i>	<i>marginatus</i>	1276411	1080476	494686	-15	-61
<i>Pachycereus</i>	<i>weberi</i>	1240938	1045483	291072	-16	-77
<i>Peniocereus</i>	<i>serpentinus</i>	50913	30910	0	-39	-100
<i>Peniocereus</i>	<i>viperinus</i>	177120	178574	123842	1	-30
<i>Peresklopsis</i>	<i>rotundifolia</i>	59794	75395	7382	26	-88
<i>Pilosocereus</i>	<i>chrysacanthus</i>	1412889	1196019	369111	-15	-74
<i>Polaskia</i>	<i>chende</i>	1852158	1735296	874037	-6	-53
<i>Polaskia</i>	<i>chichipe</i>	465456	405045	73119	-13	-84
<i>Stenocactus</i>	<i>crispatus</i>	241251	209325	16671	-13	-93
<i>Stenocereus</i>	<i>dumortieri</i>	378308	311612	21047	-18	-94
<i>Stenocereus</i>	<i>pruinosis</i>	1255280	923573	211454	-26	-83
<i>Stenocereus</i>	<i>stellatus</i>	1181480	1024828	335469	-13	-72
<i>Stenocereus</i>	<i>treleasei</i>	57284	42027	1251	-27	-98

Figura 2. Gráfica de porcentajes de cambio de áreas potenciales en los dos escenarios de cambio climático para las especies endémicas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.

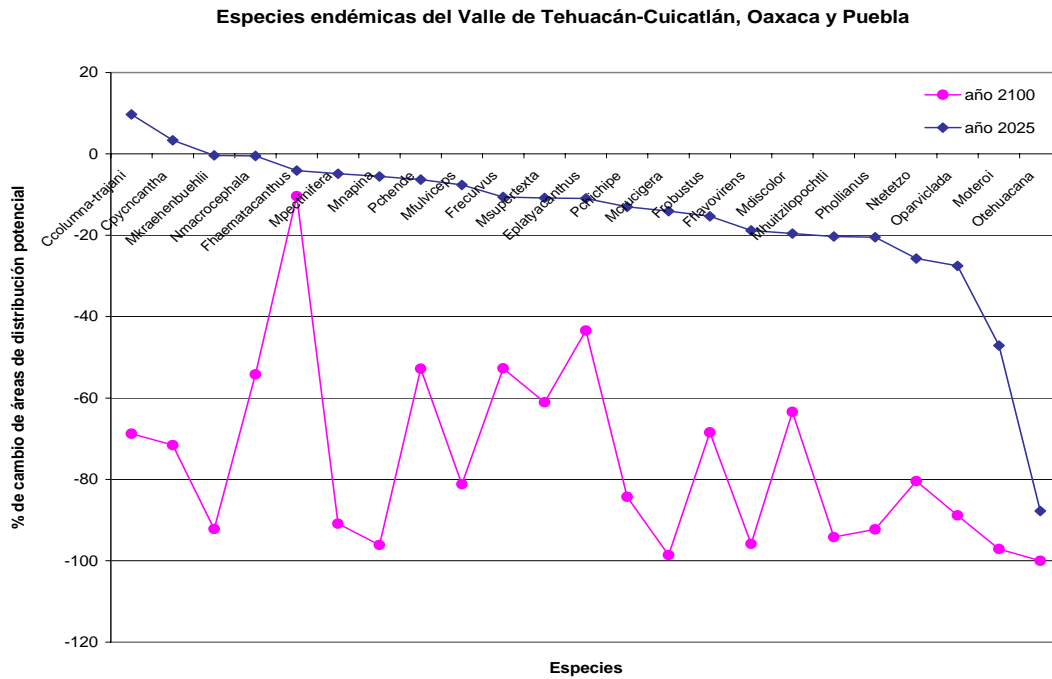


Figura 3. Gráfica de porcentajes de cambio de áreas potenciales en los dos escenarios de cambio climático para las especies del Valle de Tehuacán-Cuicatlán endémicas de México.

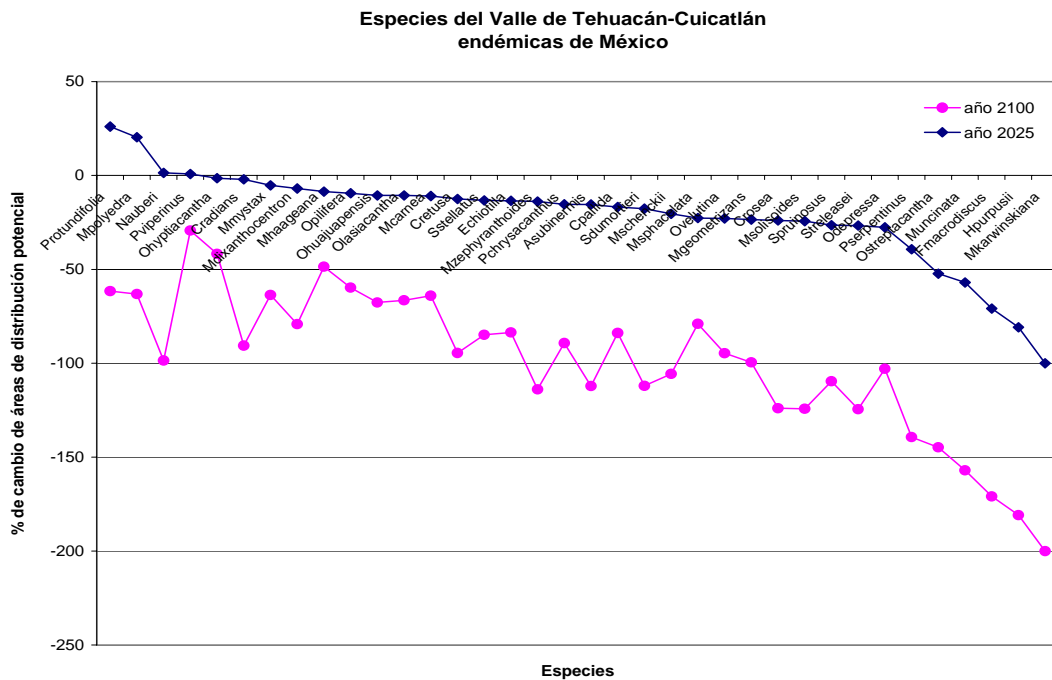
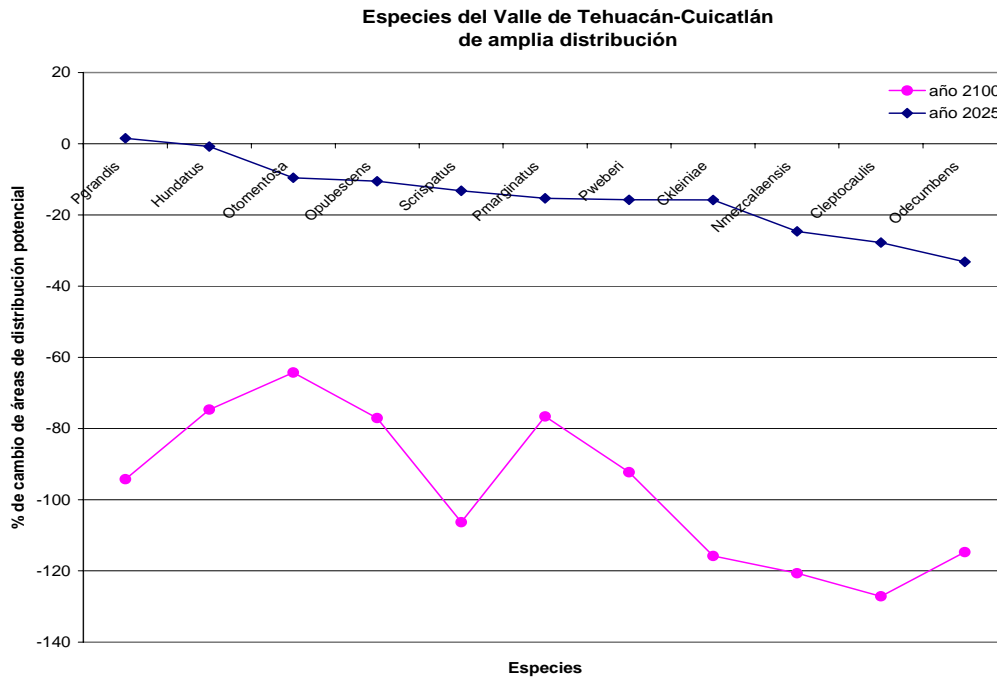


Figura 4. Gráfica de porcentajes de cambio de áreas potenciales en los dos escenarios de cambio climático para las especies de cactáceas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán de amplia distribución.



El agrupamiento de las 70 especies de cactáceas de acuerdo con la semejanza climática dada por los perfiles bioclimáticos de los ambientes de cada especie, con un índice de disimilitud de 0.22 dio como resultado la formación de 8 grupos (Cuadro 5 y Figura 2).

El **grupo 1** se encuentran especies como *Acanthocereus subinermis*, *Hylocereus undatus*, *Mammillaria crucigera*, *M. huitzilopochtli*, *M. supertexta*, *Cylindropuntia leptocaulis* y *Pachycereus weberi*.

En el **grupo 2** se encuentran la mayoría de las cactáceas columnares, tales como *Cephalocereus columna-trajani*, *Escontria chiotilla*, *Myrtillocactus geometrizans*, *M. schenkii*, *Neobuxbaumia tetetzo*, *Pachycereus hollianus*, *P. marginatus*, *Pilosocereus chrysacanthus*, *Stenocereus pruinosus* y *S. stellatus*, además de cactáceas de menor talla como *Coryphantha pycnantha* var. *calipensis*, *C. pallida*, *Ferocactus recurvus*, *Mammillaria carnea*, *Peniocereus viperinus*, *Opuntia decumbens*, *O. depressa*, *O. parviclada*, *O. pilifera* y *O. pubescens*.

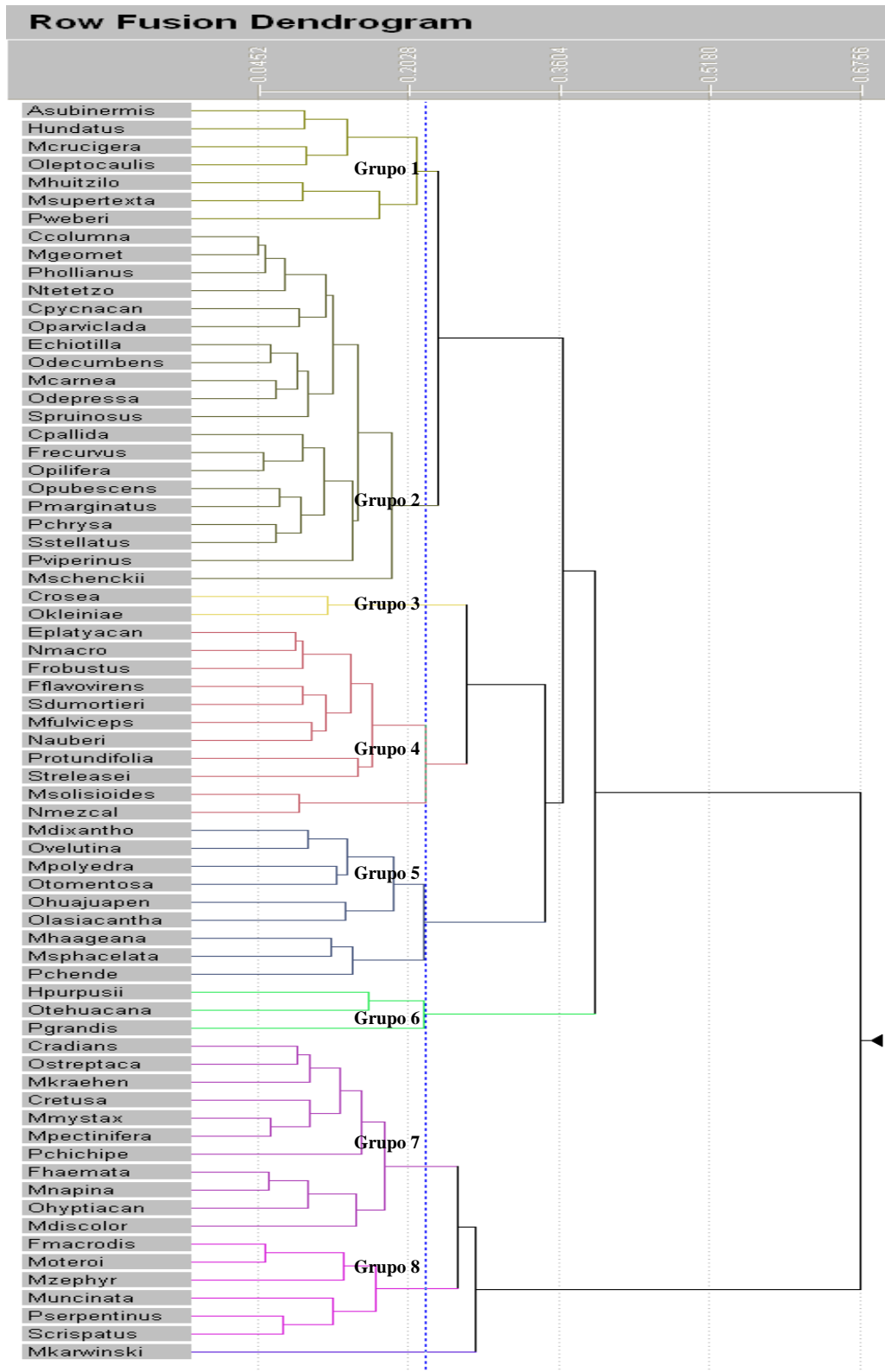
En el **grupo 3** se encuentran *Cylindropuntia kleiniae* y *C. rosea* y en el **grupo 4** se agruparon especies como *Echinocactus platyacanthus*, *Ferocactus flavovirens*, *F. robustus*, *Mammillaria solisoides*, *Mitrocereus fulviceps*, *Nopalea auberi*, *Neobuxbaumia macrocephala*, *N. mezcalaensis*, *Pereskiaopsis rotundifolia*, *Stenocereus dumortieri* y *S. treleasei*.

En el **grupo 5** se agruparon *Mammillaria dixanthocentron*, *M. haageana*, *M. polyedra*, *M. sphacelata*, *Opuntia huajuapensis*, *O. lasiacantha*, *O. tomentosa*, *O. velutina* y *Polaskia chende*, en el **grupo 6** *Hylocereus purpusii*, *Opuntia tehuacana* y *Pachycereus grandis*, en el **grupo 7** se agrupan *Coryphantha radians*, *C. retusa*, *Ferocactus haematacanthus*, *Mammillaria discolor*, *M. kraehenbuehlii*, *M. mystax*, *M. napina*, *M. pectinifera*, *Opuntia hyptiacantha*, *O. streptacantha* y *Polaskia chichipe* y en el **grupo 8** *Ferocactus macrodiscus*, *Mammillaria oteroi*, *M. uncinata*, *M. zephyranthoides*, *Peniocereus serpentinus* y *Stenocactus crispatus*. Finalmente *Mammillaria karwinskiana* no se agrupo.

Cuadro 5. Grupos de especies acuerdo con la semejanza de sus perfiles bioclimáticos.

Grupo 1		Grupo 3		Grupo 6	
<i>Acanthocereus</i>	<i>subinermis</i>	<i>Cylindropuntia</i>	<i>kleiniae</i>	<i>Hylocereus</i>	<i>purpusii</i>
<i>Cylindropuntia</i>	<i>leptocaulis</i>	<i>Cylindropuntia</i>	<i>rosea</i>	<i>Opuntia</i>	<i>tehuacana</i>
<i>Hylocereus</i>	<i>undatus</i>			<i>Pachycereus</i>	<i>grandis</i>
<i>Mammillaria</i>	<i>crucigera</i>	Grupo 4			
<i>Mammillaria</i>	<i>huitzilopochtli</i>	<i>Echinocactus</i>	<i>platyacanthus</i>	Grupo 7	
<i>Mammillaria</i>	<i>supertexta</i>	<i>Ferocactus</i>	<i>flavovirens</i>	<i>Coryphantha</i>	<i>radians</i>
<i>Pachycereus</i>	<i>weberi</i>	<i>Ferocactus</i>	<i>robustus</i>	<i>Coryphantha</i>	<i>retusa</i>
		<i>Mammillaria</i>	<i>solisoides</i>	<i>Ferocactus</i>	<i>haematacanthus</i>
Grupo 2		<i>Mitrocereus</i>	<i>fulviceps</i>	<i>Mammillaria</i>	<i>discolor</i>
<i>Cephalocereus</i>	<i>columna-trajani</i>	<i>Nopalea</i>	<i>auberi</i>	<i>Mammillaria</i>	<i>kraehenbuehlii</i>
<i>Coryphantha</i>	<i>pycnacantha</i> var. <i>calipensis</i>	<i>Neobuxbaumia</i>	<i>macrocephala</i>	<i>Mammillaria</i>	<i>mystax</i>
<i>Coryphantha</i>	<i>pallida</i>	<i>Neobuxbaumia</i>	<i>mezcalaensis</i>	<i>Mammillaria</i>	<i>napina</i>
<i>Escontria</i>	<i>chiotilla</i>	<i>Peniocereus</i>	<i>viperinus</i>	<i>Mammillaria</i>	<i>pectinifera</i>
<i>Ferocactus</i>	<i>recurvus</i>	<i>Pereskia</i>	<i>rotundifolia</i>	<i>Opuntia</i>	<i>hyptiacantha</i>
<i>Mammillaria</i>	<i>carnea</i>	<i>Stenocereus</i>	<i>dumortieri</i>	<i>Opuntia</i>	<i>streptacantha</i>
<i>Myrtillocactus</i>	<i>geometrizzans</i>	<i>Stenocereus</i>	<i>treleasei</i>	<i>Polaskia</i>	<i>chichipe</i>
<i>Myrtillocactus</i>	<i>schenkii</i>				
<i>Neobuxbaumia</i>	<i>tetetzio</i>	Grupo 5		Grupo 8	
<i>Opuntia</i>	<i>decumbens</i>	<i>Mammillaria</i>	<i>dixanthocentron</i>	<i>Ferocactus</i>	<i>macrodiscus</i>
<i>Opuntia</i>	<i>depressa</i>	<i>Mammillaria</i>	<i>haageana</i>	<i>Mammillaria</i>	<i>oteroi</i>
<i>Opuntia</i>	<i>parviclada</i>	<i>Mammillaria</i>	<i>polyedra</i>	<i>Mammillaria</i>	<i>uncinata</i>
<i>Opuntia</i>	<i>pilifera</i>	<i>Mammillaria</i>	<i>sphacelata</i>	<i>Mammillaria</i>	<i>zephyranthoides</i>
<i>Opuntia</i>	<i>pubescens</i>	<i>Opuntia</i>	<i>huajuapensis</i>	<i>Peniocereus</i>	<i>serpentinus</i>
<i>Pachycereus</i>	<i>hollianus</i>	<i>Opuntia</i>	<i>lasiacantha</i>	<i>Stenocactus</i>	<i>crispatus</i>
<i>Pachycereus</i>	<i>marginatus</i>	<i>Opuntia</i>	<i>tomentosa</i>		
<i>Pilosocereus</i>	<i>chrysacanthus</i>	<i>Opuntia</i>	<i>velutina</i>		
<i>Stenocereus</i>	<i>pruinosis</i>	<i>Polaskia</i>	<i>chende</i>		
<i>Stenocereus</i>	<i>stellatus</i>				

Figura 5. Dendrograma del agrupamiento de 70 especies de cactáceas.



Para determinar y entender cuáles de los parámetros bioclimáticos podrían explicar la conformación de los grupos, se aplicó un Análisis de Componentes Principales (PCA). El resultado del análisis indica que los eigenvalores de los tres primeros componentes que resultan de este análisis, explican la variación en un 77.45% (Cuadro 6). Esto es un buen discriminante entre los grupos conformados por las especies de cactáceas. Los caracteres más importantes del primer componente son la temperatura promedio anual, la temperatura del cuatrimestre más lluvioso, así como la temperatura del cuatrimestre más cálido. En el segundo componente los caracteres más importantes son la precipitación del cuatrimestre más seco y para el tercer componente la precipitación del cuatrimestre más lluvioso.

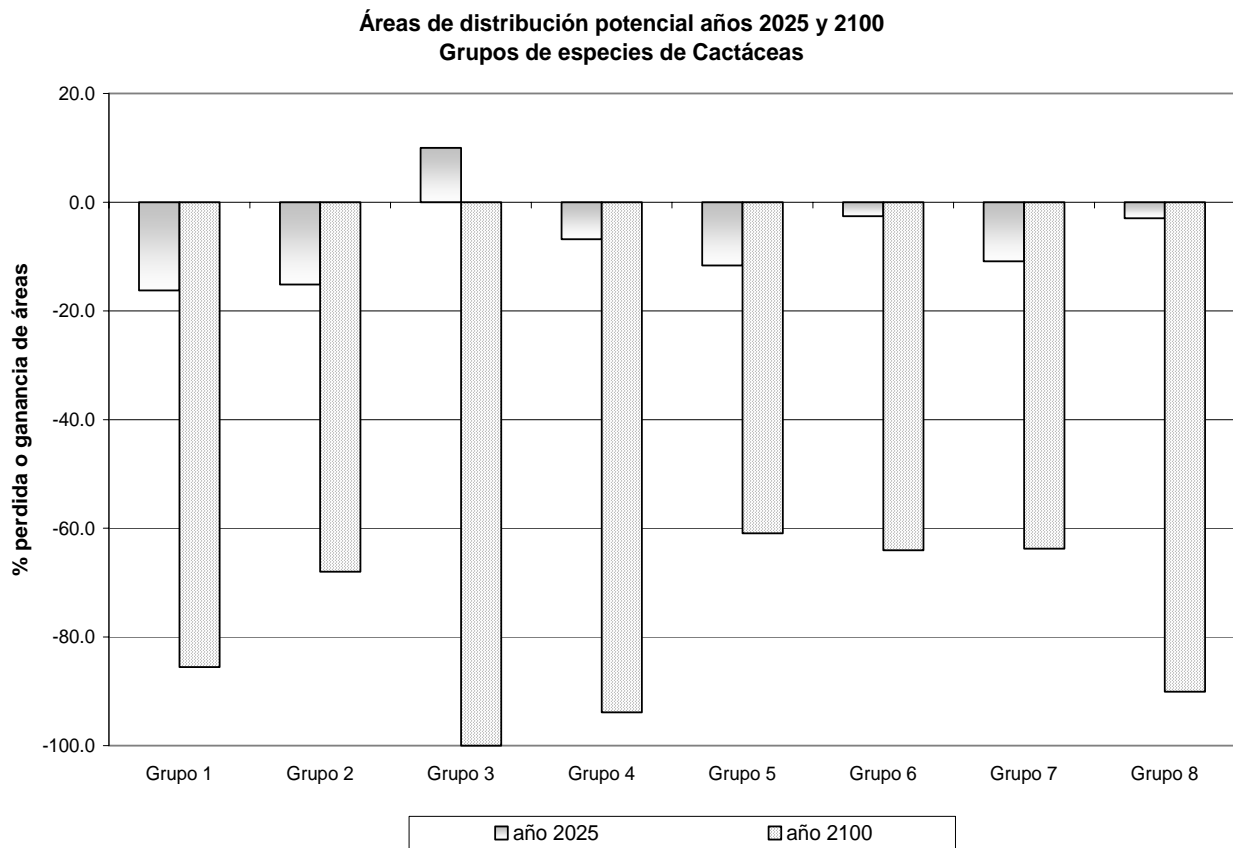
Cuadro 6. Resultado del análisis de componentes principales.

	Eje 1 Temperatura promedio anual. Temperatura del cuatrimestre más lluvioso. Temperatura del cuatrimestre más cálido.	Eje 2 Precipitación del cuatrimestre más seco.	Eje 3 Precipitación del cuatrimestre más lluvioso.
Eigenvalores	38.013	14.611	13.213
Porcentaje	44.721	17.190	15.545
Porcentaje acumulado	44.721	61.911	77.456

A partir del agrupamiento de las especies se generaron los perfiles bioclimáticos con los 19 parámetros bioclimáticos para cada grupo (ANEXO I, Cuadro 1A). A los perfiles por cada grupo se les aplicó los dos escenarios de cambio climático y en la proyección de los perfiles bioclimáticos en el espacio geográfico, sólo se proyectó el intervalo que coincide con la mayoría de los registros, interpretado aquí como el intervalo porcentual que determina mejor la tolerancia climática de las especies. Los resultados muestran que para las condiciones climáticas propuestas de incremento de 0.8°C y disminución de 5% de precipitación, para el año 2025 habrá una disminución en las áreas de distribución potencial para todos los grupos que van desde el 2.8% en el caso del grupo 8 y hasta una disminución del 26.6% para el grupo

1 (Figura 6 y Cuadro 1B del ANEXO II). Para el escenario de incremento de 2°C y disminución del 15% de precipitación, para el año 2100 habrá una disminución en las áreas de distribución potencial para todos los grupos de más del 27% y hasta la pérdida potencial de todas las áreas de distribución en el caso del grupo 3 (Figura 6 y Cuadro 2B del ANEXO II).

Figura 6. Cambio en áreas de distribución potencial con los dos escenarios de cambio climático



Las especies que conforman el **grupo 1** se encuentran entre 515 y 2050 msnm y los resultados del modelado indican que sus áreas de distribución potencial se localizan hacia el NW de la reserva, en la region de Chazumba y hacia el centro en el Valle de Zapotitlán, Río Santa Lucía, Río Xiquila-Río Salado y la Sierra de Ixcatlán; en Calipan-Coxcatlán, Los Cues-Tecomavaca y Quiotepec al E de la reserva y hacia el S en Dominguillo. Con el escenario de cambio climático para el año 2025 (Figura 7), este grupo contrae sus áreas potenciales en un 16.2%, perdiendo áreas potenciales solo en la región de Chazumba y de los Cues-Tecomavaca a Quiotepec. Para el escenario de cambio climático de incremento de 2°C y disminución de la precipitación en 15% (Figura 8), las áreas potenciales actuales de contraen en 85.5%, las cuales se concentran en la parte S de la reserva en pequeñas áreas entre Río Xiquila-Río Salado, Sierra de Ixcatlán y Dominguillo.

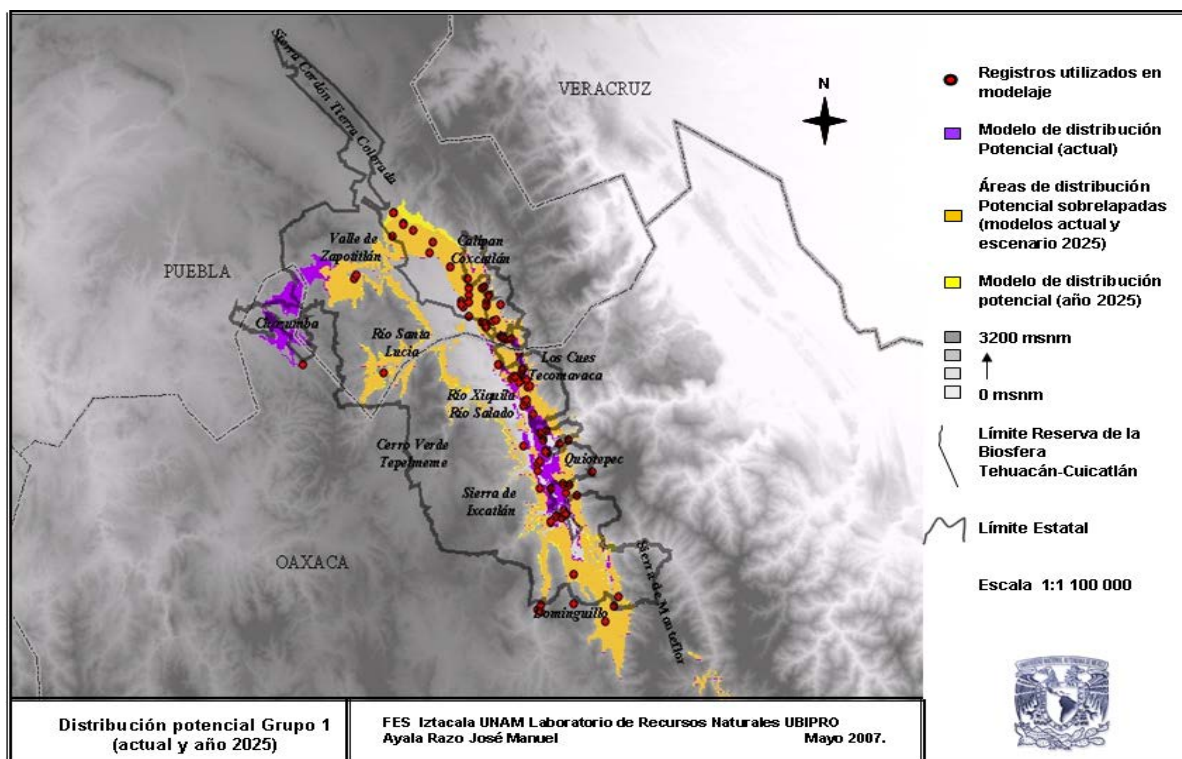


Figura 7. Áreas de distribución potencial intervalo 3 (5-95%) del perfil bioclimático para el grupo 1 con el escenario actual y para el año 2025.

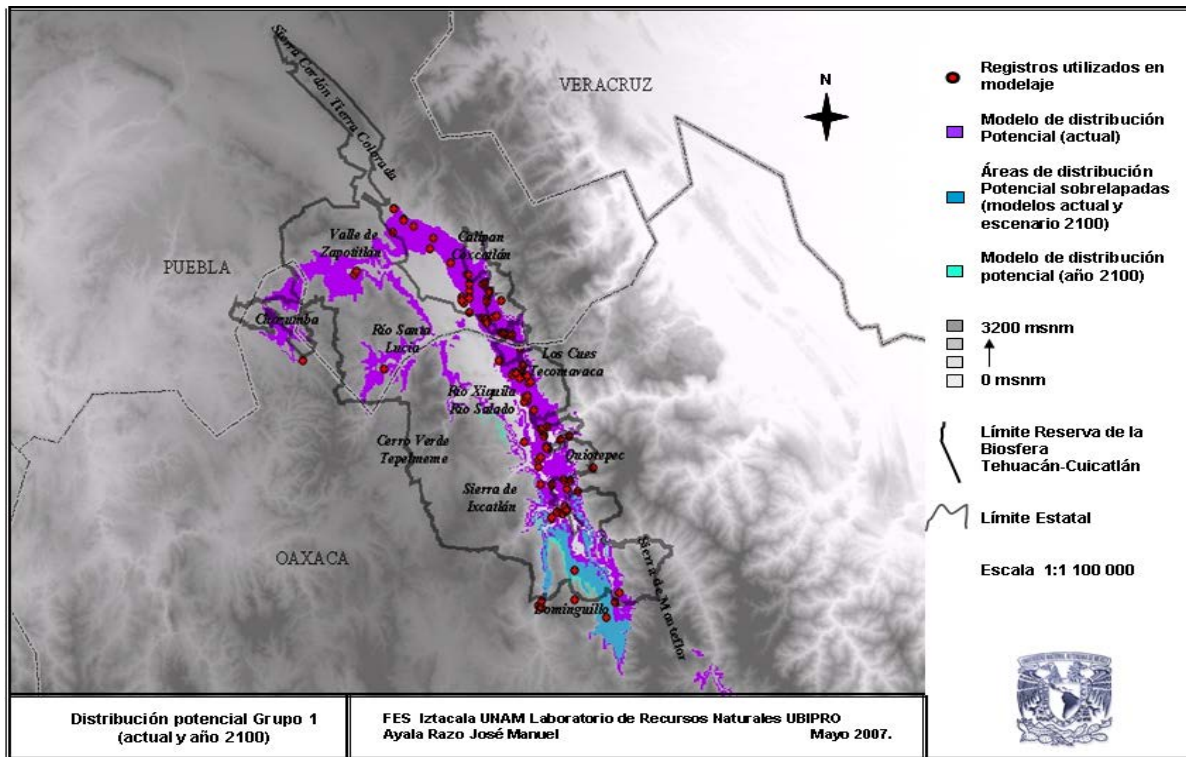


Figura 8. Áreas de distribución potencial intervalo 3 (5-95%) del perfil bioclimático para el grupo 1 con el escenario actual y para el año 2100.

Las especies que integran el **grupo 2** se encuentran entre los 575 y 2500 msnm y más de la mitad de las áreas de distribución potencial se localizan fuera de los límites de la reserva; dentro de los límites de la reserva este grupo se distribuye hacia el NW de la reserva en la región de Chazumba, hacia el centro en el Valle de Zapotitlán, Río Santa Lucía y la Sierra de Ixcatlán, hacia el E en Calipan-Coxcatlán, Los Cues-Tecomavaca, Quiotepec y Dominguillo al S. Con el escenario de cambio climático en el año 2025 (Figura 9) este grupo contrae sus áreas en un 15.2%, las áreas que se pierden con este escenario son las que se ubican fuera de los límites de la reserva. Con el escenario de cambio del clima para el año 2100 (Figura 10) las áreas potenciales se contraen en un 67.5% localizandose en Calipan-Coxcatlán, Río Santa Lucía, Río Xiquila-Río Salado, Sierra de Ixcatlán y Dominguillo; con los dos escenarios de cambio climático los modelos sugieren que la mayor parte de las áreas potenciales se encontrarán dentro de los límites de la reserva.

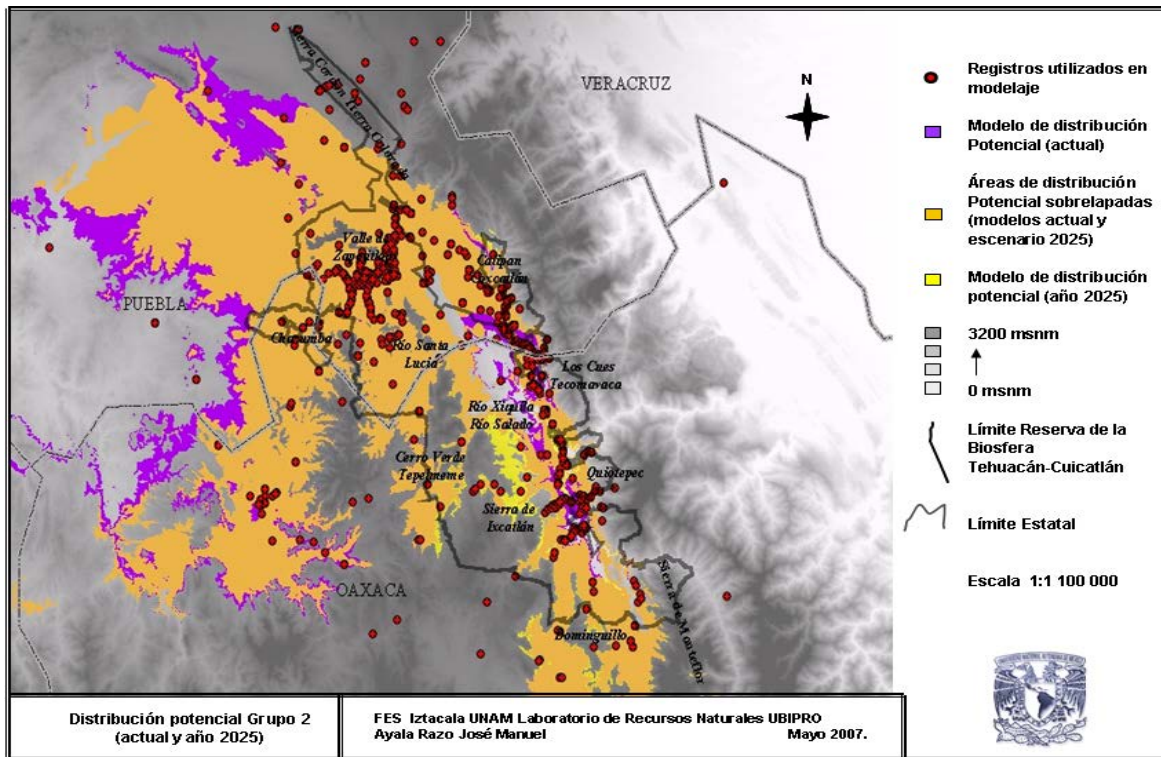


Figura 9. Áreas de distribución potencial del intervalo 3 (5-95%) del perfil bioclimático para el grupo 2 con el escenario actual y para el año 2025.

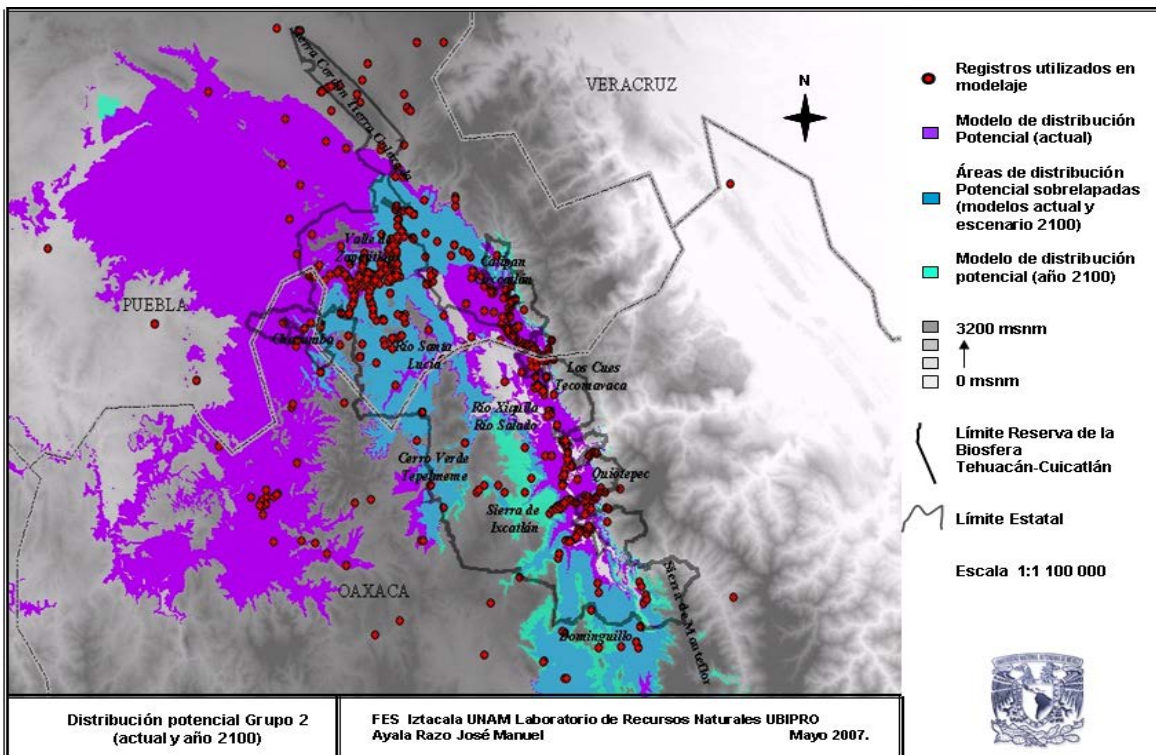


Figura 10. Áreas de distribución potencial del intervalo 3 (5-95%) del perfil bioclimático para el grupo 2 con el escenario actual y para el año 2100.

Las especies del **grupo 3** habitan en zonas con altitudes de 1200 a 1670 msnm y la distribución de las áreas potenciales no es tan amplia como en otros grupos. Estas áreas se distribuyen solamente en las cercanías a la región del Valle de Zapotitlán hacia el Río Santa Lucía y hacia Calipan-Coxcatlán. Para este grupo el escenario de cambio climático (+0.8°C y -5% de lluvia) incrementará en 26.9% sus áreas potenciales (Figura 11), en cambio con el otro escenario (+2°C y -15% de precipitación) será muy drástico debido a que perderá el 100% de sus áreas de ocupación potencial, lo que sugiere que las especies que conforman este grupo se extinguirán para el 2100.

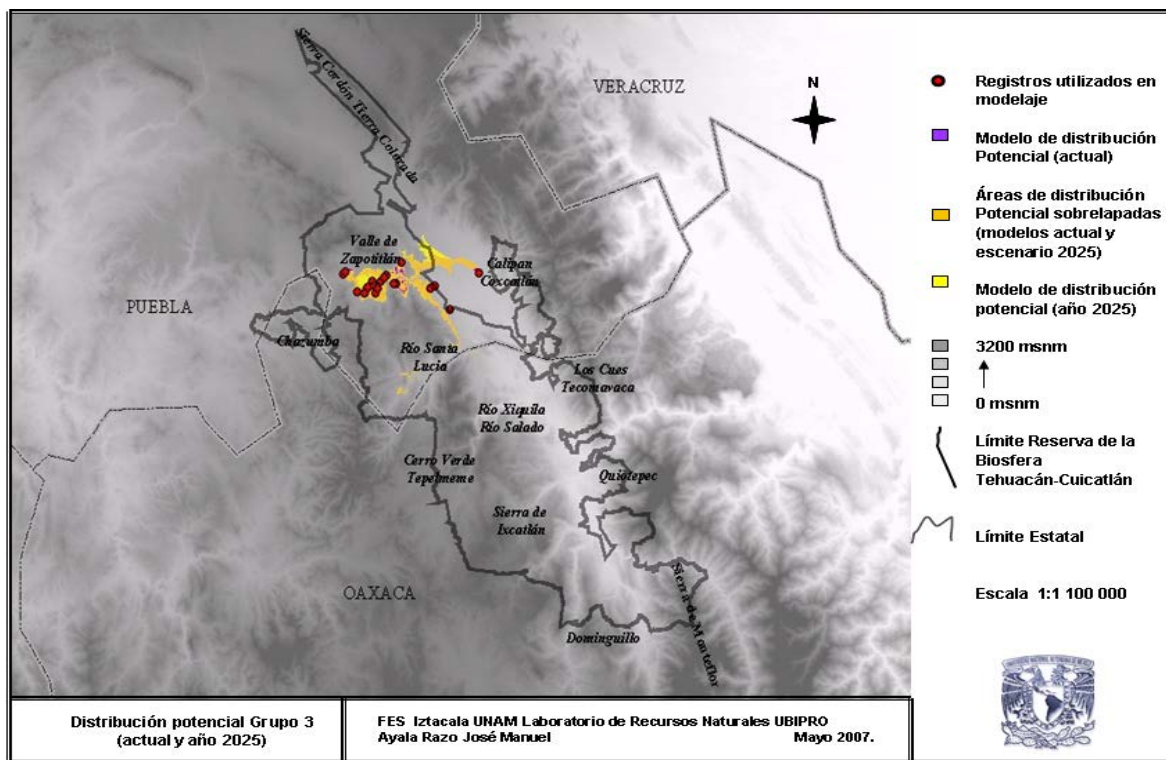


Figura 11. Áreas de distribución potencial del intervalo 4 (10-90%) del perfil bioclimático para el grupo 3 con el escenario actual y para el año 2025.

Las especies del **grupo 4** altitudinalmente se encuentran desde los 590 hasta los 2471 msnm y las áreas potenciales se distribuyen en la parte NW de la reserva, principalmente en las regiones de Chazumba y hacia el centro en el Valle de Zapotitlán, en el Río Santa Lucía y una pequeña parte de la región de Cerro Verde-Tepelmeme. Para este grupo el escenario de cambio climático para el año 2025 (Figura 12) tendrá una pérdida en sus áreas de 6.8%, pero para el año 2100 puede considerarse muy drástico pues la disminución de sus áreas es del 93.9% (Figura 13), las cuales se encuentran dentro de la reserva en las regiones de Río Santa Lucía y Cerro Verde-Tepelmeme.

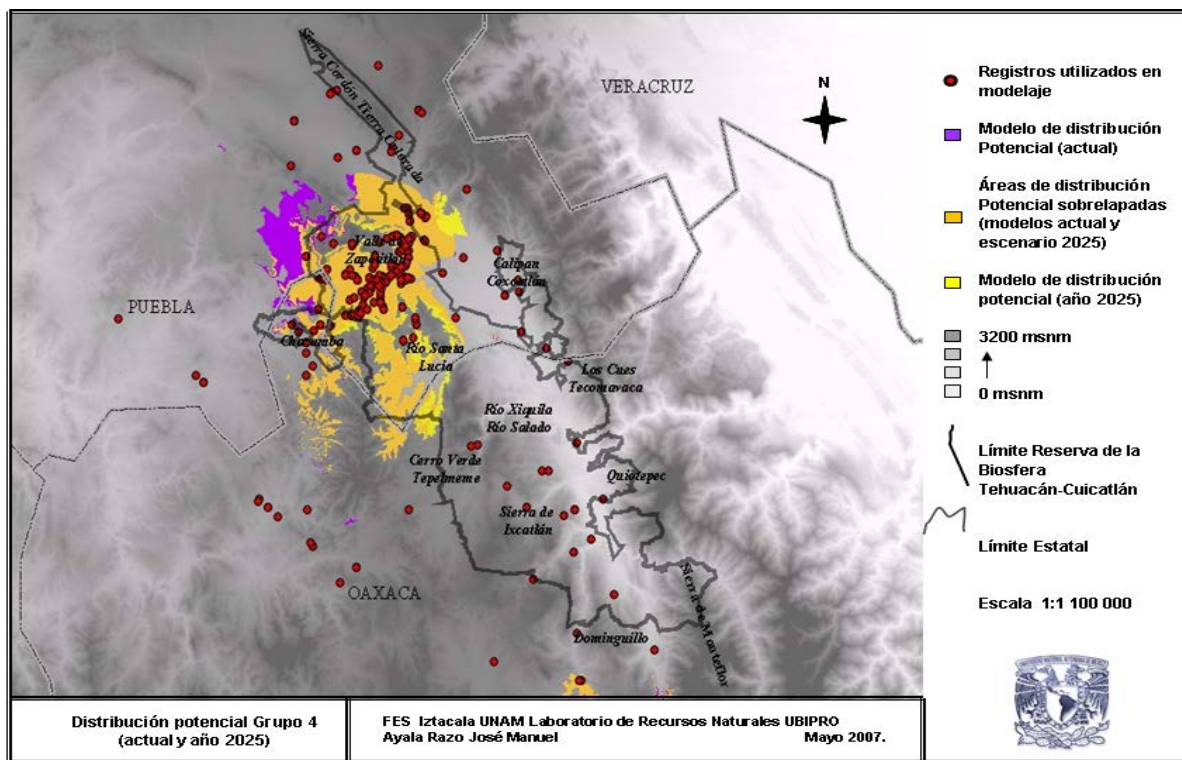


Figura 12. Áreas de distribución potencial del intervalo 4 (10-90%) del perfil bioclimático para el grupo 4 con el escenario actual y para el año 2025.

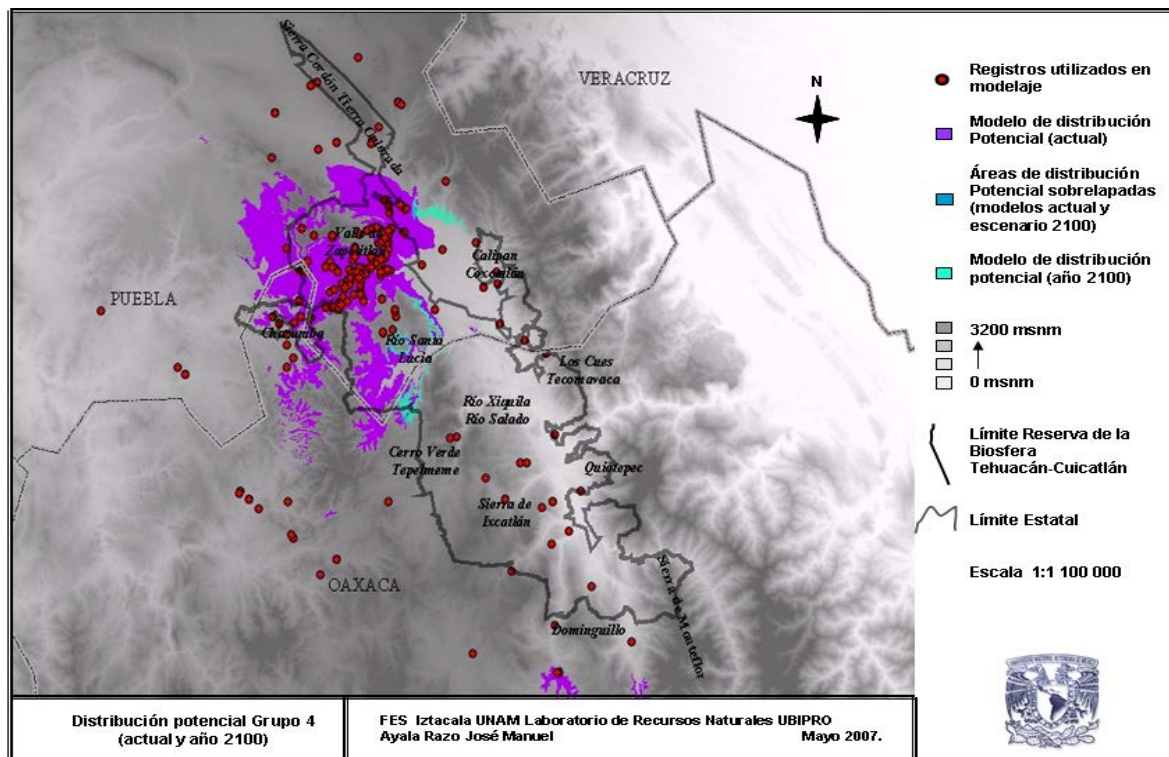


Figura 13. Áreas de distribución potencial del intervalo 4 (10-90%) del perfil bioclimático para el grupo 4 con el escenario actual y para el año 2100.

Para el **grupo 5** el intervalo altitudinal es de 606 a 2840 msnm. La mayoría de las áreas de distribución potencial se encuentran fuera de los límites de la reserva y se distribuyen principalmente del centro de la reserva hacia la parte W en las regiones del Valle de Zapotitlán, Chazumba, Río Santa Lucía, Cerro Verde-Tepelmeme, Sierra de Ixcatlán al NE en Calipan-Coxcatlán y hacia el S en Dominguillo. Con el escenario de cambio climático en el año 2025 (Figura 14) este grupo contrae sus áreas potenciales en un 11.7%, perdiendo áreas sólo en las regiones fuera de la reserva al NW. Con el otro escenario de cambio de clima, las áreas se contraen el 60.9% (Figura 15); la mayor parte se encuentran fuera y entre los límites de la reserva, localizándose en la parte N en Tehuacán, al NE en Calipan-Coxcatlán, al W y SW en Río Santa Lucía, Cerro Verde-Tepelmeme, Sierra de Ixcatlán, al S en Dominguillo y la parte S de la Sierra de Monteflor.

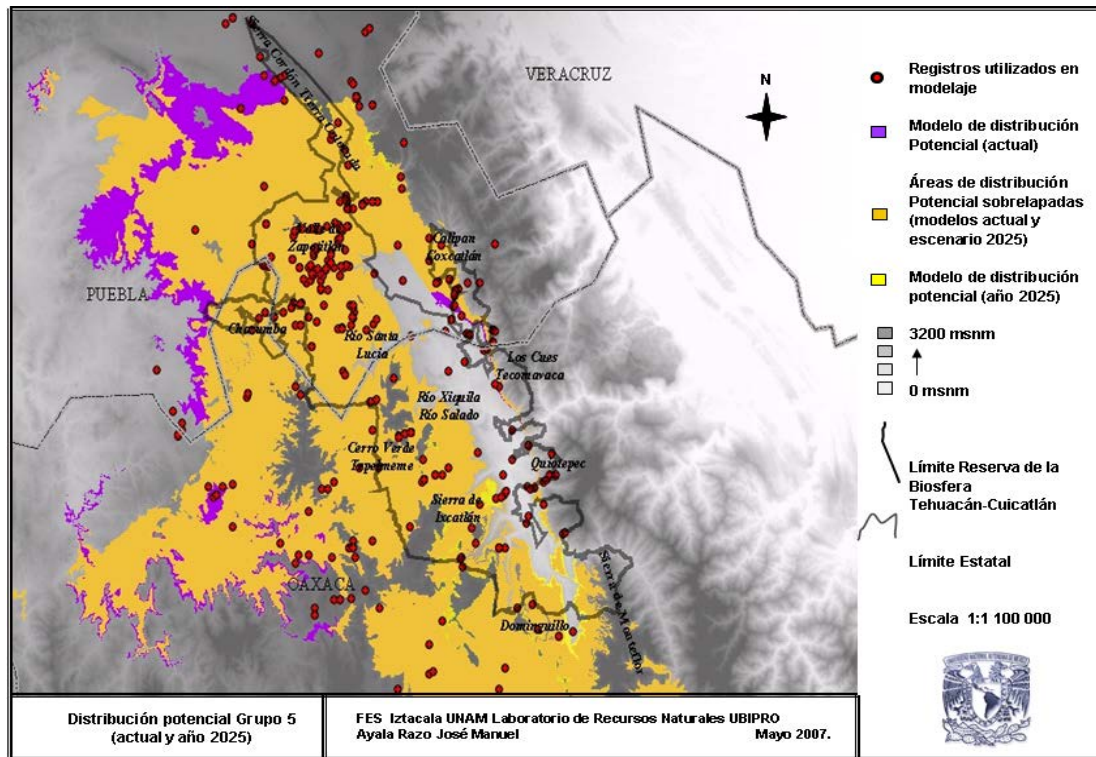


Figura 14. Áreas de distribución potencial del intervalo 3 (5-95%) del perfil bioclimático para el grupo 5 con el escenario actual y para el año 2025.

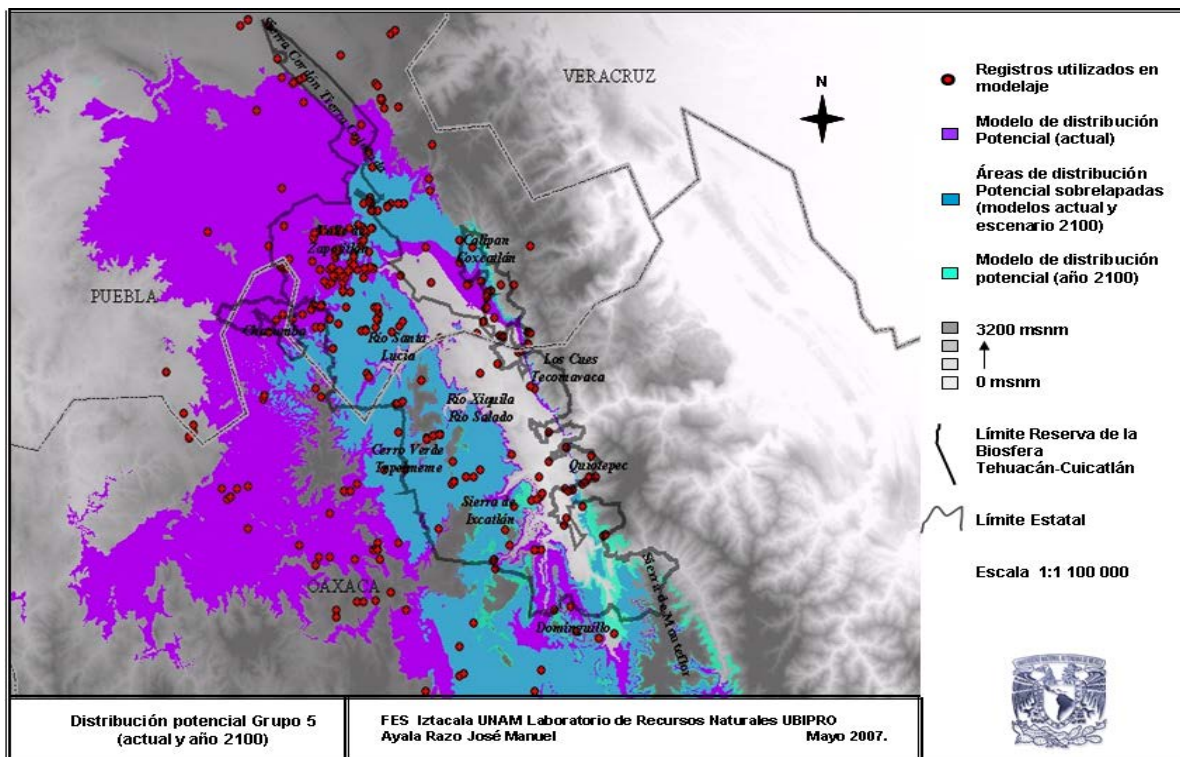


Figura 15. Áreas de distribución potencial del intervalo 3 (5-95%) del perfil bioclimático para el grupo 5 con el escenario actual y para el año 2100.

Para el **grupo 6** la altitud va de 657 a 1803 msnm y las áreas de distribución potencial se distribuyen principalmente en la parte E, siguiendo una trayectoria hacia el SE por toda la reserva en las regiones de Calipan-Coxcatlán, Los Cues-Tecomavaca, Quiotepec y parte de la Sierra de Monteflor. Con el primer escenario de cambio climático (año 2025) estas áreas se contraen solo el 2.6% (Figura 16) y con el segundo escenario (año 2100) las áreas se contraen más de la mitad (64.1%) y se concentra entre Calipan-Coxcatlán y Los Cues-Tecomavaca (Figura 17).

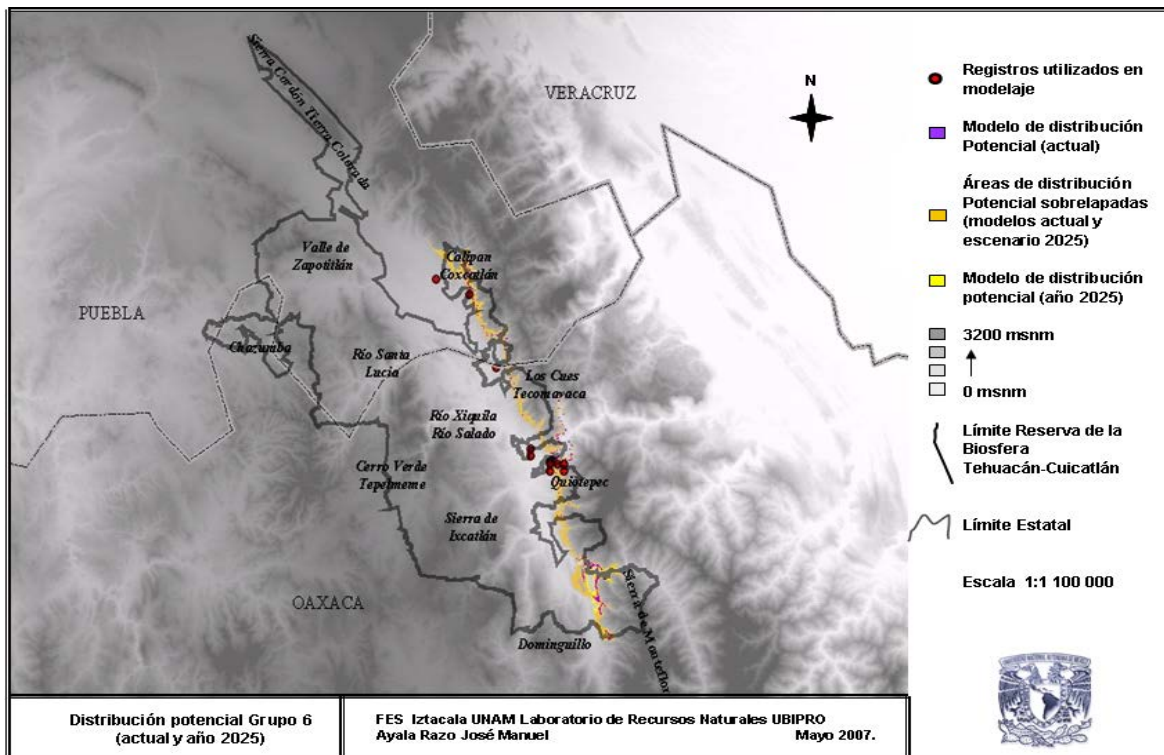


Figura 16. Áreas de distribución potencial en el intervalo 4 (10-90%) del perfil bioclimático para el grupo 6 con el escenario actual y para el año 2025.

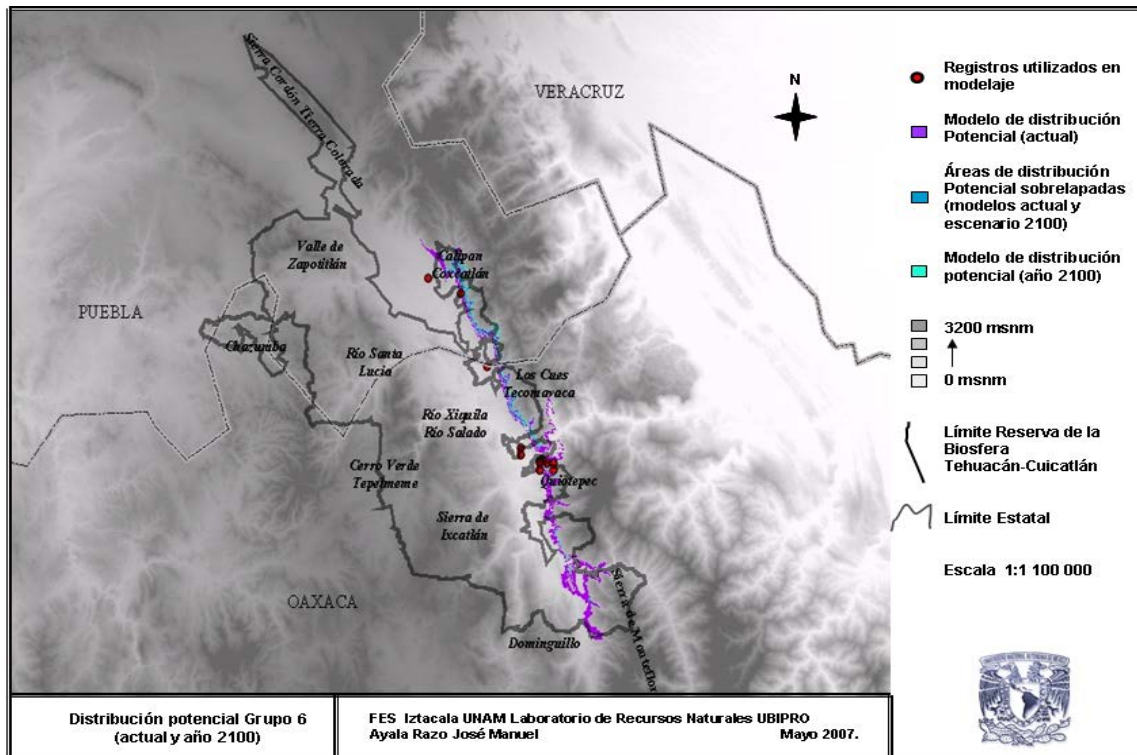


Figura 17. Áreas de distribución potencial en el intervalo 4 (10-90%) del perfil bioclimático para el grupo 6 con el escenario actual y para el año 2100.

La mayoría de las áreas de distribución potencial para el **grupo 7** se encuentran fuera de los límites de la reserva y se distribuyen principalmente en las regiones de la Sierra Cordón Tierra Colorada, el Valle de Zapotitlán, Chazumba, Río Santa Lucía y Cerro Verde-Tepelmeme y pocas áreas en la Sierra de Ixcatlán, en una altitud de entre los 883 a los 2700 msnm. Con el escenario de cambio climático (+0.8°C y -5% de precipitación) este grupo pierde el 10.9% de sus áreas (Figura 18) y con el escenario de cambio climático para el año 2100 (+2°C y -15% de lluvia) contrae el 62.5% de sus áreas potenciales (Figura 19) quedando la mayor parte de ellas fuera de la reserva, pero una parte importante del modelo queda dentro de los límites de la reserva, principalmente en las áreas del Río Santa Lucía, Cerro Verde-Tepelmeme, Río Xiquila-Río Salado y la Sierra de Ixcatlán.

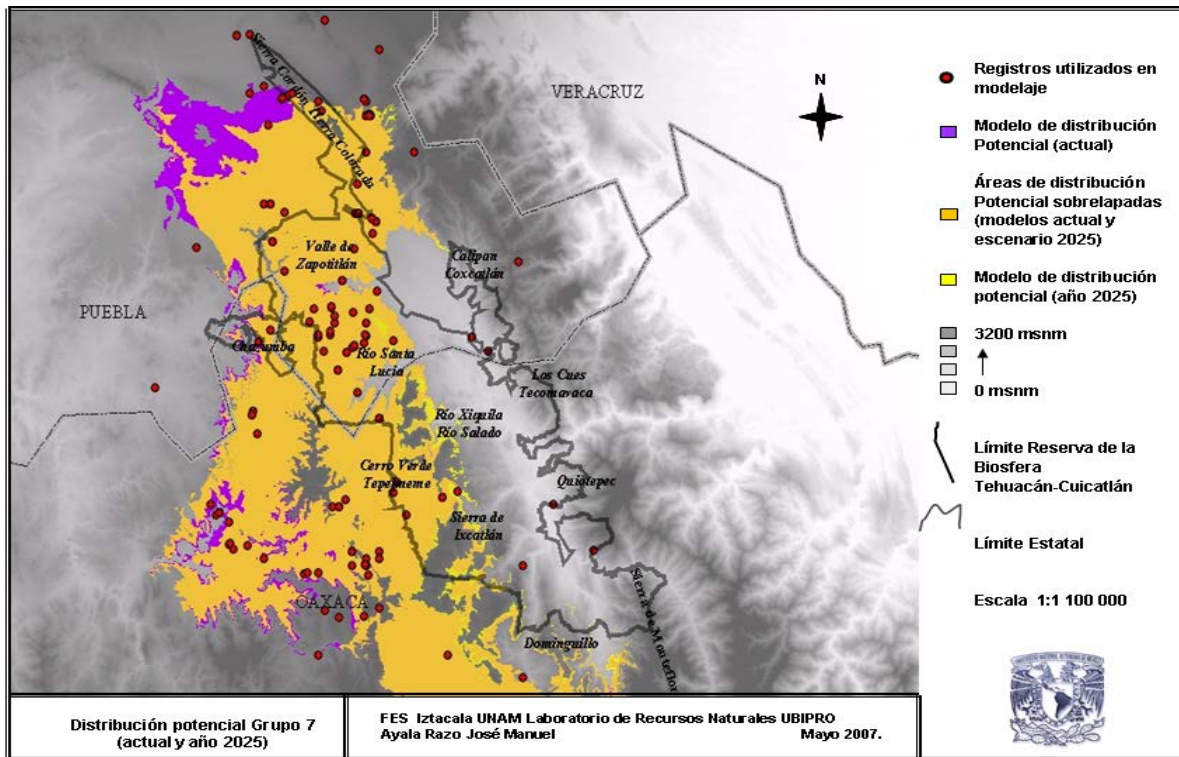


Figura 18. Áreas de distribución potencial del intervalo 3 (5-95%) del perfil bioclimático para el grupo 7 con el escenario actual y para el año 2025.

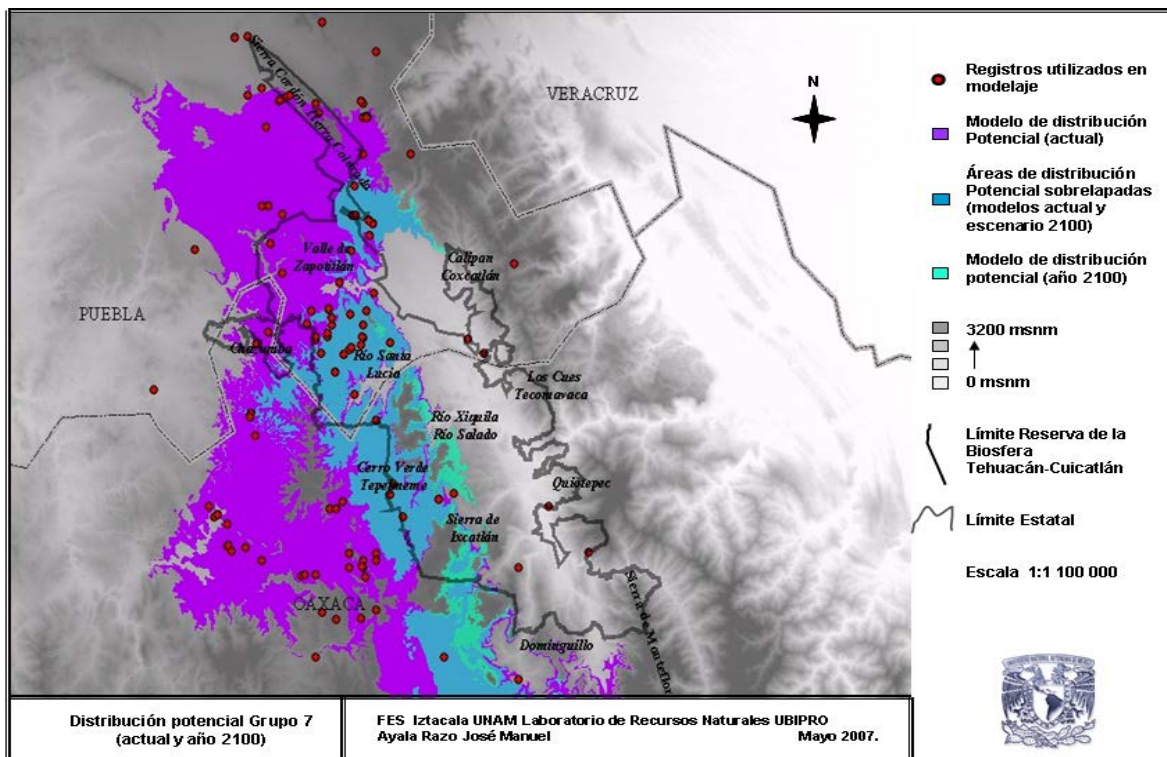


Figura 19. Áreas de distribución potencial del intervalo 3 (5-95%) del perfil bioclimático para el grupo 7 con el escenario actual y para el año 2100.

Las áreas de ocupación potencial para el **grupo 8** se localizan en altitudes de entre 1600 a 2700 msnm, principalmente en la parte SW de la reserva en las regiones de Sierra de Ixcatlán, Cerro Verde-Tepelmeme, al centro en Río Xiquila-Río Salado Río Santa Lucia, también en pequeñas áreas al N de la reserva en las regiones de la Sierra Cordón Tierra Colorada y el Valle de Zapotitlán. Con el escenario de cambio climático para el año 2025 (+0.8°C y -5% de precipitación) este grupo disminuye el 3% de su áreas potenciales (Figura 20) y contrae el 82% de sus áreas con el escenario para el año 2100 (+2°C y -15% de lluvia), quedando sólo una pequeña parte en la Sierra de Ixcatlán (Figura 21).

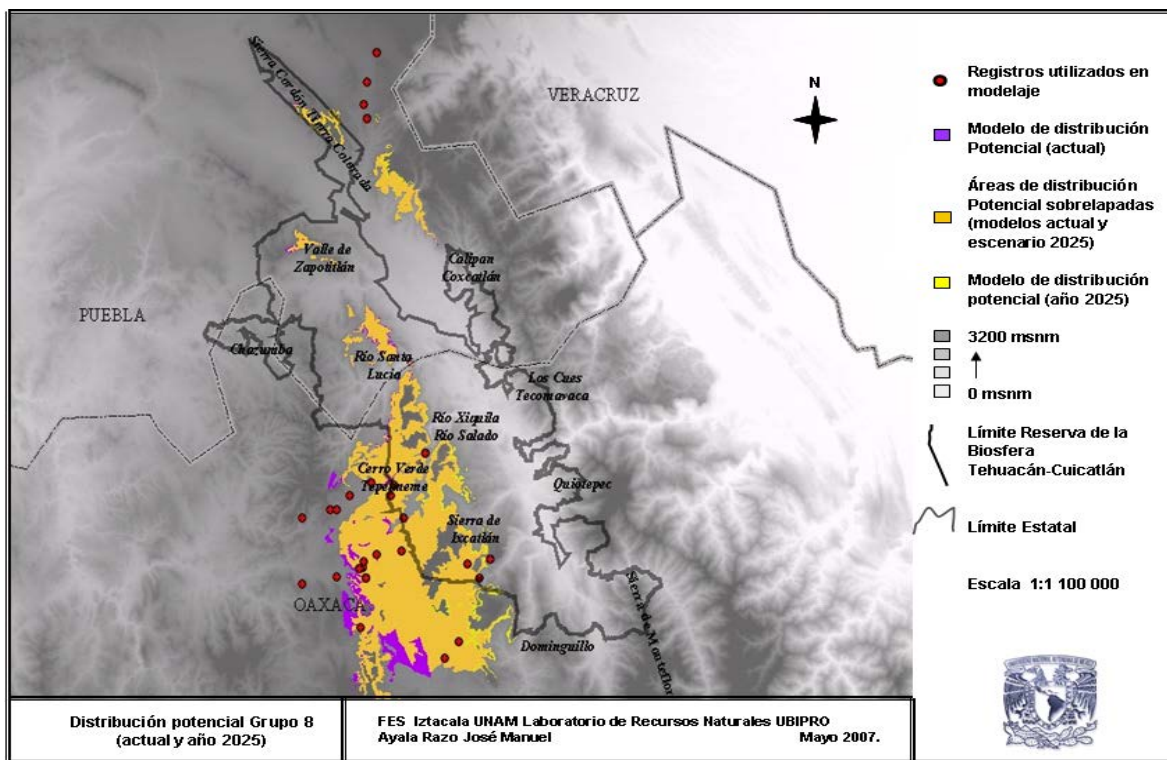


Figura 20. Áreas de distribución potencial del intervalo 4 (10-90 %) del perfil bioclimático para el grupo 8 con el escenario actual y para el año 2025.

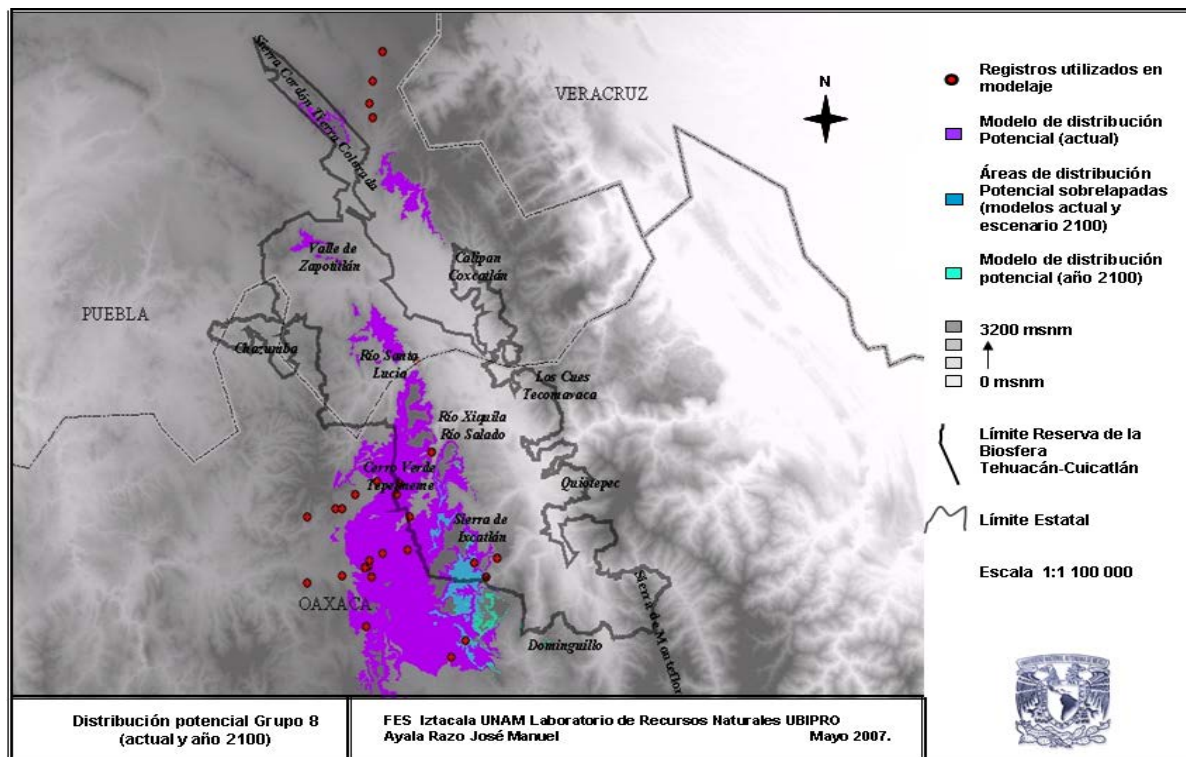


Figura 21. Áreas de distribución potencial del intervalo 4 (10-90 %) del perfil bioclimático para el grupo 8 con el escenario actual y para el año 2100.

Las áreas de concentración o riqueza de especies (hotspots), donde se combinan las áreas de los modelos de los grupos, dieron como resultado la formación de tres hotspots, el primero por la combinación de los grupos 5, 7 y 8, el segundo por la combinación de los grupos 1 y 6, y el tercero por la combinación de los grupos 2, 3 y 4.

En el primer hotspot coinciden las áreas potenciales de los grupos 5, 7 y 8. Este hotspot abarca una mayor extensión de áreas potenciales (54465 ha) en comparación con los otros hotspots, pero la mayoría se localizan fuera de los límites de la reserva. Dentro de la reserva este hotspot se distribuye en la Sierra Cordón Tierra Colorada, el Valle de Zapotitlan, Río Santa Lucía y en pocas áreas de Cerro Verde-Tepelmeme (Figura 22).

En el segundo hotspot coinciden dos grupos (1 y 6), en los cuales se encuentran especies de climas más húmedos, los cuales se distribuyen más hacia el E-SE de la reserva. Tal es el caso de las especies *Hylocereus purpusii*, *Mammillaria crucigera*, *M huitzilopochtli*, *M. supertexta*, *Pachycereus grandis* y *P. weberi*. Este hotspot se distribuye con dirección SE, ocupando la

parte más al E de la reserva, desde la región de Calipan-Coxcatlán, Los Cues-Tecomavaca y Quiotepec hasta Dominguillo y la Sierra de Monteflor, ocupando potencialmente un total de 10590 ha (Figura 22).

En el tercer hotspot (Figura 22) coinciden los grupos en los cuales se encuentran especies de áreas secas y menos templadas, tales como los que se encuentran en las asociaciones de *Cephalocereus*, *Neobuxbaumia*, *Mitrocereus* e Izotales, en los cuales se encuentran la mayoría de las especies de cactáceas del área de estudio. Este hotspot se distribuye con una orientación SE, desde la cercanía a Tehuacán y dentro de la reserva en las regiones del Valle de Zapotitlán y Río Santa Lucía. Estas áreas potencialmente se encuentran ocupando un total de 12757 ha.

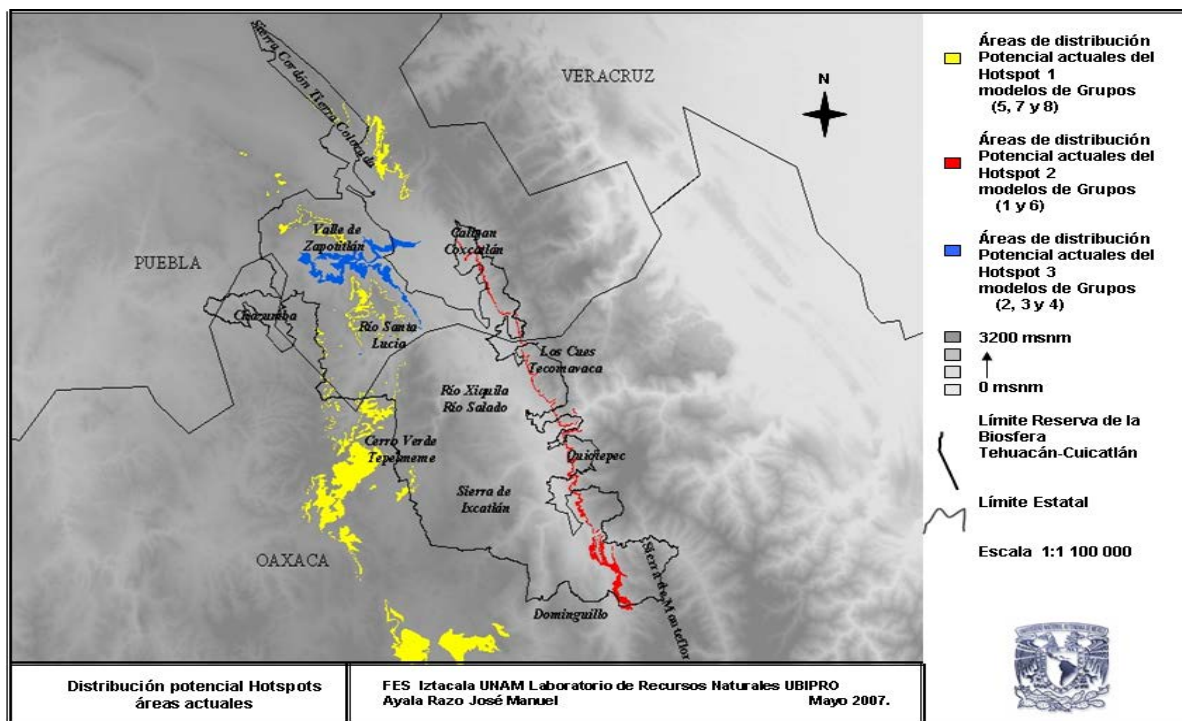


Figura 22. Áreas de distribución potencial de los Hotspots en el escenario actual.

Para la evaluación de la confiabilidad y/o fortaleza de los modelos de distribución potencial, se aplicó el análisis Kappa a los ocho grupos de especies de cactáceas: grupo 1 (109 registros), grupo 2 (1265), grupo 3 (20), grupo 4 (322), grupo 5 (379), grupo 6 (18), grupo 7 (150) y grupo 8 (38 registros).

Los resultados (Cuadro 7) incluyen valores estadísticos de los errores de omisión, es decir, no considerar el espacio que debe estar ocupando y errores de comisión, donde se aceptan superficies que en realidad no deben ocupar. Estos valores en el análisis Kappa se refieren en el caso de los errores de omisión a un índice en el cual los puntos o registros conocidos (georreferenciados) fallan al ser clasificados en la correcta categoría (intervalos del perfil bioclimático) sobre todas las categorías; en el caso de los errores de comisión se define como un índice en el cual los puntos (registros georreferenciados) fueron clasificados erróneamente sobre todas las categorías (intervalos del perfil bioclimático). Además se incluyen valores de especificidad, capacidad del modelo para evitar clasificar erróneamente a los puntos x si no son x , y de sensibilidad, capacidad general del modelo para clasificar en la muestra los puntos x si estos corresponden ser x .

En el caso de los errores de omisión, los valores van desde 0.00161 en el grupo 2 hasta 0.75 en el caso del grupo 6 (Figura 23). Para los errores de comisión los valores son menores al 0.4, siendo los más altos los grupos 3, 7 y 6 con valores de 0.1875, 0.2021 y 0.375 respectivamente (Figura 24). Los resultados del análisis del coeficiente Kappa indican que los grupos con más registros conocidos, grupo 2 (1265 registros), grupo 4 (322) y grupo 5 (379), e incluso los grupos 8 y 1 con 38 y 109 registros respectivamente son los de mayor confiabilidad pues obtuvieron menos de 0.3 en los valores de los errores de omisión y para los errores de comisión todos los grupos registraron menos de 0.2, excepto el grupo 6 el cual tiene menos registros conocidos.

Cuadro 7. Resultados del análisis Kappa.

	<i>Grupo 1</i>	<i>Grupo 2</i>	<i>Grupo 3</i>	<i>Grupo 4</i>	<i>Grupo 5</i>	<i>Grupo 6</i>	<i>Grupo 7</i>	<i>Grupo 8</i>
Precisión total:	(35/49) 0.714	(619/620) 0.9983	(5/8) 0.625	(131/149) 0.879	(146/181) 0.8066	(1/4) 0.25	(24/61) 0.3934	(7/9) 0.7777
Índice de clasificación incorrecta total:	(14/49) 0.285	(1/620) 0.00161	(3/8) 0.375	(18/149) 0.1208	(35/181) 0.19337	(3/4) 0.75	(37/61) 0.6065	(2/9) 0.2222
Sensibilidad total:	0.714	0.9983	0.625	0.87919	0.8066	0.25	0.39344	0.7777
Especificidad total:	0.857	0.9991	0.81	0.95973	0.903314	0.625	0.79781	0.8888
Errores de Omisión:	0.285	0.00161	0.375	0.1208	0.19337	0.75	0.60655	0.2222
Errores de Comisión:	0.142	0.0008	0.187	0.0402	0.09668	0.375	0.202185	0.1111
Valor P	0.0379	0.00001	0.106	0.00001	0.00001	0.554	0.2493	0.000028

Figura 23. Errores de omisión y número de registros por grupo de especies de cactáceas.

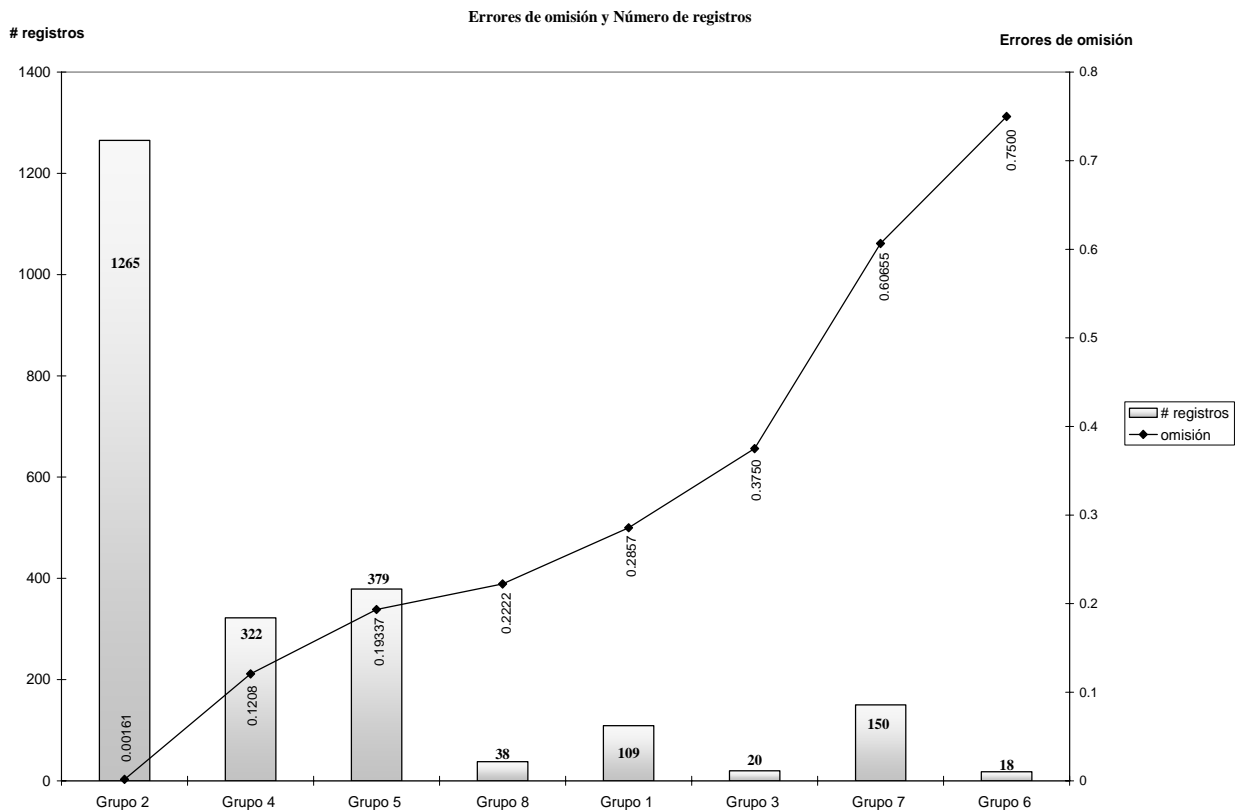
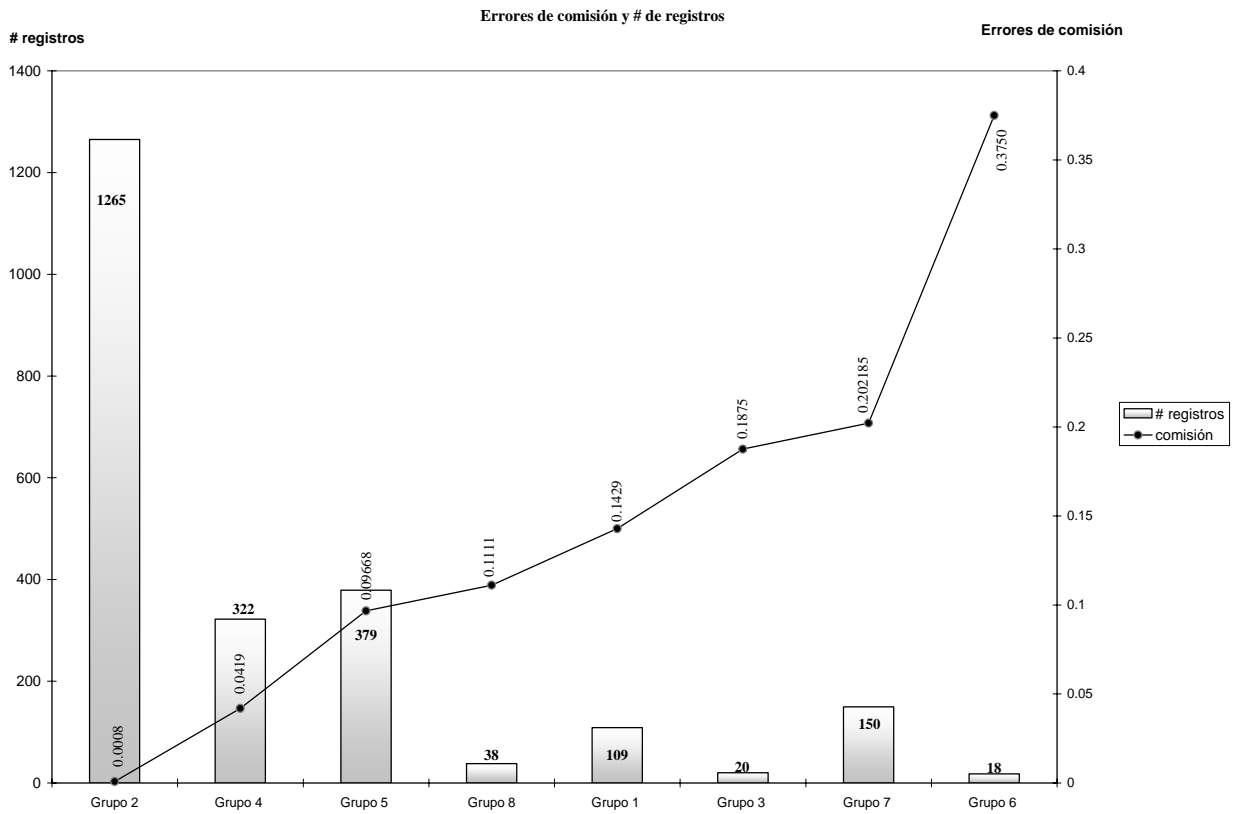


Figura 24. Errores de comisión y número de registros por grupo de especies de cactáceas.



8. DISCUSIÓN

No existe duda que el cambio climático global está afectando a la diversidad biológica: cambios evidentes en áreas y patrones de distribución geográfica tanto en plantas como en animales, así como cambios en los patrones fenológicos en plantas, han sido registrados y documentados. Por ejemplo, Kappelle et al. (1999) señalan que el cambio climático puede afectar la fisiología de las especies, la fenología y las interacciones, y que como consecuencia, pueden ocurrir cambios en la distribución geográfica. Otros autores, como Ford (1982), describen cambios en los intervalos de distribución de varias especies de mariposas en Gran Bretaña debido a pequeños incrementos en la temperatura (menores a 1° C) durante el siglo pasado. De forma semejante, la expansión de especies de árboles ha sido atribuida a los cambios del clima durante la primera mitad del siglo pasado (Kullman, 1983). Cambios en la distribución de una muestra importante de Microlepidoptera en Holanda han sido relacionados también con el cambio climático (Ellis et al., 1997a, 1997b).

Recientemente Peterson et al. (2001) analizan los efectos del cambio climático global sobre la distribución de especies de aves de la familia Cracidae en México. Midgley et al. (2002) evalúan la vulnerabilidad de la riqueza de especies endémicas de la familia Proteaceae en Sudafrica; de igual forma Berry et al. (2002) modelan los impactos potenciales del cambio climático sobre la cobertura bioclimática de especies en Gran Bretaña e Irlanda. Otros autores, como Thuiller et al. (2005) analizan las propiedades del nicho y la extensión geográfica como predictores de la sensibilidad de las especies al cambio climático; Malcolm et al. (2006) evalúan el calentamiento global y la extinción de especies endémicas a escala global, así mismo Thuiller et al. (2006) determinan los impactos del cambio climático sobre la diversidad de árboles en Europa.

En México, pocos grupos de plantas han sido revisados al respecto, sin embargo, parece que las cactáceas sufrirán importantes efectos debido al cambio global (Téllez-Valdés & Dávila-Aranda, 2003). De hecho se pronostica que los tipos de vegetación más vulnerables en México serán los paltisales, los matorrales xerófilos y los bosques de encino (INE-SEMARNAT, 2006) comunidades vegetales en las cuales se encuentran la mayoría de las especies de

cactáceas. A esta amenaza del cambio del clima en la vegetación, se debe añadir su deterioro al que está sometida por el cambio de uso de suelo propiciado por la introducción y expansión de la ganadería (INE-SEMARNAT, 2006), pero también por expansión de las áreas de cultivo y de los asentamientos humanos que fragmentan los hábitat. Incluso las poblaciones de muchas especies ya están amenazadas y correrán un mayor riesgo a causa de la sinergia entre las presiones del cambio climático, que harán inhabitable su hábitat actual (IPCC, 2001).

Los resultados de las áreas climáticas potenciales resultado del modelado bioclimático de las especies de cactáceas indican que de los dos escenarios de cambio climático el propuesto para el año 2100, donde se incrementará 2°C y disminuirá la precipitación 15%, se considera más drástico debido a que en este escenario de cambio climático 65 de las 70 especies perderán más del 50% de sus áreas potenciales actuales y para los grupos, todos perderán más del 60% de sus áreas potenciales actuales. Con el escenario de cambio climático conservador, para el año 2025 (incremento de 0.8°C y -5% de lluvia) sólo 6 de las 70 especies de cactáceas perderán más del 50% de sus áreas potenciales actuales y 6 especies incrementarán entre 1 y 26% sus áreas potenciales y 2 de las especies mantienen sus áreas de distribución potencial. Para los 9 grupos de especies la reducción en sus áreas potenciales será menos del 30%.

Los resultados también muestran que los límites establecidos *ad hoc* con que actualmente cuenta la reserva no son adecuados para proteger a las especies y grupos de especies de cactáceas e incluso bajo el escenario de cambio climático (conservador) las áreas potenciales de distribución se encuentran en los límites y/o fuera de los límites de la reserva. En algunos casos la mayoría de estas áreas quedan fuera de los límites de la reserva (grupo 2, 5, 7, 8 y hotspot 1) y en otros casos quedan, por lo menos la mitad de las áreas, dentro de los límites de la reserva (grupo 1, 3, 4, 6 y hotspots 2 y 3).

De acuerdo con los resultados los efectos de los escenarios de cambio climático sobre las áreas de distribución potencial serán impactantes a largo plazo. Las especies de cactáceas tenderán a reducir y contraer sus áreas de distribución y, más preocupante, las áreas resultantes de los modelos de distribución potencial con los escenarios de cambio climático en el futuro en su mayoría estarán fuera de los límites de la reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán. A esto

hay que añadir que la mayoría de las especies de la familia Cactaceae poseen una combinación de características biológicas y ecológicas inherentes que las hacen más vulnerables a los efectos de los factores de perturbación antropogénicos y naturales. Las cactáceas en condiciones naturales tienen tasas de crecimiento muy bajas, con ciclos de vida frecuentemente muy largos y el reclutamiento de nuevos individuos por lo general es muy escaso, lo que determina que por lo común las poblaciones se reestablezcan demográficamente de una manera extremadamente lenta después de un episodio de perturbación (Hernández & Godínez, 1994), entonces cualquier forma de perturbación representará un enorme riesgo de supervivencia para las especies de cactáceas en la reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán.

Estos resultados llevan a sugerir cambios en las dimensiones y límites de la reserva. Sin embargo, dado que el enfoque de este trabajo sólo se basó en el papel que el clima jugará en el futuro en dos escenarios de cambio climático y se encuentra limitado a un grupo de plantas vasculares, las propuestas no serían viables sin antes evaluar otros escenarios de cambio climático, además de otras vertientes que inciden en el establecimiento de las Áreas Naturales Protegidas (ANP).

La validez del uso de los modelos de cobertura bioclimática han sido cuestionados (ej. Martínez-Meyer, 2005; Soberon & Peterson, 2005; Risto et al. 2006) e incluso se ha discutido la complejidad para el modelado de la distribución geográfica real. No obstante, las limitantes tienen que ver con la capacidad para explicar las interacciones bióticas, con factores históricos (barreras biogeográficas e historias de vida de cada especie) y con características intrínsecas a cada especie (dispersores, capacidad de dispersión, adaptabilidad etc.) resultando que los errores en la predicción sean inevitables, independientemente del modelo, enfoque o método utilizado (Pearson & Dawson, 2003).

Sin embargo, los resultados del análisis con el coeficiente Kappa muestran su utilidad para estimar la precisión de modelos predictivos midiendo la coincidencia entre el modelo predictivo y el del modelo resultante de la partición de los datos de ocurrencia. Los resultados mostraron que la mayoría de los modelos de los grupos son muy confiables, los valores en escalas de 0 a 1 mostraron que para los valores de los errores de omisión son menores a 0.5,

para los errores de comisión son menores a 0.3 y menores a 0.1 en los valores de (P) probabilidad de que el modelo se ejecute mejor que al azar.

9. CONCLUSIONES

Los resultados permiten reconocer la importancia de conservar a las cactáceas debido a los efectos adversos del cambio climático. Es uno de los grupos vegetales que dominan y tienen un importante papel funcional en algunas asociaciones y comunidades vegetales, así como un importante número de endemismos en esta zona y en todo el país, por lo que será de gran utilidad concentrarse en las áreas en las cuales los modelos obtenidos indican que potencialmente podemos encontrar a las especies o grupos de especies de cactáceas dentro de la reserva.

Los resultados evidencian la necesidad de realizar cambios en las dimensiones y límites actuales de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. Aunque las cactáceas sean un grupo vegetal muy importante no necesariamente representan a todos los componentes de la diversidad biológica, sin embargo estos pueden ser utilizados como una primera aproximación para comprender y reconocer las áreas de distribución potencial de algunas especies y los efectos de los escenarios de cambio climático en estas áreas potenciales.

Esta primera aproximación permitirá estructurar y proponer estrategias para la conservación de este grupo de plantas a la par de otros estudios y evaluaciones que se lleven a cabo, tales como: análisis poblacionales de las especies, evaluaciones de conservación de cada una de ellas e identificación y determinación de los factores ecológicos y antropogénicos que pueden llegar a mermar a las especies o poblaciones de especies.

Por último cabe señalar que aunque se realicen esfuerzos importantes para la conservación de los recursos naturales sino se tienen dentro de la RBTC programas de manejo de los recursos naturales y programas de concientización y educación ambiental entre los pobladores, difícilmente se podrá realizar la conservación sustentable de los recursos naturales.

10. LITERATURA CITADA

- Aguilera, H.N. 1970. Suelos de las Zonas Áridas de Tehuacán, Puebla y sus Relaciones con las Cactáceas. Cactáceas y Suculentas Mexicanas. Boletín de la Sociedad Cactológica de México 15(3): 51-63.
- Alcantar, L. G. 2001. La entropía como medida de incertidumbre de Modelos de distribución de especies. Tesis Licenciatura. FES Iztacala, UNAM. pp. 43.
- Anderson, R.P., Lew, D. & Peterson, A.T. 2003. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. Ecological Modelling 162: 211-232.
- Araújo, M. B., Cabezas, M., Thuiller. W., Hannah, L. & Williams, P. H. 2004. Would climate change drive species out of reserves? An assessment of existing reserve-selection methods. Global Change Biology 10: 1618-1626.
- Arias, M. S., Gama, L. S., & Guzmán, U. 1997. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fasc. 14. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. pp. 146.
- Berry, P. M., Dawson, T. P., Harrison, P. A. & Pearson, R. G. 2002. Modelling potential impacts of climate change on the bioclimatic envelope of species in Britain and Ireland. Global Ecology & Biogeography 11: 453-462.
- Bojórquez-Tapia, L. A., Folliot, P. & Guertin, D. P. 1990. Multiple-Resource modeling as a tool for conservation: its Aplicability in Mexico. Environment 14(3): 317-324.
- Bojórquez-Tapia, L. A., Balvanera, P. & Cuarón, A. D. 1994. Biological inventories and Computer Data Bases: Their Role in Enviromental Assesment. Enviromental Management 18 (5): 775-785.
- Casas, A., Valiente B, A., Viveros J, L., Caballero J., Certes L., Davila P., Lira R. & Rodríguez I. 2001. Plant resources of the Tehuacan Valley, México. Economic botany 55 (1): 129-166.
- Convey, P. & Smith R. I. L. 2006. Responses of terrestrial Antartic ecosystems to climate change. Plant Ecology 182: 1-10.
- Dávila, A. P., Villaseñor, J. L., Medina, R., Ramírez, R. A., Salinas, T. A. Sánchez-Ken, J., & Tenorio, L. P. 1993. Listados florísticos de México X. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. México: Instituto de Biología, UNAM. pp 195
- Ellis, W. N., J. H. Donner, and J. H. Kuchlein. 1997a. Recent shifts in phenology of Microlepidoptera, related to climatic change (Lepidoptera). Entomologische Berichten Amsterdam 57: 66-72.

- Ellis, W. N., J. H. Donner, and J. H. Kuchlein. 1997b. Recent shifts in phenology of Microlepidoptera in the Netherlands. *Entomologische Berichten Amsterdam* 57: 119-125.
- ESRI (ENVIRONMENTAL SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE) 2000. *ArcView* 3.2. ESRI, Redlands, California.
- Farber, O. & Kadmon, R. 2003. Assessment of alternative approaches for bioclimatic modeling with special emphasis on the Mahalanobis distance. *Ecological Modelling* 160: 115-130.
- Flores, H. N., Valiente-Banuet A., Dávila A, P. & Villaseñor J, L. 1999. La vegetación esclerófila perennifolia del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla y sus similitudes con la vegetación esclerófila de climas mediterráneos. *Bol. Soc. Bot. México* 64: 41-55.
- Ford, M. 1982. *The changing climate*. Allen & Unwin, London.
- Fuentes-Aguilar, R. B. Jr. 1971. Metodología para el análisis geográfico de la zona de San Juan Raya. *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* 4:324-368.
- García, O. F. 1986. Estudios ecogeográficos de las comunidades vegetales en Zapotitlán Salinas, estado de Puebla. Tesis licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM.
- García, Q. D. 1987. Clasificación fisonómica de la vegetación del Valle de Tehuacán, Puebla. Tesis licenciatura. ENEP Iztacala. UNAM.
- Hernández H.M. & Godinez, H.A. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana* 26: 33-52.
- Holt, R. D. 1990. The Microevolutionary Consequences of Climate Change. *Trends Ecology Evol.* 5(9): 311-315.
- Houghton, J. T., B. A. Callender & S. K. Varney. 1992. *Climate change 1992. The supplementary report to the Intergovernmental Panel on Climate Change scientific assessment*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., Van der Linder, P. J., Dai, X., Maskell, K. & Johnson, C. A. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Houlder, D. J., M. F. Hutchinson, H. A. Nix, & J. P. McMahon. 2000. *ANUCLIM 5.1. User guide*. Centre for Resource & Environmental Studies, Australian National University, Canberra.

- Hunt, D. 1999. C.I.T.E.S. Cactaceae checklist. Royal Botanic Gardens and International Organization for Succulent Plants (IOS), Richmond, United Kingdom.
- Hutchinson, G. E. 1957. Concluding remarks. Cold Spring Harbor Symposium. in: Pearson, R. G. & Dawson, T. P. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of speices: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology & Biogeography* 12: 361-371.
- Hutchinson, M. F. 1991. The application of thin-plate smoothing splines to continent-wide data assimilation. in Téllez-Valdés, O., Dávila-Aranda, P. & Lira-Saade, R. 2006. The effects of climate change on the long-term conservation of *Fagus grandiflora* var. *mexicana*, an important species of the Could Forest in Eastern Mexico. *Biodiversity and Conservation* 15: 1095-1107.
- Hutchinson, M. F. 1995a. Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines. in Téllez-Valdés, O., Dávila-Aranda, P. & Lira-Saade, R. 2006. The effects of climate change on the long-term conservation of *Fagus grandiflora* var. *mexicana*, an important species of the Could Forest in Eastern Mexico. *Biodiversity and Conservation* 15: 1095-1107.
- Hutchinson, M. F. 1995b. Stochastic space-time weather models from ground-based data. in Téllez-Valdés, O., Dávila-Aranda, P. & Lira-Saade, R. 2006. The effects of climate change on the long-term conservation of *Fagus grandiflora* var. *mexicana*, an important species of the Could Forest in Eastern Mexico. *Biodiversity and Conservation* 15: 1095-1107.
- Hutchinson, M. F. 1997. ANUSPLIN. Version 4.1. in Téllez-Valdés, O., Dávila-Aranda, P. & Lira-Saade, R. 2006. The effects of climate change on the long-term conservation of *Fagus grandiflora* var. *mexicana*, an important species of the Could Forest in Eastern Mexico. *Biodiversity and Conservation* 15: 1095-1107.
- INE-SEMARNAT. 2006. México tercera comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Instituto Nacional de ecología, México. pp. 254.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2000. IPCC Special Report. Emission Scenarios. Summary for Policymakers. 17 p.
- IPCC. 2001. Working Group II. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. J. J. McCarthy., O. F Canziani., N. A. Leary., D. J. Dokken., & K. S. White. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. 1032 p.
- Jenness, J. & J. J. Wynne. 2006. Kappa analysis (kappa_stats.avx) extension for ArcView 3.x. Jenness Enterprises. Available at: http://www.jennessent.com/arcview/kappa_stats.htm.
- Karl, T. A. 1998. Regional trends and variation of temperature and precipitation. pp. 411-425 in R. T. Watson, M. C. Zinyowera, R. H. Moss, & D. J. Dokken (editors) *The Regional*

impacts of climate change: an assessment of vulnerability. Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change working group II. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

- Kappelle, M., M. M. I. Van Vuuren, and P. Baas. 1999. Effects of climate change on biodiversity: a review and identification of key research issues. *Biodiversity and Conservation* 8: 1383-1397.
- Konvicka, M., Maradova, M., Benes, J., Fric, Z. & Kepka, P. 2003. Uphill shifts in distribution of butterflies in the Czech Republic: effects of changing climate detect on a regional scale. *Global Ecology & Biogeography* 12: 403-410.
- Kullman, L. 1983. Past and present tree lines of different species in the Handolan valley, Central Sweden. pp. 25-42 in P. Morisset and S. Payette (eds) *Tree line ecology*. Centre d'Étude Nordiques de l'Université Laval, Quebec, Canada.
- Lindenmayer, D. B., Mackey, B. G. & Nix, H. A. 1996. The bioclimatic domains of four species of commercially important eucalypts from south-eastern Australia. *Australian Forestry* 59 (2): 74-89.
- Malcolm, J. R., Liu, C., Neilson, R. P., Hansen, L. & Hannah, L. 2006. Global Warming and Extinctions of Endemic Species from Biodiversity Hotspots. *Conservation Biology* 20 (2): 538-548.
- Masera, R. O. 2006. La ecología global desde la perspectiva del cambio climático. *Ciencias* 81: 4-15.
- Martínez-Meyer, E. 2005. Climate Change and Biodiversity: some considerations in forecasting shifts in species' potential distributions. *Biodiversity Informatics* 2: 42-55.
- Méndez-Larios, I., Lira, R., Godínez-Álvarez, H., Dávila, P. y Ortíz, E. 2006. Proposal for the establishment of the core zones in the Biosphere Reserve of Tehuacán-Cuicatlán, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 15: 1627-1659.
- Meynecke, J. 2004. Effects of global change geographic distributions of vertebrates in North Queensland. *Ecological Modelling* 174: 347-357.
- Midgley, G. F., Hannah, L., Millar, D., Rutherford, M. C. & Powrie, L. W. 2002. Assessing the vulnerability of species richness to anthropogenic climate change in a biodiversity hotspot. *Global Ecology & Biogeography* 11: 445-451.
- Montaña, C. & Valiente, A. 1998. Floristic and life-form diversity along an altitudinal gradient in an intertropical semiarid Mexican region. *Southwestern Naturalist*. 43 (1): 25-39.
- Nava, S. M. 1965. El exdistrito de Tehuacán. *Instituto de Geografía, UNAM* 1:159-162.

- Nix, H.A. 1986. A biogeographic analysis of the Australian elapids snakes. in: Longmore (ed.) Atlas of the Elapid snakes of Australia. Flora and Fauna 7: 4-15.
- Ochoa, T. V. 2001. Geomorfología, clima y vegetación del valle de Tehuacán-Cuicatlán, Pue.-Oax., México. Tesis Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM pp. 88.
- Pearson, R. G. & Dawson, T. P. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology & Biogeography* 12: 361-371.
- Peterson, T. A., Sánchez-Cordero, V., Soberón, J., Bartley J., Buddemeier R. W. & Navarro-Sigüenza, A. G. 2001. Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. *Ecological Modelling* 144: 21-30.
- Risto, K. H., Luoto, M., Araújo, M. B, Virkkala, R., Thuiller, W. & Sykes M. T. 2006. Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modeling under climate change. *Progress in Physical Geography* (30) 6: 751-777.
- Rocha, R. 2006. Predicción de la distribución de la flora en el Valle de Zapotitlán, por el método de modelado bioclimático. Tesis Maestría. FES Iztacala UNAM pp. 50.
- Rosas, R., I. 2004. Modelos bioclimáticos de especies potencialmente importantes para la reforestación en el Valle de Zapotitlán Salinas Puebla. Tesis Licenciatura. FES Iztacala UNAM pp. 60.
- Rzedowski. J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa, México.
- Sánchez-Cordero, V., A.T. Peterson & P. Escalante-Pliego. 2001. El modelado de la distribución de especies y la conservación de la diversidad biológica. in: Hernández, H. M., García, A. A., Álvarez, F. y Ulloa, M. (comps). Enfoques contemporáneos para el estudio de la biodiversidad. Instituto de Biología. UNAM. Fondo de Cultura Económica. México. pp. 359-379.
- Sánchez-Mejorada, H. 1982. Algunos usos prehispánicos de las cactáceas entre los indígenas de México. Dirección de Recursos Naturales, Gobierno del Estado de México. Toluca, México.
- SEMARNAP-INE. 2000. Protegiendo al ambiente Políticas y Gestión Institucional. Instituto Nacional de Ecología, México. pp. 195-203.
- Skov, F. 2000. Potential plant distribution mapping based on climatic similarity. *Taxon* 49: 503-515.
- Summers, J. K., Wilson, H. T., & Kou, J. 1993. A method for quantifying the prediction uncertainties associated with water quality models. *Ecological Modelling* 65: 161-176.

- Tamayo, J. L. 1962. Geografía general de México. 2ª ed. Instituto Mexicano de Investigaciones Económicas México. Vol. 4.
- Téllez-Valdés, O. & Dávila-Aranda, P. 2003. Protected Areas and Climate Change: a Case Study of the Cacti in the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve, México. *Conservation Biology* 17(3): 846-853.
- Téllez-Valdés, O. Chávez H. Y., Gómez-Tagle, C.A., & Gutiérrez G. M. 2004. Modelado Bioclimático como herramienta para el manejo forestal: Estudio de cuatro especies de *Pinus*. *Rev. Cien. For. en Méx.* 95 (29): 61-82.
- Thuiller, W., Lavorel, S. & Araújo, M. B. 2005. Niche properties and geographical extent as predictors of species sensitivity to climate change. *Global Ecology & Biogeography* 14: 347-357.
- Thuiller, W., Lavorel, S., Sykes M. T. & Araújo, M. B. 2006. Using niche-based modelling to assess the impacts of climate change on tree functional diversity in Europe. *Diversity and Distributions* 12: 49-60.
- Valiente-Banuet, A., Casas, A., Alcántara, A., Dávila, P. Flores, N. Arizmendi, Ma. C. Villaseñor, J. L. & Ortega, J. 2000. La Vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín Sociedad Botánica de México* 67: 24-74.
- Villaseñor, J. L., Dávila, A. P. & Chiang F. 1990. Fitogeografía del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín Sociedad Botánica de México*. 50: 135-149.
- Villaseñor, J. L. & Téllez-Valdés, O. 2004. Distribución geográfica potencial de las especies del género *Jefea* (Asteraceae) en México. *Anales Inst. Biol. Univ. Nac. México, Serie. Bot.* 75 (2): 205-220.
- Zavala, H. J. 1982. Estudios ecológicos en el Valle semiárido de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. I. Clasificación Numérica de la vegetación basada en Atributos Binarios de presencia o ausencia de las especies. *Biotica* 7(1): 99-120.

11. ANEXO I

Cuadro 1A. Perfiles bioclimáticos de los grupos de especies de cactáceas en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Valores mínimos y máximos; entre paréntesis el promedio y la desviación estándar.

PARÁMETROS	Valores mínimos-máximos (promedio \pm S.D.)							
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Grupo 8
Temperatura promedio anual (°C)	16.5-25.40 (23.1 \pm 2.22)	13.4-26.6 (20.9 \pm 2.81)	18.8-22.3 (20.2 \pm 0.81)	14.3-24.9 (18.9 \pm 1.87)	13.6-25.3 (18.2 \pm 2.66)	17.6-24.9 (21.2 \pm 2.11)	13.6-24.3 (17.1 \pm 2.11)	13.7-16.7 (15.5 \pm 0.75)
Oscilación diaria de la temperatura (°C)	13-17 (15 \pm 0.96)	10.9-17.3 (14.8 \pm 0.82)	14.2-15.6 (14.8 \pm 0.29)	12.5-17.1 (14.7 \pm 0.7)	11.2-17.9 (14.6 \pm 1.09)	12.1-17.3 (14.3 \pm 1.45)	11.2-17.2 (14.8 \pm 1.01)	12.3-16 (14.2 \pm 0.97)
Isotermalidad	0.6-0.67 (0.63 \pm 0.02)	0.59-0.76 (0.65 \pm 0.02)	0.65-0.66 (0.66 \pm 0)	0.61-0.76 (0.66 \pm 0.01)	0.6-0.72 (0.66 \pm 0.02)	0.61-0.69 (0.64 \pm 0.02)	0.61-0.7 (0.67 \pm 0.02)	0.65-0.71 (0.68 \pm 0.02)
Estacionalidad de la Temperatura	0.56-0.84 (0.75 \pm 0.07)	0.34-0.84 (0.68 \pm 0.08)	0.63-0.71 (0.65 \pm 0.02)	0.34-0.82 (0.63 \pm 0.04)	0.39-0.83 (0.62 \pm 0.07)	0.61-0.83 (0.67 \pm 0.06)	0.4-0.79 (0.58 \pm 0.06)	0.41-0.6 (0.53 \pm 0.05)
Temperatura máxima promedio del periodo más calido (°C)	27.1-37.3 (34.8 \pm 2.66)	24.1-37.3 (32.2 \pm 3.27)	29.6-33.8 (31.3 \pm 0.97)	25-36.6 (29.9 \pm 2.07)	22.2-37.2 (29.2 \pm 3.12)	27.7-36.3 (32.4 \pm 2.75)	22.2-36.6 (28 \pm 2.42)	24.4-27.7 (26.1 \pm 0.99)
Temperatura mínima promedio del periodo más frío (°C)	6.2-14 (11.2 \pm 1.83)	1.9-17.2 (9.4 \pm 2.38)	7.7-10.5 (8.7 \pm 0.65)	1.9-13.3 (7.6 \pm 1.6)	2.7-13.6 (7.2 \pm 2.18)	8.3-13.2 (10.2 \pm 1.28)	2.7-12.5 (6.1 \pm 1.78)	3-6.7 (5.1 \pm 0.96)
Oscilación anual de la temperatura	20.7-26 (23.6 \pm 1.24)	18.4-26 (22.9 \pm 1.25)	21.8-23.7 (22.6 \pm 0.42)	19.4-25 (22.3 \pm 0.91)	16.2-26 (22 \pm 1.48)	19.3-25.1 (22.2 \pm 1.63)	16.2-25 (21.9 \pm 1.37)	18-22.7 (20.9 \pm 1.33)
Temperatura promedio cuatrimestre más lluvioso (°C)	16.9-26.4 (24.1 \pm 2.37)	13.7-27.6 (22 \pm 2.8)	20.2-23.3 (21.5 \pm 0.72)	14.8-26.3 (20.1 \pm 1.85)	13.9-26.4 (19.2 \pm 2.79)	18.2-26.3 (21.9 \pm 2.25)	13.9-25.4 (18.1 \pm 2.29)	14.1-17.9 (16.1 \pm 0.9)
Temperatura promedio del cuatrimestre más seco (°C)	14.5-22.7 (20.7 \pm 2.02)	11.2-25.8 (18.5 \pm 2.72)	16.5-19.7 (17.8 \pm 0.74)	12.2-22.1 (16.5 \pm 1.86)	11.5-22.7 (16.1 \pm 2.54)	16.6-22.1 (19.7 \pm 1.78)	11.5-22.1 (14.9 \pm 1.97)	11.5-14.8 (13.7 \pm 0.83)
Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido (°C)	18.6-28.5 (25.8 \pm 2.47)	15.4-28.6 (23.3 \pm 3.09)	21-24.8 (22.5 \pm 0.88)	16.3-27.8 (21.1 \pm 1.96)	15.2-28.4 (20.4 \pm 2.87)	20-27.9 (23.7 \pm 2.21)	15.2-27.2 (19.1 \pm 2.26)	15.7-18.9 (17.4 \pm 0.75)
Temperatura promedio del cuatrimestre más frío (°C)	14.3-22 (20 \pm 1.91)	11.2-24.6 (18.1 \pm 2.48)	16.2-19.4 (17.5 \pm 0.73)	12.1-21.5 (16.3 \pm 1.75)	11.5-21.9 (15.7 \pm 2.38)	15.3-21.5 (18.5 \pm 1.94)	11.5-21 (14.7 \pm 1.9)	11.5-14.8 (13.5 \pm 0.77)
Precipitación anual (mm)	401-1088 (570 \pm 134.06)	279-2171 (548 \pm 122.05)	328-517 (480 \pm 42.18)	324-1207 (539 \pm 86.48)	320-1393 (595 \pm 152.04)	669-1184 (846 \pm 176)	427-1393 (591 \pm 114.85)	489-876 (666 \pm 99.88)
Precipitación del periodo más lluvioso (mm)	23-55 (31 \pm 6.07)	18-112 (31 \pm 5.67)	22-32 (29 \pm 2.4)	21-62 (32 \pm 4.29)	20-70 (33 \pm 7.22)	31-62 (44 \pm 7.85)	24-70 (33 \pm 6.38)	24-45 (36 \pm 5.53)
Precipitación del periodo más seco (mm)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
Estacionalidad de la Precipitación	89-103 (98 \pm 2.9)	63-117 (98 \pm 3.77)	97-107 (100 \pm 2.04)	84-107 (97 \pm 3.68)	83-107 (95 \pm 4.89)	90-105 (95 \pm 5.03)	84-102 (93 \pm 5.21)	84-95 (90 \pm 3.05)
Precipitación del cuatrimestre más lluvioso (mm).	228-606 (321 \pm 76.82)	161-1257 (294 \pm 74.1)	170-264 (244 \pm 21.44)	169-713 (278 \pm 55.92)	177-762 (313 \pm 91.67)	331-678 (473 \pm 98.3)	218-762 (305 \pm 67.62)	238-471 (346 \pm 60.93)
Precipitación del cuatrimestre más seco (mm)	0-50 (5 \pm 12.18)	0-128 (3 \pm 9.55)	(0)	0-34 (1 \pm 4.28)	0-69 (4 \pm 11.47)	0-44 (25 \pm 18.87)	0-69 (2 \pm 8.98)	0-38 (5 \pm 12.1)
Precipitación del cuatrimestre más cálido (mm)	116-295 (167 \pm 35.44)	96-652 (179 \pm 35)	115-193 (172 \pm 18.48)	113-417 (196 \pm 28.12)	108-321 (191 \pm 33.15)	141-245 (197 \pm 27.24)	140-321 (200 \pm 28.47)	153-247 (196 \pm 26.17)
Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)	10-62 (21 \pm 10.51)	4-193 (18 \pm 10.33)	8-15 (12 \pm 1.61)	5-40 (16 \pm 4.94)	6-112 (21 \pm 12.84)	14-78 (44 \pm 21.64)	11-112 (20 \pm 9.31)	18-47 (24 \pm 6.569)

12. ANEXO II.

Cuadro 1B. Áreas (ha) de distribución potencial actual y con el escenario de cambio climático (+0.8°C y -5% de precipitación propuesto para el año 2025).

Grupo	Áreas de distribución potencial actual (ha) por intervalo porcentual del perfil bioclimático					Áreas de distribución Potencial total (ha)	Áreas de distribución potencial (ha) por intervalo del perfil bioclimático en el escenario de cambio climático (+°C y -% de precipitación para el año 2050).					Área total (ha) con el escenario de cambio climático	% de cambio de áreas de ocupación potencial con el escenario de cambio climático (+°8C y -5% precipitación).
	0-100 %	2.5-7.5%	5-95 %	10-90%	25-75 %		0-100%	2.5-7.5%	5-95%	10-90%	25-75%		
1	427260	84863	193743	3784	0	709650	289262	65241	162281	4286	0	521070	-26.6
2	3793826	1273755	12669	0	0	5080250	3765944	1080429	10989	0	0	4857362	-4.4
3	2274	14749	7480	8844	2572	35919	2027	10717	10988	9727	636	34095	-5.1
4	2057132	385194	439934	196583	0	3078843	1895084	381848	322731	183169	0	2782832	-9.6
5	1646053	653980	1495964	0	0	3795997	1566181	607134	132168 4	0	0	3494999	-7.9
6	15126	206360	7474	24435	3249	256644	15118	157108	7874	23799	5248	209147	-18.5
7	993778	574558	1022278	0	0	2590614	779339	560327	911023	0	0	2250689	-13.1
8	22769	58592	89118	207209	0	377688	20308	50445	95130	201064	0	366947	-2.8

*Las áreas sombreadas corresponden al perfil bioclimático de cada grupo de especies de cactáceas que fue representado en los mapas de distribución potencial.

Cuadro 2B. Áreas (ha) de distribución potencial actual y con el escenario de cambio climático (+2°C y -15% de precipitación propuesto para el año 2100).

Grupo	Áreas de distribución potencial actual (ha) por intervalo porcentual del perfil bioclimático					Áreas de distribución Potencial actual total (ha)	Áreas de distribución potencial (ha) por intervalo del perfil bioclimático en el escenario de cambio climático (+2°C y -15% de precipitación para el año 2100).					Área total (ha) con el escenario de cambio climático	% de cambio de áreas de ocupación potencial con el escenario de cambio climático (+2°C y -15% precipitación).
	0-100 %	2.5-7.5%	5-95 %	10-90%	25-75 %		0-100%	2.5-7.5%	5-95%	10-90%	25-75%		
1	427260	84863	193743	3784	0	709650	150824	17788	28018	0	0	196630	-72.3
2	3793826	1273755	12669	0	0	5080250	3290607	407341	10691	0	0	3708639	-27.0
3	2274	14749	7480	8844	2572	35919	0	0	0	0	0	0	-100.0
4	2057132	385194	439934	196583	0	3078843	1340674	178083	134508	12068	0	1665333	-45.9
5	1646053	653980	1495964	0	0	3795997	1392558	427578	584382	0	0	2404518	-36.6
6	15126	206360	7474	24435	3249	256644	5911	11955	4248	8782	1609	32505	-87.3
7	993778	574558	1022278	0	0	2590614	419708	239637	370429	0	0	1029774	-60.2
8	22769	58592	89118	207209	0	377688	3621	16274	60854	20555	0	101304	-73.2

*Las áreas sombreadas corresponden al perfil bioclimático de cada grupo de especies de cactáceas que fue representado en los mapas de distribución potencial.