



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Iztapalapa

TÍTULO DE LA TESIS

Predicción de la distribución geográfica potencial de las especies arbóreas de las selvas tropicales de México, bajo escenarios de cambio climático global.
Estudio en áreas naturales protegidas

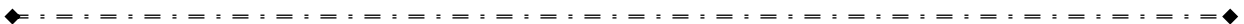
TESIS

Que para obtener el grado de
Maestra en Biología

PRESENTA

AGUILAR ROMERO OSIRIS

México, Ciudad de México a 7 de Noviembre de 2016.



El jurado designado por la
División de Ciencias Biológicas y de la Salud
de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó

Osiris Aguilar Romero

El día 07 de Noviembre del año de 2016.

Comité Tutorial y Jurado

Tutor: Dra. Claudia Ballesteros Barrera



Asesor: Dr. Oswaldo Téllez Valdés



Asesora: Dra. María Engracia Hernández Cerda



Sinodal: Dr. Mario Adolfo Espejo Serna



Sinodal: Dra. María del Rocío Zarate Hernández



La Maestría en Biología de la
Universidad Autónoma Metropolitana
Pertenece al Padrón de
Postgrados de Calidad del CONACyT.

El jurado designado por la
División de Ciencias Biológicas y de la Salud
de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó

Osiris Aguilar Romero

El día 07 de Noviembre del año de 2016.

Comité Tutorial y Jurado

Tutor: Dra. Claudia Ballesteros Barrera

Asesor: Dr. Oswaldo Téllez Valdés

Asesora: Dra. María Engracia Hernández Cerda

Sinodal: Dr. Mario Adolfo Espejo Serna

Sinodal: Dra. María del Rocío Zarate Hernández

“Hay grandeza en esta concepción de que la vida, con sus diferentes facultades, fue originariamente alentada por el Creador en unas cuantas formas o en una sola, y que, mientras este planeta ha ido girando según la constante ley de gravitación, se han desarrollado y se están desarrollando, a partir de un comienzo tan sencillo, infinidad de formas cada vez más bellas y maravillosas”.

-Charles Darwin.

DEDICATORIA

A la UAM-I, que en los últimos años ha mostrado ser una de las mejores instituciones nacionales a nivel superior. Gracias por ser una *“Casa Abierta al Tiempo”*, por contribuir significativamente en mi formación profesional y personal, siempre fuiste el refugio perfecto para mis sueños e ideales.

A la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECyT), por confiar en mi trabajo y beneficiarme con las becas otorgadas para realizar mis estudios de posgrado y escritura tesis.

A mi Comité Tutorial por compartirme sus conocimientos, experiencias, apoyo, consejos, correcciones y comentarios.

A mis Padres y Hermanos, les agradezco infinitamente todo su amor, confianza y paciencia.

A mis mejores Amigos, gracias por escucharme, tantos viajes y momentos de grata compañía.

AGRADECIMIENTOS

A mi querida *UAM-I*, estoy muy orgullosa de ser una Pantera negra. Muchos de mis recuerdos tienen lugar en este espacio universitario, que sólo de pensarlos me causan una gran sonrisa.

A mi mayor tesoro, mi familia: *Mario, Cristina, Andrea, Alfonso, Ricardo y Getsemani*. Ustedes son mi mejor ejemplo de fe, esperanza y amor. Son todo mi apoyo y soporte. Sólo les puedo decir: “ $(\alpha+m) \Psi=0$ ”, ésta es la ecuación de Dirac, que en práctica dice que: “Dos partículas que en algún momento estuvieron unidas, siguen estando de algún modo relacionadas. No importa la distancia entre ambas, aunque se hallen en extremos opuestos del universo, la conexión entre ellas es instantánea”. *Los amo y si existe otra vida, los amaré más. Definitivamente, ustedes hacen que este mundo sea un mejor lugar*

A todos los miembros de la familia Aguilar y Romero, espero que este pequeño logro sirva de inspiración. *Los adoro infinitamente*

A *Gilberto Hernández C.*: Aprender sobre los Sistemas de Información Geográfica y sus aplicaciones en la Biología a través de tus conocimientos, ha sido de las mejores decisiones que he tenido. Gracias por hacer del Lab. de Manejo de Recursos Naturales, mi segunda casa. Gracias por ser pieza fundamental en mi formación profesional. Gracias por estar cuando más te he necesitado. Es un privilegio tenerte como Jefe, pero es más, tener un amigo como tú. *Te quiero*

A *Claudia Ballesteros B.*: Gracias por mostrarme e involucrarme en el mundo de los Modelos de Nicho Ecológico y hacer con ellos viajes interesantes al pasado y futuro, en escasos minutos. Gracias por creer en mi trabajo, colocando en mi responsabilidad grandes proyectos y colaboraciones que han permitido consolidar mi formación académica. La influencia de tus conocimientos y experiencias no sólo ha sido profesional, siempre se ampliaron en el terreno personal y eso los hace más valiosos. Gracias por siempre escucharme y encontrar las palabras adecuadas que me motivan en el día a día. Camina bien que voy siguiendo tus pasos. “...Porque en un mundo que va a la velocidad del rayo, aguanto el vuelo más si me agarro de tu mano, acompáñame hasta donde pueda llegar. En este mundo que va como la luz del pensamiento, el mérito está en no quedarme en el intento...” *Gracias por todo y por tanto. Te quiero hartito condenadota, mi Dotora Super Poderosa*

A mi comité tutorial:

- Gracias *Oswaldo Téllez V.* por tu inmensa ayuda. Siempre compartiste tus conocimientos y experiencias de manera incondicional. Resolviste todas mis dudas e inquietudes casi leyendo mi pensamiento. Eres un claro ejemplo de que la ciencia es de todos y para todos. Tu contribución académica es a grandes escalas pero tu participación y aporte para este proyecto, es global.

- Gracias *María Engracia Hernández C.* por el gran entusiasmo que mostraste para este proyecto en todo momento. Por confiar en la idea desde el primer momento. Tus contribuciones y observaciones puntuales, siempre fueron piezas clave para mejorar el proyecto. Por tantas palabras y consejos que siempre al recordarlos, me motivaban a continuar y enfrentar el reto.

A mis Sinodales:

- Gracias *Adolfo Espejo y Rocío Zarate* por su siempre disponibilidad, presencia, tiempo y comprensión. Sus comentarios siempre fueron en pro, críticos y constructivos. Son un gran ejemplo académico y de grandes seres humanos, les admiro pero les quiero más.

A *Rocío Zarate*, gracias por tu ayuda y presencia incondicional. Eres el mejor ejemplo de comprensión, paciencia y buena fe. Mereces una vida llena de muchas alegrías y felicidad. Si es verdad que tenemos un Ángel que nos guía, eres tú lo más parecido a ese rumor.

A la Coordinación en la Maestría en Biología:

- Gracias *Alejandro Zavala H.* por todo el apoyo y orientación que recibí. Por tu gran interés, propuestas y observaciones que realizaste para este proyecto desde el día de la entrevista, he de confesar que algunas preguntas siguen haciendo ruido en mi cabeza. Es un gran privilegio ver en ti: un profesor, investigador, coordinador, experto, guía y amigo.

- Gracias *Abel Sentíes G.* por todo el apoyo ilimitado que proporcionaste para este proyecto, siempre apostando por esta idea. A pesar de tus múltiples ocupaciones, siempre tuviste tiempo para revisar todos los detalles y complicaciones (e inclusive las existenciales). Gracias por confiar momentos únicos profesionales y personales, haciéndome participe de tus logros y triunfos. Sólo tú conociste mis mejores y peores versiones, siempre tuviste las palabras exactas de consuelo, logrando llegar a ser hasta mi terapeuta personal, confidente y consejero incondicional. En mi pequeña vida, no quiero carecer de tu gran amistad. Siempre lo tengo presente: "...winter, spring, summer, or fall, all you have to do is call and i'll be there..."

- Gracias *Miguel Ángel Armella V.* por todo el apoyo proporcionado para completar y concluir este proyecto. Por siempre escucharme, orientarme, por las llamadas de atención y regaños. Por confiar en mis conocimientos y proporcionarme nuevas oportunidades.

A mis profesores de Posgrado que en cada clase y/o práctica me compartieron sus conocimientos y que hicieron en cada final trimestral amar y/u odiar mi proyecto de investigación. Gracias a: *Alejandra Serrato, Javier Cruz, Fernando Vite, Miguel Ángel León, Ana Laura Ibañez, Noé Flores, Claudia Ballesteros, Pablo Corcuera, Rocío Zarate e Isaías H. Salgado.*

A mis queridos profesores de la Licenciatura en Biología, que siempre han confiado en mí, me proporcionaron las mejores palabras de aliento, sabios consejos y siempre estuvieron cuando más los necesité. Gracias mil: *Adriana Rebollo, Ana Rosa López, Adolfo Espejo, Rocío Zarate, Fernando Vite, Marco Aurelio Pérez, Gerardo López, Pedro Luis Valverde, Maricarmen Herrera, Martha Pérez y Eduardo Casas.*

A mis profesores de Cambio Climático de la UNAM: *Margarita Caballero, Alejandro Rodríguez y Socorro Lozano.* Gracias por permitirme ser testigo y participe de las mejores clases sobre el entendimiento del sistema climático. Por compartir sus conocimientos y experiencias para reconstruir el pasado y comprender el presente.

A *Claudia Ballesteros, CONABIO, Miguel Ángel Armella, Lourdes Yáñez, Matías Martínez, Grupo Selome, Miguel Ángel León, Alfredo García y Frander Riverón:* Gracias infinitas por confiar en mis conocimientos y en mi persona, ustedes me hicieron participe de diferentes proyectos que incrementaron mi experiencia profesional, siempre me escucharon, consideraron mis sugerencias e hicieron valer mi voz.

A mis grandes y mejores amigos: Gracias por prestarme sus alas cuando las mías se olvidaron de volar. Sus locuras y malos consejos complementan mi vida. Los adoro inmensamente. Gracias por ser parte de mi familia:

- *Mayra Domínguez,* siempre tenemos una aventura que contar, un momento que disfrutar, una verdad que transformar, una mentira que inventar, alguien para criticar y un mal momento para llorar.
- *Luisa Cruz,* a pesar de la distancia geográfica, nuestra amistad se fortalece día a día. Siempre estás cuando más te necesito, gracias por ser mi gran ejemplo de perseverancia. Te admiro profundamente por ser una gran mujer y ser humano.
- *Oswaldo Falcón,* tú eres el culpable intelectual de esta decisión, muchas veces maldije el haberte escuchado pero en días como hoy, celebro haberlo hecho.
- *Felipe Flores,* siempre tienes un remedio para mi felicidad, triunfos, tristezas y preocupaciones: "Vamos por un café".
- *Rafael Escalante,* ser amiga del #45 a nivel mundial, es un privilegio. Tus viajes, aventuras, cuentos, libros e historias, me vuelven loca. Creo que Salvatierra incrementa su valor por ti.
- *Jesús Rivera,* siempre es bueno tener alguien que hace bailar hasta el alma, cumple sueños y complementa locuras. Siempre tendré un hermoso y especial recuerdo de cada viaje y momento a tu lado.
- Agradezco profundamente y con un lugar muy especial en mi corazón a: *Karla Fuentes, Itzi Rivero, Gustavo Hernández, Francisca Cruz, Liliana Estala, Esperanza Córdova, Monserrat Jiménez, Amelia Cornejo, Raúl Osorio, Viridiana González, Luis Alberto Bernal y Arizbe Ponce.*

A mis compañeros del Grupo de Investigación del Cambio Climático: Gracias por hacerme participe de grandes estudios, colaboraciones, clases, ideas y momentos juntos. Son unos seres maravillosos, siento una profunda admiración hacia ustedes y su

gran trabajo. Gracias a *Lizzi Martínez, Santiago Ramírez, Sandra Miguel, Gabriela Pérez, Oscar Tapia, Zuriel Lara y Yasser López.*

A mis compañeros del Laboratorio de Manejo de Recursos Naturales: Compartimos por muchas horas al día el mismo espacio y lugar. Con ustedes tuve mucho aprendizaje y lecciones de vida. Ustedes son los fieles testigos de mis éxitos y frustraciones. Siempre pusieron a prueba mis conocimientos, espero haberlos confundido e incrementado sus dudas. Gracias por soportar mis mejores y peores momentos. Gracias a: *Sandra Miguel, Paola Durante, Iliana Pérez, Santiago Ramírez, Alma Delia Toledo y Fernanda Bernadez.*

- Mención distinguida para: *Yasser Said López*, las mejores lecciones de compañerismo y verdadero trabajo en equipo, provienen de ti. Eres el mejor*

A mis compañeros de generación, que siempre nos unieron los mismos intereses profesionales, las mismas dudas y sobretodo las complicadas tareas y/o exámenes. Gracias: *Dafne Zarate, Mario Muñoz, Carmen Limón, Aldanelly Galicia, Kinberly Barrios, Zurisadai Muñiz, Ángel Cambrón, Omar Díaz, Alma Delia Toledo, Julieta Avilés y Eloisa Pacheco.*

A mis compañeros de Cambio Climático de la UNAM, aprendí mucho con ustedes y de ustedes. Me mostraron una nueva visión del estudio y del trabajo en equipo. Agradecimientos especiales: *Adolfo Quesada, Alberto Díaz y Adriana Martínez.* Gracias a *Patricia De Anda, David Escamilla, Erandi Rodríguez, Pedro Martínez y Juliana Méndez*, ustedes siempre tuvieron una respuesta a alguna duda y una sonrisa para mi preocupación.

Gracias *Moisés Valdés*, no sé cuántas veces te he necesitado... sólo sé que en todas siempre has estado. Sólo tú, has sido fiel testigo de todas mis aventuras profesionales y experiencias personales. Espero que tu amistad me perdure toda la vida.

Gracias *Raúl Martínez*, tú me enseñaste a ser sincera sin temor a lo que pienso evitando la mentira, tú me has hecho creer que aquí nadie es perfecto, tú me has hecho ser mejor... mejor de lo que era. Te sigo con la fe de un ciego porque tú ves las cosas que no veo.

Gracias *Noé González*, tus preguntas siempre me hicieron revisar, analizar y estudiar. En tus conversaciones siempre encontré recomendaciones, guías y consejos.

Gracias *Laura Almaraz, Margarita Sánchez y Maricela Rodríguez*, ustedes son las mujeres más importantes del Depto. de Biología. Gracias por regalarme la sonrisa más linda y confortante para iniciar el día. Gracias por siempre escucharme y aconsejar.

A mis grandes amigos cubanos. Sin temor a equivocarme, puedo decir que viajar a Cuba, ha sido una de las mejores experiencias que he tenido en la vida. Esa isla bonita, es mágica. Millones de Gracias:

- *Alfredo García y Frander Riverón*, son el ejemplo de buena voluntad, dedicación, anhelo, ganas de triunfar, viajes continuos y sueños cumplidos. Es un placer coincidir en esta vida y sé que nuestra amistad ya existía en vidas pasadas. Mis queridos príncipes morados, sólo ustedes me hacen creer y sentir, especial.

- *Yander Diez*, me has demostrado que la verdadera amistad puede existir a pesar de tantos kilómetros de distancia y sentir tan cerca un cariño inmenso. Admiro todo tu ser.

- *Dennis Denis, Yarelys Ferrer, Alexis Plasencia, Adrián Márquez y Carlos Mancina*, desde el primer momento consideraron mi saber y opinión.

- *Facundo Álvarez*, mi argentino más cubano en tierras brasileñas, siempre pusiste a prueba mis conocimientos y te dejaste llevar por el saber.

- *Alexis Plasencia, Suleikys Guerra, Annery Serrano, Anay Serrano, Yamileth Hernández y Raisa Escalona*, son los seres humanos con el corazón más grande y sincero.

“Si salgo, llevo; si llevo, entro; si entro, triunfo”.

A los recientes integrantes de mi vida que en la etapa final de este proceso se presentaron:

- A todos los miembros del *grupo de PTP1*: mis grandes amigos y compañeros de guerra. Estar con ustedes fue, es y será una de las mejores etapas de mi vida. Gracias por compartir tantas historias de vida, lecciones y aprendizaje. Están hechos de “Fibra”, con sus consejos y compañía me ayudan a construirme en el día, día. “Todos juntos llegaremos al final de este trote infernal, donde llega el más capaz...”; “Honor, Valor, Lealtad, Sacrificio, son palabras que yo llevo muy adentro de mí...”; “Todas las noches sueño contigo, casi ya no duermo pensando en ti...”.

- A mis amigos y compañeros *Ambientales*: estar rodeado de grandes profesionistas y expertos me hace sentir sumamente especial. Todos han contribuido a mi aprendizaje y han motivado mis ganas de saber. Son la mejor compañía profesional y personal. Les admiro y deseo compartir el camino a su lado por muchos años. Gracias por tanto compañerismo, apoyo y ánimos.

- A *Flor Castro y Rosalba Herrera*, son un par de campeonas que quiero inmensamente. Gracias por siempre escucharme, entenderme, apoyarme y aconsejarme. La luz de cada noche, era sólo para iluminar sus sueños.

- A mis “Chicas de 10” por ser las mujeres más valientes y fuertes que tengo en mi vida. A los que son “Más que una muralla” por ser la mejor compañía que tengo en todo momento y lugar, gracias por tantas alegrías y buenos momentos.

- A *Mauricio Corona* por mostrarme los contraste de la vida, en una misma persona.

* * * A todos los que siempre han sido y han estado: G R A C I A S * * *

“... Por lo que fue y por lo que pudo ser, por lo que hay y por lo que pueda faltar, por lo que venga y por este instante, levanta el vaso y a brindar por el aguante...”

RESUMEN

Las selvas tropicales son los ecosistemas más dinámicos y complejos de la naturaleza, su importancia radica en contener la mayor diversidad genética y biológica de todas las comunidades terrestres y en proporcionar una gran variedad de servicios ambientales. Entre las formas de vida vegetales que alberga, se reconoce a los componentes arbóreos como los más destacables dada su amplia utilidad y cuyo valor es incalculable para el mundo viviente.

Sin embargo la permanencia de éstos es incierta, a causa de las modificaciones en los patrones de temperatura y precipitación que se están presentando debido al cambio climático (CC), lo que representaría cambios futuros en: a) la distribución geográfica de las especies, b) composición en las comunidades vegetales y c) permanencia en las áreas nacionales dedicadas para su protección y/o conservación.

El presente estudio analizó los posibles cambios en la distribución geográfica potencial (permanencia, colonización y extinción) de 92 especies arbóreas tropicales, utilizando Desktop GARP y proyectando bajo escenarios (A2 y B1) de cambio climático para el futuro (2060 y 2090). Se obtuvo el perfil climático de las áreas potenciales y el perfil bioclimático de las especies. Se identificaron y analizaron los cambios en la composición de las comunidades vegetales por afinidad ambiental a través de un Análisis Multivariante de Varianza (MANOVA) y se realizaron Análisis de Correspondencia y Dendogramas para visualizar grupos con similitudes ambientales. Se identificó la permanencia de las especies y se analizó su composición dentro de

cinco Áreas Naturales Protegidas (ANP) en categoría de Reserva de la Biosfera: Calakmul (Campeche), Montes Azules (Chiapas), Sian Ka'an (Quintana Roo), Sierra Gorda (Querétaro), y Tehuacán – Cuicatlán (Puebla y Oaxaca).

Los resultados obtenidos muestran que el 20% (A2) y 37% (B1) de las especies analizadas se verían relativamente favorecidas por el CC, al lograr permanecer o incrementar sus áreas de distribución, siendo identificados como elementos característicos de selvas medianas subperennifolias, medianas subcaducifolias y bajas caducifolias; mientras que el 80% (A2) y 63% (B1) de los árboles podrían disminuir su distribución, siendo más afectados o vulnerables al CC aquellos pertenecientes a selvas altas perennifolias, medianas subperennifolias y medianas subcaducifolias. Se identificaron a Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Oaxaca, Puebla y Veracruz como los estados con mayor cambio vegetal. Se identificaron posibles cambios en la composición y/o dominancia vegetal dentro de las ANP seleccionadas, siendo Calakmul y Sian Ka'an las que presentarían considerables disminuciones principalmente en el escenario A2, Montes Azules mostraría un ligero incremento en el número de especies en ambos escenarios, mientras que Sierra Gorda y Tehuacán – Cuicatlán mantendría sus valores semejantes a los establecidos actualmente. Finalmente se identificaron variaciones en el acomodo espacial de las especies dentro de las ANP, así como cambios significativos en la permanencia de éstas, correspondiendo a algunas de las zonificaciones establecidas de acuerdo al Programa de Manejo.

ABSTRACT

Tropical rainforest are the most dynamic and complex ecosystems in nature. They are of critical importance because they contain the greatest genetic and biological diversity in all terrestrial communities and because they provide a vast variety of environmental services. Among the plant life that they are comprised by, the arboreal components are well known because of their great usefulness and, therefore, they are invaluable for life in our world.

However, the permanence of these ecosystems is uncertain because of the several alterations on temperature and precipitation patterns due to climate change (CC). These disturbances potentially mean a) change of the geographical distribution of the species, b) change on the composition of the communities and c) also a change on the national areas dedicated to their protection and preservation.

In this paper have been analyzed the possible changes on the potential geographical distribution (permanency, colonization and extinction) of 92 tropical arboreal species using Desktop GARP and projecting over scenarios A2 and B1 of climate change for 2060 and 2090. Climate profile as well as bioclimatic profile of the species were obtained. The changes on the composition of the communities were identified and analyzed through Multivariate analysis of variance (MANOVA). Also, correspondence analysis and dendrograms were used to recognize the groups with environmental similarities. The permanence of the species was identified and analyzed within five Natural Protected Areas under the category of Biosphere

Reserve: Calakmul (Campeche), Montes Azules (Chiapas), Sian Ka'an (Quintana Roo), Sierra Gorda (Querétaro), y Tehuacán – Cuicatlán (Puebla y Oaxaca).

The Results of the investigation show that 20% (scenario A2) and 37% (scenario B1) of the species will be relatively favored by the CC, as they can maintain or expand their distribution areas. Most of them were identified from medium sub-evergreen forest, medium sub-deciduous and low deciduous. Also, this means that 80% (A2) and 63% (B1) of the species could reduce their distribution due CC. The most vulnerable could be those from high evergreen forest, medium sub-evergreen, and medium sub-deciduous. The States with major changes were Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Oaxaca, Puebla and Veracruz. Other changes were found on the vegetal composition and dominance within the PNAs chosen for the study. Calakmul and Sian Ka'an are the ones with considerable reductions on A2. In the other hand, Montes Azules is the only one which could show a slight increase in the number of species on both scenarios, while Sierra Gorda and Tehuacán – Cuicatlán could maintain the same composition and dominance they have at the present. Finally, small changes on the arrangement of the species within the PNAs was noticed as well as important changes on their permanence, which concurs with the Management Program established for those Areas.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTOS.....	6
RESUMEN.....	11
LISTA DE CUADROS.....	16
LISTA DE FIGURAS.....	19
LISTA DE GRÁFICAS.....	22
INTRODUCCIÓN	
Las selvas tropicales de México.....	23
El cambio climático y su efecto en la biodiversidad.....	31
Distribución geográfica potencial y modelado de nicho ecológico.....	41
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	45
HIPÓTESIS.....	46
OBJETIVO GENERAL.....	46
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	47
LITERATURA CITADA.....	48

CAPÍTULO I. LAS ESPECIES ARBÓREAS DE LAS SELVAS TROPICALES DE MÉXICO BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

INTRODUCCIÓN.....	61
OBJETIVOS.....	66
MATERIALES Y MÉTODOS	
Base de datos.....	67
Coberturas ambientales.....	73
Cálculos ambientales.....	74
Perfiles bioclimáticos.....	75
Selección de variables ambientales.....	76
Delimitación de la M.....	79
Modelos de distribución de las especies.....	79
Análisis de especies.....	82
Perfiles climáticos de áreas potenciales.....	83
Análisis de comunidades arbóreas.....	84
RESULTADOS.....	86
Estudio 1. Posible incremento (<i>Platymiscium yucatanum</i> Standl).....	95
Estudio 2. Posible disminución (<i>Castilla elastica</i> Cerv.).....	105
Estudio 3. Posible mantenimiento (<i>Dussia mexicana</i> (Stand.) Harms).....	115
Estudio 4. Posibles cambios de acuerdo al escenario <i>Lysiloma latisiliquum</i> (L.) Benth).....	124
Análisis de comunidades arbóreas.....	133
DISCUSIÓN.....	147
CONCLUSIONES.....	163
LITERATURA CITADA.....	166

CAPÍTULO II. COMPOSICIÓN ACTUAL Y FUTURA DE LAS ESPECIES ARBÓREAS BAJO CONDICIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS SELVAS TROPICALES DE LAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DE MÉXICO.

INTRODUCCIÓN.....	179
OBJETIVOS.....	186
MATERIALES Y MÉTODOS	
Modelos de distribución de las especies.....	186
Elección de Áreas Naturales Protegidas.....	187
Intersección con ANP.....	188
Extracción de valores de presencia.....	188
Análisis de cambios de especies por ANP.....	189
RESULTADOS	
Reserva de la biosfera de Calakmul.....	191
Reserva de la biosfera de Montes Azules.....	204
Reserva de la biosfera de Sian Ka’an.....	218
Reserva de la biosfera de Sierra Gorda.....	229
Reserva de la biosfera de Tehuacán – Cuicatlán.....	242
DISCUSIÓN.....	255
CONCLUSIÓN.....	259
LITERATURA CITADA.....	262

LISTA DE CUADROS

1. Listado de especies seleccionadas y clasificación por tipo de vegetación.....	72
2. Número de especies por familias botánicas.....	73
3. Variables ambientales.....	75
4. Variables ambientales seleccionadas y porcentaje de variabilidad acumulada en eigenvalores de acuerdo al PCA para cada especie.....	78
5. Selección de puntos de entrenamiento y validación.....	82
6. Identificador estadístico de especies arbóreas.....	85
7. Número de especies arbóreas en el presente y en el futuro por entidad federativa.....	91
8. Tipos de vegetación que caracterizan a las agrupaciones vegetales.....	146
9. Análisis de especies arbóreas presentes y futuras en la reserva de la biosfera de Calakmul.....	195
10. Cambios en las especies arbóreas para el futuro en la reserva de la biosfera de Calakmul.....	195
11. Cambios en las especies arbóreas actuales y para el futuro (escenario A2) en la reserva de la biosfera de Calakmul.....	198
12. Cambios en las especies arbóreas actuales y para el futuro (escenario B1) en la reserva de la biosfera de Calakmul.....	200
13. Análisis de especies arbóreas presentes y futuras en la reserva de la biosfera de Montes Azules.....	207
14. Cambios en las especies arbóreas para el futuro en la reserva de la biosfera de Montes Azules.....	208

15.	Cambios en las especies arbóreas actuales y para el futuro (escenario A2) en la reserva de la biosfera de Montes Azules.....	211
16.	Cambios en las especies arbóreas actuales y para el futuro (escenario B1) en la reserva de la biosfera de Montes Azules.....	214
17.	Análisis de especies arbóreas presentes y futuras en la reserva de la biosfera de Sian Ka’an.....	220
18.	Cambios en las especies arbóreas para el futuro en la reserva de la biosfera Sian Ka’an.....	221
19.	Cambios en las especies arbóreas actuales y para el futuro (escenario A2) en la reserva de la biosfera de Sian Ka’an.....	223
20.	Cambios en las especies arbóreas actuales y para el futuro (escenario B1) en la reserva de la biosfera de Sian Ka’an.....	225
21.	Análisis de especies arbóreas presentes y futuras en la reserva de la biosfera de Sierra Gorda.....	231
22.	Cambios en las especies arbóreas para el futuro en la reserva de la biosfera Sierra Gorda.....	232
23.	Cambios en las especies arbóreas actuales y para el futuro (escenario A2) en la reserva de la biosfera de Sierra Gorda.....	235
24.	Cambios en las especies arbóreas actuales y para el futuro (escenario B1) en la reserva de la biosfera de Sierra Gorda.....	238
25.	Análisis de especies arbóreas presentes y futuras en la reserva de la biosfera de Tehuacán – Cuicatlán.....	244

26.	Cambios en las especies arbóreas para el futuro en la reserva de la biosfera Tehuacán – Cuicatlán.....	244
27.	Cambios en las especies arbóreas actuales y para el futuro (escenario A2) en la reserva de la biosfera de Tehuacán – Cuicatlán.....	248
28.	Cambios en las especies arbóreas actuales y para el futuro (escenario B1) en la reserva de la biosfera de Tehuacán – Cuicatlán.....	251

✿ LISTA DE FIGURAS

1. Riqueza actual de especies arbóreas.....	89
2. Número de especies arbóreas que permanecerían en el futuro por km ²	92
3. Número de especies arbóreas que podrían extinguirse en el futuro por km ²	93
4. Número de especies arbóreas que colonizarían en el futuro por km ²	94
5. Árbol de <i>Platymiscium yucatanum</i>	95
6. Distribución potencial actual de <i>P. yucatanum</i>	99
7. Distribución potencial de <i>P. yucatanum</i> bajo un escenario A2.....	100
8. Distribución potencial de <i>P. yucatanum</i> bajo un escenario B1.....	101
9. Árbol de <i>Castilla elastica</i>	105
10. Distribución potencial actual de <i>C. elastica</i>	109
11. Distribución potencial de <i>C. elastica</i> bajo un escenario A2.....	110
12. Distribución potencial de <i>C. elastica</i> bajo un escenario B1.....	111
13. Árbol de <i>Dussia mexicana</i>	115
14. Distribución potencial de <i>D. mexicana</i>	118
15. Distribución potencial de <i>D. mexicana</i> bajo un escenario A2.....	119
16. Distribución potencial de <i>D. mexicana</i> bajo un escenario B1.....	120
17. Árbol de <i>Lysiloma latisiliquum</i>	124
18. Distribución potencial de <i>L. latisiliquum</i>	127
19. Distribución potencial de <i>L. latisiliquum</i> bajo un escenario A2.....	128
20. Distribución potencial de <i>L. latisiliquum</i> bajo un escenario B1.....	129
21. Análisis de correspondencia para el presente.....	134
22. Dendograma para el presente.....	135

23. Análisis de correspondencia del escenario A2 para el año 2060.....	138
24. Análisis de correspondencia del escenario A2 para el año 2090.....	139
25. Dendograma del escenario A2 para el año 2060.....	140
26. Dendograma del escenario A2 para el año 2090.....	141
27. Análisis de correspondencia del escenario B1 para el año 2060.....	142
28. Análisis de correspondencia del escenario B1 para el año 2090.....	143
29. Dendograma del escenario B1 para el año 2060.....	144
30. Dendograma del escenario B1 para el año 2090.....	145
31. Distribución potencial actual de especies arbóreas en la reserva de la biosfera de Calakmul.....	201
32. Distribución potencial de las especies arbóreas en la reserva de la biosfera de Calakmul, bajo un escenario A2.....	202
33. Distribución potencial de las especies arbóreas en la reserva de la biosfera de Calakmul, bajo un escenario B1.....	203
34. Distribución potencial actual de especies arbóreas en la reserva de la biosfera de Montes Azules.....	215
35. Distribución potencial de las especies arbóreas en la reserva de la biosfera de Montes Azules, bajo un escenario A2.....	216
36. Distribución potencial de las especies arbóreas en la reserva de la biosfera de Montes Azules, bajo un escenario B1.....	217
37. Distribución potencial actual de especies arbóreas en la reserva de la biosfera de Sian Ka'an.....	226

38. Distribución potencial de las especies arbóreas en la reserva de la biosfera de Sian Ka'an, bajo un escenario A2.....	227
39. Distribución potencial de las especies arbóreas en la reserva de la biosfera de Sian Ka'an, bajo un escenario B1.....	228
40. Distribución potencial actual de especies arbóreas en la reserva de la biosfera de Sierra Gorda.....	239
41. Distribución potencial de las especies arbóreas en la reserva de la biosfera de Sierra Gorda, bajo un escenario A2.....	240
42. Distribución potencial de las especies arbóreas en la reserva de la biosfera de Sierra Gorda, bajo un escenario B1.....	241
43. Distribución potencial actual de especies arbóreas en la reserva de la biosfera de Tehuacán - Cuicatlán.....	252
44. Distribución potencial de las especies arbóreas en la reserva de la biosfera de Tehuacán - Cuicatlán, bajo un escenario A2.....	253
45. Distribución potencial de las especies arbóreas en la reserva de la biosfera de Tehuacán - Cuicatlán, bajo un escenario B1.....	254

✿ LISTA DE GRÁFICAS

1. Número de especies arbóreas presentes por entidad federativa.....	90
2. Número de especies que permanecerían en el futuro por entidad federativa....	92
3. Número de especies que se extinguirían en el futuro por entidad federativa.....	93
4. Número de especies que colonizarían en el futuro por entidad federativa.....	94
5. Cambios futuros en la distribución potencial de <i>Platymiscium yucatanum</i>	102
6. Perfil bioclimático de <i>P. yucatanum</i>	103
7. Variación ambiental promedio en las áreas potenciales actuales y futuras de <i>P. yucatanum</i>	104
8. Cambios futuros en la distribución potencial de <i>Castilla elastica</i>	112
9. Perfil bioclimático de <i>C. elastica</i>	113
10. Variación ambiental promedio en las áreas potenciales actuales y futuras de <i>C. elastica</i>	114
11. Cambios futuros en la distribución potencial de <i>Dussia mexicana</i>	121
12. Perfil bioclimático de <i>D. mexicana</i>	122
13. Variación ambiental promedio en las áreas potenciales actuales y futuras de <i>D. mexicana</i>	123
14. Cambios futuros en la distribución potencial de <i>Lysiloma latisiliquum</i>	130
15. Perfil bioclimático de <i>L. latisiliquum</i>	131
16. Variación ambiental promedio en las áreas potenciales actuales y futuras de <i>L. latisiliquum</i>	132
17. Cambios en las especies arbóreas para el futuro (escenario A2 y B1) para cinco áreas naturales protegidas.....	190

INTRODUCCIÓN

Las selvas tropicales de México.

Las selvas tropicales son las comunidades vegetales con los ecosistemas más dinámicos y complejos de la naturaleza (Álvarez & Bonilla, 2007), su importancia radica en contener la mayor diversidad genética y biológica de todas las comunidades terrestres (Sánchez & Rebollar, 1999), en tener una enorme riqueza de especies (Ortiz & Toledo, 1998), en proporcionar una gran variedad de servicios ambientales (Manson, 2004) y en presentar una gran diversidad de formas de vida vegetales (árboles, arbustos, hierbas, palmas arborescentes, epífitas, lianas, enredaderas, árboles hemiepífitos y estranguladores (Dirzo, 2004). Asimismo desempeñan un papel primordial en el ciclo global del carbono (porque almacenan grandes cantidades de carbono atmosférico y lo intercambian mediante la fotosíntesis) (Brown, 1996), además permiten la captación de agua y el mantenimiento del ciclo hidrológico (Rosas *et al.*, 2006). Algunas áreas selváticas son representativas de la diversidad cultural al albergar impresionantes vestigios arqueológicos de culturas milenarias (García & Secaira, 2006), mientras que otras, como las selvas del sureste de México junto con el Petén de Guatemala, adquieren relevancia por ser consideradas una de las fronteras selváticas más extensas de América (después de la Amazonia) (Challenger, 1998); por lo anterior son un recurso actual y potencial de gran importancia para la sociedad (Dirzo, 2004).

Estas unidades vegetales se distribuyen en áreas con clima tropical y subtropical, siendo agrupadas en selvas del trópico húmedo (abarcán el 12.2 % de la extensión del país) y del trópico seco (ocupan una extensión del 16.1 %) (Gómez *et*

al., 2011). La selvas alta, mediana y baja perennifolia, selva alta y mediana subperennifolia, selva baja subperennifolia y la selva mediana o alta subcaducifolia (*sensu* Miranda & Hernández-X, 1963) se desarrollan en el trópico húmedo, mientras que en el trópico seco se encuentran la selva baja caducifolia, la selva baja espinosa perennifolia, la selva baja espinosa caducifolia y la selva baja espinosa (González, 2004). Estos tipos de vegetación se describen a continuación:

La **selva alta perennifolia** presenta precipitaciones anuales promedio superiores a 2 000 mm (hasta 4 000 mm) y puede presentar hasta tres o cuatro meses secos (*sensu* Köeppen, 1948). La temperatura media anual varía entre 22° y 26°C y presentan una oscilación entre el mes más frío y el mes más cálido de 5° a 7°C, nunca presenta heladas y ningún mes tiene una temperatura promedio inferior a 18°C. Se encuentra en lugares con altitudes de 0 a 1 500 m s.n.m. Los suelos tienen buen drenaje, aunque algunos pueden inundarse durante poco tiempo después de las lluvias. Los materiales geológicos de los que se derivan son de origen ígneo, sedimentario calizo y con menor frecuencia metamórficos. Representa el tipo de vegetación mejor desarrollado, el más exuberante, rico en especies, están dominadas por árboles generalmente muy densos (mayores a 30 metros de altura, troncos con un Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) entre 30 y 60 cm e incluso de 2 o 3 m, fustes largos, copas redondeadas o ampliamente piramidales y son frecuentes los contrafuertes bien desarrollados y amplios) que durante todo el año conservan el follaje, además de presentar una abundancia de arbustos, herbáceas, bejucos, plantas trepadoras, plantas estranguladoras y epífitas (Bromeliáceas, Aráceas y Orquidáceas). Las selvas altas perennifolias que se encuentran relativamente

preservadas en el país están en la zona Lacandona, al sureste de Salto de Agua, Palenque, Selva del Ocote y en la reserva de la biosfera de Montes Azules en el estado de Chiapas, además en los límites de Oaxaca, Veracruz y Tabasco (Meave del Castillo, 1990; Pennington & Sarukhán, 2005; Challenger & Soberón, 2008). En este tipo de vegetación son importantes las siguientes especies arbóreas: *Terminalia amazonia* (Sombrerete), *Vochysia hondurensis* (Palo de agua), *Andira galeottiana* (Macayo), *Sweetia panamensis* (Chakte'), *Cedrela odorata* (Cedro rojo), *Swietenia macrophylla* (Caoba), *Guatteria anomala* (Zopo), *Pterocarpus hayesii* (Chabekte), *Brosimum alicastrum* (Ramón), *Ficus spp.* (Matapalo) y *Dialium guianense* (Guapaque) (INEGI, 2015)

La **selva mediana o baja perennifolia** se presenta en regiones montañosas y de topografía abrupta tanto en la vertiente del Pacífico como en la del Golfo, en altitudes entre los 1 000 a 2 500 m s.n.m., en áreas muy húmedas y con frecuencia muy expuestas a vientos constantes y nieblas continuas. La temperatura media anual es inferior a 18°C, las precipitaciones anuales son superiores a 1 500 mm y suelos someros con grandes cantidades de materia orgánica y baja capacidad de retención de humedad aprovechable. Es una selva muy densa donde sus elementos arbóreos no suelen exceder de los 25 m (selva mediana) ó 15 m (selva baja) de alto, con una notable abundancia de líquenes, musgos, helechos y árboles (con diámetros pequeños, troncos ligeramente torcidos y ramificados a la mitad). La selva baja perennifolia se desarrolla en sitios de inundación permanente dentro de las zonas selváticas, asociada en ocasiones con zonas de manglar; algunas especies arbóreas características son: *Haematoxylon campechianum*, *Metopium brownei*, *Crescentia*

cujete, *Bucida buceras* y *Lysiloma latisiliquum* (Pennington & Sarukhán, 2005; Challenger & Soberón, 2008).

La **selva alta o mediana subperennifolia** se presenta en áreas donde el terreno presenta fuertes pendientes, con condiciones climáticas semejantes a la selva alta perennifolia (aunque llegan a presentar oscilaciones de 6° a 8°C entre el mes más frío y el más cálido), además en zonas con precipitaciones de 1 000 a 1 600 mm anuales y con una época de sequía marcada (3 - 4 ó 5 meses). Los suelos se derivan de material calizo, metamórfico y poco frecuente de ígneo, someros, con abundante materia orgánica y drenaje eficaz. El intervalo altitudinal varía entre 200 y 900 m s.n. m. (selva alta) y entre 0 y 1 300 m s.n.m. (selva mediana). En lo correspondiente a la vegetación, la característica más importante es la pérdida de follaje de casi una cuarta parte de los elementos arbóreos en la temporada seca (éstos no suelen ser tan altos por la naturaleza rocosa del sustrato y a la inclinación del terreno), el diámetro de los troncos no sobrepasa los 2.5 m, las copas tienden a ser más angulosas, por otra parte suelen contener una mayor cantidad de palmas en el estrato inferior. Quizás es el tipo de vegetación más extenso en la zona cálido – húmeda del país y posee diversas especies útiles para la industria forestal (Pennington & Sarukhán, 2005; Challenger & Soberón, 2008). Las especies de árboles más importantes son: *Swietenia macrophylla* (Caoba), *Manilkara zapota* (Zapote), *Bucida buceras* (Pukte'), *Brosimum alicastrum* (Ramón), *Bursera simaruba* (Palo mulato), *Pimenta dioica* (Pimienta), *Cedrela odorata* (Cedro rojo), *Terminalia amazonia* (Kaxa'an), *Carpodiptera ameliae*, *Tabebuia rosea*, *Alseis yucatanensis*, *Aspidosperma megalocarpon*, *A. cruentum*, *Swartzia cubensis* (Katalox),

Dendropanax arboreus, *Aphananthe monoica*, *Alchornea latifolia*, *Guarea glabra* (Hoja blanca), *Vitex gaumeri* (Ya'axnik), *Astronium graveolens*, *Sterculia apetala*, *Vatairea lundellii*, *Chrysophyllum mexicanum* (Caimito), *Myroxylon balsamum*, *Robinsonella mirandae*, *Pseudobombax ellipticum* (Amapola), *Metopium brownei* (Boxchechem), *Caesalpinia gaumeri*, *Pouteria sapota* (Chakalja'as), *Lonchocarpus castilloi* (Machiche'), *Protium copal* (Copal), *Calophyllum brasiliense*, *Poulsenia armata*, *Myroxylon balsamum*, *Lysiloma latisiliquum*, *Pouteria reticulata*, *Simarouba glauca*, *Haematoxylon campechianum*, *Ceiba petandra*, *Cordia alliodora*, *Spondias mombin* (Jobo) y *Platymiscium yucatanum* (INEGI, 2015).

La **selva baja subperennifolia** se distribuye principalmente en la península de Yucatán, con temperaturas de 24° a 36°C y precipitaciones entre los 1 300 y 2 000 mm, sin embargo los suelos son considerados como otro factor que determina su presencia, los cuales son relativamente profundos que se inundan en la temporada de lluvias, de manera periódica, y se secan totalmente en invierno. La altitud en que se distribuyen va del nivel del mar hasta los 150 m s.n.m. Los árboles son bajos (no mayores a 5 m), troncos torcidos, las plantas trepadoras y epífitas son menores, en algunas áreas las especies pueden formar asociaciones casi puras (Pennington & Sarukhán, 2005). Las especies importantes son: *Byrsonima crassifolia*, *Byrsonima bucidaefolia* (Sakpaj), *Crescentia alata*, *C. kujete*, *Curatella americana*, *Coccoloba* spp. y *Metopium brownei* (Chechén) (INEGI, 2015).

La **selva alta o mediana subcaducifolia** se presenta en zonas térmicamente semejantes a los anteriores tipos de vegetación, la precipitación anual oscila entre 1 000 a 1 229 mm y la temperatura media anual es de 25.9° a 26.6°C, con una

temporada de secas definida y prolongada. Se localiza entre los 150 y 1 250 m de altitud. Sus componentes arbóreos alcanzan alturas máximas de 25 a 30 m, la densidad es menor que en las selvas altas perennifolias, la cantidad de follaje depende de la temporada de lluvia y cuya característica más importante reside en este punto, donde más de la mitad o tres cuartas partes de los árboles pierden por completo sus hojas. Este tipo de selva, presenta un menor número de especies maderables (Pennington & Sarukhán, 2005), las más importantes son: *Hura polyandra* (Jabillo), *Brosimum alicastrum* (Ramón), *Enterolobium cyclocarpum* (Pich), *Piscidia piscipula* (Habin), *Bursera simaruba* (Palo mulato), *Vitex gaumeri* (Yaaxnik), *Ficus spp.* (Amate), *Aphananthe monoica*, *Astronium graveolens*, *Bernoullia flammea*, *Calophyllum brasiliense*, *Cordia alliodora*, *C. elaeagnoides*, *Dendropanax arboreus*, *Tabebuia rosea*, *Bursera excelsa*, *Jacaratia mexicana*, *Ceiba aesculifolia*, *Plumeria rubra*, *Psidium sartorianum*, *Licania arborea*, *Haematoxylon campechianum*, *Diospyros digyna*, *Pithecellobium dulce*, *Gyrocarpus jatrophiifolius*, *Sideroxylon persimile*, *Manilkara zapota*, *Vitex mollis*, *Calycophyllum candidissimum*, *Pterocarpus acapulcensis*, *Couepia polyandra*, *Ulmus mexicana*, *Maclura tinctoria*, *Myroxylon balsamum*, *Ceiba pentandra*, *Caesalpinia gaumeri*, *Cedrela odorata*, *Alseis yucatanensis*, *Spondias mombin*, *Pseudobombax ellipticum*, *Astronium graveolens* y *Vitex bemslei* (INEGI, 2015).

La **selva mediana caducifolia** se encuentra en sitios con una temperatura media anual de 18° a 28°C y precipitaciones entre los 700 y 1 500 mm que se concentran de manera estacional en 3 a 4 meses secos que se extienden generalmente de diciembre a mayo. El estrato arbóreo alcanza entre 15 y 20 m,

además de presentar estratos arbustivos y herbáceos reducidos. Los suelos son generalmente someros, pedregosos y sobre laderas, pueden ser pobres o ricos en materia orgánica y de diferentes colores. Suelen presentar vegetación secundaria debido a las actividades humanas. Las especies arbóreas más importantes son: *Lysiloma bahamensis* (Tsalam), *Piscidia piscipula* (Ja'bín), *Bursera simaruba* (Palo mulato), *Cedrela odorata* (Cedro rojo), *Cordia dodecandra* (Ciricote), *Caesalpinia gaumeri*, *Simarouba glauca* y *Tabebuia palmeri* (INEGI, 2015).

La **selva baja caducifolia** se presenta en zonas con temperatura promedio anual superior a 20°C (entre los 18° a 28°C), precipitaciones anuales de 300 a 1 500 mm y se distingue una temporada seca de 6 a 8 meses. Se encuentra desde el nivel del mar hasta los 1 900 m s.n.m. Los componentes arbóreos son de corta altura (4 a 10 m), casi todas las especies pierden sus hojas durante la temporada seca, predominan especies con exudados resinosos o laticíferos, las hojas despiden olores fragantes o resinosos, los troncos de los árboles son cortos, robustos, torcidos y ramificados cerca de la base, con cortezas escamosas espinosas o corchosas, las copas son poco densas y abiertas. El estrato herbáceo es reducido y más aparente en temporada de lluvias, son abundantes los bejucos, plantas epífitas (principalmente Bromeliáceas) y suculentas. Se desarrolla en terrenos de ladera, pedregosos, suelos someros, arenosos o arcillosos. Este tipo de vegetación tiene un componente endémico muy importante a nivel de género (25 %) y de especie (40 %). Algunas de sus especies son utilizables para la industria forestal y otras lo son para las actividades artesanales (Rzedowski, 1998; Pennington & Sarukhán, 2005; Challenger & Soberón, 2008). Los árboles más comunes son: *Bursera simaruba* (Palo mulato),

Bursera sp. (Cuajote), *Lysiloma* (Tsalam), *Jacaratia mexicana* (Bonete), *Ceiba sp.* (Pochote), *Cordia sp.* (Ciricote), *Amphypterigium adstringens* (Cuachalalá), *Leucaena leucocephala* (Guaje), *Lysiloma acapulcensis*, *Guaiacum sanctum*, *Ceiba aesculifolia*, *Maclura tinctoria*, *Metopium brownei*, *Pisdicia piscipula*, *Haematoxylon campechianum*, *Gyrocarpus jatrophiifolius* (Tincui), *Plumeria rubra*, *Bursera odorata*, *Bursera excelsa var. favionalis* (Copal), *Lonchocarpus eriocarinalis*, *Jacquinia macrocarpa*, *Pseudobombax ellipticum*, *Acacia farnesiana*, *Prosopis laevigata*, *Licania arborea* y *Pithecellobium dulce* (INEGI, 2015).

La **selva baja espinosa perennifolia** se presenta en un clima cálido con una larga temporada seca, francamente seco durante todo el año o templado con lluvias irregulares. Se distingue por ser una selva homogénea, dominada sobre todo por plantas Leguminosas (Pennington & Sarukhán, 2005).

La **selva baja espinosa caducifolia** se establece en áreas de aridez, poca precipitación (900 mm o menores), temperaturas medias anuales entre 20° y 27°C y heladas frecuentes. Se pueden desarrollar sobre terrenos planos o ligeramente ondulados, desde cerca del nivel del mar hasta los 1 000 m s.n.m. La mayoría de las especies arbóreas en temporada de secas están desprovistas de sus hojas, son espinosos (mayormente), los troncos miden de 8 a 10 m de altura (algunas ocasiones 12 m), las copas son angostas y alargadas, el estrato herbáceo es escaso, mientras que el estrato arbustivo se encuentra bien desarrollado, las plantas más abundantes son las Leguminosas (Pennington & Sarukhán, 2005; Challenger & Soberón, 2008). Las especies vegetales más representativas son: *Ebenopsis ebano*, *Acacia cornigera*, *Opuntia sp.*, *Stenocereus sp.*, *Crescentia cujete* (Jícara), *Cercidium*

sp. (Palo verde), *Haematoxylon brasiletto* (Palo de Brasil), *Pithecellobium dulce* (Chukum), *Prosopis sp.* (Mezquite), *Acacia pringlei*, *Bursera simaruba*, *Amphipterygium adstringens*, *Gyrocarpus jatrophifolius* y *Cercidium floridum* (INEGI, 2015).

En lo que refiere a los estudios realizados para las diferentes selvas existentes en México, se muestran diversas líneas de investigación, donde destacan temas como: estructura, diversidad y composición florística (Maldonado & Maldonado, 2010; Zamora *et al.*, 2008), diversidad biológica (Pérez & Santos, 2010), descubrimientos de especies (Martínez & Ramos, 1989), conservación del patrimonio natural y cultural (por ejemplo el Corredor Biológico Mesoamericano) (Ramírez, 2003), importancia en el paisaje (García *et al.*, 2005), características climáticas (Trejo, 1999), inventarios forestales (Palacio *et al.*, 2000), deforestación y cambios de uso del suelo (Hernández *et al.*, 2013; Sánchez *et al.*, 2009), consecuencias de la agricultura y/o ganadería (Guevara & Lira, 2004; Ochoa *et al.*, 2007), entre otros. Sin embargo, en temáticas de cambio climático y los efectos del mismo en estos ecosistemas o las posibles respuestas de las especies que habitan en ellos, son escasos. Incluso a nivel mundial las zonas tropicales no han recibido la atención necesaria, a pesar de la necesidad aguda de intervención dada su alta biodiversidad, los estudios simplemente se encuentran prácticamente paralizados (Feeley & Silman, 2011).

El cambio climático global y su efecto en la biodiversidad.

El clima es uno de los factores ambientales más importante para el desarrollo de los organismos, ya que la variación ambiental puede modelar su morfología, sus

interacciones bióticas, los patrones biogeográficos, los eventos evolutivos (Téllez *et al.*, 2011) y es el motor generador de especies (dadas sus fluctuaciones pasadas) (Toledo, 1982). Ejerce una influencia sobre las comunidades bióticas (especialmente en la vegetación) (González, 2004) al determinar la distribución de las especies (esta última generalización es válida conforme se incrementa la escala espacial) (Pearson, *et al.*, 2002) y puede llegar a actuar como un agente fragmentador de la distribución geográfica (dada la alternancia de climas seco-húmedo y cálido-frío) (Espinosa *et al.*, 2008).

El sistema climático se encuentra controlado por la combinación de diversos factores, provenientes de *mecanismos externos* (variabilidad solar, periodicidad astronómica y fluctuaciones en los parámetros orbitales de la Tierra), *mecanismos internos* (la atmósfera, procesos tectónicos, erupciones volcánicas, inestabilidad en la circulación oceánica, cubierta de nubes, aerosoles y albedo), *cambios antropogénicos* (en la composición de la atmósfera (al contribuir en la historia reciente con el incremento del CH₄ (metano), CO₂ (dióxido de carbono) y N₂O (óxido nitroso)) y en la cubierta terrestre) y de *efectos de retroalimentación* (cuyos mecanismos pueden ser positivos o negativos) (Barry, 1999; Lozano, 2004). La variación de estos factores influye en la respuesta del sistema climático reflejándose en cambios en el clima, los cuales pueden presentarse en diferentes longitudes de tiempo y escalas espaciales (Magaña, 2004).

Si bien el clima ha variado constantemente desde el origen de nuestro planeta (hace más de 4 500 millones de años), mostrando cambios producidos a escalas geológicas (millones de años), hasta nuestra historia reciente (últimos miles y cientos

de años) (Duarte, 2006), fue a inicios de la década de los 90's cuando diversas terminologías referentes a el *Calentamiento Global*, *Cambio Climático* y *Cambio Global*, se han usado cada vez con mayor frecuencia en el discurso científico, mostrando su preocupación reflejada en diferentes niveles y formas de expresión. Dentro de éstas se puede destacar el sector socio-económico, político (López, 2000), cinematográfico (*The day after tomorrow*), documental (*An inconvenient truth* de Al Gore), best-sellers (*State of fear* de M. Crichton) (Duarte, 2006) y en el público en general, sin embargo han sido empleados indistintamente, con poca precisión o con poca claridad (Caballero *et al.*, 2007). Por lo anterior se requiere de precisar el significado de los conceptos que serán utilizados para este estudio.

El término *Calentamiento Global* se refiere a la tendencia de incrementar la temperatura media del planeta, fenómeno que se ha acelerado durante los últimos 150 años, junto con la tendencia hacia un incremento del CO₂ atmosférico, lo que indica que las causas son una intensificación del efecto invernadero, procesos naturales y actividades humanas (tala de bosques y quema de combustibles fósiles, entre otros) (Caballero *et al.*, 2007). Mientras que el *Cambio Climático Global*, describe los cambios sistemáticos de la temperatura, la precipitación y otros elementos del clima (Reyes, 2001), incluyendo a todas las variaciones climáticas que han ocurrido durante la historia del planeta y que están asociadas con cambios en la actividad solar, circulación oceánica, actividad volcánica o geológica, composición atmosférica, etc (Caballero *et al.*, 2007). Por otro lado el *Cambio Global* define al conjunto de cambios ambientales producidos por la actividad humana, como: los incendios, deforestación, cambio de uso del suelo, urbanización, etc; estas

actividades que son ejercidas localmente pero sus efectos trascenderían del nivel local al regional o global (Duarte, 2006).

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), menciona en su Quinto Informe de Evaluación (IPCC, 2013) los diferentes cambios que se han observado en el sistema climático: la temperatura media global muestra un incremento de 0.85°C (entre 0.65°C y 1.06°C) en el periodo de 1880 a 2012, en algunas áreas la precipitación ha aumentado cambiando en intensidad y/o cantidad, el calentamiento del océano es mayor cerca de la superficie sumando más de 0.1°C por década en los primeros 75 m, el nivel medio del mar a nivel global ha aumentado a una tasa de 3.2 mm/año y el ritmo de incremento de las concentraciones en la atmósfera de CO₂, CH₄ y N₂O no tienen precedentes en los últimos 22 000 años.

El cambio climático presenta un gran desafío y es un problema con enormes complicaciones debido a las considerables incertidumbres, la posibilidad de daños y costos irreversibles, las causas y efectos varían extensamente entre regiones y los resultados de acciones para mitigarlo son a largo plazo (Ávalos, 2004). Se considera que un análisis de tal amenaza, se podría hacer a través del uso de escenarios climáticos, ya que se reconoce son la única herramienta de la que se dispone para estimar el cambio climático a nivel cuantitativo en el futuro (Gutiérrez & Pons, 2006). Mediante la comparación de estos escenarios con las condiciones actuales (e incluso con las pasadas) se podría estimar si las lluvias serán más o menos intensas o frecuentes de lo que son en la actualidad o si la temperatura superficial aumentará o disminuirá más allá de los que se consideran rangos normales de variabilidad para

dichos parámetros (Magaña *et al.*, 2004). Actualmente existen menos de diez centros de predicción del clima y cambio climático importantes, en los que se manejan modelos computacionales en diversas escalas temporales y espaciales (esto debido a la dimensionalidad, resolución y parametrización de los procesos simulados), los cuales se conocen como Modelos de Circulación Global (GCM por sus siglas en inglés) (Leggett, 1990) o Modelos de Circulación General (GCMs) (representan el intento más sofisticado), los cuales intentan simular el sistema climático de la Tierra, son acoplados (atmósfera, océano, superficie terrestre, criosfera, biosfera, ciclo del carbono, concentraciones atmosféricas, según sea el caso), predicen cambios de las variables en un mayor tiempo (años) y cuyo propósito final es identificar la probable respuesta del sistema a un cambio en alguno de los parámetros y procesos que lo controlan (Ereño & Núñez, 2004; Centro Mario Molina, 2009). A estas simulaciones climáticas, el IPCC ha introducido diferentes generaciones de escenarios (1990, 1992 y una evaluación en 1995) y en el año 2000, publicó en su Reporte Especial de Escenarios de Emisiones (SRES, por sus siglas en inglés). Son 40 escenarios agrupados en cuatro familias: A1 (incluye varios grupos), A2, B1 y B2, con diferentes características evolutivas, todas ellas posibles (Duarte, 2006). Abarcan una gran diversidad de características futuras (próximos 100 años) decisivas, sobre el cambio demográfico, el desarrollo económico y el cambio tecnológico para las emisiones de gases (CO₂, CH₄, N₂O, hidroclorofluorocarbonos, perfluorocarbonos, hexafluoruro de azufre, hidroclorofluorocarbonos, clorofluorocarbonos, aerosoles, dióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles distintos al metano) (IPCC, 2000).

Y aunque el cambio climático representa una seria amenaza, todavía existe mucha incertidumbre acerca de sus impactos potenciales, los posibles efectos podrían presentarse en diversos sectores mundiales como la ganadería, agricultura, pesca, ecosistemas naturales, recursos hídricos, suelo, salud, urbanismo, turismo, energía, transporte, desastres naturales, eventos extremos meteorológicos, demografía, economía, social y tecnológicamente (López, 2000; Magaña & Gay, 2002). De manera general afectará la vida en el planeta, esto dependiendo de la velocidad con la que cambiarán las condiciones climáticas (Mendoza *et al.*, 2001), de la intensidad, duración y del grado de vulnerabilidad de una sociedad o ecosistema, los impactos podrían variar de imperceptibles a catastróficos (Magaña *et al.*, 2004) e incluso podría considerarse el preámbulo de un nuevo recambio biológico y una nueva etapa de evolución y diversificación biológica (Caballero *et al.*, 2007).

El cambio climático impacta a la biodiversidad desde el nivel de especie hasta el nivel de ecosistema, sin embargo no afectará igual a todas las especies y comunidades (Jiménez *et al.*, 2009), los posibles efectos no son unidireccionales pero permiten mostrar algunas tendencias (Parmesan & Yohe, 2003). Se reconoce que diversas especies de animales y vegetales del país, que hasta ahora se encontraban amenazadas por las actividades humanas, también lo estarán por efectos del cambio climático (Arriaga & Gómez, 2004). Existen diversos estudios que hacen inferencias sobre las posibles respuestas de las especies y los efectos en la biodiversidad, en los cuales de manera general se han observado modificaciones fenológicas y fisiológicas, en el área de distribución geográfica (expandingo o reduciendo su área de distribución, desplazándose hacia altitudes y latitudes

mayores o extinguiéndose), en la composición e interacciones en las comunidades, así como en la estructura y dinámica en los ecosistemas (Ferrier & Guisan, 2006; Gian-Reto *et al.*, 2002; Parmesan, 1996). De manera particular, se menciona la aparición temprana de flores, puesta de huevos de aves antes de lo usual, alargamiento de la temporada de cultivo (en el hemisferio norte), incidencia creciente de corales decolorados (Estrada, 2001), algunas especies vectores (mosquitos, garrapatas, etc.) en la transmisión de enfermedades están mostrando variaciones en sus ciclos de vida y cambios en su distribución (Githeko *et al.*, 2009), las especies migratorias podrían alterar sus tiempos y/o destinos (Parmesan *et al.*, 1999). Investigaciones realizadas en aves, anfibios, mariposas, hierbas, arbustos y/o árboles en el norte de Europa, reportan desplazamientos (en promedio $6.1 (\pm 2.4)$ km por década) en el límite distribucional hacia el norte, cambios en la aparición primaveral (2.3 días por década), estabilidad, disminución o incremento en la abundancia de dichos organismos (Parmesan & Yohe, 2003; Parmesan, 2007).

Los estudios realizados acerca del cambio climático en las zonas tropicales a nivel mundial, han reportado que éstas han experimentado, desde mediados de la década de los 70's, un calentamiento a una tasa media de $0.26 \pm 0.05^{\circ}\text{C}$ por década y una reducción en la precipitación de $1.0 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ por década, siendo más marcada tal tendencia decadal en el SE del Amazonas ($\approx 0.4^{\circ}\text{C}$), América Central ($\approx 0.4^{\circ}\text{C}$) y S del Congo ($\approx 0.35^{\circ}\text{C}$) (Malhi & Wright, 2004). En lo que corresponde a México se estiman incrementos en la temperatura cercanos a los 1.5°C para la década del 2030-39, 2.3°C en el 2060-69 y 3.7°C para el 2090-2100; con respecto a la precipitación se proyectan disminuciones en promedio de 6.7 % para el 2030, 9 % en

2060 y 18.2 % para el 2090 (Sáenz et al., 2010). Se ha observado un patrón máximo de calentamiento hacia el noreste (3 y 3.5°C para finales del presente siglo), mientras que los cambios en la precipitación muestran claras disminuciones en casi todo el país pero especialmente en el Golfo de México, sur de México y Chiapas (Magaña & Caetano, 2007). Particularmente para el año 2090 bajo un escenario A2, se proyectan áreas más calientes con temperaturas promedio anuales > 29°C, en la costa de Veracruz, Tabasco, península de Yucatán, costa del Pacífico y la Depresión del Balsas; las regiones de selvas tropicales de Tabasco, Veracruz, NE de Oaxaca y N de Chiapas, podrían recibir alrededor de 3 000 mm de precipitación anual (actualmente reciben entre 4 000 – 4 700 mm), mientras que la península de Yucatán perdería el 17 % de su precipitación (Sáenz et al., 2010).

Por otra parte las investigaciones sobre los efectos del cambio climático en la vegetación, se han enfocado recientemente a la dinámica forestal para la cual se han aplicado modelos a nivel global que estiman las respuestas potenciales al cambio climático, los cuales señalan que la vegetación de latitudes altas (bosques boreales) sería más sensible a los cambios en la temperatura, mientras que los ecosistemas tropicales serían más sensibles a los cambios en la precipitación (Villers & Trejo, 2000). También se menciona que diversas especies forestales de E.U.A., Canadá y Escandinavia desplazarían sus límites distribucionales (200 a 100 km hacia el norte e incluso 700 km, pudiendo estar limitado por la dispersión), variarían su productividad, presentarían cambios fisiológicos, cambios en el crecimiento de los árboles y cambios en la composición de las especies (Andrasko, 2001). Para las zonas tropicales, estimaciones realizadas en plantas de las selvas de América del Sur

(> 2000 especies), mencionan que las especies podrían migrar o tolerar (permaneciendo > 50 - 70 % de la riqueza actual), mientras que algunos ecosistemas podrían perder totalmente su diversidad vegetal, esto dependiendo de los diferentes escenarios empleados (Feeley & Silman, 2010). Para diferentes especies de plantas vasculares (> 100 000 especies), pertenecientes a la zona tropical de América del Sur, África Ecuatorial (incluyendo Madagascar) y del sureste de Asia (incluyendo Nueva Guinea), mencionan que los estudios se encuentran detenidos por la escasez de bases de datos, pocos registros de presencia y por el poco conocimiento de las especies (Feeley & Silman, 2011). En áreas más específicas como la Amazonia, se estima que la distancia media entre las áreas con el clima actual y su análogo en el futuro, podría distar aproximadamente 300 km (considerando cambios en la temperatura para el año 2050) ó > 475 km (si incluye la precipitación), prediciendo que ésta pérdida climática se concentraría principalmente en el sureste de la Amazonia, produciendo vulnerabilidad en algunas poblaciones o especies especialistas (esta visualización empeora en áreas deforestadas que actúan como barreras para las especies) (Feeley & Rehm, 2012).

Para México los estudios realizados sobre la vulnerabilidad de los ecosistemas forestales y las posibles modificaciones de la distribución en la vegetación, mencionan que al incrementar la temperatura, el impacto más significativo ocurrirá en las zonas templadas en donde se establecen los bosques templados de coníferas, latifoliadas, encinos y mesófilos (*sensu* Rzedowski, 1978), así como algunos pastizales naturales de alta montaña y ciertos matorrales con afinidades templadas; los bosques espinosos, bosques tropicales caducifolios y matorrales podrían

favorecerse al ampliar su distribución actual (Villers & Trejo, 2004). En lo referente a las variaciones en la precipitación, los bosques tropicales perennifolios y subperennifolios (*sensu* Rzedowski), presentarían dos tendencias: *i*) si existe disminución, podrían ser los más sensibles (Villers & Trejo, 1998), y *ii*) si aumenta la precipitación, podrían ser favorecidos (Villers & Trejo, 2000). Por otra parte, se infiere que algunas especies forestales, podrían presentar un estado de estrés, lo que disminuirá la producción de madera y serían más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades, las especies frutales podrían disminuir su producción (estudio de caso sobre el aguacate en Michoacán) y las especies maderables que dan refugio a especies migratorias podrían gradualmente desaparecer (estudio en árboles de Oyamel y su impacto en la Mariposa monarca) (Sáenz *et al.*, 2009).

Por los diferentes casos antes mencionados, es de fundamental importancia comprender o inferir la respuesta de las especies ante el cambio climático para así poder establecer su correcto manejo, conservación o diseño de reservas (Lobo & Hortal, 2003). Para analizar los posibles cambios en la distribución de la especies, por la influencia de este proceso, es necesario partir de la distribución actual de las mismas y generar modelos predictivos (Arriaga & Gómez, 2004), que permitan identificar los requerimientos ambientales de las especies, previendo su distribución geográfica actual y/o bajo condiciones climáticas futuras predichas (incluso al pasado) y para diferentes regiones (Hijmans & Graham, 2006).

Distribución geográfica potencial y modelado de nicho ecológico.

La Biogeografía es la disciplina que estudia la distribución de los seres vivos en el espacio y a través del tiempo, cuyo objetivo principal es describir y comprender los patrones de distribución geográfica de las especies o taxa supraespecíficos (Morrone, 2005) y es el área de distribución, el elemento básico (Zunino & Zullini, 2003). El área de distribución de una especie o taxón puede caracterizarse en términos de su tamaño, ubicación geográfica y continuidad, entre otros atributos (Espinosa *et al.*, 2005), se considera que es una expresión compleja de su ecología e historia evolutiva (Brown, 1995), determinada por diversos factores operando con diferentes intensidades a diferentes escalas (Pearson & Dawson, 2003). Particularmente resalta la importancia de tres factores que definen que una especie se encuentre en un área específica, los cuales se han ilustrado a través del llamado Diagrama *BAM*, el cuál es una representación abstracta del espacio geográfico, y son: *i*) condiciones abióticas o ambientales (denotada con la letra *A*, incluye aspectos climáticos, ambiente físico, condiciones edáficas, etc., que imponen límites fisiológicos en la especie para persistir en un área), *ii*) factores bióticos (*B*, conjunto de interacciones con otras especies que modifican la capacidad de la especie para mantener sus poblaciones, siendo positivas o negativas) y *iii*) regiones accesibles (*M*, áreas disponibles para que la especie se disperse, basada en la configuración del paisaje y las habilidades de dispersión de ésta; este factor es utilizado para distinguir la distribución actual, de la distribución potencial) (Soberón & Peterson, 2005). También se podrían considerar otros factores como: *iv*) capacidad evolutiva (amplitud de las poblaciones de las especies para adaptarse a nuevas condiciones), *v*)

procesos de extinción, *vi*) barreras geográficas relacionadas a eventos vicariantes y *vii*) procesos de especiación (Illoldi & Escalante, 2008).

En cuanto a la forma y tamaño de la distribución, ésta se establecerá principalmente por la dinámica temporal de la especie (expansión y/o contracción) y a su vez estará determinada por las tolerancias ambientales y capacidades de las especies (Gaston & He, 2002), es decir, las áreas seguirán los hábitats y/o condiciones ambientales preferenciales y se detienen frente a barreras climáticas, topográficas, edáficas o biológicas (Rapoport & Monjeau, 2003), no es azarosa, sigue patrones que responden a diferentes factores actuales o pasados (Espinosa *et al.*, 2008). Por lo anterior, delinear el área de distribución de un taxón no es siempre una tarea sencilla, existen diferentes métodos que permiten delimitar el área de distribución de una especie, tales como: ocurrencias marginales, delineados alternativos, mapa cuadrulado, propincuidad media, medición de la distancia entre vecinos más cercanos, trazado de círculos con valores medios o desviaciones estándar como radio (Morrone, 2005). Actualmente la diversidad de métodos disponibles se han ampliado y mejorado, tales como: distribución del hábitat, rango amplio de ocurrencias y/o modelados estadísticos (Gaston & Fuller, 2009), en donde el procedimiento a utilizar dependerá de la escala, nivel de resolución y disponibilidad de datos (Espinosa *et al.*, 2005).

En los últimos años, gracias a la amplia oferta de lenguajes de programación, la difusión de información geoespacial, el desarrollo de las técnicas de Sistema de Información Geográfica (SIG) (De Pando & Peñas de Giles, 2007) y ante los marcados sesgos de colecta e inventarios incompletos en extensas regiones del

país, se ha producido un desarrollo importante en las técnicas aplicadas a la generación de Modelos de Distribución de Especies (MDE). Los modelos utilizan como base teórica el concepto de Nicho Ecológico, que se puede definir como el conjunto (hipervolumen de n -dimensiones) de condiciones bióticas y abióticas en las cuales la especie puede mantener estables sus poblaciones y persistir sin inmigrar (Hutchinson, 1957); integrándolo al supuesto de que los factores ambientales controlan y/o determinan el área de distribución de las especies y/o comunidades (Guisan & Zimmermann, 2000). Además, asumen que las especies mantienen constantes sus nichos por periodos largos de tiempo (Arriaga & Gómez, 2004), lo que remite al conservadurismo del nicho y a la tendencia de las especies y clados a conservar en el tiempo las características ecológicas o fisiológicas de sus ancestros, es decir, cuando las especies se enfrentan a condiciones ambientales nuevas y se espera que las especies permanezcan o cambien su distribución, siguiendo su régimen climático ancestral (Wiens & Graham, 2005; Martínez, 2014).

El proceso de modelado consiste teóricamente en dos pasos: *i*) modelar el nicho ecológico de la especie y *ii*) proyectar el modelo de nicho a un paisaje geográfico para identificar áreas potenciales para su distribución (Sánchez-Cordero *et al.*, 2001). En esencia estos modelos, extrapolan datos de presencia de la especie y datos ambientales (climáticos y/o topográficos) de los sitios de colecta o región en particular, para identificar áreas de presencia predichas en un mapa, las cuales son ecológicamente similares a aquellas en las que se ha detectado la especie (Soberón & Peterson, 2005) o que son adecuadas para su supervivencia (Soberón & Nakamura, 2009). Existen diferentes algoritmos que han permitido realizar estas

estimaciones como: BIOCLIM (Nix, 1986), DOMAIN (Carpenter *et al.*, 1993), FloraMap (Jones *et al.*, 2002), Regresiones Múltiples o Modelos Lineales Generalizados (GLM) (Guisan & Zimmermann, 2000), Redes Neuronales Artificiales (ANN) (Pearson *et al.*, 2002), GARP (Stockwell & Noble, 1992; Stockwell & Peters 1999), MaxEnt (Phillips *et al.*, 2006), ENFA (Análisis Factorial del Nicho Ecológico) (Hirzel *et al.*, 2002), Random Forest (Breiman, 2001), entre otros.

Existen una gran variedad de estudios en los cuales se han usado de manera habitual los modelos de distribución (Araújo & Guisan, 2006), para temas como: conservación (De Pando & Peñas de Giles, 2007), biogeografía (Rojas *et al.*, 2003), paleoecología (Arroyo *et al.*, 2008; Martínez *et al.*, 2004), manejo de la vida silvestre (Naoki *et al.*, 2006), reintroducción de especies (Hirzel *et al.*, 2004; Martínez *et al.*, 2006) y cambio climático (Ballesteros *et al.*, 2007; Pearson *et al.*, 2006; Téllez *et al.*, 2006). También han sido aplicados a nivel de especie como: insectos (Gorla, 2002; Romo *et al.*, 2006), mamíferos (Anderson *et al.*, 2002; Illoldi *et al.*, 2002; Jayat & Pacheco, 2006), reptiles (Paredes *et al.*, 2011), peces (Domínguez *et al.*, 2006), anfibios (Graham *et al.*, 2004), aves (Monterrubio *et al.*, 2007; Navarro *et al.*, 2003) y plantas (Murray *et al.*, 2008; Thuiller *et al.*, 2006; Villaseñor & Téllez, 2004). Además en especies de distribución restringida, poco conocidas o endémicas (Gaubert *et al.*, 2006; Sánchez – Cordero *et al.*, 2005), invasoras (Navarro *et al.*, 2003), nuevas (Raxworthy *et al.*, 2003) y transmisoras de enfermedades (Sánchez – Cordero *et al.*, 2005). En igual manera han sido empleados a nivel de ecosistemas (forestales) (Villers & Trejo, 2000), en grupos funcionales (vegetales) (Gómez *et al.*, 2008) y en

especies que se encuentran en Áreas Naturales Protegidas (ANP) (Téllez & Dávila, 2003).

Los estudios presentados mencionan que los modelos de distribución y de nicho ecológico, son métodos formales y rigurosos para predecir áreas donde pudiera existir un taxón de interés en diferentes tiempos y han mostrado una amplia utilidad (Villaseñor & Téllez, 2004). En años recientes se ha incrementado su uso considerando particularmente los escenarios futuros de cambio climático, logrando proporcionar predicciones geográficas y ambientales sobre las posibles respuestas de las especies, considerándolas también como un resultado predictivo sobre el conservadurismo del nicho (Hadly *et al.*, 2009) y mostrando inferencias sobre la potencial extinción, permanencia o adaptación de las especies a los nuevos ambientes climáticos (Ortíz, 2014).

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo cambiará la distribución geográfica potencial y la composición de las especies que conforman las comunidades arbóreas de las selvas tropicales de México, y de manera particular dentro de las Áreas Naturales Protegidas, bajo escenarios futuros de cambio climático global?

HIPÓTESIS

Si los cambios en la distribución geográfica de las especies arbóreas en las selvas tropicales para México se modificarán dadas las condiciones ambientales futuras producidas por el cambio climático global, se espera que las especies varíen sus límites distribucionales hacia áreas con condiciones ambientales favorables y siguiendo la premisa del conservadurismo del nicho. Aquellas especies que presenten una amplia tolerancia ambiental principalmente al incremento de la temperatura, podrían ser relativamente favorecidas al ocupar mayores superficies, desplazándose a diferentes altitudes y/o latitudes; mientras que las especies que sean más sensibles a los cambios ambientales primordialmente a la variación en la precipitación, presentarían una disminución en el área de distribución o extinciones locales; conllevando a variaciones en la composición de las comunidades vegetales. Las modificaciones anteriores, se podrían identificar o inferirse con mayor precisión en zonas específicas e importantes para el país, ejemplo de ello serían los espacios dedicados a la conservación biológica, como lo son las áreas naturales protegidas del país.

OBJETIVO GENERAL

Predecir la distribución geográfica potencial de las especies arbóreas de las selvas tropicales de México, bajo escenarios de cambio climático global, enfocando el análisis en cinco áreas naturales protegidas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Predecir la distribución geográfica potencial de 92 especies arbóreas características de selvas tropicales de México, bajo condiciones de dos escenarios de cambio climático global (A2 y B1), para dos horizontes de tiempo (2060 y 2090).
- ii. Cuantificar, identificar y analizar los posibles cambios distribucionales futuros (permanencia, extinción y colonización) en 92 especies de árboles tropicales para México.
- iii. Identificar cambios en las comunidades arbóreas para el futuro.
- iv. Identificar y analizar la composición arbórea actual y futura en cinco Áreas Naturales Protegidas de México, bajo condiciones de Cambio climático.

LITERATURA CITADA

- Álvarez F. L. & M. Bonilla M. 2007. Arrecifes coralinos, selvas tropicales y huracanes. *Ciencias*. 85:14-17.
- Anderson R. P., Gómez L. M. & A. T. Peterson. 2002. Geographical distributions of spiny pocket mice in South America: Insights from predictive models. *Global Ecology & Biogeography*. 11:131-141.
- Andrasko K. 2001. El calentamiento del globo terráqueo y los bosques: estado actual de los conocimientos. *Unasylva*. 163:1-12.
- Araújo M. B. & A. Guisan. 2006. Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography*. Pp. 1-12.
- Arriaga L. & L. Gómez. 2004. Posibles efectos del cambio climático en algunos componentes de la biodiversidad de México. En: Martínez, J., A. Fernández B. (Comp.). *Cambio climático: una visión desde México*. 255-265 pp.
- Arroyo J., Carrión J. S., Hampe A. & P. Jordano. 2008. La distribución de las especies a diferentes escalas espacio-temporales. En: Valladares, F. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. 2da. Edición. Ministerio de Medio Ambiente. España. Pp. 29-70.
- Ávalos G. M. 2004. Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, PICC. En: Martínez, J., A. Fernández B. (Comp.). *Cambio climático: una visión desde México*. 125-142 pp.
- Ballesteros B. C., Martínez M. E. & H. Gasden. 2007. Effects of land-cover transformation and climate change on the distribution of two microendemic lizards, genus *Uma*, of Northern Mexico. *Journal of Herpetology*. 41(4):733-740.
- Barry R. G. 1999. *Atmósfera, Tiempo y Clima*. Omega. Barcelona. 348-381 pp.
- Breiman L. 2001. Random forest. *Machine Learning*. 45(1):5-32.
- Brown J. H. 1995. *Macroecology*. University of Chicago Press, Chicago. 284 p.
- Brown S. 1996. Papel actual y potencial de los bosques en el debate mundial sobre el cambio climático. *Unasylva*. FAO. 47(2):107-121.

- Caballero M., Lozano B. & B. Ortega. 2007. Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la Tierra. *Revista Digital Universitaria*. 8(10):2-12.
- Carpenter G., Gillison A. N. & J. Winter. 1993. DOMAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. *Biodiversity and Conservation*. 2:667-680.
- Centro Mario Molina. 2009. Modelos integrales de Economía y cambio Climático. La ruta de México hacia una economía sustentable de alta eficiencia energética y baja intensidad de carbón. 4to. Reporte. 114 p.
- Challenger A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro. CONABIO. 847 p.
- Challenger A. & J. Soberón. 2008. Los ecosistemas terrestres. En: *Capital natural de México*. Vol. 1: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO. Pp. 87-108.
- De Pando B. B. & J. Peñas de Giles. 2007. Aplicación de Modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la península ibérica. *GeoFocus*. 7:100-119.
- Dirzo R. 2004. Las selvas tropicales. Epítome de la crisis de la biodiversidad. CONABIO. *Biodiversitas*. 56:12-15.
- Domínguez D. O., Martínez M. E., Zambrano L. & G. Pérez P. de L. 2006. Using ecological-niche modeling as a conservation tool for freshwater species: Live-bearing fishes in Central Mexico. *Conservation Biology*. 20(6):1730-1739.
- Duarte C. M. 2006. Cambio global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 171 p.
- Ereño C. & S. Núñez. 2004. Modelado del clima. Seminario sobre cambio climático global. Universidad de Buenos Aires. 66-78.
- Espinosa O. D., Morrone J. J., Llorente B. J. & O. Flores V. 2005. Introducción al análisis de patrones en biogeografía histórica. UNAM. México. 133 p.
- Espinosa O. D., Ocegueda C. S., Aguilar Z. C., Flores V. O. & J. Llorente-Bousquets. 2008. El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización

- natural. En: Capital natural de México. Vol. 1: Conocimiento de la biodiversidad. CONABO. Pp. 33-65.
- Estrada P. M. 2001. Cambio climático global: causas y consecuencias. Revista de información y análisis. 16:7-17.
- Feeley K. J. & E. M. Rehm. 2012. Amazon's vulnerability to climate change heightened by deforestation and man-made dispersal barriers. *Global Change Biology*. 18:3606-3614.
- Feeley K. J. & M. R. Silman. 2010. Biotic attrition from tropical forests correcting for truncated temperature niches. *Global Change Biology*. 16:1830-1836.
- Feeley K. J. & M. R. Silman. 2011. The data void in modeling current and future distributions of tropical species. *Global Change Biology*. 17:626-630.
- Ferrier S. & A. Guisan. 2006. Spatial modelling of biodiversity at the community level. *Journal of Applied Ecology*. 43:393-404.
- García G. G. & F. Secaira. 2006. Una visión para el futuro: cartografía de las Selvas Maya, Zoque y Olmeca. PPY y TNC. 40 p.
- García R. A., Mendoza R. K. I. & L. Galicia S. 2005. Valoración del paisaje de la selva baja caducifolia en la cuenca del río Papagayo (Guerrero), México. *Investigaciones Geográficas*. 56:77-100.
- Gaston K. & F. He. 2002. The distribution of species range size: a stochastic process. *Proc. R. Soc. Lond. B*. 269:1079-1086.
- Gaston K. J. & R. A. Fuller. 2009. The sizes of species' geographic ranges. *Journal of Applied Ecology*. 46:1-9.
- Gaubert P., Papes M. & A. T. Peterson. 2006. Natural history collections and the conservation of poorly known taxa: Ecological niche modeling in central African rainforest genets (*Genetta* spp.). *Biological Conservation*. 130:106-117.
- Gian-Reto W., Post E., Convey P., Menzel A., Parmesan C., Beebee T. J. C., Fromentin J - M., Hoegh-Guldberg O & F. Bairlein. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*. 416(28):389-395.

- Githeko A. K., Lindsay S. W., Confalonieri U. E. & J. A. Patz. 2009. El cambio climático y las enfermedades transmitidas por vectores: Un análisis regional. *Revista Virtual REDESMA*. 3(3):21-38.
- Gómez D. J. D., Monterroso R. A. I., Tinoco R. J. A. & M. L. Toledo. 2011. Assessing current and potential patterns of 16 forest species driven by climate change scenarios in Mexico. *Atmósfera*. 24(1):31-52.
- Gómez M. L., Galicia L. & R. Aguilar S. 2008. Sensibilidad de grupos funcionales al cambio climático en la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Investigaciones Geográficas*. 67:76-100.
- González M. F. 2004. Las comunidades vegetales de México. SEMARNAT e INE. Pp. 9-82.
- Gorla D. E. 2002. Variables ambientales registradas por sensores remotos como indicadores de la distribución geográfica de *Triatoma infestans* (Heteroptera: Reduviidae). *Ecología Austral*. 12:117-127.
- Graham C. H., Ron S. R., Santos J. C., Schneider C. J. & C. Moritz. 2004. Integrating phylogenetics and environmental niche models to explore speciation mechanisms in dendrobatid frogs. *Evolution*. 58(8):1781-1793.
- Guevara S. & A. Lira N. 2004. De los pastos de la selva a la selva de los pastos: la introducción de la ganadería en México. *Pastos*. 34(2):109-150.
- Guisan A. & N. E. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*. 135:147-186.
- Gutiérrez J. M. & M. R. Pons. 2006. Modelización numérica del cambio climático: bases científicas, incertidumbres y proyecciones para la Península Ibérica. *Revista de Cuaternario y Geomorfología*. 20(3-4):15-28.
- Hadly E. A., Spaeth P. A. & Ch. Li. 2009. Niche conservatism above the species level. *PNAS*. 106(2):19707-19714.
- Hernández I. U., Ellis E. A. & C. A. Gallo. 2013. Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz. *GeoFocus*. 13:1-24.

- Hijmans R. J. & C. H. Graham. 2006. The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global change biology*. 12:2272-2281.
- Hirzel A. H., Hausser J., Chessel D. & N, Perrin. 2002. Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat suitability maps without absence data? *Ecology*, 83:2027–2036.
- Hirzel A. H., Posse B., Oggier P. A., Crettenand Y., Glenz, C. & R. Arlettaz. 2004. Ecological requirements of reintroduced species and the implications for release policy: the case of the bearded vulture. *Journal of Applied Ecology*. 41:1103-1116.
- Hutchinson G. E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology*. 22:415-427.
- Iloldi R. P. & T. Escalante. 2008. De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica. *Biogeografía 3*. Bulletin of the systematic and evolutionary biogeographical association. Pp. 7-12.
- Iloldi R. P., Linaje M. A. & V. Sánchez - Cordero. 2002. Distribución de los mamíferos terrestres en la región del Golfo de California, México. *Anales del Instituto de Biología*. UNAM. Serie Zoología. 73(2):213-224.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2015. Guía para la interpretación de cartografía Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250000. Serie V. México. 200 p.
- IPCC. 2000. Resumen para responsables de políticas. Escenarios de emisiones. Informe especial del Grupo de trabajo III del IPCC. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático. 27 p.
- IPCC. 2013. Cambio Climático: Bases Físicas. Guía resumida del quinto informe de evaluación del IPCC. Grupo de Trabajo 1. España. 47 p.
- Jayat J. P. & S. Pacheco, 2006. Distribución de *Necromys lactens* y *Phyllotis osilae* (Rodentia: Cricetidae: Sigmodontinae en el noroeste Argentino: Modelos predictivos basados en el concepto de Nicho Ecológico. *Mastozoología Neotropical*. 13(1):69-88.

- Jiménez M., Chain A. & B. Locatelli. 2009. Efectos del cambio climático en la distribución de zonas de vida en Centroamérica. *Recursos Naturales y Ambiente*. 59-60:32-40.
- Jones P. G., Guarino L. & A. Jarvis. 2002. Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data: 2. FloraMap. *Plant Genetic Resources Newsletter*. 130:1-6.
- Köppen, W. 1948. *Climatología*. Fondo de Cultura Económica. 496 p.
- Leggett J. 1990. Índice de la amenaza de invernadero. En: Leggett, J. (Comp.). *El calentamiento del planeta*. Informe de Greenpeace. FCE. México. 19-52 pp.
- Lobo J. M. & J. Hortal. 2003. Modelos predictivos: Un atajo para describir la distribución de la diversidad biológica. *Ecosistemas*. 2003/1.
- López B. F. 2000. Impactos regionales del Cambio Climático. Valoración de la vulnerabilidad. *Papeles de Geografía*. 32:77-95.
- Lozano G. M. S. 2004. Evidencia de cambio climático: cambios en el paisaje. En: Martínez, J. & A. Fernández B. (Comp.). *Cambio climático: una visión desde México*. 65-76 pp.
- Magaña R. V. O. 2004. El cambio climático global: comprender el problema. En: Martínez, J. & A. Fernández B. (Comp.). *Cambio climático: una visión desde México*. 17-28 pp.
- Magaña R. V. O. & C. Gay G. 2002. Vulnerabilidad y adaptación regional ante el cambio climático y sus impactos ambientales, sociales y económicos. *Gaceta Ecológica*. 65:7-23.
- Magaña V. & E. Caetano. 2007. Pronóstico climático estacional regionalizado para la República Mexicana como elemento para la reducción de riesgo, para la identificación de opciones de adaptación al cambio climático y para la alimentación del sistema: cambio climático por estado y por sector. Número de proyecto: INE/A1-006/2007. UNAM, INE, SEMARNAT, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. 19 p.
- Magaña V., Méndez J. M., Morales R. & C. Millán. 2004. Consecuencias presentes y futuras de la variabilidad y el cambio climático en México. En: Martínez J. & A.

- Fernández B. (Comp.). Cambio climático: una visión desde México. 203-213 pp.
- Maldonado S. E. A. & F. Maldonado M. 2010. Estructura y diversidad arbórea de una selva alta perennifolia en Tacotalpa, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*. 26(3):235-245.
- Malhi Y. & J. Wright. 2004. Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical rainforest regions. *Philosophical Transactions of the Royal Society. Biological Sciences*. 359: 311–329.
- Manson R. H. 2004. Los servicios hidrológicos y la conservación de los Bosques de México. *Madera y Bosques*. 10(1):3-20.
- Martínez M. E. 2014. Proyección de los modelos de nichos ecológicos en tiempo y espacio. Taller I3B Fundamentos, evaluación y futuro de los modelos de distribución de especies. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y GBIF España (GBIF.ES). Morelos, México.
- Martínez E. & C. H. Ramos. 1989. Lacandoniaceae (Triuridales): una nueva familia de México. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 76(1):128-135.
- Martínez M. E., Peterson A. T. & W. Hargrove. 2004. Ecological niches as stable distributional constraints on mammal species, with implications for Pleistocene extinctions and climate change projections for biodiversity. *Global Ecology and Biogeography*. 13:305-314.
- Martínez M. E., Peterson A. T., Servín J. I. & L. F. Kiff. 2006. Ecological niche modelling and prioritizing areas for species reintroductions. *Oryx*. 40(4):411-418.
- Meave del Castillo J. 1990. Estructura y composición de la selva alta perennifolia en los alrededores de Bonampak. Colección Científica, serie Arqueología. INAH. 147 p.
- Mendoza F., Chévez M. & B. González. 2001. Sensibilidad de las zonas de vida de Holdridge en Nicaragua en función del cambio climático. *Revista Forestal Centroamericana*. 17-22 pp.

- Miranda G. F. & E. Hernández-Xolocotzi. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Bol. Soc. Bot. Mex. 179 p.
- Monterrubio R. T., Villaseñor G. L. E., Marín T. M. C., López C. E. A., Fabián T. B. & V. Sorani D. 2007. Distribución histórica y actual del loro cabeza amarilla (*Amazona oratrix*) en la costa central del Pacífico Mexicano: Ventajas y limitaciones en el uso de GARP en especies bajo fuerte presión de tráfico. Ornitología Neotropical. 18:263-276.
- Morrone J. J. 2005. Sistemática, Biogeografía y Evolución. Los patrones de la biodiversidad en tiempo-espacio. UNAM. México. 124 p.
- Murray S. Ch., Brummitt N. A., Oliveira F. A. T., Bachman S., Moat J., Nic L. E. M. & E. J. Lucas. 2008. Plant diversity hotspots in the Atlantic coastal forests of Brazil. Conservation Biology. 23(1):151-163.
- Naoki K., Gómez M. I., López R. P., Meneses R. I. & J. Vargas. 2006. Comparación de modelos de distribución de especies para predecir la distribución potencial de vida silvestre en Bolivia. Ecología en Bolivia. 41(1):65-78.
- Navarro S. A. G., Peterson A. T., Nakazawa U. Y. J. & I. Liebig F. 2003. Colecciones biológicas, modelaje de nichos ecológicos y los estudios de la biodiversidad. En: Morrone, J. J. & J. Llorente B. (Eds.). Una perspectiva latinoamericana de la Biogeografía. UNAM. Pp. 115-132.
- Nix H. A. 1986. A biogeographic analysis of Australian elapid snakes. In: Longmore, R (Ed.) Atlas of Australian Elapid Snakes. Australian Flora and Fauna Series. 8:4-15.
- Ochoa G. S., Hernández V. F., De Jong B. H. J. & F. D. Gurri G. 2007. Pérdida de la diversidad florística ante un gradiente de intensificación del sistema agrícola de roza-tumba-quema: un estudio de caso en la Selva Lacandona, Chiapas, México. Bol. Soc. Bot. Mex. 81:65-80.
- Ortiz E. B. & V. M. Toledo. 1998. Tendencias en la deforestación de la Selva Lacandona (Chiapas, México): El caso de Las Cañadas. Interciencia. 23(6):318-327.

- Ortíz Y. C., Restrepo A. & V. P. Páez. 2014. Distribución potencial de *Podocnemis lewyana* (Reptilia: Podocnemididae) y su posible fluctuación bajo escenarios de cambio climático global. *Acta Biológica Colombiana*. 19(3):471-481.
- Palacio P. J. L., Bocco G., Velázquez A., Mas J.- F., Takaki T. F., Victoria A., Luna G., Gómez R. G., López G. J., Palma M., Trejo V. I., Peralta H. A., Prado M. J., Rodríguez A. A., Mayorga S. R. & F. González M. 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. *Investigaciones Geográficas*. 43:183-203.
- Paredes G. D. M., Ramírez B. A. & M. A. Martínez M. 2011. Distribución y representatividad de las especies del género *Crotalus* en las áreas naturales protegidas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 82:689-700.
- Parmesan C. 1996. Climate and species' range. *Nature*. 382(29)765:766.
- Parmesan C. 2007. Impacts of climate change: understanding current responses and implications for the future. University at Austin Royal Society Workshop. 18 p.
- Parmesan C., Ryrholm N., Stefanescu C., Hill J. K., Thomas C. D., Descimon H., Huntley B., Kaila L., Kulberg J., Tammaru T., Tennent W. J., Thomas J. A. & M. Warren. 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature*. 399(10):579-583.
- Parmesan C. & G. Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*. 421(2):37-42.
- Pearson R. G. & T. P. Dawson. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology & Biogeography*. 12:361-371.
- Pearson R. G., Thuiller W., Araújo M. B., Martínez M. E., Brotons L., McClean C., Miles L., Segurado P., Dawson T. P. & D. C. Lees. 2006. Model-based uncertainty in species range prediction. *Journal of biogeography*. 33:1704-1711.
- Pearson R. G., Dawson T. P., Berry P. M. & P. A. Harrison. 2002. SPECIES: A Spatial Evaluation of Climate Impact on the Envelope of Species. *Ecological Modelling*. 154:289-300.

- Pennington T. D. & J. Sarukhán. 2005. Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. UNAM. FCE. 523 p.
- Pérez I. G. & A. Santos M. 2010. Diversidad de una comunidad de Mamíferos carnívoros en una selva mediana del noreste de Oaxaca, México. *Acta Zoológica Mexicana*. 26(3):721:736.
- Phillips S. J., Anderson R. P. & R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*. 190:231-259.
- Ramírez G. 2003. El Corredor Biológico Mesoamericano. CONABIO. *Biodiversitas*. 47:1-3.
- Rapoport E. H. & J. A. Monjeau. 2003. Aerografía. En: *Introducción a la Biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones*. Llorente B. J. & J. J. Morrone (Eds.) UNAM. Pp.1-14.
- Raxworthy C. J., Martínez M. E., Horning N., Nussbaum R. A., Schneider G. E., Ortega H. M. A. & A. T. Peterson. 2003. Predicting distributions of known and unknown reptile species in Madagascar. *Nature*. 426:837-841.
- Reyes C. S. 2001. *Introducción a la meteorología*. Universidad Autónoma de Baja California. 464 p.
- Rojas S. O. R., Alcántara A. O. & A. G. Navarro. 2003. Regionalization of the avifauna of the Baja California Peninsula, Mexico: a parsimony analysis of endemism and distributional modelling approach. *Journal of Biogeography*. 30:449-461.
- Romo H., García B. E. & M. L. Munguira. 2006. Distribución potencial de trece especies de mariposas diurnas amenazadas o rara en el área ibero-balear (Lepidoptera: Papilionoidea & Heperioidea). *Boln. Asoc. Esp. Ent.* 30(3-4):25-49.
- Rosas P. I., Carranza O. G., Nava C. Y. & A. Larqué S. 2006. La percepción sobre la conservación de la cobertura vegetal. En: Urbina S. J. & J. Martínez F. (Comp.). *Más allá del cambio climático. Las dimensiones psicosociales del cambio ambiental global*. SEMARNAT, INE, UNAM y Fac. de Psicología. Pp.123-140.

- Rzedowski J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México.
- Rzedowski J. 1998. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. En: Ramamoorthy, R. B., Lot, A. y J. Fa (Eds.). Diversidad biológica de México: orígenes y distribución. Instituto de Biología, UNAM. México. Pp. 129-145.
- Sáenz R. C., Rehfeldt G. E., Crookston N. L., Duval P. & J. Beaulieu. 2009. Estimaciones de cambio climático para Michoacán. Implicaciones para el sector agropecuario y forestal y para la conservación de la Mariposa Monarca. Cuadernos de Divulgación Científica y Tecnológica del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Michoacán. 3(28):1-22.
- Sáenz R. C., Rehfeldt G. E., Crookston N. L., Duval P., St-Amant R., Beaulieu J. & B. A. Richardson. 2010. Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. Climatic Change. 102:595–623
- Sánchez A. R. L. & S. Rebolgar D. 1999. Deforestación en la península de Yucatán, los retos que enfrentar, Madera y Bosques. 5(2):3-17.
- Sánchez C. S., Flores M. A., Cruz L. I. A. & A. Velázquez. 2009. Estados y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. En: Capital natural de México. Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO. México. Pp. 75-129.
- Sánchez – Cordero V., Illoldi R. P., Linaje M., Sarkar S. & A. T. Peterson. 2005. Deforestation and extant distributions of Mexican endemic mammals. Biological Conservation. 126:465-473.
- Sánchez - Cordero V., Peterson T. A. & P. Escalante - Pliego. 2001. El Modelado de la distribución de especies y la conservación de la diversidad biológica. En: Hernández H. M., García A. A. N., Álvarez F., & M. Ulloa (Comps.). Enfoques contemporáneos para el estudio de la biodiversidad. Instituto de Biología. UNAM. México. Pp. 359-379.
- Soberón J. & A. T. Peterson. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. Biodiversity Informatics. 2:1-10.

- Soberón J. & M. Nakamura. 2009. Niches and distributional areas: Concepts, methods, and assumptions. PNAS Early Edition. Pp. 1-7.
- Stockwell D. R. B. & D. Peters. 1999. The GARP modelling system: Problems and solutions to automated spatial prediction. International Journal of Geographic Information Systems 13: 143-158.
- Stockwell D. R. B. & I. R. Noble. 1992. Induction of sets of rules from animal distribution data: A robust and informative method of data analysis. Mathematics and computers in simulation. 33:385-390.
- Téllez V., O. & P. Dávila A. 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 V., O., Dávila A. P. & R. Lira S. 2006. The effects of climate change on the long-term conservation of *Fagus grandifolia* var. *mexicana*, an important species of the Cloud Forest in eastern Mexico. Biodiversity and Conservation. 15:1095-1107.
- Téllez O., Hutchinson M. A., Nix H. A. & P. Jones. 2011. Desarrollo de coberturas digitales climáticas para México. En: Sánchez, R. G., Ballesteros, B. C. & N. P. Pavón. Cambio climático: aproximaciones para el estudio de su efecto sobre la biodiversidad. Universidad Autónoma de Hidalgo. México. 15-25 pp.
- Thuiller W., Lavorel S., Sykes M. T. & M. B. Araújo. 2006. Using niche-based modelling to assess the impact of climate change on tree functional diversity in Europe. Diversity and Distributions. 12:49-60.
- Toledo V. M. 1982. Pleistocene changes of vegetation in tropical Mexico. En: Prance, G. T. (Ed.) Biological Diversification in the Tropics. Columbia Univ. Press. Pp. 93-111.
- Trejo V. I. 1999. El clima de la selva baja caducifolia en México. Investigaciones Geográficas. 39:40-52.
- Villaseñor J. L. & O. Téllez V. 2004. Distribución potencial de las especies del género *Jefea* (Asteraceae) en México. Serie Botánica. 75(2):205-220.

- Villers L. & I. Trejo. 1998. Impacto del cambio climático en los bosques y áreas naturales protegidas de México. *Interciencia*. 23(1):10-19.
- Villers L. & I. Trejo. 2000. El cambio climático y la vegetación en México. En: Gay, G. C. (Comp.). México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. INE. UNAM. US Country Studies Program. Pp. 57-72.
- Villers L. & I. Trejo. 2004. Evaluación de la vulnerabilidad en los ecosistemas forestales. En: En: Martínez, J., A. Fernández B. (Comp.). Cambio climático: una visión desde México. 239-254 pp.
- Wiens J. J. & C. H. Graham. 2005. Niche conservatism: Integrating evolution, ecology, and conservation biology. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*. 36:519-539.
- Zamora C. P., García G. G., Flores G. J. S. & J. J. Ortiz. 2008. Estructura y composición florística de la selva mediana subcaducifolia en el Sur del estado de Yucatán, México. *Polibotánica*. 26:39-66.
- Zunino M. & A. Zullini. 2003. Biogeografía. La dimensión espacial de la evolución. Fondo de Cultura Económica. México. 359 p.

CAPÍTULO I

Las especies arbóreas de las selvas tropicales de México bajo escenarios de cambio climático global.

INTRODUCCIÓN

Las selvas tropicales están conformadas por una diversidad de formas de vida vegetales, en las cuales se reconoce a los componentes arbóreos como los más destacables dada su amplia utilidad (Toledo *et al.*, 1995). Los árboles son el biotipo más conspicuo, el más importante por su dominancia, densidad y biomasa (fisonómicamente hablando) (Villaseñor & Ibarra, 1998) y son los elementos fundamentales para la adecuada caracterización de la composición y estructura de dichas comunidades vegetales (Cué *et al.*, 2006). Estimaciones recientes mencionan que al menos 3 639 especies de angiospermas son árboles (cerca del 20% de la diversidad vegetal), donde aproximadamente el 42.1 % de especies son endémicas en México (Villaseñor & Ibarra, 1998; Villaseñor *et al.*, 2013).

Los árboles tienen un valor incalculable para el mundo viviente: son el pilar más fuerte del ecosistema forestal, protegen el hábitat, muestran relaciones simbióticas con diversos organismos, a través de la fotosíntesis atrapan CO₂ atmosférico y liberan O₂, son reguladores climáticos, proporcionan frutos comestibles, diversas especies han coevolucionado con insectos y aves polinizadoras, con dispersores de semillas y microorganismos en el suelo. La riqueza, abundancia y salud de la vida silvestre depende en gran medida de la edad,

composición y salud de los árboles (Villaseñor & Ibarra, 1998). En algunas zonas disminuyen la velocidad de las tormentas y disipan su fuerza, la copa funciona como filtrador de vientos, captan y almacenan agua, son un recurso renovable, bajo un manejo sustentable genera riqueza permanente. En aspectos relacionados con el beneficio de la humanidad en términos económicos o bienestar, se menciona la importancia de la madera para realizar herramientas, armas y construcciones, en la industrialización de la madera (resinas, gomas, fibras, cartón, papel, etcétera), en diversos lugares del país la madera se sigue usando como leña y carbón para combustible, funcionan como cortinas rompevientos y barrera protectora de sus cultivos agrícolas y revaloran la propiedad residencial (GDF, 2000).

De acuerdo con Villaseñor *et al.* (2013) la literatura especializada que ha documentado la riqueza arbórea de México es abundante, pero dispersa y aunque en las últimas décadas se han realizado avances importantes en la publicación de estudios florísticos para un estado o región particular, aún existen rezagos al respecto ya que sólo 14 de los 32 estados mexicanos presentan este tipo de trabajos (Padilla *et al.*, 2006). Aun así, poco se ha avanzado en documentar la distribución de la riqueza florística y hasta la fecha se carece de un listado sobre la diversidad taxonómica de árboles en la flora del país (Villaseñor *et al.*, 2013).

La mayoría de los estudios realizados son de carácter cuantitativo, en los cuáles se determina la estructura (distribución en el espacio, tanto vertical – estratificación y horizontal – cobertura), diversidad de especies, fenología (periodo de duración de cada una de las etapas en el ciclo de vida de un individuo, como floración, fructificación y caída o producción de hojas) y determinación del potencial

económico de la especie o del sitio. A partir de los datos obtenidos se crean listados de las especies presentes, se evalúa la importancia de cada una con base en el índice de valor de importancia (resultado del producto de la densidad, dominancia y frecuencias relativas), siendo posible seleccionar las especies forestales que se deseen reproducir para su protección, conservación, identificación y jerarquización de especies endémicas y nativas por su estatus especial (amenazadas o en peligro de extinción), por su valor ecológico, económico, cultural, uso de madera, entre otros (García de la Cruz *et al.*, 2011).

La distribución de estos organismos se encuentra delimitada por el clima y cada especie requiere de ciertas condiciones de temperatura, humedad y luz para germinar, crecer, florecer y fructificar (Gutiérrez & Trejo, 2014). Existe la evidencia de que el crecimiento y las variaciones en el diámetro del árbol, dependen de la temperatura y cantidad de agua recibida, y en menor influencia determinan el crecimiento e incremento en altura de algunas especies (principalmente de zonas templadas), dicho testimonio se ha observado en los anillos de crecimiento (considerando el ancho) que además, han permitido inferir sobre los cambios ambientales (heladas, cambios en la precipitación o sequías) y en la estimación de las condiciones climáticas pasadas (Klepac, 1983). Cualquier alteración en el ambiente se reflejará en el comportamiento del árbol, particularmente la temperatura y precipitación son los dos elementos que ejercen mayor impacto en el tallo y copa, una variación importante en éstos podría llegar a afectar la sobrevivencia de los organismos. También las lluvias conllevan otras variables que afectan el desarrollo del árbol, como la humedad relativa, el rocío temprano y las granizadas (GDF, 2000).

Las investigaciones realizadas sobre los árboles y considerando aspectos ambientales, cubren tópicos sobre el crecimiento poblacional, el establecimiento de las plantas, la dinámica del banco de semillas, crecimiento y mortalidad de árboles, interacciones bióticas y fenología, pero sólo basándose en fenómenos meteorológicos extremos como El Niño (Pavón & Briones, 2011). En aspectos relacionados al cambio climático y sobre el efecto posible en los árboles (y en diversas especies), se espera que alteren su distribución (aumentando o reduciendo el área), cambios en abundancia, desaparición directa en algunas especies (extinciones locales) o desplazamientos a diferentes latitudes o altitudes (posibles colonizaciones a través de procesos de migración, inferidos presencionalmente por la fecundidad, dispersión, reclutamiento y crecimiento poblacional) (Parmesan, 1996; Parmesan *et al.*, 1999; Thuiller *et al.*, 2008). La velocidad de estos cambios en las especies sería relativa y dependerá de diversos factores, como su capacidad de dispersión (Martínez *et al.*, 2004), tolerancia al cambio, longevidad, producción, tipo de reproducción y competitividad (Del Aguilar, 2006). Además de que las mencionadas posibles modificaciones, llevarían consigo cambios en la composición de las especies que conforman a las comunidades y ecosistemas vegetales, esto debido a que las especies responderán de manera individual y dependiendo de sus propias características y capacidades para cambiar o adaptarse (Trejo *et al.*, 2011; Peñuelas *et al.*, 2004).

Los estudios realizados para México para especies forestales haciendo uso de los modelos de nicho ecológico para generar distribuciones geográficas potenciales, son pocos. De ellos se pueden destacar los desarrollados por: 1) Téllez y

colaboradores (2004) en el cual se generaron los patrones de distribución potencial de cuatro especies de *Pinus* de valor económico en México y lograron cuantificar las características climáticas de los sitios donde prosperan o podrían desarrollarse, y **2)** recientemente Martínez y colaboradores (2016) generaron modelos para ocho especies y dos variedades de Oyameles (*Abies*), logrando inferencias sobre su nicho ecológico y la identificación de áreas de mayor idoneidad para las especies.

El uso de los modelos predictivos sobre los efectos del cambio climático en los árboles son desafortunadamente escasos y en especies con afinidades tropicales son casi prácticamente nulos. Existen algunos trabajos que se han realizado con especies arbóreas como: **1)** Sáenz y colaboradores (2012) que estudiaron particularmente a *Abies religiosa* en relación a su importancia como refugio de la mariposa monarca y sus afectaciones ante distintos escenarios climáticos para los años 2030, 2060 y 2090, identificando drásticas reducciones en el área; **2)** Gutiérrez & Trejo (2014) reconocieron las condiciones climáticas en las que se establecen cinco especies arbóreas de áreas montañosas (tres coníferas y dos encinos) y evaluaron la sensibilidad ante el cambio climático, los resultados muestran una reducción en la distribución de aproximadamente 80 % en comparación a lo actual; **3)** Gómez y colaboradores (2011), analizaron los impactos del cambio climático en diferentes escenarios y años (A2 y B2 para el 2050) para 16 especies correspondientes a zonas templadas, tropicales y semiáridas y mencionan que las especies con mayor afectación serán de áreas templadas, algunas especies tropicales disminuirían considerablemente su área, mientras que los árboles de zonas semiáridas y áridas incrementarían su superficie, y finalmente **4)** Garza y

colaboradores (2016) realizaron modelos de *Swietenia macrophylla* (Caoba) para el año 2030, identificando una pérdida del hábitat del 60 %, mientras que el resto se desplazaría principalmente en la reserva de la biosfera de Calakmul.

Ante tal falta de información y documentación sobre los sobre los posibles efectos del cambio climático en la distribución de las especies arbóreas y con el principal interés en las zonas tropicales del país, el presente estudio pretende contribuir al respecto para brindar una fuente informativa futura.

OBJETIVOS

- v. Predecir la distribución geográfica potencial de 92 especies arbóreas características de selvas tropicales de México, bajo condiciones de dos escenarios de cambio climático global (A2 y B1), para dos horizontes de tiempo (2060 y 2090).
- vi. Cuantificar, identificar y analizar los posibles cambios distribucionales futuros (permanencia, extinción y colonización) en 92 especies de árboles tropicales para México.
- vii. Identificar cambios en las comunidades arbóreas para el futuro.

MATERIALES Y MÉTODOS

Base de datos

La base de información en la cual se fundamentó este estudio proviene de los datos digitales del libro: “Árboles Tropicales de México. Manual de identificación de las principales especies”, de Pennington y Sarukhán que en su 3a. edición (2005) proporciona los datos de colecta de 190 especies, con aproximadamente 19 000 registros de presencia. Estos datos fueron compilados de la base digital de la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO), del Herbario Nacional de México (MEXU) y del herbario del Instituto de Ecología, A. C. (XAL).

El primer paso fue revisar los datos para seleccionar las especies a incluir en el estudio y a partir de ello se aplicaron los siguientes criterios para descartar a las especies:

- Se eliminaron todas las especies que no fueran exclusivas de selvas tropicales del país, seleccionando sólo las pertenecientes a la selva alta perennifolia, subperennifolia y subcaducifolia; selva mediana perennifolia, subperennifolia, subcaducifolia y caducifolia; selva baja perennifolia, subperennifolia, subcaducifolia, caducifolia; selva espinosa caducifolia y espinosa perennifolia.
- Se eliminaron las especies de amplia distribución (presencia en ≥ 70 % del territorio nacional), utilizando:
 - Textos y artículos científicos disponibles.

- Mapa digital de la vegetación potencial de México, escala 1: 4 000 000 y propuesto por Rzedowski, J. (1990).
- Consultas científicas a los expertos botánicos:
 - Dr. Gonzalo Castillo Campos, Instituto de Ecología A. C., Xalapa, Veracruz.
 - Dr. Guillermo Ibarra Manríquez, Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM, Morelia, Michoacán.
 - Dr. Oswaldo Téllez Valdés, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, Estado de México.
- Se eliminaron las especies que tuvieran < 20 registros de presencia (localidades o sitios de recolecta).

La base de datos que se usó, después de aplicar los criterios anteriores, se encuentra construida por 92 especies, donde la selva alta perennifolia, selva mediana subperennifolia y la selva mediana subcaducifolia son los tipos de vegetación con mayor representación en especies (**Cuadro 1**), en la misma forma lo están la familia Faboideae y Mimosoideae (**Cuadro 2**).

Especie	sap	sasp	sasc	smp	smsp	smsc	smc	sbsp	sbc	sbec	sbep	sbsc
<i>Acacia dolichostachya</i>					X	X						
<i>Acacia farnesiana</i>									X	X	X	
<i>Acacia pringlei</i>										X		
<i>Alchornea latifolia</i>	X			X	X	X						
<i>Alseis yucatanensis</i>	X			X	X	X						
<i>Ampelocera hottleri</i>	X	X			X	X						
<i>Amphipterygium adstringens</i>									X			
<i>Apeiba tibourbou</i>	X	X										
<i>Aphananthe monoica</i>		X			X	X						
<i>Astronium graveolens</i>		X			X	X						
<i>Bernoullia flammea</i>	X											
<i>Brosimum alicastrum</i>	X				X	X						
<i>Bursera excelsa</i>						X			X			
<i>Caesalpinia eriostachy</i>									X			
<i>Caesalpinia gaumeri</i>					X				X			
<i>Calophyllum brasiliense</i>	X				X	X						
<i>Calycophyllum candidissimum</i>			X			X						
<i>Carpodiptera ameliae</i>					X							
<i>Casimiroa edulis</i>							X		X			
<i>Castilla elastica</i>		X			X							
<i>Cedrela odorata</i>		X										
<i>Ceiba aescualifolia</i>									X			
<i>Ceiba pentandra</i>	X					X						
<i>Chrysophyllum mexicanum</i>	X			X								
<i>Cojoba arborea</i>	X			X	X							
<i>Cordia alliodora</i>	X			X		X						
<i>Cordia dodecandra</i>					X				X			

Especie	sap	sasp	sasc	smp	smsp	smsc	smc	sbsp	sbc	sbec	sbep	sbsc
<i>Cordia elaeagnoides</i>						X			X			
<i>Couepia polyandra</i>					X	X			X			
<i>Crescentia cujete</i>								X				
<i>Cymbopetalum bailloni</i>	X											
<i>Cynometra oaxacana</i>						X			X			
<i>Dendropanax arboreus</i>	X	X	X									
<i>Diospyros digyna</i>					X	X						
<i>Dussia mexicana</i>	X											
<i>Ebenopsis ebano</i>										X		
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	X				X	X						
<i>Erythrina folkersii</i>	X				X							
<i>Ficus petiolaris</i>												X
<i>Forchhammeria pallida</i>							X		X			
<i>Gliricidia sepium</i>				X								
<i>Guaiacum coulteri</i>						X			X			
<i>Guarea glabra</i>	X				X	X						
<i>Guatteria anomala</i>	X											
<i>Gyrocarpus jatrophifolius</i>							X		X			
<i>Hampea nutricia</i>	X			X	X							
<i>Hura polyandra</i>						X						
<i>Jacaratia mexicana</i>									X			
<i>Jacquinia macrocarpa</i>									X			
<i>Licania arborea</i>									X			X
<i>Licaria capitata</i>				X	X							
<i>Lonchocarpus cruentus</i>	X			X	X							
<i>Lonchocarpus eriocarinalis</i>									X			
<i>Lonchocarpusn castilloi</i>					X							
<i>Lysiloma acapulcensis</i>							X		X			

Especie	sap	sasp	sasc	smp	smsp	smsc	smc	sbsp	sbc	sbec	sbep	sbsc
<i>Lysiloma latisiliquum</i>		X			X	X						X
<i>Melicoccus oliviformis</i>					X	X						
<i>Metopium brownei</i>					X	X						
<i>Myroxylon balsanum</i>		X			X							
<i>Omphalea oleifera</i>	X											
<i>Phyllostylon brasiliense</i>										X		
<i>Pimenta dioica</i>	X			X	X							
<i>Piscidia piscipula</i>					X	X						
<i>Pithecellobium dulce</i>							X			X		
<i>Platymiscium yucatanum</i>		X		X	X	X			X			X
<i>Pleuranthodendron lindenii</i>	X			X	X							
<i>Poulsenia armata</i>	X			X	X							
<i>Prosopis laevigata</i>										X		
<i>Protium copal</i>				X	X							
<i>Pseudolmedia oxyphyllaria</i>	X			X	X							
<i>Pterocarpus acapulcensis</i>					X	X						
<i>Quararibea funebris</i>	X			X	X							
<i>Recchia mexicana</i>									X			
<i>Robinsonella mirandae</i>					X							
<i>Ruprechtia fusca</i>						X			X			
<i>Schizolobium parahyba</i>	X											
<i>Senna multijuga ssp. Doylei</i>	X			X	X							
<i>Simarouba glauca</i>		X			X	X						
<i>Simira salvadorensis</i>		X			X							
<i>Spondias mombin</i>		X			X	X						
<i>Spondias purpurea</i>									X			
<i>Stemmadenia donnell-smithii</i>		X			X	X						
<i>Sterculia apetala</i>	X				X							

Especie	sap	sasp	sasc	smp	smsp	smsc	smc	sbsp	sbc	sbec	sbep	sbsc
<i>Swartzia cubensis</i>					X	X						
<i>Tabebuia rosea</i>		X			X	X			X			
<i>Tapirira mexicana</i>	X			X	X							
<i>Terminalia amazonia</i>	X											
<i>Thouinidium decandrum</i>						X			X			
<i>Vatairea lundellii</i>	X			X	X							
<i>Vitex gaumeri</i>					X	X			X			
<i>Vochysia guatemalensis</i>	X											
<i>Xylopia frutescens</i>												
Número total de especies	34	14	2	19	47	34	5	1	26	6	1	1

Cuadro 1. Listado de especies seleccionadas y clasificación por tipo de vegetación.

Abreviaturas: **sap** = selva alta perennifolia; **sasp** = selva alta subperennifolia; **sasc** = selva alta subcaducifolia; **smp** = selva mediana perennifolia; **smsp** = selva mediana subperennifolia; **smsc** = selva mediana subcaducifolia; **smc** = selva mediana caducifolia; **sbsp** = selva baja subperennifolia; **sbc** = selva baja caducifolia; **sbec** = selva baja espinosa caducifolia; **sbep** = selva baja espinosa perennifolia y **sbsc** = selva baja subcaducifolia. **X** = presente en el tipo de vegetación.

Familia Botánica	Núm. de especies	Familia Botánica	Núm. de especies	Familia Botánica	Núm. de especies
Anacardiaceae	6	Ebenaceae	1	Rutaceae	1
Annonaceae	3	Euphorbiaceae	3	Sapindaceae	2
Apocynaceae	1	Faboideae	12	Sapotaceae	1
Araliaceae	1	Guttiferae	1	Simaroubaceae	1
Bignoniaceae	2	Hernandiaceae	1	Sterculiaceae	1
Bombacaceae	4	Lauraceae	1	Surianaceae	1
Boraginaceae	3	Malvaceae	2	Theophrastaceae	1
Burseraceae	2	Meliaceae	2	Tiliaceae	3
Caesalpinioideae	5	Mimosoideae	10	Ulmaceae	3
Capparaceae	1	Moraceae	5	Verbenaceae	1
Caricaceae	1	Myrtaceae	1	Vochysiaceae	1
Chrysobalanaceae	2	Polygonaceae	1	Zygophyllaceae	1
Combretaceae	1	Rubiaceae	3		

Cuadro 2. Número de especies por familia botánica.

Coberturas ambientales

Las coberturas para el presente o referido como “clima contemporáneo”, se generaron a partir de la interpolación realizada por Téllez (2011) a partir de la información disponible del Moscow Forestry Sciences Laboratory, USDA. (<http://forest.moscowfsl.wsu.edu/>), provenientes de los datos de temperatura media anual, temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación mensual de aprox. 4 000 estaciones climáticas de México, sur de Estados Unidos, Guatemala, Belice, Cuba, además de datos extrapolados de Bahamas, Jamaica y norte de Honduras, de los años 1961 y 1990. Las coberturas muestran un margen de error < 1°C en los valores de temperatura y entre el 10 – 15 % en precipitación (Sáenz *et al.*, 2009; Sáenz *et al.*, 2010).

Las proyecciones al futuro provienen de las predicciones del laboratorio Canadian Center for Climate Modeling and Analysis (CGCM3;

<http://www.ec.gc.ca/ccmac-cccma/default.asp?lang=En&n=4A642EDE-1>), obtenidas del uso de tres GCMs, tres escenarios de emisión para tres periodos de tiempo (2030, 2060 y 2090). Las proyecciones seleccionadas para este estudio, son los escenarios A2 (pesimista) y B1 (optimista) para el año 2060 y 2090; donde un escenario A2 describe un mundo muy heterogéneo, una población mundial en continuo crecimiento, el desarrollo económico está regionalizado y el cambio tecnológico está fragmentado, mientras que un escenario B1 describe un mundo convergente con una misma población mundial que alcanza un máximo hacia mediados del siglo y desciende posteriormente, muestra rápidos cambios en las estructuras económicas, introducción de tecnologías limpias con aprovechamiento eficaz de los recursos (incluso estima un aumento en la extensión forestal), se encaminan soluciones de orden mundial para la sostenibilidad económica, social y medioambiental (Gutiérrez & Pons, 2006; IPCC, 2000).

Utilizando el programa ANUCLIM 5.1 se generaron 19 parámetros ambientales para el presente y futuro (Téllez, 2011) (**Cuadro 3**), con una resolución espacial de aprox. 1 km².

- *Cálculos ambientales*

Se utilizaron las variables ambientales Bio 1 y 12 (**Cuadro 3**) en formato GRID, y a través de la herramienta de *Calculadora* disponible del software ArcView 3.2, se estimaron las diferencias y los valores en porcentaje de éstas para los escenarios A2 y B1 de los años 2060 y 2090, tomando como referencia los valores del presente, para así identificar los incrementos futuros en la temperatura y las variaciones en la precipitación en las diferentes regiones del país.

Variables ambientales	
Bio 1	Temperatura media anual (°C).
• Bio 2	Intervalo medio diurno (media mensual) (temp. máx.- temp. min.) (°C).
Bio 3	Isotermalidad (°C).
• Bio 4	Temperatura estacional (coeficiente de variación) (%).
Bio 5	Temperatura máxima del mes más cálido (°C).
• Bio 6	Temperatura mínima del mes más frío (°C).
Bio 7	Intervalo de temperatura anual (°C).
• Bio 8	Temperatura media del trimestre más húmedo (°C).
Bio 9	Temperatura media del trimestre más seco (°C).
• Bio 10	Temperatura media del trimestre más cálido (°C).
Bio 11	Temperatura media del trimestre más frío (°C).
• Bio 12	Precipitación anual (mm).
Bio 13	Precipitación del mes más húmedo (mm).
Bio 14	Precipitación del mes más seco (mm).
Bio 15	Precipitación estacional (coeficiente de variación) (%).
Bio 16	Precipitación del trimestre más húmedo (mm).
Bio 17	Precipitación del trimestre más seco (mm).
Bio 18	Precipitación del trimestre más cálido (mm).
Bio 19	Precipitación del trimestre más frío (mm).

Cuadro 3. Variables ambientales

- *Perfiles bioclimáticos*

Se obtuvo el perfil bioclimático presente y futuro de cada especie, extrayendo el valor ambiental de todas las coberturas digitales (**Cuadro 3**) a partir de los registros de presencia. La obtención de valores, se realizó de manera automatizada y programada a través del diseño de un ARC Macro Language (AML) para ArcInfo 9.0 (Hernández, 2011). Con los datos obtenidos se identificaron los intervalos ambientales (valor mínimo y máximo) y valor promedio en los que se distribuye la especie. Se realizaron Análisis Multivariantes de Varianza (MANOVA, por sus siglas en inglés *Multivariate Analysis of Variance*), a través del programa Statistica 10 (Statsoft v. 2010), para determinar diferencias significativas entre los valores ambientales estimados para las proyecciones de cada especie.

- *Selección de variables ambientales*

La identificación de las variables ambientales claves que determinan el nicho de la especie, es una de las operaciones más importantes para realizar los modelos, se considera que utilizar un número pequeño de variables ambientales produce un mejor ajuste en los datos (Hirzel & Le Lay, 2008). Dado el origen de las variables ambientales, el examinar previamente el grado de correlación permite desprestigiar algunas variables ambientales y conocer las razones de su elección o rechazo. Una alternativa consiste en utilizar algún método multivariante de ordenación como un Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés) (Lobo, 2000).

Por lo anterior, se utilizó el programa estadístico NCSS (Number Cruncher Statistical System, v. 2007) para obtener los PCA de cada especie, considerando la varianza-covarianza. Se emplearon los valores absolutos de los eigenvectores para el factor 1, eligiendo las 8 variables ambientales que mostraron los valores más elevados. De manera general se identificó que los valores promedio del porcentaje de variabilidad acumulada en los eigenvalores son mayores al 90 % y que existe una notable influencia por las variables relacionadas a la precipitación (Bio 12-19). Las variables seleccionadas para cada especie, se muestra en el **Cuadro 4**.

Especie	Variables ambientales	% de eigenvalor	Especie	Variables ambientales	% de eigenvalor
<i>Acacia dolichostachya</i>	12*16*18*19*17*13*5*10	90.3	<i>Chrysophyllum mexicanum</i>	12*16*18*19*17*13*15*14	96.06
<i>Acacia farnesiana</i>	12*16*18*13*19*17*15*6	91.46	<i>Cojoba arbórea</i>	12*16*19*18*17*13*15*14	92.16
<i>Acacia pringlei</i>	12*16*18*19*17*15*13*11	86.22	<i>Cordia alliodora</i>	12*16*19*18*17*13*15*14	94.89
<i>Alchornea latifolia</i>	12*16*18*19*17*13*15*14	95.71	<i>Cordia dodecandra</i>	12*16*18*19*17*13*15*5	92.91
<i>Alseis yucatanensis</i>	12*16*18*19*17*13*14*7	96.87	<i>Cordia elaeagnoides</i>	12*16*18*13*19*15*17*5	75.9
<i>Ampelocera hottleri</i>	12*16*19*18*17*13*14*15	96.89	<i>Couepia poliandra</i>	12*16*19*18*17*13*15*14	93.33
<i>Amphipterygium adstringens</i>	12*16*18*13*19*15*17*3	81.88	<i>Crescentia cujete</i>	12*16*18*19*17*13*14*9	94.14
<i>Apeiba tibourbou</i>	12*16*19*18*17*13*15*14	90.87	<i>Cymbopetalum bailloni</i>	12*16*19*18*17*13*15*14	95.43
<i>Aphananthe monoica</i>	12*16*18*19*17*13*15*14	95.43	<i>Cynometra oaxacana</i>	12*16*18*13*19*15*17*5	91.19
<i>Astronium graveolens</i>	12*16*18*19*17*13*15*14	94.43	<i>Dendropanax arboreus</i>	12*16*19*18*17*13*15*14	97.45
<i>Bernoullia flammea</i>	12*16*19*18*17*13*15*14	93.39	<i>Diospyros digyna</i>	12*16*18*19*17*13*14*15	95.88
<i>Brosimum alicastrum</i>	12*16*18*19*17*13*15*14	94.32	<i>Dussia mexicana</i>	12*16*19*18*17*13*14*15	96.68
<i>Bursera excelsa</i>	12*16*18*13*19*15*17*5	84.71	<i>Ebenopsis ébano</i>	12*16*18*19*13*17*15*7	93.89
<i>Caesalpinia eriostachy</i>	12*16*18*13*15*19*5*10	81.77	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	12*16*18*19*17*13*15*14	87.75
<i>Caesalpinia gaumeri</i>	12*18*16*19*17*13*15*5	90.26	<i>Erythrina folkersii</i>	12*16*18*19*17*13*9*6	95.72
<i>Calophyllum brasiliense</i>	12*16*19*18*17*13*15*14	93.64	<i>Ficus petiolaris</i>	12*16*18*15*13*19*5*10	86.65
<i>Calycophyllum candidissimum</i>	12*16*19*18*17*13*15*14	97.31	<i>Forchhammeria pallida</i>	12*16*18*19*13*17*15*5	94.17
<i>Carpodiptera ameliae</i>	12*16*18*13*17*15*19*14	95.13	<i>Gliricidia sepium</i>	12*16*18*19*17*13*15*14	94.77
<i>Casimiroa edulis</i>	12*16*18*19*17*13*15*7	96.21	<i>Guaiacum coulteri</i>	12*16*18*13*15*11*5*1	87.79
<i>Castilla elastica</i>	12*16*18*19*13*17*14*9	94.74	<i>Guarea glabra</i>	12*16*19*18*17*13*15*14	94.69
<i>Cedrela odorata</i>	12*16*18*19*17*13*15*14	94.94	<i>Guatteria anómala</i>	12*16*19*18*17*13*14*15	97.21
<i>Ceiba aescualifolia</i>	12*16*18*19*17*13*15*8	85.79	<i>Gyrocarpus jatrophifolius</i>	12*16*18*19*17*13*15*	80.34
<i>Ceiba pentandra</i>	12*16*18*19*17*13*15*14	93.85	<i>Hampea nutricia</i>	12*16*19*18*17*13*14*8	96.28

Especie	Variables ambientales	% de eigenvalor	Especie	Variables ambientales	% de eigenvalor
<i>Hura polyandra</i>	12*16*18*19*17*13*15*14	89.12	<i>Pseudolmedia oxyphyllaria</i>	12*16*19*18*17*13*14*15	96.24
<i>Jacaratia mexicana</i>	12*16*18*13*15*19*5*9	72.07	<i>Pterocarpus acapulcensis</i>	12*16*18*13*19*17*15*11	98.87
<i>Jacquinia macrocarpa</i>	12*16*19*18*17*13*15*7	97.38	<i>Quararibea funebris</i>	12*16*19*18*17*13*14*15	93.28
<i>Licania arborea</i>	12*16*18*13*15*7*6*2	95.63	<i>Recchia mexicana</i>	12*16*18*13*19*6*11*1	85.65
<i>Licaria capitata</i>	12*16*19*18*17*13*14*9	94.21	<i>Robinsonella mirandae</i>	12*16*18*19*17*13*14*15	95.67
<i>Lonchocarpus cruentus</i>	12*16*18*19*17*13*14*15	93.2	<i>Ruprechtia fusca</i>	12*16*18*13*19*7*17*5	81.53
<i>Lonchocarpus eriocarinalis</i>	12*16*18*13*19*8*10*7	82.01	<i>Schizolobium parahyba</i>	12*16*19*18*17*13*15*14	89.8
<i>Lonchocarpus castilloi</i>	12*16*18*19*17*13*14*15	97.86	<i>Senna multijuga ssp. Doylei</i>	12*16*18*19*17*13*14*15	92.76
<i>Lysiloma acapulcensis</i>	12*16*18*19*13*17*15*5	82.51	<i>Simarouba glauca</i>	12*16*18*19*17*13*15*14	96.1
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	12*16*18*19*17*13*14*5	97.32	<i>Simira salvadorensis</i>	12*16*18*19*17*13*15*14	94.72
<i>Melicoccus oliviformis</i>	12*18*19*17*16*15*13*7	79.58	<i>Spondias mombin</i>	12*16*19*18*17*13*15*14	94.62
<i>Metopium brownei</i>	12*16*18*19*17*13*15*5	91.63	<i>Spondias purpurea</i>	12*16*18*19*13*17*15*6	91.38
<i>Myroxylon balsanum</i>	12*16*18*19*17*13*15*14	91.66	<i>Stemmadenia donnell-smithii</i>	12*16*19*18*17*13*15*14	95.95
<i>Omphalea oleifera</i>	12*16*19*18*17*13*15*14	93.47	<i>Sterculia apetala</i>	12*16*18*13*17*19*15*9	89.58
<i>Phyllostylon brasiliense</i>	12*16*18*17*19*13*15*2	94.85	<i>Swartzia cubensis</i>	12*16*18*19*17*13*14*15	96.29
<i>Pimenta dioica</i>	12*16*19*18*17*13*14*15	97.42	<i>Tabebuia rosea</i>	12*16*18*19*17*13*15*14	93.28
<i>Piscidia piscipula</i>	12*16*18*19*17*13*15*5	91.87	<i>Tapirira mexicana</i>	12*16*18*19*17*13*14*15	96.2
<i>Pithecellobium dulce</i>	12*16*18*13*19*17*15*7	91.72	<i>Terminalia amazonia</i>	12*16*18*19*17*13*14*15	94.17
<i>Platymiscium yucatanum</i>	12*16*18*19*17*13*15*7	84.2	<i>Thouinidium decandrum</i>	12*16*18*19*17*13*15*14	80.59
<i>Pleuranthodendron lindenii</i>	12*16*19*18*17*13*15*14	95.61	<i>Vatairea lundellii</i>	12*16*19*18*17*13*15*14	94.02
<i>Poulsenia armata</i>	12*16*19*18*17*13*14*15	94.38	<i>Vitex gaumeri</i>	12*16*18*19*17*13*14*15	95.54
<i>Prosopis laevigata</i>	12*16*18*19*17*13*15*6	92.2	<i>Vochysia guatemalensis</i>	12*16*19*18*17*13*14*15	97.62
<i>Protium copal</i>	12*16*18*19*17*13*14*15	96.86	<i>Xylopia frutescens</i>	12*16*18*13*19*15*17*14	92.64

Cuadro 4. Variables ambientales seleccionadas y porcentaje de variabilidad acumulada en los eigenvalores de acuerdo al PCA para cada especie.

- *Delimitación de la M*

Se determinó el área accesible o disponible para que la especie se desplace, considerando su historia y capacidad de dispersión, de acuerdo a los conceptos del diagrama BAM (región M), propuesto por Soberón & Peterson (2005). Las áreas seleccionadas se determinaron utilizando la información digital de las ecorregiones terrestres de México (2008), generada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y el Instituto Nacional de Ecología (INE), a escala 1:1000000, utilizando las 99 ecorregiones disponibles a nivel 4. Para la identificación, selección, disolución de polígonos y recorte de información, se utilizó el software de SIG ArcView 3.2.

Modelos de distribución de las especies

Dentro del ámbito de la inteligencia artificial donde los programas de alta computación permiten inferir un nicho ecológico para las especies con base en algoritmos, se encuentra el algoritmo genético para predicción de conjuntos de reglas (GARP, por su acrónimo en inglés de Genetic Algorithms for Rule-set Prediction; Anderson *et al.*, 2003; Stockwell & Peters, 1999). GARP actualmente se encuentra en un ambiente de PC con una interfase que permite su utilización de manera sencilla como un programa residente (Desktop GARP), la cual puede ser instalada desde la dirección: <http://www.nhm.ku.edu/desktopgarp/index.html> (Navarro *et al.*, 2003). En GARP el concepto referente a “genético” resalta como una metáfora, donde en el procedimiento para la obtención del modelo, cambia a través de una

serie de reglas que simulan mutaciones puntuales, eliminaciones, translocaciones y/o entrecruzamientos (Monterrubio *et al.*, 2007; Sánchez - Cordero *et al.*, 2001).

GARP ha sido empleado en diferentes taxones y paisajes, en todos los casos las predicciones han sido altamente predictivas, permitiendo estimar la distribución geográfica de las especies a partir de diferentes fuentes de datos (colectas en campo, datos observacionales o de especímenes de museos). También ha sido utilizado en especies migratorias, invasoras, con distribución restringida, raras y en peligro, e incluso ha presentado resultados robustos en los programas de reintroducción de especies, mientras que de manera relativamente reciente se ha referido la posibilidad de crear escenarios predictivos de distribuciones potenciales futuras como respuesta al cambio climático global, en particular hacia la tendencia de calentamiento global y cambios ambientales concomitantes (Domínguez *et al.*, 2006; Gaubert *et al.*, 2006; Martínez *et al.*, 2004; Martínez *et al.*, 2006; Navarro *et al.*, 2003; Stockwell & Peters, 1999).

La explicación detallada del funcionamiento técnico de GARP lo describen Stockwell & Noble (1992) y Stockwell & Peters (1999), pero el procedimiento general del algoritmo es el siguiente: utilizando las localidades de presencia de la especie, genera de manera aleatoria 1 250 puntos de presencia de la especie por medio de un remuestreo y 1 250 puntos de pseudoausencias, los 2 500 puntos totales son aleatoriamente seccionados en dos conjuntos (1 250 puntos cada uno) para obtener los modelos (entrenamiento) y el resto para ser evaluados (prueba). Relacionando las características ecológicas de las localidades de colecta con localidades tomadas al azar de la región considerada (extrapolación), desarrolla un conjunto de reglas que

reflejan los factores ambientales asociados con la presencia de la especie, utilizando cuatro métodos: atómica, rango, rango negado y regresión logística. Cada regla o condicional generada se evalúan estadísticamente y es ordenada de acuerdo a su desempeño para ser establecida, reemplazada o descartada; el proceso se repite hasta un número determinado de iteraciones que van de 1 000 a 2 560, o hasta que convergen cuando no exista manera de mejorar el conjunto de reglas establecidas al no incrementar su capacidad predictiva (Anderson *et al.*, 2003; Sánchez - Cordero *et al.*, 2001; Sánchez - Cordero *et al.*, 2005; Monterrubio *et al.*, 2007).

El conjunto de reglas finales son un modelo preliminar de nicho ecológico y una predicción inicial de la distribución potencial de la especie que se visualiza en espacio geográfico mediante el uso de los SIG, donde se aprecian las áreas que reúnen las características ambientales adecuadas para la especie (presencia) o las áreas que no las reúnen (ausencia) (Sánchez - Cordero *et al.*, 2001; Stockwell & Peters, 1999). Es importante mencionar que GARP es susceptible de producir dos tipos de error: comisión (áreas inapropiadas incluidas en la predicción - sobreestimación) y omisión (áreas habitables que son excluidas de la predicción), sin embargo este tipo de errores en algunos casos pueden ser reducidos por la inclusión de factores históricos o áreas habitables (Gaubert *et al.*, 2006; Martínez *et al.*, 2004).

Los parámetros de ejecución para obtener los modelos de las especies arbóreas se establecieron de acuerdo al número de registros de presencia disponibles en la base de datos, en cuanto a la selección de puntos de entrenamiento y validación (**Cuadro 5**). Se ejecutaron 100 corridas con 0.01 de límite de convergencia con un máximo de 1 000 iteraciones, se seleccionaron 20 modelos

con un 20 % de error de omisión, un 50 % de umbral de comisión, se utilizaron los 4 tipos de reglas y se eligieron los 10 mejores modelos a través de la sección de *best subset*. Los 10 mejores modelos se sumaron en ArcView 3.2 (utilizando el script *calcdridsinview*) generando mapas donde cada pixel representa el número de modelos que predicen presencia. El punto o línea de corte para generar mapas binarios (presencia = 1 y ausencia = 0) se obtuvo al realizar una prueba de χ^2 (Chi cuadrada), donde se consideró el número de registros que se encuentran dentro del área predicha y el tamaño del área (Anderson *et al.*, 2003), eligiendo el número de modelos que presentara baja omisión, baja probabilidad y alto valor en χ^2 , de manera general los modelos fueron recortados donde los pixeles coincidieran con una predicción de presencia mayor o igual a 7 y 8 modelos.

Número de registros	% de entrenamiento	% de validación
< 15	100	0
15 - 30	70	30
> 30	50	50

Cuadro 5. Selección de puntos de entrenamiento y validación

- *Análisis por especie*

Las posibles respuestas de las especies ante las condiciones futuras de cambio climático (años 2060 y 2090 para dos escenarios A2 y B1), se verán reflejadas en cambios distribucionales: incrementando, disminuyendo o manteniendo su área. Para realizar tal estimación, se utilizó ArcView 3.2 procesando los modelos binarios de cada especie (en formato GRID), a través de un conteo de píxeles (resolución de aprox. 1km²). Además se calcularon, estimaron y analizaron los

cambios potenciales dentro de la distribución predicha, a través de la identificación de tres aspectos:

- 1) Áreas que en el futuro seguirán presentando las condiciones ambientales para el establecimiento de la especie, lo cual es considerado como permanencia.
- 2) Áreas que ya no mostrarán las condiciones ambientales para la permanencia de la especie y que conllevaría a la extinción local o regional
- 3) Áreas que en el futuro mostrarán los requerimientos de la especie pero que en la actualidad no se presentan, lo que mostraría zonas potenciales para procesos de colonización.

El procedimiento se realizó en ArcView 3.2 con ayuda de la herramienta de *Map Query*, utilizando la información en formato Grid y a través de condicionales de presencia y ausencia.

Las estimaciones obtenidas sobre los posibles cambios distribucionales se procesaron en formato GRID en ArcView 3.2 para ser sumadas e identificar en cuáles estados de la República Mexica se presentarían las mayores modificaciones.

- *Perfiles climáticos de áreas potenciales*

Se obtuvo el perfil climático presente y futuro de las áreas potenciales para la permanencia, colonización y extinción de las especies, extrayendo el valor de la temperatura media anual (Bio 1) y precipitación anual (Bio 12) para dichas áreas en formato GRID. Con el uso de un SIG se obtuvieron los estadísticos de valor mínimo, máximo y promedio.

- *Análisis de comunidades arbóreas*

Se utilizaron los valores ambientales de las especies arbóreas obtenidos de los perfiles bioclimáticos actuales y de las proyecciones al futuro, para determinar si existe variación ambiental significativa entre las especies y con ello, inferir los cambios posibles en la composición de las comunidades vegetales de acuerdo a sus afinidades ambientales, para ello se realizaron Análisis Multivariantes de Varianza (MANOVA, por sus siglas en inglés Multivariate Analysis of Variance), con ayuda del programa Statistica 10 (Statsoft v. 2010). En caso de existir tal diferenciación ambiental entre las especies, se utilizaron los valores promedios de los perfiles bioclimáticos de las localidades de presencia de todas las especies y se realizaron Análisis de Correspondencia y Dendrogramas para visualizar las agrupaciones vegetales de acuerdo a las similitudes ambientales. Para estos procedimientos estadísticos, se colocó un número de identificación (ID) para cada especie (**Cuadro 6**).

Nombre de la especie	ID	Nombre de la especie	ID
<i>Amphipterygium adstringens</i>	1	<i>Hura poliandra</i>	47
<i>Acacia dolichostachya</i>	2	<i>Jacquinia macrocarpa</i>	48
<i>Acacia farnesiana</i>	3	<i>Jacaratia mexicana</i>	49
<i>Astronium graveolens</i>	4	<i>Lysiloma acapulcensis</i>	50
<i>Ampelocera hottleri</i>	5	<i>Licania arbórea</i>	51
<i>Alchornea latifolia</i>	6	<i>Licaria capitata</i>	52
<i>Aphananthe monoica</i>	7	<i>Lonchocarpus castilloi</i>	53
<i>Acacia pringlei</i>	8	<i>Lonchocarpus cruentus</i>	54
<i>Apeiba tibourbou</i>	9	<i>Lonchocarpus eriocarinalis</i>	55
<i>Alseis yucatanensis</i>	10	<i>Lysiloma latisiliquum</i>	56
<i>Brosimum alicastrum</i>	11	<i>Myroxylon balsanum</i>	57
<i>Bursera excelsa</i>	12	<i>Metopium brownei</i>	58
<i>Bernoullia flammea</i>	13	<i>Melicoccus oliviformis</i>	59
<i>Ceiba aescualifolia</i>	14	<i>Omphalea oleífera</i>	60
<i>Cordia alliodora</i>	15	<i>Pterocarpus acapulcensis</i>	61

<i>Carpodiptera ameliae</i>	16	<i>Poulsenia armata</i>	62
<i>Cojoba arbórea</i>	17	<i>Phyllostylon brasiliense</i>	63
<i>Cymbopetalum bailloni</i>	18	<i>Protium copal</i>	64
<i>Calophyllum brasiliense</i>	19	<i>Pimenta dioica</i>	65
<i>Calycophyllum candidissimum</i>	20	<i>Pithecellobium dulce</i>	66
<i>Crescentia cujete</i>	21	<i>Prosopis laevigata</i>	67
<i>Cordia dodecandra</i>	22	<i>Pleuranthodendron lindenii</i>	68
<i>Casimiroa edulis</i>	23	<i>Pseudolmedia oxyphyllaria</i>	69
<i>Cordia elaeagnoides</i>	24	<i>Piscidia piscipula</i>	70
<i>Castilla elastica</i>	25	<i>Platymiscium yucatanum</i>	71
<i>Caesalpinia eriostachy</i>	26	<i>Quararibea funebris</i>	72
<i>Caesalpinia gaumeri</i>	27	<i>Ruprechtia fusca</i>	73
<i>Chrysophyllum mexicanum</i>	28	<i>Recchia mexicana</i>	74
<i>Cynometra oaxacana</i>	29	<i>Robinsonella mirandae</i>	75
<i>Cedrela odorata</i>	30	<i>Sterculia apetala</i>	76
<i>Ceiba pentandra</i>	31	<i>Swartzia cubensis</i>	77
<i>Couepia poliandra</i>	32	<i>Stemmadenia donnell-smithii</i>	78
<i>Dendropanax arboreus</i>	33	<i>Simarouba glauca</i>	79
<i>Diospyros digyna</i>	34	<i>Spondias mombin</i>	80
<i>Dussia mexicana</i>	35	<i>Senna multijuga ssp. Doylei</i>	81
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	36	<i>Schizolobium parahyba</i>	82
<i>Ebenopsis ébano</i>	37	<i>Spondias purpurea</i>	83
<i>Erythrina folkersii</i>	38	<i>Simira salvadorensis</i>	84
<i>Forchhammeria pallida</i>	39	<i>Terminalia amazonia</i>	85
<i>Ficus petiolaris</i>	40	<i>Thouinidium decandrum</i>	86
<i>Guatteria anómala</i>	41	<i>Tabebuia rosea</i>	87
<i>Guaiacum coulteri</i>	42	<i>Tapirira mexicana</i>	88
<i>Guarea glabra</i>	43	<i>Vitex gaumeri</i>	89
<i>Gyrocarpus jatrophiifolius</i>	44	<i>Vochysia guatemalensis</i>	90
<i>Gliricidia sepium</i>	45	<i>Vatairea lundellii</i>	91
<i>Hampea nutricia</i>	46	<i>Xylopia frutescens</i>	92

Cuadro 6. Identificador estadístico de especies arbóreas.

RESULTADOS

Se obtuvieron 460 modelos de distribución geográfica potencial referentes a 92 especies arbóreas características de las selvas tropicales de México, considerando las condiciones ambientales actuales y las estimadas al futuro por el cambio climático para los años 2060 y 2090, bajo dos escenarios (A2 y B1).

De acuerdo a las tendencias futuras se identifican:

- 🌳 **1 especie incrementaría su distribución en ambos escenarios y tiempos (especie favorecida ambientalmente):**

Platymiscium yucatanum

- 🌳 **13 especies mantendrían su distribución en ambos escenarios y tiempos:**

Acacia farnesiana, Alseis yucatanensis, Ampelocera hottleri, Dussia mexicana, Jacquinia macrocarpa, Lonchocarpus ericarinalis, Melicoccus oliviformis, Phyllostylon brasiliense, Pithecellobium dulce, Prosopis laevigata, Ruprechtia fusca, Thouinidium decandrum y Vitex gaumeri.

- 🌳 **57 especies disminuirían su distribución en ambos escenarios y tiempos (especies no favorecidas ambientalmente):**

Alchornea latifolia, Amphipterygium adstringens, Apeiba tibourbou, Astronium graveolens, Bernoullia flammea, Brosimum alicastrum, Caesalpinia eriostachy, Calycophyllum brasiliense, Calycophyllum candidissimum, Carpodiptera ameliae, Castilla elastica, Cedrela odorata, Ceiba aescualifolia, Cojoba arborea, Cordia dodecandra, Cordia elaeagnoides, Couepia polyandra, Cymbopetalum baillonii, Dendropanax arboreus, Diospyros digyna, Ebenopsis ebano, Erythrina folkersii,

Gliricidia sepium, Guaiacum coulteri, Guarea glabra, Guatteria anomala, Gyrocarpus jatrophiifolius, Hampea nutricia, Hura polyandra, Jacaratia mexicana, Licaria capitata, Lonchocarpus cruentus, Lysiloma acapulcensis, Myroxylon balsanum, Omphalea oleifera, Pimenta dioica, Piscidia piscipula, Pleuranthodendron lindenii, Poulsenia armata, Protium copal, Pseudolmedia oxyphyllaria, Pterocarpus acapulcensis, Quararibea funebris, Recchia mexicana, Robinsonella mirandae, Schizolobium parahyba, Senna multijuga ssp. Doylei, Spondias mombin, Spondias purpurea, Stemmadenia donnell-smithii, Sterculia apetala, Tabebuia rosea, Tapirira mexicana, Terminalia amazonia, Vatairea lundellii, Vochysia guatemalensis y Xylopia frutescens.

 **21 especies cambiarían su distribución de acuerdo al escenario.**

▪ **Escenario A2**

○ **1 especie incrementarían (favorecida ambientalmente):**

Acacia dolichostachya,

○ **3 especies permanecerían:**

Acacia pringlei, Forchhammeria pallida y Metopium brownei.

○ **17 especies disminuirían (no favorecidas ambientalmente):**

Aphananthe monoica, Bursera excelsa, Caesalpinia gaumeri, Casimiroa edulis, Ceiba pentandra, Chrysophyllum mexicanum, Cordia alliodora, Crescentia cujete, Cynometra oxacana, Enterolobium cyclocarpum, Ficus petiolaris, Licania arborea, Lonchocarpus castilloi, Lysiloma latisiliquum, Simarouba glauca, Simira salvadorensis y Swartzia cubensis.

- **Escenario B1**

- **4 especies incrementarían (favorecidas ambientalmente):**

Acacia pringlei, Caesalpinia gaumeri, Lysiloma latisiliquum y Metopium brownei.

- **16 especies permanecerían:**

Acacia dolichostachya, Aphananthe monoica, Bursera excelsa, Casimiroa edulis, Ceiba pentandra, Chrysophyllum mexicanum, Cordia alliodora, Crescentia cujete, Cynometra oaxacana, Enterolobium cyclocarpum, Ficus petiolaris, Licania arborea, Lonchocarpus castilloi, Simarouba glauca, Simira salvadorensis y Swartzia cubensis.

- **1 especie disminuirían (no favorecida ambientalmente):**

Forchhammeria pallida

Se identifica que entre el 20 % (escenario A2) y 37 % (B1) de las especies analizadas podrían mantener o incrementar su área de distribución, viéndose relativamente favorecidas con las condiciones ambientales futuras esperadas por el cambio climático. Bajo estos escenarios las especies beneficiadas corresponden a selvas medianas subperennifolias (15 % escenario A2 y 32 % escenario B1), selvas medianas subcaducifolias (26 % escenario A2 y 53 % escenario B1) y selvas bajas caducifolias (27 % escenario A2 y 46 % escenario B1).

Se estima que el 80 % (escenario A2) y 63 % (B1) de las especies podrían disminuir su distribución siendo posiblemente más afectadas (o vulnerables) por el cambio climático futuro; las cuales bajo un escenario A2 son características de selvas altas perennifolias (91 %), selvas medianas subperennifolias (85 %) y selvas medianas subcaducifolias (74%), mientras que en un escenario B1 corresponden a selvas altas perennifolias (79 %) y selvas medianas subperennifolias (68 %).

Se observa a las selvas medianas subperennifolias y selvas medias subcaducifolias, como los tipos de vegetación que podrían presentar el mayor recambio biológico, al mostrar su especies ambas tendencias.

En lo referente a la distribución geográfica potencial se identifica que la mayor riqueza de especies arbóreas (≥ 70 especies $\approx 76\%$), actualmente se localiza en los estados de Campeche, Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí y Veracruz (**Fig. 1** y **Gráf. 1**). Sin embargo estos estados en unión a otras entidades federativas, presentarían mayor variación en el futuro, en términos de la permanencia, extinción y posibles colonizaciones de árboles tropicales (**Cuadro 7**).

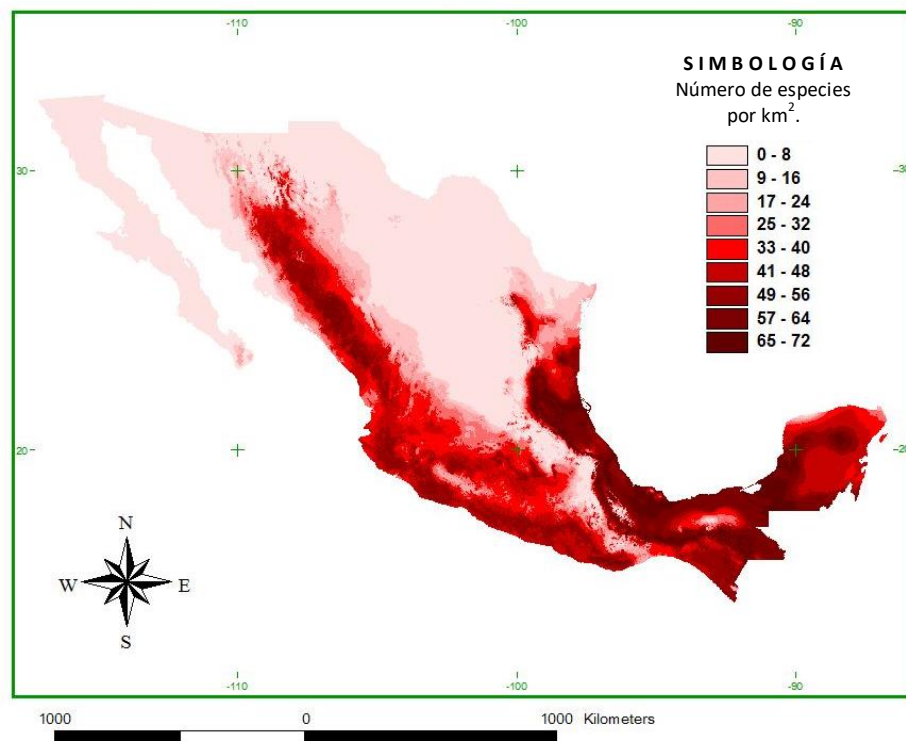
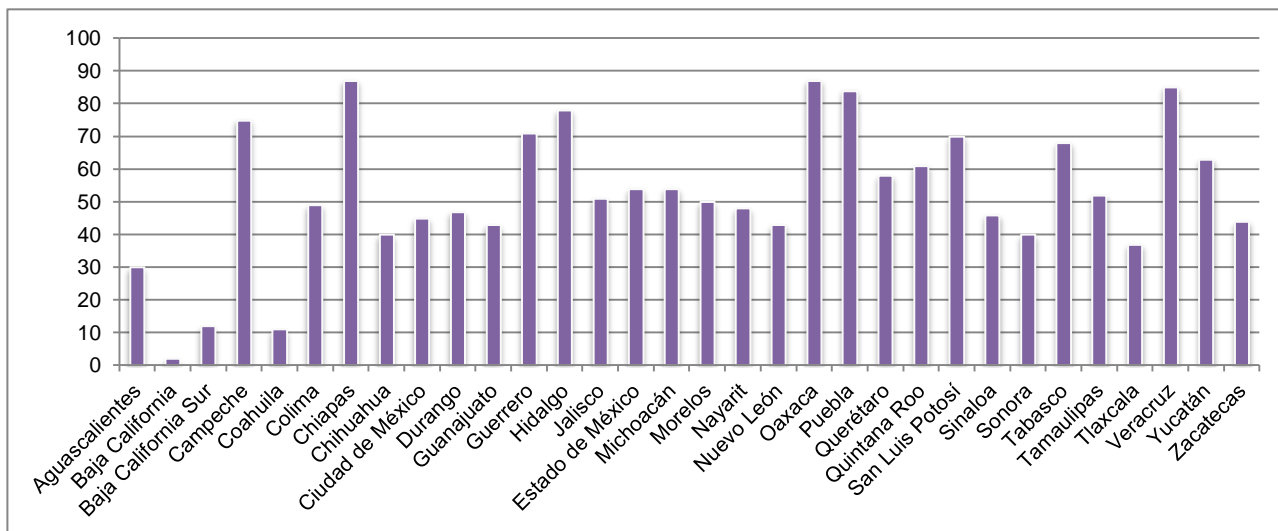


Fig. 1 Riqueza actual de especies arbóreas.



Gráf. 1 Número de especies arbóreas presentes actualmente por Entidad Federativa.

Se estima que Campeche, Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Tabasco, Veracruz y Yucatán, serían los estados en los que permanecerían en el futuro más de 50 especies arbóreas ($\geq 50\%$ de las especies analizadas) para ambos escenarios y tiempos (**Fig. 2** y **Gráf. 2**). Las extinciones potenciales muestran la pérdida de al menos el 50 % de las especies en los estados de Campeche, Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Tabasco, Veracruz y Yucatán (**Fig. 3** y **Gráf. 3**). Mientras que Chiapas, Durango, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Nayarit, Oaxaca, Puebla y Veracruz, serían los estados que presentarían mayor cantidad de especies ($\geq 25\%$) que podrían colonizar nuevas áreas (**Fig. 4** y **Gráf. 4**).

Se identifica a Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Oaxaca, Puebla y Veracruz, como los estados que podrían presentar el mayor recambio vegetal al mostrar los tres tipos de cambios distribucionales en sus especies arbóreas (**Cuadro 7**).

	ESTADO	Aguascalientes	Baja California	Baja California Sur	Campeche	Coahuila	Colima	Chiapas	Chihuahua	Ciudad de México	Durango	Guanajuato	Guerrero	Hidalgo	Jalisco	Estado de México	Michoacán
	ACTUAL	30	2	12	75	11	49	87	40	45	47	43	71	78	51	54	54
PERMANENCIA	A2_2060	13	2	12	52	7	49	87	39	40	47	33	71	75	50	52	51
	A2_2090	10	2	6	57	5	49	87	28	37	45	28	67	74	49	50	51
	B1_2060	27	2	10	69	8	49	87	39	45	47	40	71	76	50	53	52
	B1_2090	22	2	10	53	5	49	87	40	40	47	33	71	72	50	52	51
EXTINCIÓN	A2_2060	26	2	10	69	10	8	81	37	29	40	37	56	55	43	46	46
	A2_2090	27	2	11	72	10	15	82	40	34	44	41	66	64	49	49	47
	B1_2060	24	1	10	50	8	6	79	40	21	32	34	56	34	46	41	48
	B1_2090	26	2	9	72	9	8	81	40	34	41	39	58	66	45	46	48
COLONIZACIÓN	A2_2060	0	3	5	6	3	8	55	20	1	23	9	32	10	20	12	9
	A2_2090	1	1	1	8	3	8	73	7	1	15	3	21	16	20	13	11
	B1_2060	3	2	5	17	3	9	68	20	2	33	8	42	25	26	18	15
	B1_2090	2	1	6	7	2	8	62	19	1	20	9	36	11	25	11	15

	ESTADO	Morelos	Nayarit	Nuevo León	Oaxaca	Puebla	Querétaro	Quintana Roo	San Luis Potosí	Sinaloa	Sonora	Tabasco	Tamaulipas	Tlaxcala	Veracruz	Yucatán	Zacatecas
	ACTUAL	50	48	43	87	84	58	61	70	46	40	68	52	37	85	63	44
PERMANENCIA	A2_2060	44	48	34	87	84	50	43	68	46	34	64	46	32	85	49	36
	A2_2090	40	48	28	87	84	47	41	67	45	18	64	44	24	84	45	33
	B1_2060	49	48	42	87	84	57	61	69	46	35	63	50	35	85	56	40
	B1_2090	44	48	38	87	83	47	48	67	46	35	58	41	31	85	55	38
EXTINCIÓN	A2_2060	22	26	39	78	52	50	59	53	33	36	52	48	23	74	59	40
	A2_2090	37	36	43	82	61	55	59	60	39	17	29	50	27	82	63	43
	B1_2060	11	27	36	77	33	37	33	50	35	37	58	45	12	71	53	39
	B1_2090	22	26	41	78	57	52	55	55	37	37	65	49	26	79	54	43
COLONIZACIÓN	A2_2060	5	22	4	76	43	3	6	15	18	20	12	1	6	47	4	6
	A2_2090	4	23	0	72	43	1	8	14	14	9	39	11	4	56	3	7
	B1_2060	9	25	13	79	43	5	32	19	16	13	11	22	9	56	11	26
	B1_2090	5	29	0	80	36	2	11	13	15	16	2	14	4	51	10	8

Cuadro. 7 Número de especies arbóreas en el presente y en el futuro (escenarios A2 y B1 para los años 2060 y 2090) por entidad federativa.

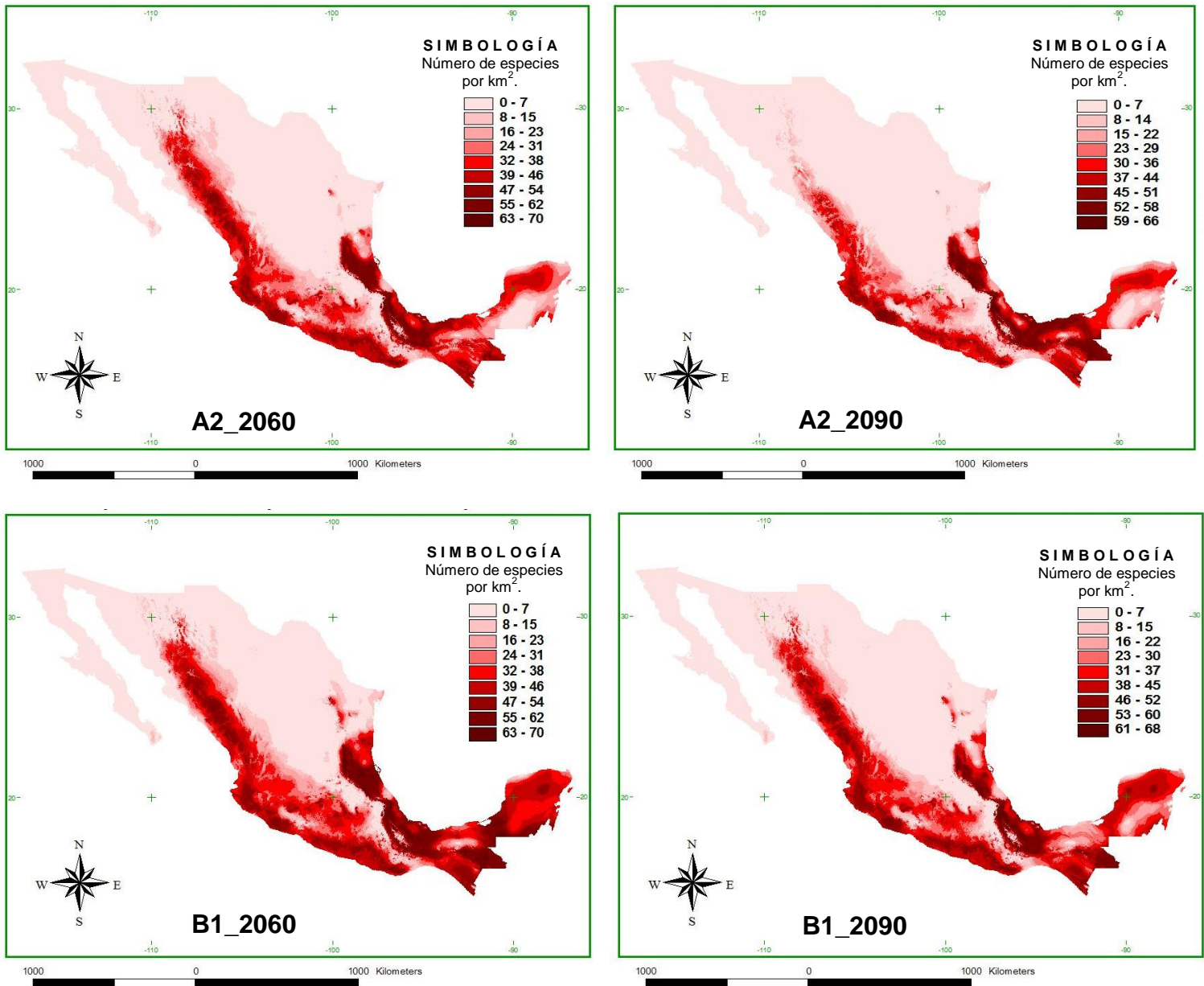
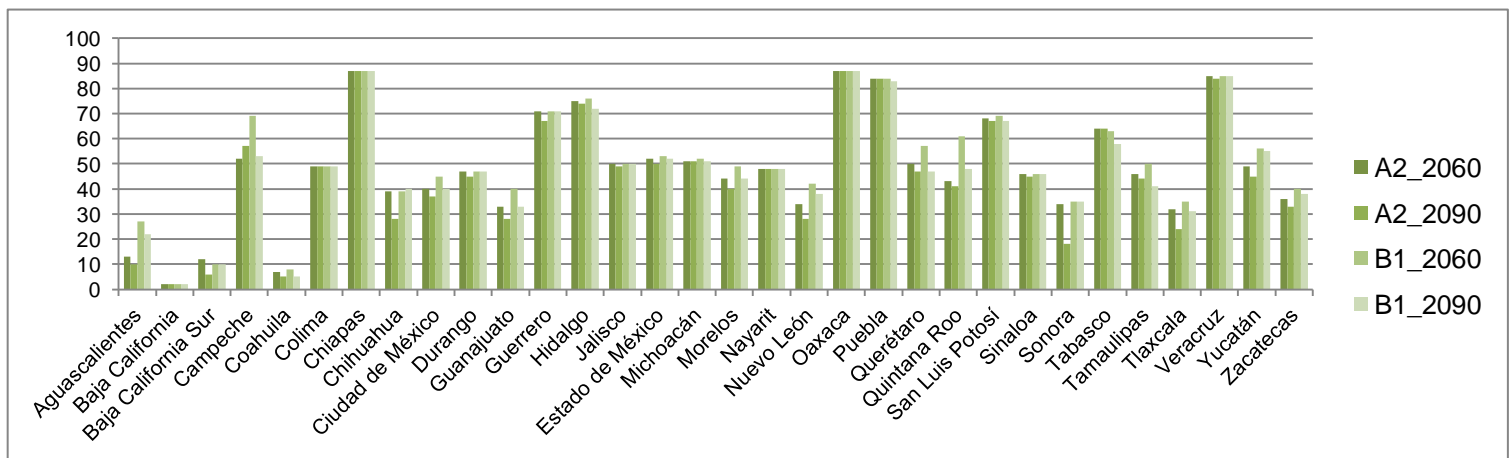


Fig. 2 Número de especies arbóreas que permanecerían en el futuro por km².



Gráf. 2 Número de especies arbóreas que permanecerían en el futuro por Entidad Federativa.

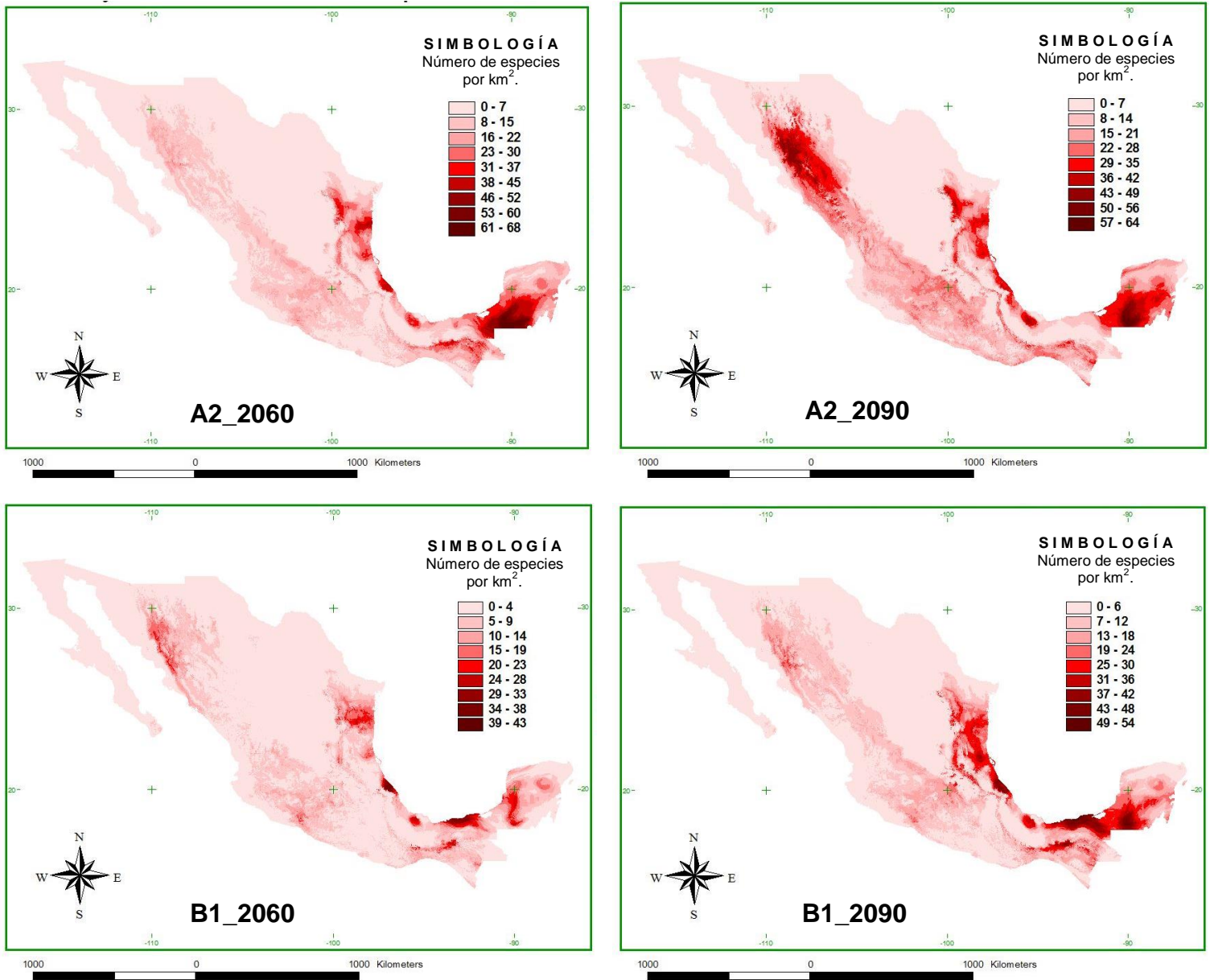
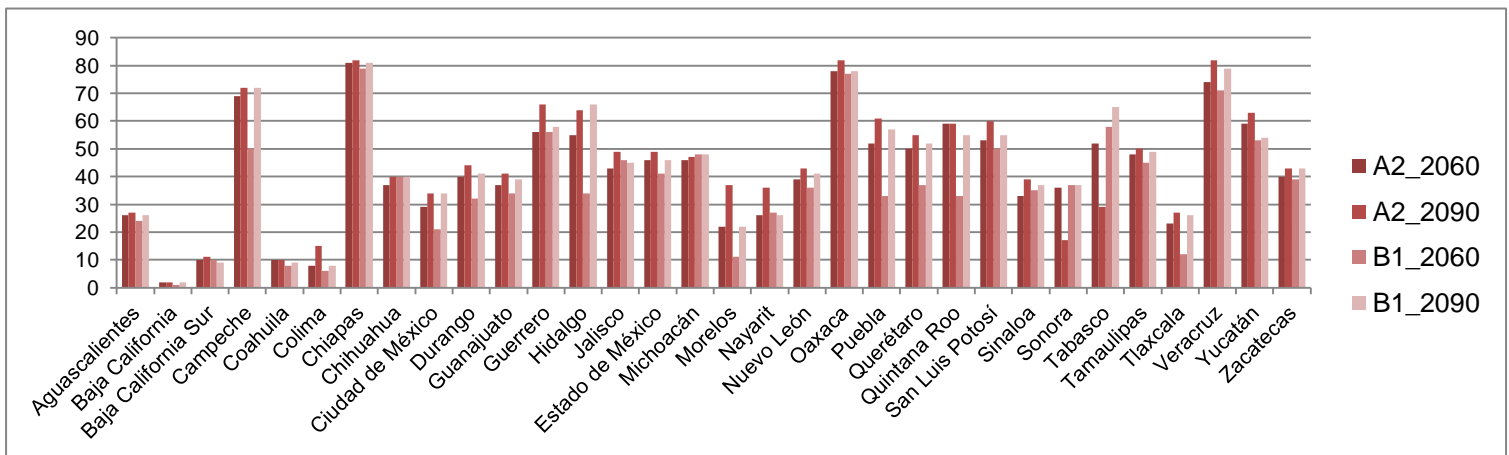


Fig. 3 Número de especies arbóreas que podrían extinguirse en el futuro por km².



Gráf. 3 Número de especies arbóreas que se extinguirán en el futuro por Entidad Federativa.

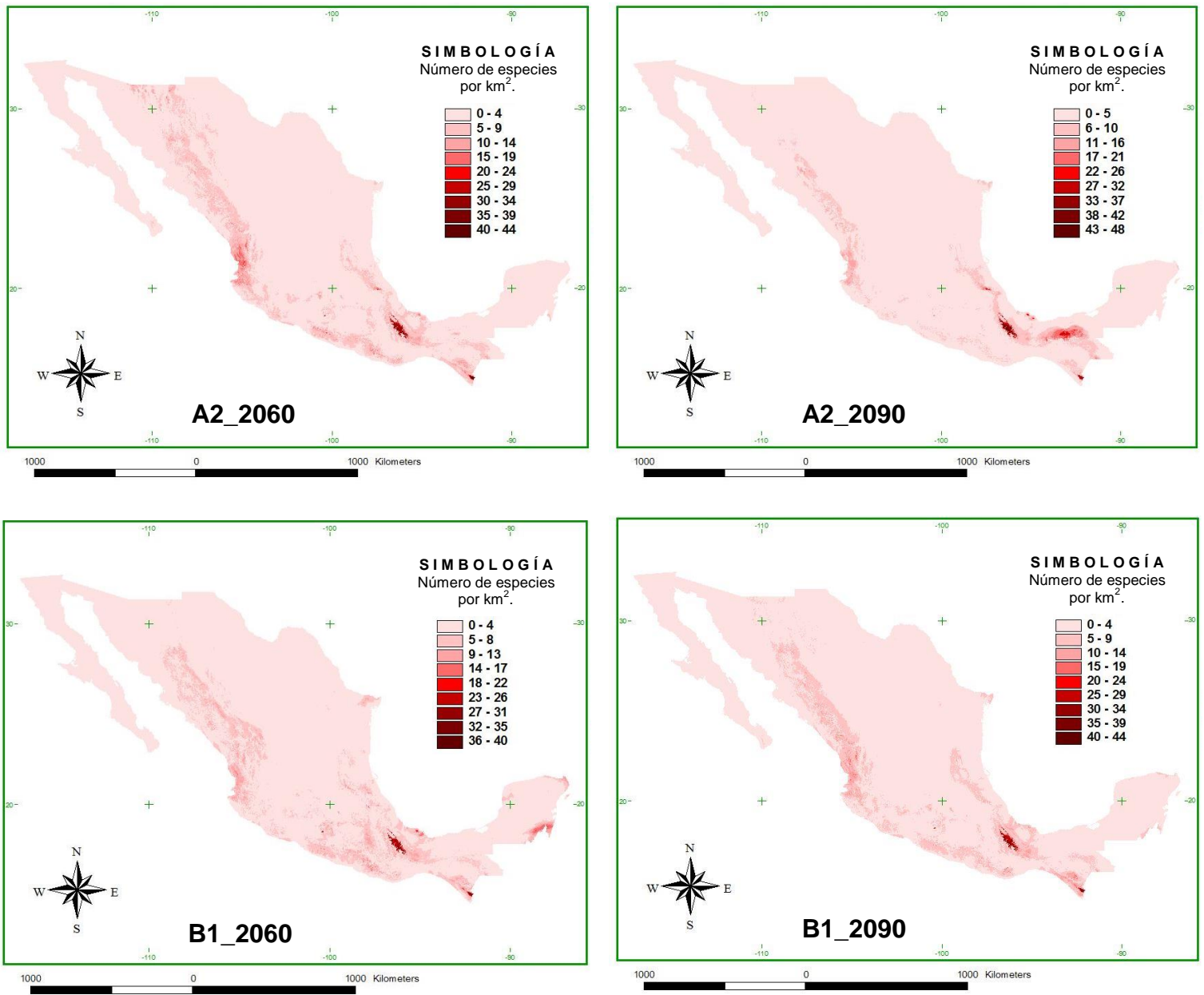
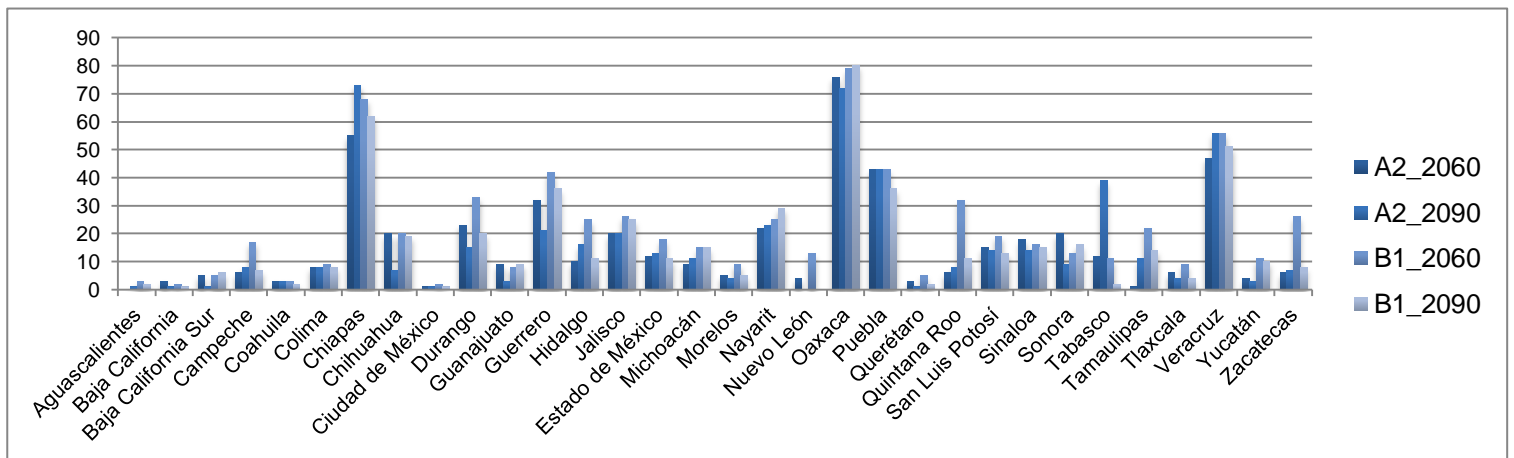


Fig. 4 Número de especies arbóreas que colonizarían en el futuro por km².



Gráf. 4 Número de especies arbóreas que colonizarían en el futuro por Entidad Federativa.

Dada la extensión del documento y a la falta de una documentación completa sobre la biología de la mayoría de las especies arbóreas seleccionadas, sólo se muestra el análisis en extenso de 4 especies que ejemplifican los cambios distribucionales: 1) incremento, 2) disminución, 3) mantenimiento y 4) dependiendo del escenario climático futuro, además de ser las especies que mayormente se lograron consultar en la literatura científica. Los resultados complementarios de las especies restantes se encuentran de manera ilustrativa y resumida en el **Anexo I: “Modelos de distribución, perfiles bioclimáticos y gráficos de cambios distribucional”**.



Estudio 1. Posible incremento.

Nombre científico: *Platymiscium yucatanum* Standl.



Fig. 5 Árbol de *Platymiscium yucatanum* a) tronco y b) hojas. Fotografía: Hayden W. J., 2011a.

Sinonimia: *Platymiscium polystachyum* Behth ex Seem y *Platymiscium pinnatum* (Jacq.) Dugand (Gómez & Toro, 2007).

Familia: Faboideae.

Nombres comunes: Granadillo (Campeche, Chiapas, Yucatán y Quintana Roo), Chulul (Chiapas), Sanich'te (Chiapas), Subinché (Yucatán), Marimbo y Hormiguillo (Chiapas) y Chagane (Veracruz) (Pennington & Sarukhán, 2005; Rodríguez *et al.*, 2009).

Estatus: Es considerada dentro de los recursos genéticos forestales en Yucatán, con capacidad de rebrote y alta adaptación a condiciones ecológicas y con madera adecuada para varios objetivos, para ser establecida en los programas gubernamentales de producción (Zizumbo *et al.*, 2011).

Descripción botánica

Forma: Árbol de hasta 35 m y DAP de hasta 80 cm con tronco recto (**Fig. 5a**), ramas ascendentes y copa irregular.

Corteza: Externa fisurada y ligeramente escamosa, gris claro a moreno pardusco. Interna de color crema amarillento que cambia a pardo oscuro, laminada y fibrosa.

Ramas jóvenes: Con cicatrices protuberantes de las hojas y estípulas caídas, pardas o grisáceas, glabras con muy pocas lenticelas pardas suberificadas (Pennington & Sarukhán, 2005).

Hojas: Decusadas o en verticilos de tres (**Fig. 5b**), imparipinnadas de 7 a 35 cm de largo incluyendo el pecíolo, compuestas por 5 a 7 folíolos opuestos ovados o elípticos, a veces obovados, con el margen entero, ápice agudo o acuminado, base redondeada o cuneada; verde oscuro y brillante en la haz, verde amarillento o pálido en el envés, glabros en ambas superficies; nervación prominente y amarillenta en el envés.

Flores: En racimos en las axilas de las hojas caídas de 5 a 8 cm de largo, flores papilionadas de color amarillo.

Frutos: Vaina indehisciente alada de color café y de forma oblonga alargada, la cual llega a medir hasta 8 cm de largo y 3 cm de ancho, contiene una semilla oblonga alargada de 2 cm de largo y 1 cm de ancho, de color café claro, en cuyos lados se observa un canal circular (Pennington & Sarukhán, 2005; CIEco, 2011a).

Fenología: En México la floración ocurre entre febrero y mayo. El período óptimo para la recolección de los frutos es entre mayo a agosto cuando pasan de una coloración verde a café verdosa. La germinación es epigea y se inicia de 4 a 7 días después de la siembra y finaliza de 14 a 16 días (en procesos de producción en viveros) (CIEco, 2011a; SIRE, s.f.). Es caducifolio entre abril y mayo (Vester & Navarro, 2007).

Distribución geográfica: En México crece únicamente en la península de Yucatán (Pennington & Sarukhán, 2005; CICY, 2010) y de acuerdo al portal Biotas (CONABIO, 2015a) determina su distribución de tipo endémica. Sin embargo Vester & Navarro (2007) mencionan que la especie se encuentra en el norte de Sudamérica (Colombia y Venezuela) y Centro América, de la misma forma Estrada y colaboradores (2005) la reportan en Costa Rica

Distribución ecológica: Forma parte de las selvas altas subperennifolias, medianas perennifolias, subperennifolias, subcaducifolias, bajas caducifolias y subcaducifolias (Pennington & Sarukhán, 2005; CIEco, 2011a; Mendoza *et al.*, 2011). Puede germinar en el sotobosque y crecer allí, aunque lentamente, en algunas ocasiones aprovecha los claros para acelerar su crecimiento (Vester & Navarro, 2007). Se

encuentra asociada con especies como *Terminalia amazonia*, *Dialium guianense*, *Guatteria anomala*, *Brosimum alicastrum*, *Manilkara zapota*, entre otras (Pennington & Sarukhán, 2005).

Dispersión: A través de abejas y por viento (Rodríguez *et al.*, 2009; Vester & Navarro, 2007)

Propiedades y usos: La especie muestra un alto valor comercial (Carreón, 2013), la madera es pesada, fácil de trabajar manualmente y está calificada como excelente dentro de los procesos de maquinado (Martínez & Martínez, 1996; PNUD, 2012) (aunque suele presentar algunos problemas de pudrición); es de alta dureza, moderadamente fina, muy utilizada en adornos, cubiertos, platos, duela, lambrín, parquet, chapa, muebles finos, mangos de herramientas, artículos de escritorio, casas, barcos (SIRE, s.f.), instrumentos musicales (algunas partes de las guitarras) (De La Paz Pérez *et al.*, 2002) y para la fabricación de artesanías de alta calidad (Vester & Navarro, 2007).

Modelos de distribución geográfica potencial y proyecciones al futuro: Los registros de presencia y la distribución geográfica potencial estimada para la actualidad se muestra en la Península de Yucatán, aunque también se proyecta en una pequeña región ubicada al sureste de Veracruz (**Fig. 6**). *P. yucatanum* es la especie que muestra los valores más altos de permanencia para las proyecciones realizadas al futuro con el 88 % y 97 % para el año 2090 en ambos escenarios (**Gráf. 5**). Los datos referidos como extinciones son menores al 15 %, siendo el valor más alto un 14 % del área para el 2060 en el escenario A2 (**Gráf. 5**), localizándose geográficamente en la costa central al oeste de Yucatán, en un polígono que se

extiende del centro al sureste de Campeche y en una pequeña región de la costa centro de Quintana Roo y Cozumel (**Fig. 7**). Las posibles colonizaciones se estiman cercanas al 20 % (oscilan entre 13 – 19 %) (**Gráf. 5**) y se localizan semicontinuas desde Campeche pasando por Tabasco (**Fig 7a y 8a**), para finalmente llegar a establecerse en Veracruz (**Fig. 7b y 8b**); si estos valores se adicionan a los estimados como permanencia, el resultado es mayor a las áreas actuales (> 100 %), por lo que se considera que podría presentar un incremento en su distribución, acompañados de desplazamientos a diferentes longitudes hacia el Oeste.

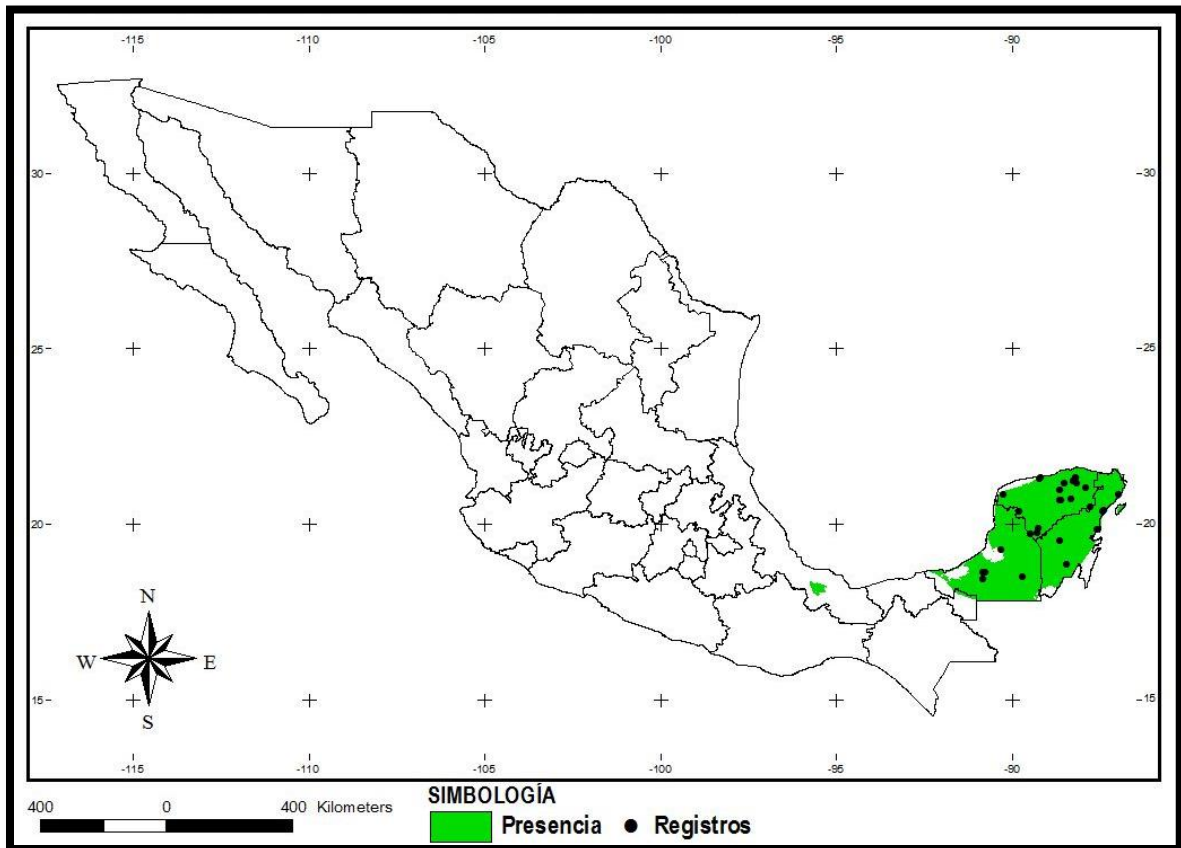


Fig. 6 Distribución potencial actual de *Platymiscium yucatanum*.

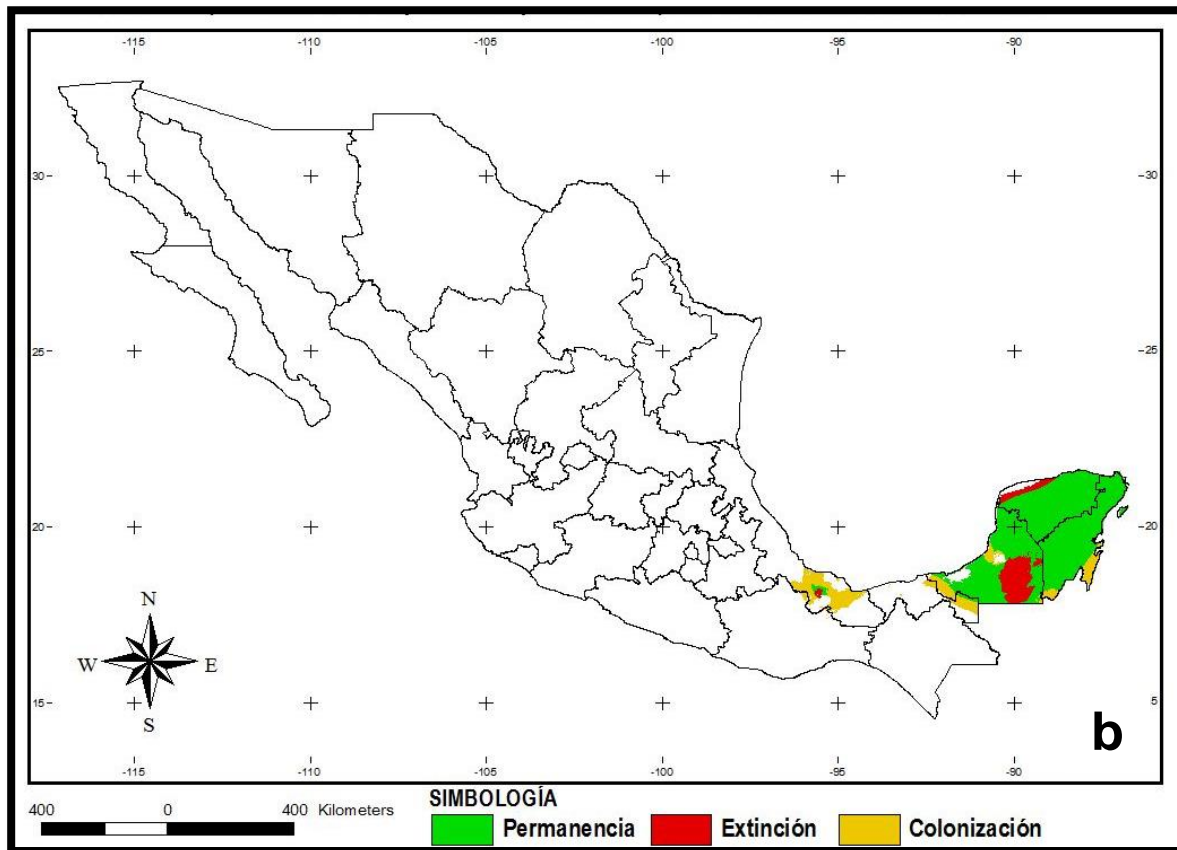
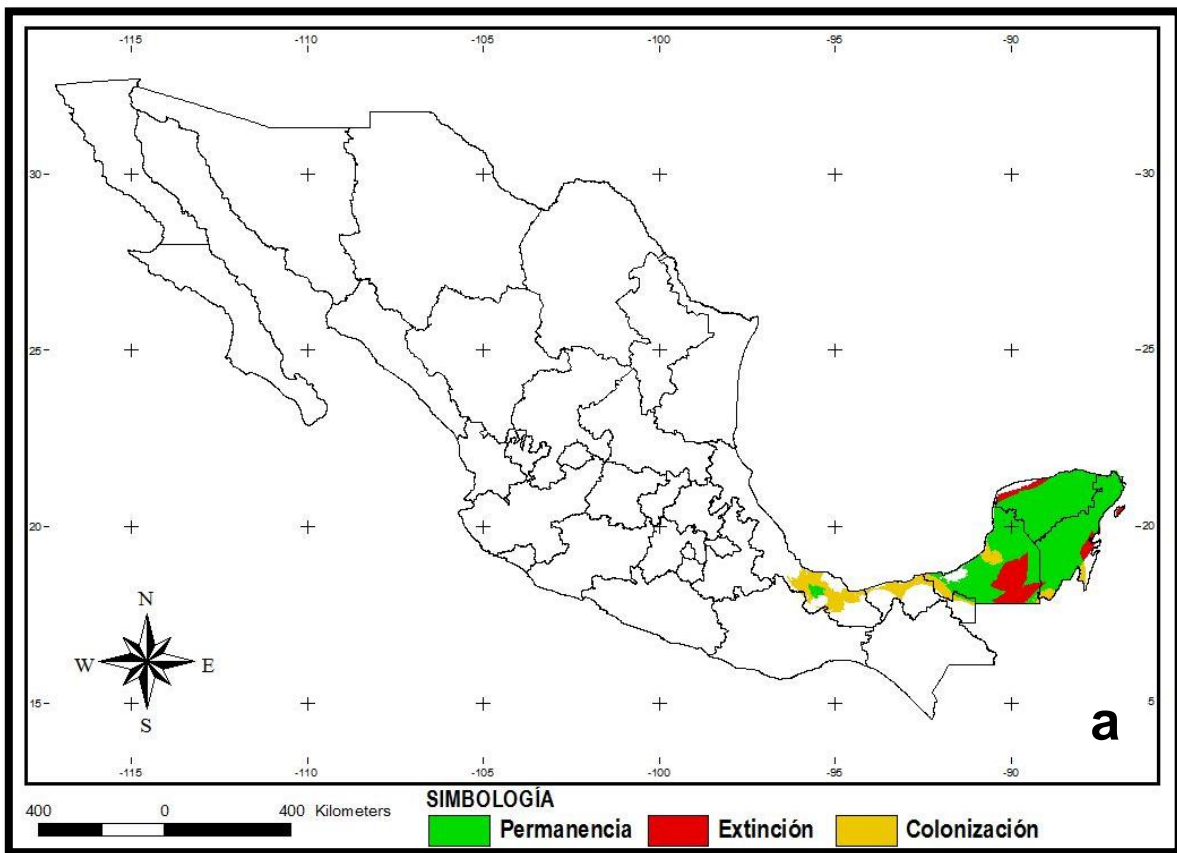


Fig. 7 Distribución potencial de *Platymiscium yucatanum* bajo un escenario A2, **a)** para el año 2060 y **b)** para el año 2090.

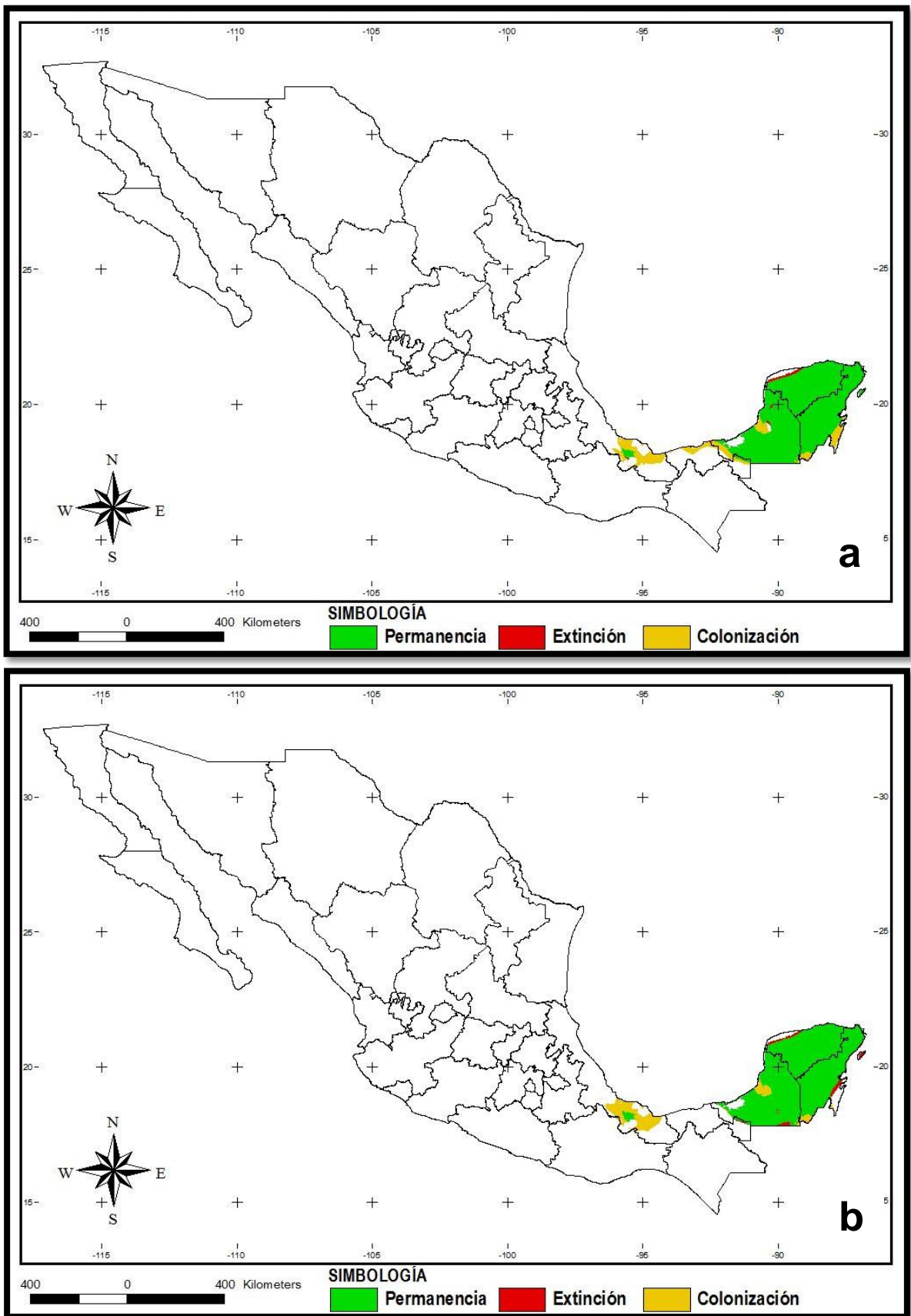
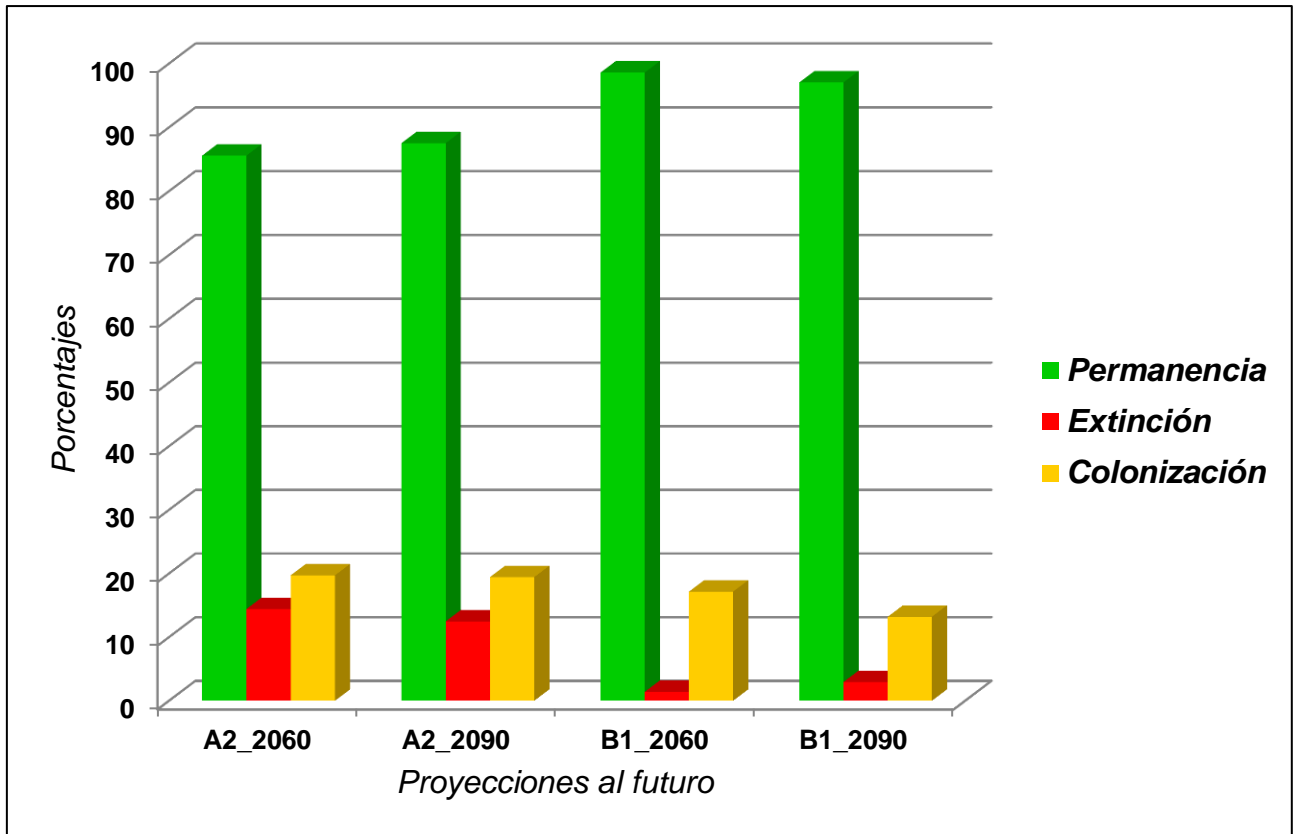


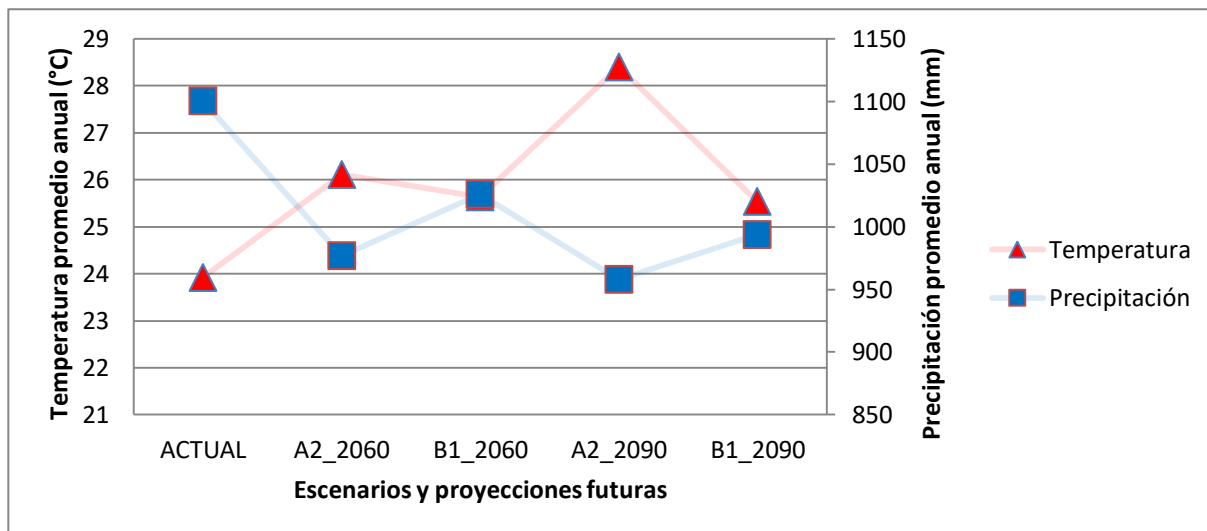
Fig. 8 Distribución potencial de *Platymiscium yucatanum* bajo un escenario B1, **a)** para el año 2060 y **b)** para el año 2090.



Gráf. 5 Cambios futuros en la distribución potencial de *Platymiscium yucatanum*.

Perfiles bioclimáticos: La literatura consultada no reporta tolerancias ambientales o rangos climáticos de las localidades en las que se ha muestreado o distribuye la especie. De acuerdo a los datos obtenidos con el perfil bioclimático (**Gráf. 6**) y a través de los estadísticos realizados, se obtiene que las proyecciones al futuro son significativamente diferentes a las condiciones actuales (Lambda de Wilks= 0.012, F= 61.06, P= <0.0001). Se identifica que la temperatura media anual (Bio1) de las localidades muestreadas incrementaría en el futuro, presentando el valor más alto en el escenario A2 para el año 2090 con 28.4°C. En cuanto a la precipitación anual (Bio12) se reporta actualmente un promedio de 1 100 mm, mientras que las proyecciones futuras para un escenario A2 muestran una disminución que va de los

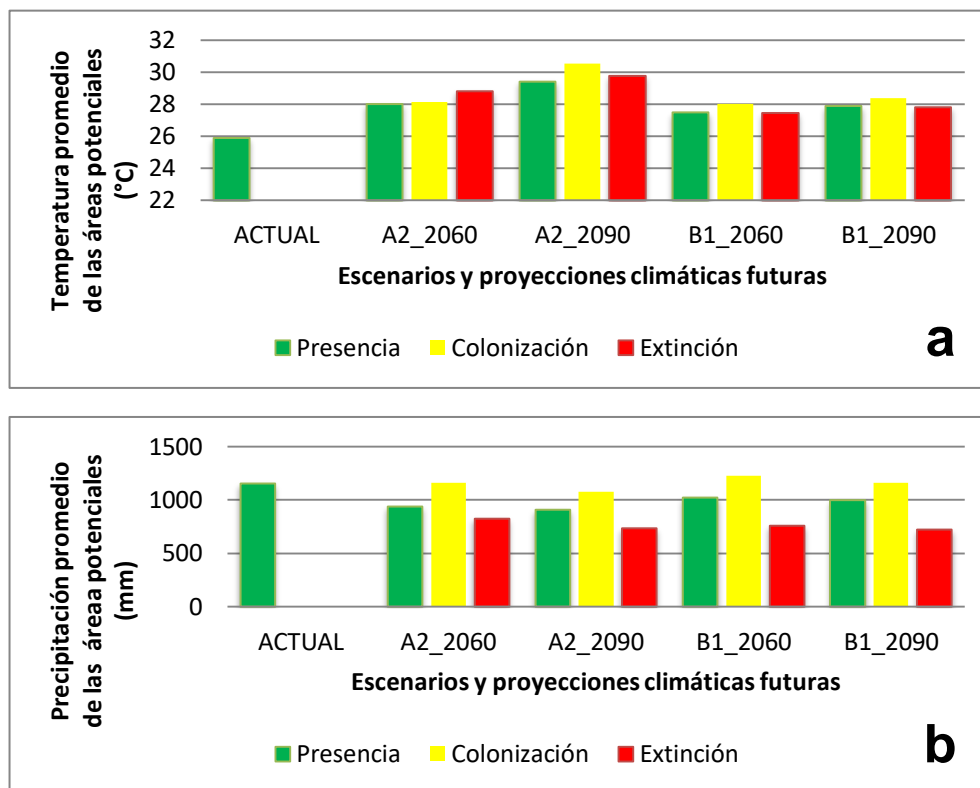
976 mm – 957 mm, y para el escenario B1 de 1 026 – 993 mm. Del mismo modo se identifican disminuciones en la Bio 16 (ver **Anexo 1**, pág. 134).



Gráf. 6 Perfil bioclimático de *Platymiscium yucatanum*.

Perfiles climáticos de áreas potenciales: *P. yucatanum* podría permanecer en el futuro (para ambos escenarios y tiempos) en áreas donde la temperatura promedio anual son mayores a los 27°C y hasta los 30°C (**Gráf. 7a**), en comparación a los 25.9°C que se registran en las áreas actuales, se considera que esta especie podría incrementar su área de distribución al ser probablemente tolerante a temperaturas superiores. En lo referente a la precipitación anual promedio, se considera que es el elemento de mayor importancia al delimitar la presencia de la especie, los datos obtenidos para la actualidad en promedio son de 1 152 mm (**Gráf. 7b**) que resultan ser muy próximos a los 1 110 mm en promedio que existen en las localidades donde se presenta la especie (**Gráf. 6**). Las áreas posibles a colonizar en los estados de Campeche, Tabasco y Veracruz, serían valores semejantes o ligeramente mayores a

los presentes, con 1 156 mm (escenario A2) a 1 224 mm (B1), mientras que las áreas posibles de extinción muestran una disminución en los valores registrados con 733 mm (A2) a 720 mm (B1) para el 2090, siendo aún menos a los registrados en las localidades de colecta.



Gráf. 7 Variación ambiental promedio en las áreas potenciales actuales y futuras de *Platymiscium yucatanum*. a) valores de temperatura media anual y b) precipitación anual.



Estudio 2. Posible disminución

Nombre científico: *Castilla elastica* Cerv.



Fig. 9 Árbol de *Castilla elastica* a) hojas y b) flores. Fotografía: Vaylón L., 2008 y Aguilar R., 2004.

Sinonimia: *Castilla guatemalensis* Pittier, *Castilla lactiflua* O.F.Cook, *Castilla elastica* var. *liga* J.Poiss, *Castilla gummifera* (Bertol.) Standl, *Castilla markhamiana* Markham, *Castilla nicoyensis* O.F.Cook, *Ficus gummifera* Bertol y *Urostigma gummiferum* Miq (CONABIO, 2015b; NaturaLista, 2011a)

Familia: Moraceae.

Nombres comunes: Hule, Árbol del hule, Palo de hule, Caucho (más usado), Pem (San Luis Potosí), K'ük-ché, Quiikché, Yaxha (Yucatán), Lacú, Tiniag, Niasé, Yagatlatzi (Oaxaca), Tarantacua (Michoacán), Olacahuite, Tsacat (Veracruz) en México (CIEco, 2011b; Pennington & Sarukhán, 2005).

Estatus: Ninguno.

Descripción botánica

Forma: Árbol monopódico de mediana altura (alcanza de 20 a 25 m), DAP de hasta 60 cm con el tronco derecho, ramas muy separadas entre sí, horizontales y ligeramente en forma de “s”, copa abierta y piramidal. El tronco suele presentar

cicatrices diagonales de cortes hechos para la extracción de látex (cuando es excesivo el número de incisiones, estas terminan debilitando la planta) (CIEco, 2011b; NaturaLista, 2011a; Pennington & Sarukhán, 2005; Plantabosques, 2010).

Corteza: Externa lisa a ligeramente fisurada, con abundantes lenticelas protuberantes dispuestas en líneas longitudinales, pardo grisácea a moreno grisácea. Interna de color crema muy claro o crema amarillento, fibrosa, con un exudado blanco o cremoso sumamente abundante y amargo (CIEco, 2011b; Pennington & Sarukhán, 2005;).

Ramas jóvenes: Muy gruesas, con cicatrices de estípulas y hojas caídas, densamente hispídas, pardo amarillentas a pardo verdosas, con lenticelas pequeñas, redondas y pálidas en las partes más viejas (Pennington & Sarukhán, 2005).

Hojas: Simples (**Fig. 9a**), alternas, de 20 x 10 a 45 x 20 cm, oblongas, con pecíolos de 4 a 25 mm de largo (NaturaLista, 2011a). Haz verde oscuro y opacas e hispídas, verde amarillentas con abundantes pelos sedosos en el envés (CIEco, 2011b).

Flores: Especie monoica. Flores masculinas en receptáculos cóncavos en las axilas de las hojas caídas, de 1.5 cm de diámetro, sobre pedicelos bracteolados de 1 cm de largo, pubescentes, cada receptáculo rodeado por numerosas bractéolas ovadas, verde amarillentas y densamente pubescentes, con numerosos estambres de 4 a 5 mm de largo, color crema (**Fig. 9b**). Las flores femeninas se encuentran en un receptáculo semicóncavo de 15 mm de ancho, sésiles, rodeadas por numerosas bractéolas ovadas, verde amarillentas y pubescentes (CIEco, 2011b; NaturaLista, 2011a).

Frutos: Drupas agregadas de 4 a 5 cm de diámetro, cada fruto cónico, con 4 ángulos, cartilaginoso, contiene una o dos semillas de 8 a 10 mm de largo (NaturaLista, 2011a). El color puede variar de amarillo a verde, anaranjado y rojo, son muy jugosos y casi no tienen sabor, son ligeramente agrios (BDMTM, 2009).

Fenología: Pierden sus hojas entre enero y mayo, excepto en zonas muy húmedas. Florecen de marzo a junio y los frutos maduran de julio a octubre (NaturaLista, 2011a).

Distribución geográfica: Se encuentra en la vertiente del Golfo desde el norte de Puebla, Veracruz, Tabasco y sur de San Luis Potosí hasta la mitad sur de la península de Yucatán, hacia la costa del Caribe y en la vertiente del Pacífico (quizá desde la costa de Nayarit, Jalisco y partes de Michoacán) desde Guerrero, Oaxaca hasta Chiapas (Pennington & Sarukhán, 2005; Rodríguez *et al.*, 2009). Se extiende hasta Nicaragua en Centroamérica, ha sido introducida a Cuba, España, Puerto Rico, Santo Tomás, Trinidad y Tobago (Vaylón, 2012).

Distribución ecológica: Especie muy frecuente en selvas altas subperennifolias y medianas subperennifolias en sitios perturbados y en algunas zonas existen cultivadas (Pennington & Sarukhán, 2005; Vaylón, 2012).

Dispersión: Zoocoria (Rodríguez *et al.*, 2009)

Propiedades y usos: El látex se utiliza para fabricar pelotas, guantes, impermeables, adhesivos, pinturas e impermeabilizantes. Constituyó la fuente principal de hule natural en México y América Central. La madera se podía utilizar en la fabricación de pulpa para papel (NaturaLista, 2011a); en la medicina tradicional se le atribuyen propiedades para enfermedades de la piel, padecimientos músculo-

esquelético, antirreumáticos, secar heridas, llagas, fracturas, contra la ronquera, para mejorar la vista, combatir los abscesos y supuración. Los lacandones (Chiapas) y en la Sierra Norte de Puebla, hacen figuras de dioses o muñecos para rituales (BDMTM, 2009).

Modelos de distribución geográfica potencial y proyecciones al futuro: La distribución potencial actual se estima por la vertiente del Golfo, iniciando del sureste de Tamaulipas, sureste de San Luis Potosí, noreste de Querétaro e Hidalgo, norte de Puebla, en Veracruz, Tabasco, Campeche, del centro al sur de Yucatán, Quintana Roo, Chiapas, norte y sur de Oaxaca, y terminando al sureste de Guerrero (**Fig. 10**). Las proyecciones realizadas al futuro, muestran que la especie podría experimentar cambios significativos en su distribución al disminuir su área a menos del 50 % (escenario A2), mostrando valores de extinción mayores al 50 % (escenario A2) y siendo escasas las áreas potenciales de colonización (menos del 3 %) (**Gráf. 8**). Geográficamente las extinciones se localizan principalmente en la costa de Tamaulipas, costa de Veracruz, costa central de Tabasco, Península de Yucatán, centro y este de Chiapas, además de pequeñas regiones al sur de Oaxaca y sureste de Guerrero (**Fig. 11 y 12**). Las áreas potenciales a colonizaciones son aisladas, pequeñas y mayormente visibles en el escenario B1 para el año 2060 (**Fig. 12a**), correspondientes a algunas regiones de Tamaulipas, Quintana Roo, Chiapas, Oaxaca y Guerrero.

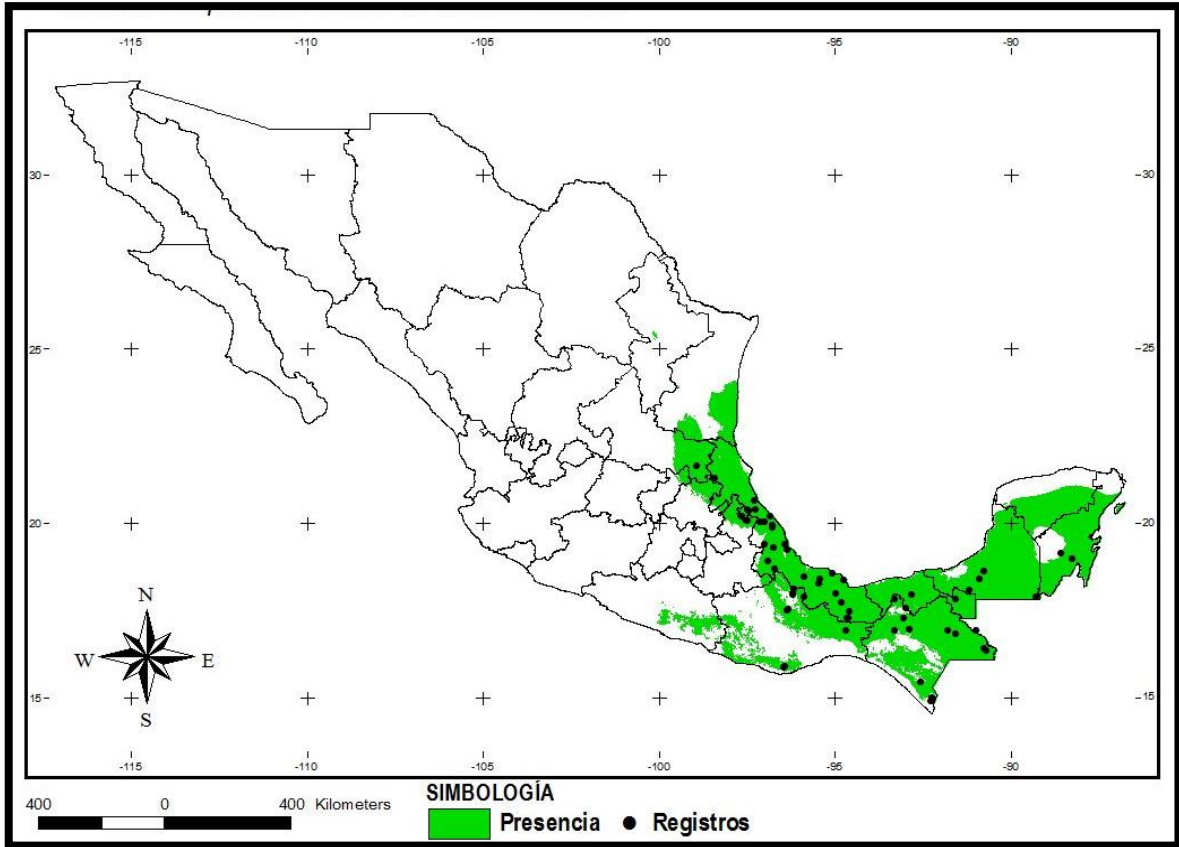


Fig. 10 Distribución potencial actual de *Castilla elastica*.

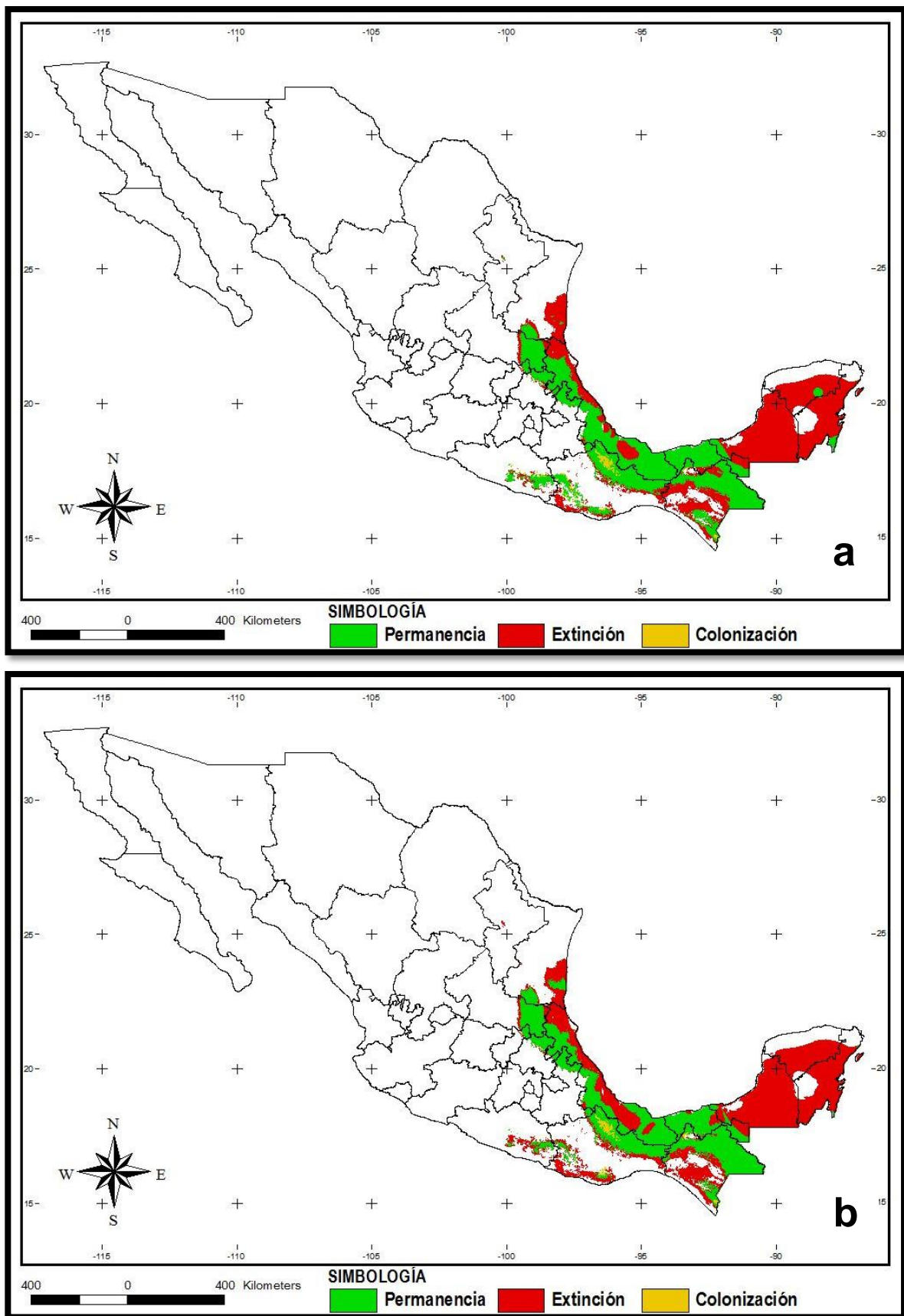


Fig. 11 Distribución potencial de *Castilla elastica* bajo un escenario A2, a) para el año 2060 y b) para el año 2090.

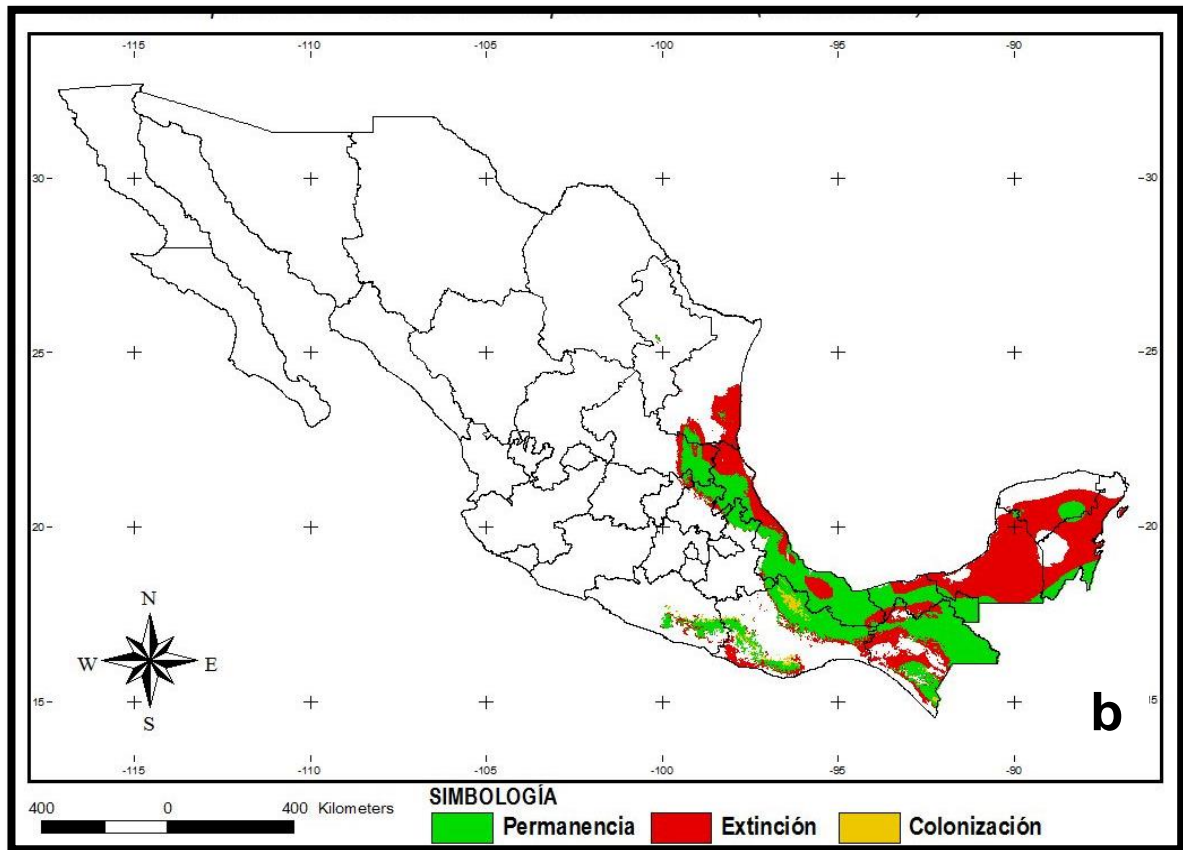
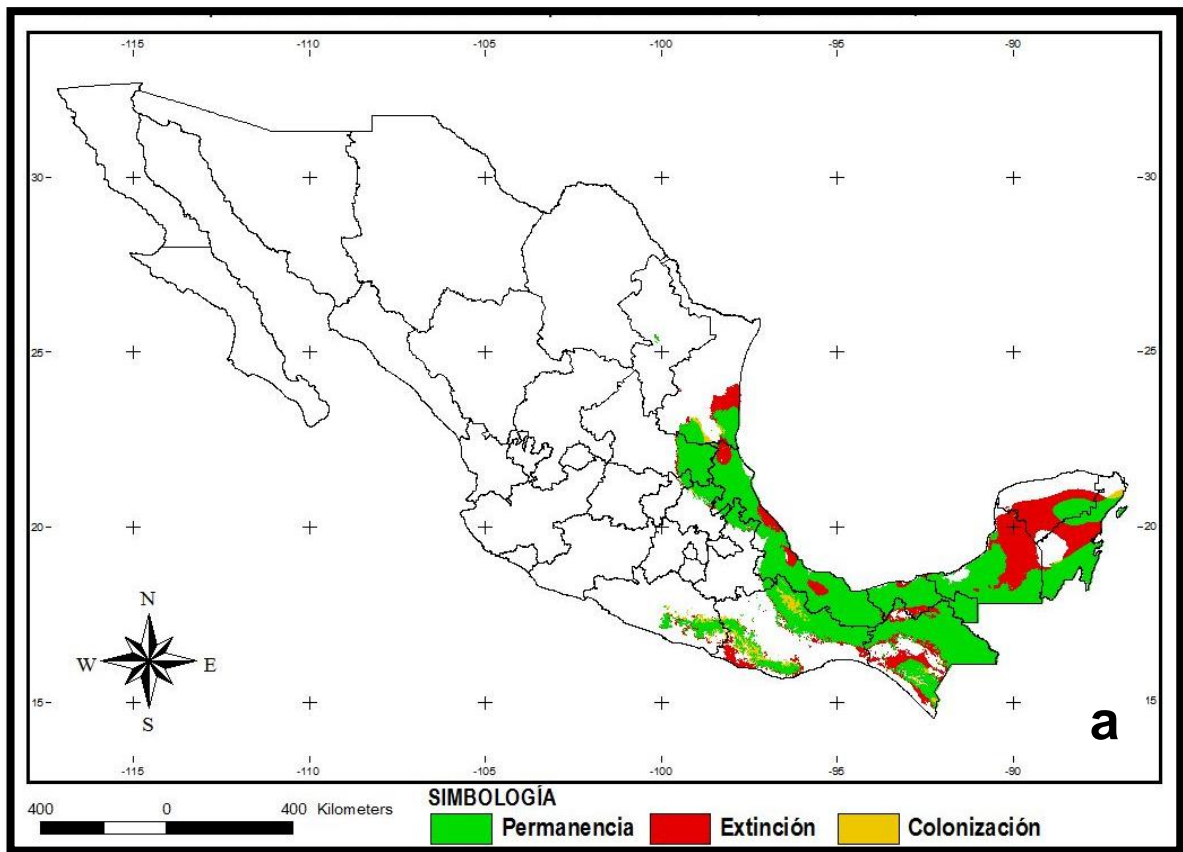
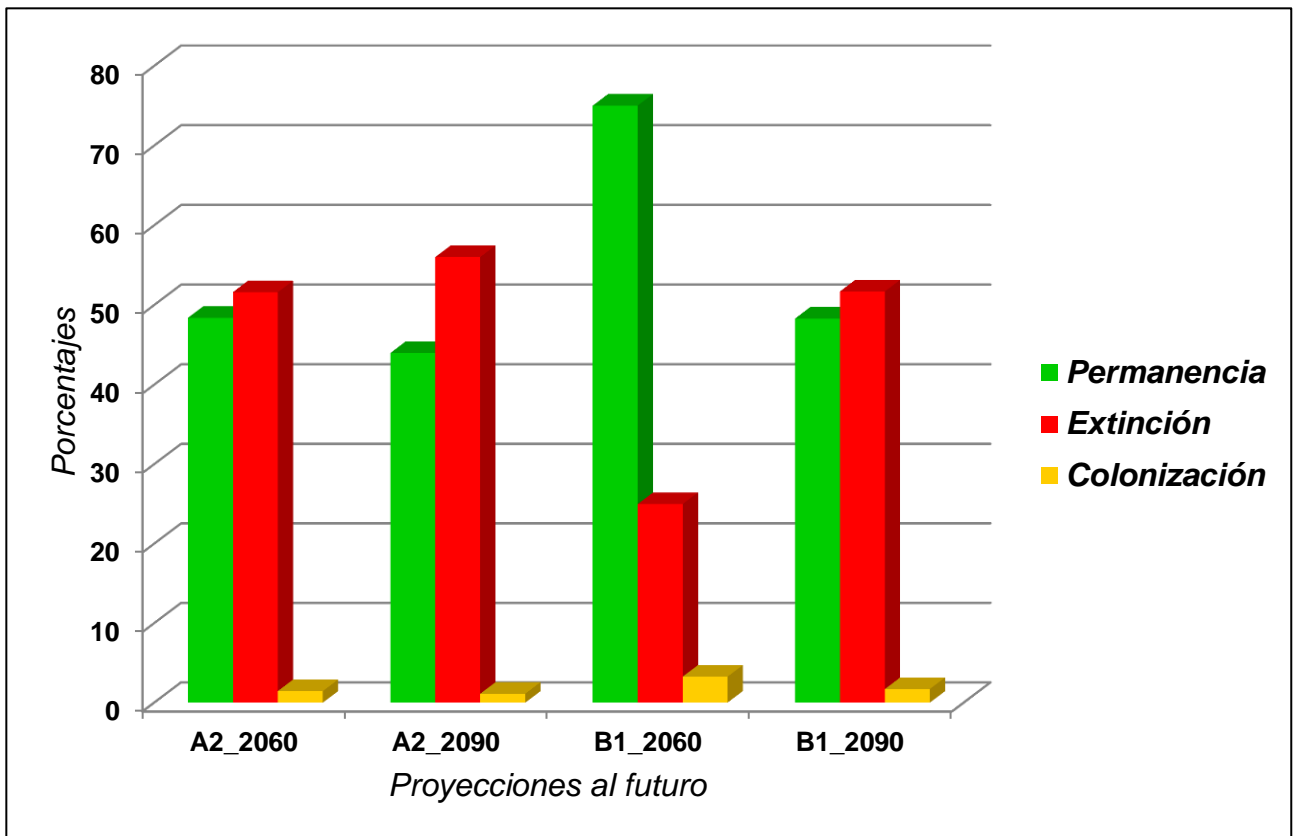


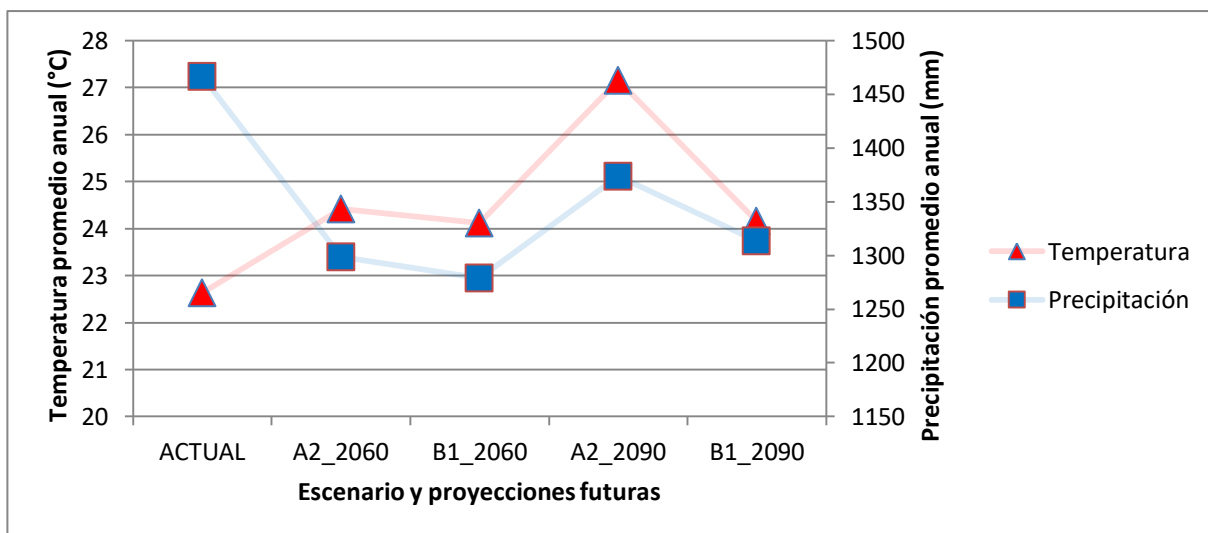
Fig. 12 Distribución potencial de *Castilla elastica* bajo un escenario B1, **a)** para el año 2060 y **b)** para el año 2090.



Gráf. 8 Cambios futuros en la distribución potencial de *Castilla elastica*.

Perfil bioclimático: De acuerdo a los datos ambientales obtenidos para las proyecciones al futuro se determinó que son significativamente diferentes a las condiciones actuales (Lambda de Wilks= 0.006, F= 38.49, P= <0.0001). Se identifica que la temperatura media anual presentaría un valor máximo de 27.14°C en el escenario A2 para el año 2090, en comparación a los 22.67 °C que se estiman en promedio actualmente. La precipitación anual en la actualidad es de 1466 mm y en el futuro podrían disminuir en un rango de 1298-1373 mm para un escenario A2 ó de 1278-1313 mm en un B1 (**Gráf. 9**). Además de que las variables ambientales Bio 16 y 18, disminuyen gradualmente sus valores en ambos escenarios y tiempos, mientras que la Bio 17 y 19 aumentan con respecto al actual, lo anterior podría ser referencia de variaciones importantes en el régimen de lluvias para las localidades muestreadas

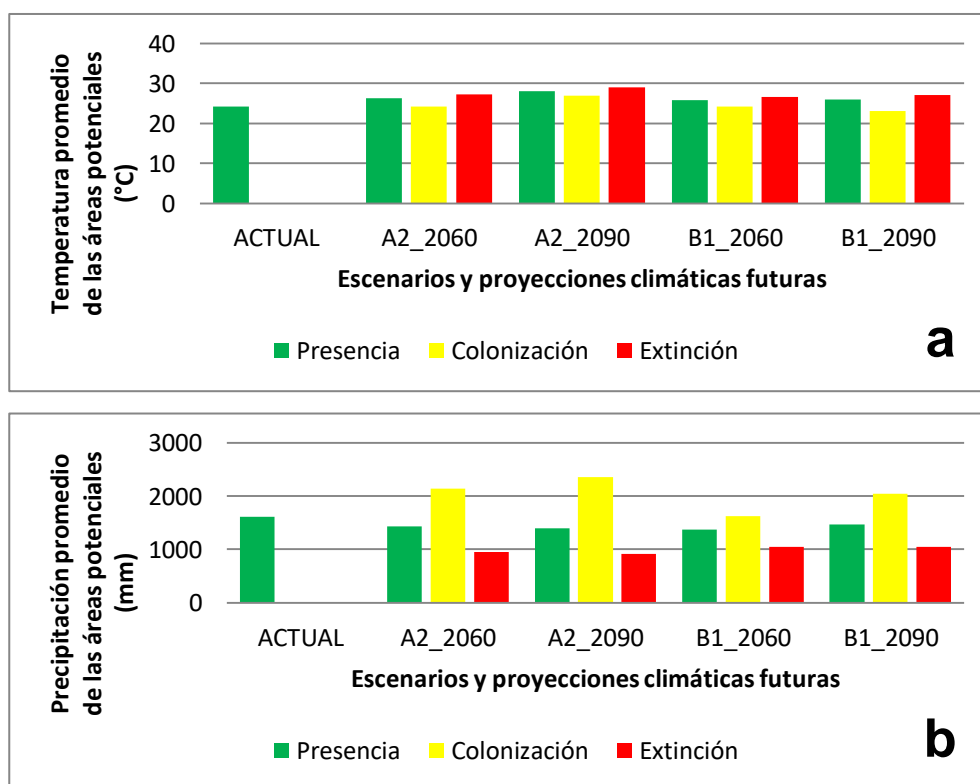
(ver **Anexo I**, pág. 44). Tal variación en las variables ambientales podría explicar en cierta medida la disminución del área para esta especie.



Gráf. 9 Perfil bioclimático de *Castilla elastica*.

Perfiles climáticos de áreas potenciales: Los datos obtenidos para las diferentes áreas potenciales futuras muestran poca variación en la temperatura promedio anual, actualmente se detectan 24.12°C (**Gráf. 10a**); las áreas a colonizar registran temperaturas ligeramente semejantes a las actuales con 24.28°C (escenario A2) a 24.23°C (B1) para el año 2060; las áreas que presentarían extinciones locales registran valores más altos con promedios de 28.97°C (A2) y 27.12°C (B1) para el año 2090, los cuales muestran una diferencia térmica de 3°C ó superior a los 4.5°C en comparación al presente. En lo referente a la precipitación promedio anual, actualmente las áreas de presencia muestran en promedio 1613 mm (**Gráf. 10b**), en el futuro las áreas que registran permanencia son menores a las actuales con 1394 mm (A2) a 1463 mm (B1) para el año 2090. Las áreas colonizables que se presentan de manera escasa y muy pequeñas en Oaxaca (**Fig. 11 y 12**), podrían ser mayores

en precipitación con registros superiores a los 2000 mm. Y las áreas con posibles extinciones localizadas geográficamente en los estados de Tamaulipas, Veracruz, Chiapas, Tabasco y en la Península de Yucatán, son menores a los 1100 mm para ambos escenarios y tiempos, resultados que podrían ser alarmantes o un tanto controversiales al ser áreas que se encuentran cercanas al Golfo de México, lo cual nos estaría indicando menor precipitación y/o humedad en la zona costera oriental de nuestro país.



Gráf. 10 Variación ambiental promedio en las áreas potenciales actuales y futuras de *Castilla elastica*.
a) valores de temperatura media anual y b) precipitación anual.



Estudio 3. Posible mantenimiento

Nombre científico: *Dussia mexicana* (Standl.) Harms.

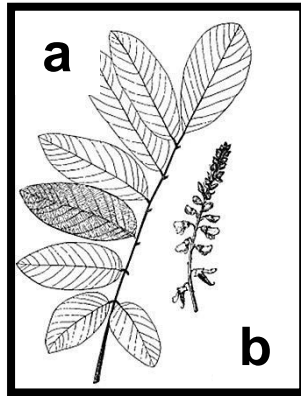


Fig. 13 Árbol de *Dussia mexicana* a) hojas e b) inflorescencia. Esquema: Velva, 1963.

Sinonimia: *Ormosia mexicana* Standl. (Velva, 1963)

Familia: Faboideae.

Nombres comunes: Palo de burro(a) (Veracruz), Frijolillo y Jaboncillo (Arroyo *et al.*, 2011; Velva, 1963).

Estatus: Ninguno

Descripción botánica:

Forma: Árbol de hasta 35 m y DAP de hasta 1 m con grandes contrafuertes cóncavos (Arroyo & Mandujano, 2007), ramificados que alcanzan hasta 3 ó 4 m desde la base del tronco, fuste irregular con abultamientos irregulares, copa de ramas ascendentes e irregulares.

Corteza: Externa escamosa de color crema pardusco que se desprende en escamas irregulares, con pocas lenticelas grandes. Interna de color crema pardusco, granular, con bandas tangenciales rojas y ligero exudado rojo.

Ramas jóvenes: De color pardo pálido con lenticelas en líneas longitudinales y grandes cicatrices de hojas caídas en forma de herradura.

Hojas: Yemas desnudas de 1 a 2 cm de largo de color pardo, pubescentes. Estípulas ausentes. Hojas dispuestas en espiral (**Fig. 13a**), imparipinnadas de 20 a 30 cm de largo incluyendo el pecíolo, compuestas por 11 a 17 folíolos opuestos o alternos de 9 x 3 a 15 x 5.4 cm, oblongo – lanceolados o elípticos con el margen entero, ápice agudo o acuminado, base redondeada o truncada, generalmente muy asimétrica. Verde intenso en el haz.

Flores: En panículas estrechas en las axilas de hojas caídas de 10 a 20 cm de largo (**Fig. 13b**), pubescentes, pedicelos de 5 a 10 mm de largo, flores papilionadas, 5 pétalos con base blanca y la parte superior lila.

Frutos: Vainas de 5 a 6 cm de largo, elipsoideas y ligeramente aplanadas, agudas, pubescentes de color naranja, contienen varias semillas de color verde lustroso, cubiertas por un arilo anaranjado (Pennington & Sarukhán, 2005).

Fenología: Floración de Marzo a Mayo. Fructificación desde Mayo a Julio (Vallejo *et al.*, 2006).

Distribución geográfica: Del norte de Puebla y centro de Veracruz, la zona de Los Tuxtlas en Veracruz, en la selva Lacandona en Chiapas y en la zona de Los Chimalapas en Veracruz y Oaxaca (Pennington & Sarukhán, 2005; CONABIO, 2015c).

Distribución ecológica: Es un árbol del estrato dominante de selvas altas perennifolias y/o poco perturbadas (Arroyo *et al.*, 2011)

Dispersión: Aves o murciélagos frugívoros (Guevara *et al.*, 1994).

Propiedades y usos: No se reconocen.

Modelos de distribución geográfica potencial y proyecciones al futuro: La distribución geográfica potencial actual se estima en un área continua que va del sureste de San Luis Potosí, norte de Hidalgo y Puebla, en Veracruz (excepto el centro), Tabasco, noroeste de Campeche, norte y este de Chiapas, noreste de Oaxaca y pequeñas áreas en el Estado de México, Michoacán y Guerrero (**Fig. 14**). *D. mexicana* es una especie que podría permanecer estable o con cambios menores en su área de distribución, logrando conservar en el futuro extensiones mayores al 85 %, específicamente hasta un 96 % para el 2060 en un escenario B1 (**Gráf. 11**). Las estimaciones referentes a posibles extinciones se muestran en algunas áreas del noreste y centro de Veracruz, noroeste de Campeche, Tabasco y noroeste de Chiapas (**Fig. 15 y 16**), siendo mayores (14 %) (**Gráf. 11**) en año 2090 para un escenario B1 (**Fig. 16b**). En lo referente a las colonizaciones oscilan del 3 a 9 % (**Gráf. 11**), presentándose en ciertas áreas al norte de Oaxaca, sureste de San Luis Potosí y en el Edo de México (**Fig. 15 y 16**).

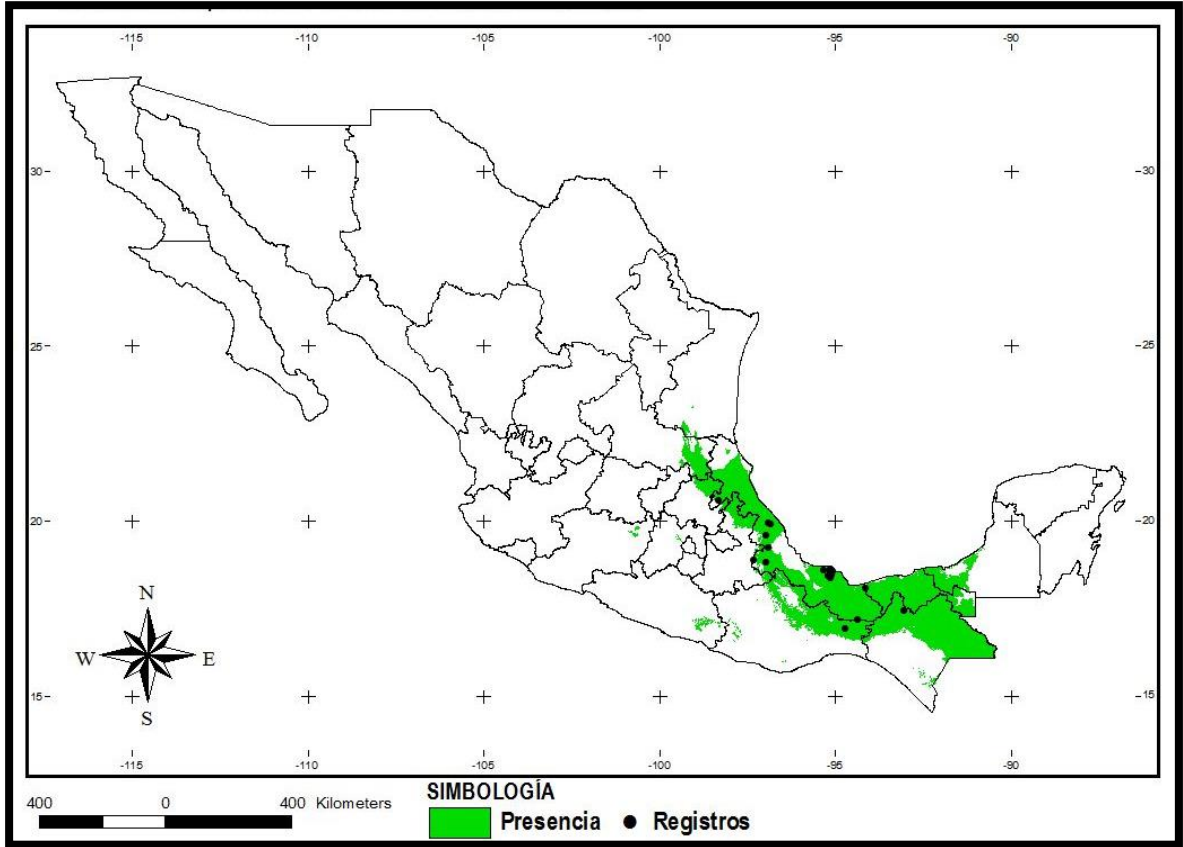


Fig. 14 Distribución potencial actual de *Dussia mexicana*.

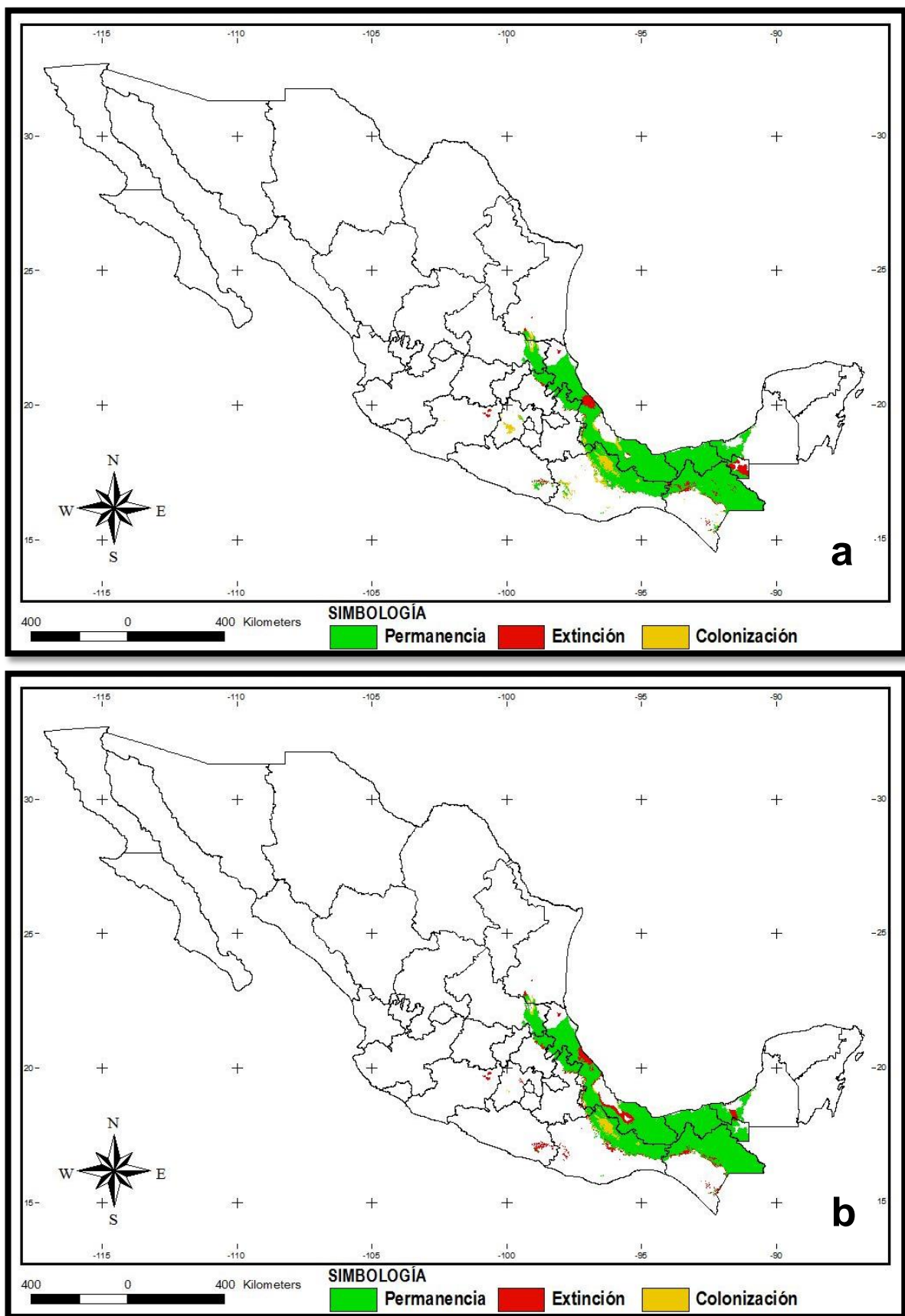


Fig. 15 Distribución potencial de *Dussia mexicana* bajo un escenario A2, a) para el año 2060 y b) para el año 2090.

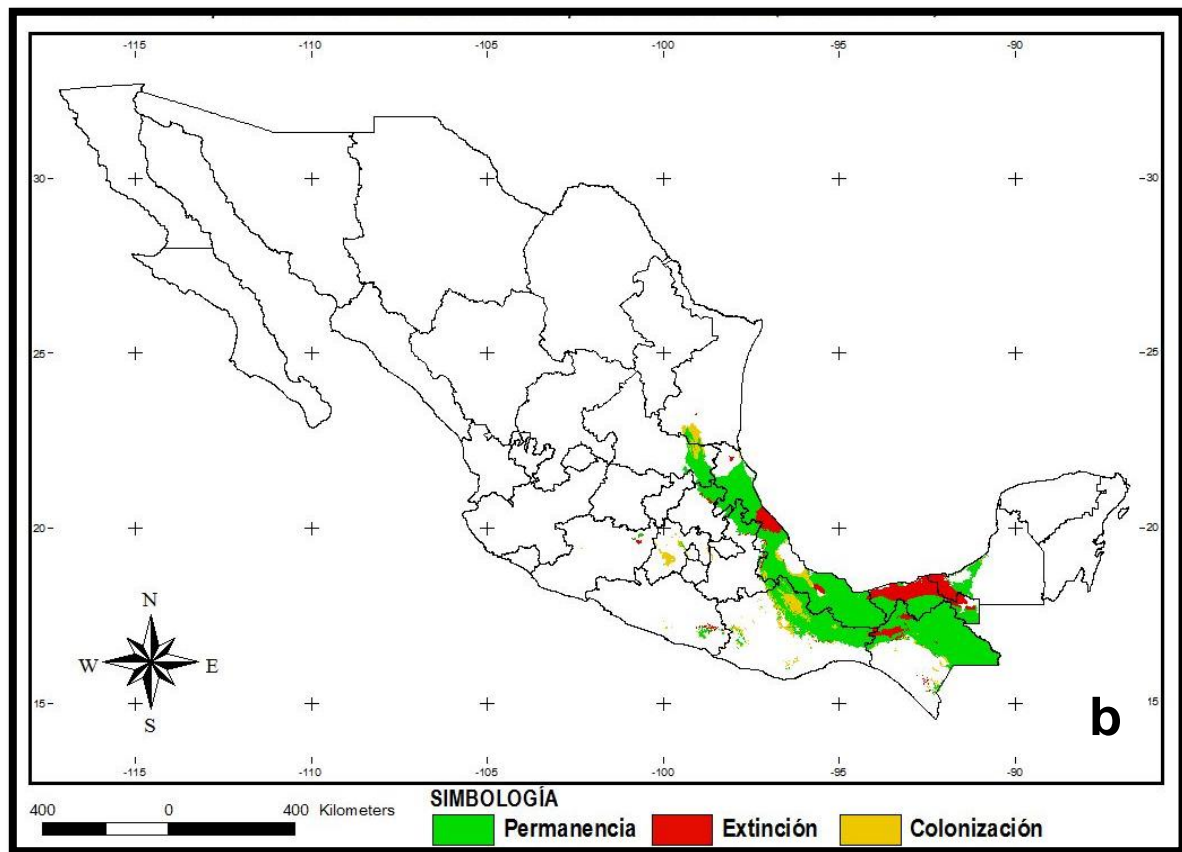
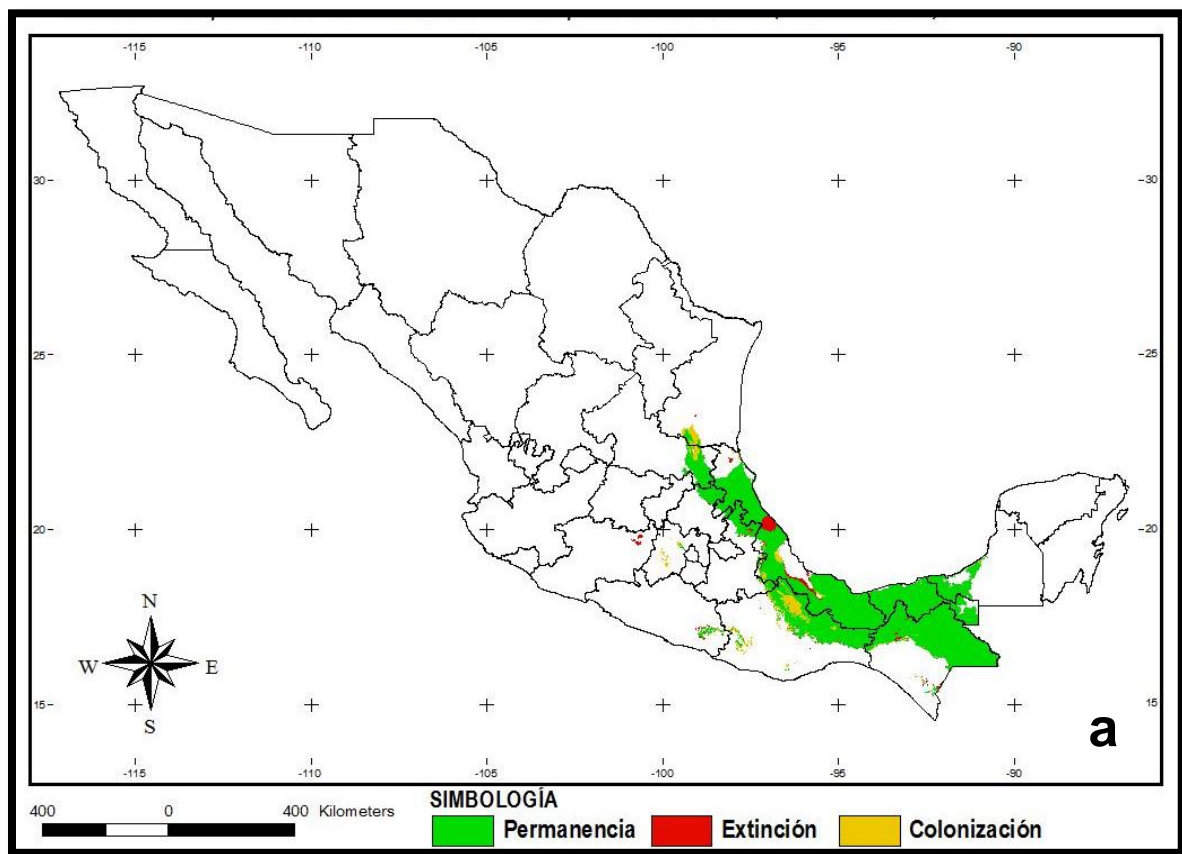
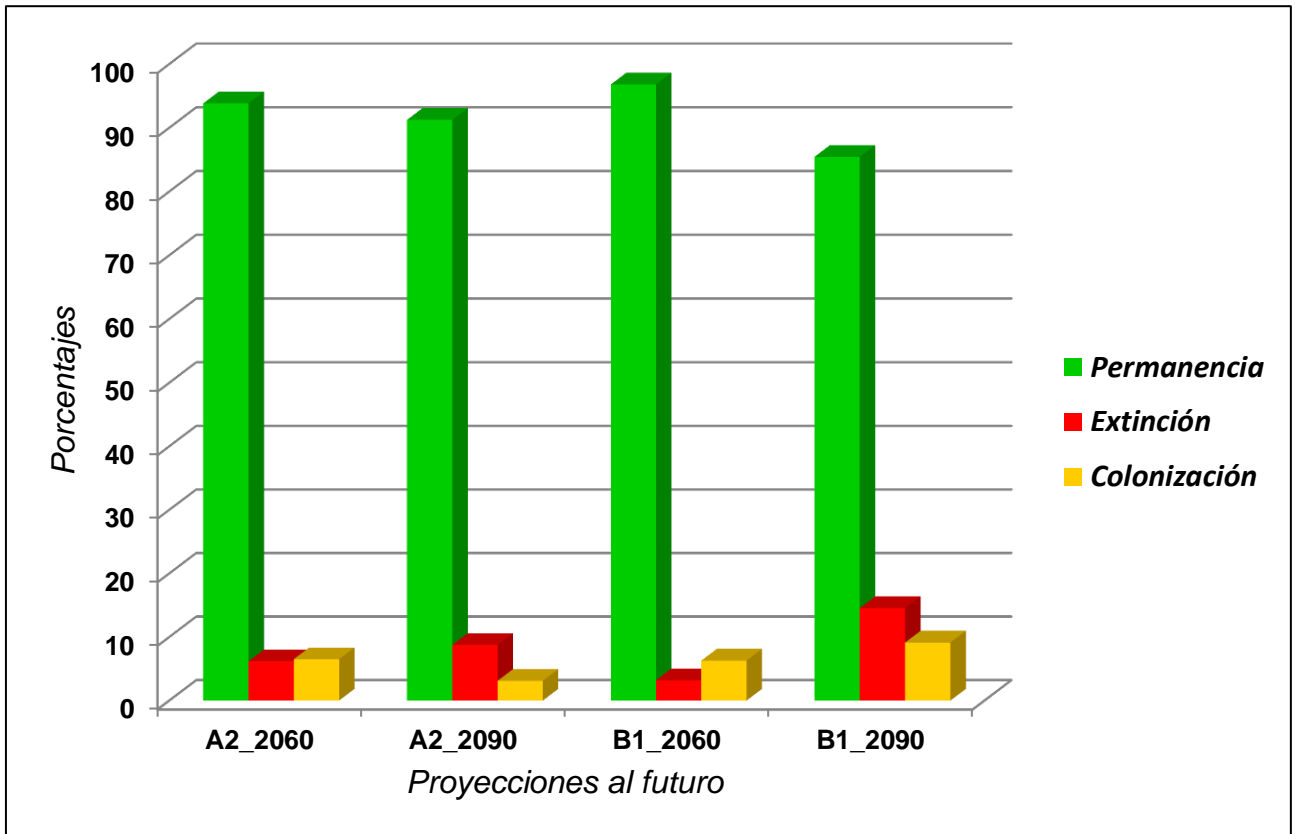


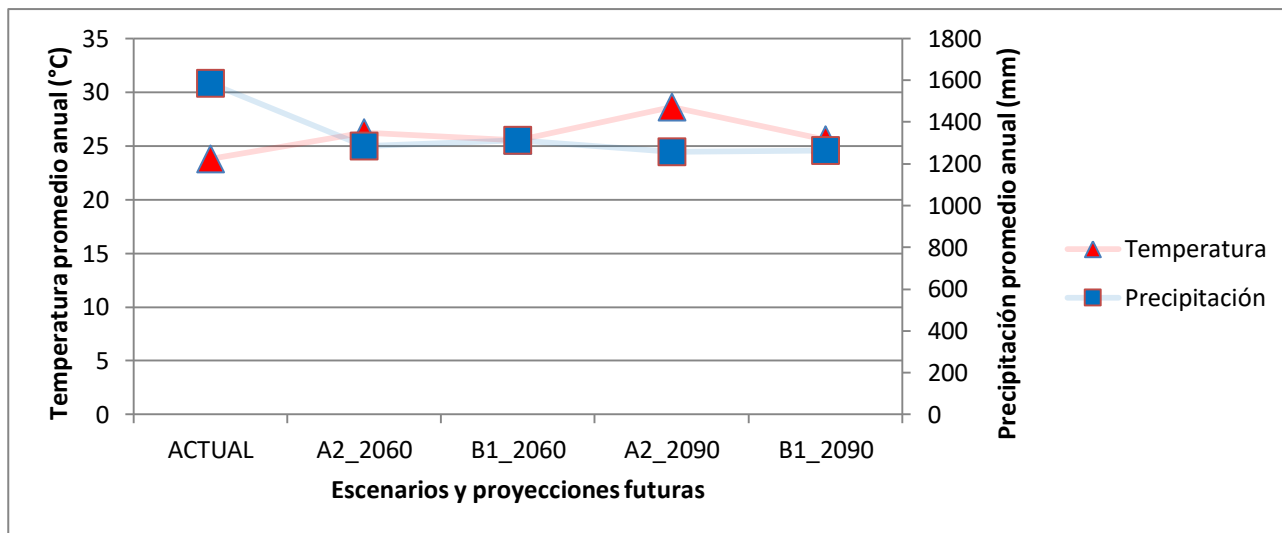
Fig. 16 Distribución potencial de *Dussia mexicana* bajo un escenario B1, **a)** para el año 2060 y **b)** para el año 2090.



Gráf. 11 Cambios futuros en la distribución potencial de *Dussia mexicana*.

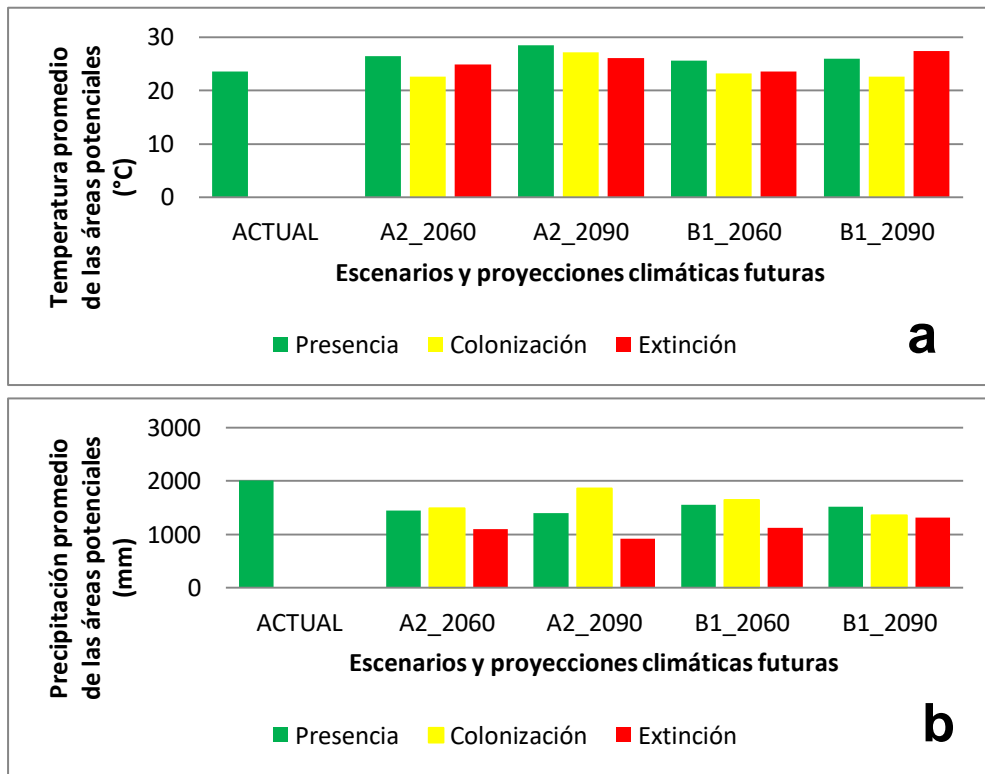
Perfiles bioclimáticos: La literatura consultada no reporta los valores ambientales en los que se establece la especie. De acuerdo al perfil bioclimático (**Gráf. 12**) se reporta que existen diferencias significativas entre los datos ambientales para las proyecciones realizadas (Lambda de Wilks= 0.002, F= 27.92, P= <0.0001). Se identifica que las localidades en que permanece la especie presentan una temperatura media anual de 23.80°C y podrían incrementar hasta los 28.61°C en el año 2090 para un escenario A2. En lo referente a la precipitación anual en promedio se registra actualmente con 1585 mm y cuya variación futura es una disminución que podría ir de 1285 mm a 1257 mm para un escenario A2 y de 1 313 mm a 1 263 mm

en un escenario B1 (**Gráf. 12**); la misma tendencia se observa en la precipitación del trimestre más cálido (Bio 18) (ver **Anexo I**, pág. 74).



Gráf. 12 Perfil bioclimático de *Dussia mexicana*.

Perfiles climáticos de áreas potenciales: En el presente la especie se distribuye en áreas con un promedio de 23.56°C (**Gráf. 13a**) de temperatura promedio anual y podría aumentar hasta los 28.49°C en el escenario A2 para el año 2090, estas condiciones son muy similares a las tendencias estimadas en el perfil bioclimático de la especie (**Gráf. 12**). La precipitación promedio anual nos permite identificar un par de tendencias: 1) en el futuro la especie podría mantenerse en áreas con valores del orden de 1 399 mm (A2) a 1 515 mm (B1) para el año 2090 (**Gráf. 13b**), que son menores en comparación a los 2 003 mm registrados actualmente, y 2) las zonas con posibles extinciones presentarían aún valores más bajos a los 1 309 mm (B1 para el 2090). Es decir, se identifica que las áreas de distribución podrían tornarse en un futuro más calurosas y menos húmedas.



Gráf. 13 Variación ambiental en las áreas potenciales actuales y futuras de *Dussia mexicana*.
 a) valores de temperatura media anual y b) precipitación anual.

🌳 Estudio 4. Posibles cambios de acuerdo al escenario de cambio climático

Nombre científico: *Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth.



Fig. 17 Árbol de *Lysiloma latisiliquum*, a) tronco y b) inflorescencias. Fotografía: Hayden W. J., 2011b.

Sinonimia: *Lysiloma bahamensis* Benth (CONABIO, 2015d), *Lysiloma sabicu* Benth (Alfaro *et al.*, 2010).

Familia: Mimosoideae.

Nombres comunes: Dzala, Tzalam (Chiapas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo) y Tzukté (Yucatán) en México. Salám (Belice) (Pennington & Sarukhán, 2005; Alfaro *et al.*, 2010).

Estatus: Ninguno

Descripción botánica

Forma: Árbol de hasta 20 m y DAP de hasta 70 cm, tronco derecho (**Fig. 17a**), ramas ascendentes y luego horizontales y péndulas, copa redondeada.

Corteza: Externa lisa a finamente fisurada, gris pardusca, con algunas lenticelas circulares del mismo color. Interna de color crema rosado, fibrosa, agridulce, con exudado resinoso transparente y pegajoso.

Ramas jóvenes: Moreno oscuro con abundantes lenticelas pardas longitudinales, finamente pubescentes (juvenil) y glabras (edad adulta).

Hojas: Dispuestas en espiral, bipinnadas, de 11 a 20 cm. de largo incluyendo el pecíolo, compuestas por 3 a 6 pares de folíolos primarios opuestos, cada folíolo primario formado por 18 a 35 pares de folíolos secundarios.

Flores: En cabezuelas solitarias o agrupadas, axilares o a veces formando inflorescencias terminales (**Fig. 17b**), sobre pedúnculos, escasamente pubescentes o glabros; perfumadas y actinomorfas.

Frutos: Vainas dehiscentes, aplanadas, agudas y moreno oscuras (Pennington & Sarukhán, 2005).

Fenología: Floración de Marzo a Junio (Alfaro *et al.*, 2010).

Distribución geográfica: En México es abundante, pero está restringida al norte de Chiapas en la selva Lacandona, Tabasco, Veracruz y península de Yucatán (CONABIO, 2015d; Pennington & Sarukhán, 2005; Negreros & Martínez, 2011). Además de Cuba (Rodríguez *et al.*, 2014), Haití, Puerto Rico, República Dominicana, las Bahamas, Belice y Guatemala (Alfaro *et al.*, 2010; Richter *et al.*, 2012).

Distribución ecológica: Forma parte de las selvas altas y medianas subperennifolias, medianas subcaducifolias, selva baja subcaducifolia (en Yucatán) (Dzib *et al.*, 2014; INEGI, 2015; Negreros & Martínez, 2011; Pennington & Sarukhán, 2005) e incluso en algunas zonas degradadas (Koyoc *et al.*, 2015). De acuerdo a estudios realizados en Quintana Roo, la especie mostró un índice de valor de importancia mayor para condiciones tardías (mayor a 30 años) (Carreón & Valdez,

2014) y se considera una especie resistente a la pudrición (estudios realizados tras el paso de huracanes) y a los vientos (Gilman *et al.*, 2006).

Dispersión: No reportada.

Propiedades y usos: Su madera se usa para la fabricación de duela, lambrín y parquet, así como ocasionalmente para la fabricación de chapa para vistas de madera terciada (Pennington & Sarukhán, 2005). También para muebles de jardín y finos, cajas para reloj, marcos de puertas y ventanas, artesanías y torneados (Richter *et al.*, 2012). En el sureste del país es muy utilizada en la alimentación del ganado en las zonas secas (Alfaro *et al.*, 2010). En Yucatán se ha reportado como planta melífera por la presencia de polen en miel (Alfaro *et al.*, 2010). En Quintana Roo, es comercialmente igual de importante como la caoba (*Swietenia macrophylla*) (Negreros *et al.*, 2014; Carreón & Valdez, 2014).

Modelos de distribución geográfica potencial y proyecciones al futuro: *L. latisiliquum* se distribuye potencialmente del centro de Veracruz, Tabasco, Península de Yucatán, del este a oeste de Chiapas y en el sureste de Oaxaca (**Fig. 18**). Esta es una especie que muestra diferentes panoramas en su distribución de acuerdo al escenario empleado, se observa en un escenario A2, la reducción de su presencia al 59 % (año 2090), mientras que en un escenario B1 mantendría su distribución mayor al 95 % y que inclusive podría ampliar su distribución si se consideran las áreas potencialmente colonizables (9 %) (**Gráf. 14**). Geográficamente en un escenario A2 (**Fig. 19**) las posibles extinciones para el año 2060, se estiman en pequeñas áreas localizadas en el centro de Veracruz, sur de Tabasco, norte de Yucatán, centro y sureste de Campeche y en el oeste de Quintana Roo, pero en el año 2090 las áreas

antes descritas se amplían, quedando continuas (excepto el norte de Yucatán) hasta Quintana Roo. En lo referente a un escenario B1 (**Fig. 20**) la especie mantiene el patrón geográfico actual, con pequeñas áreas estimadas con posibles extinciones en el centro de Veracruz, costa occidental de Yucatán, sur de Tabasco y centro de Campeche, mientras que las potenciales colonizaciones son proyectadas en el sureste de Veracruz, conectándose a Oaxaca y Chiapas.

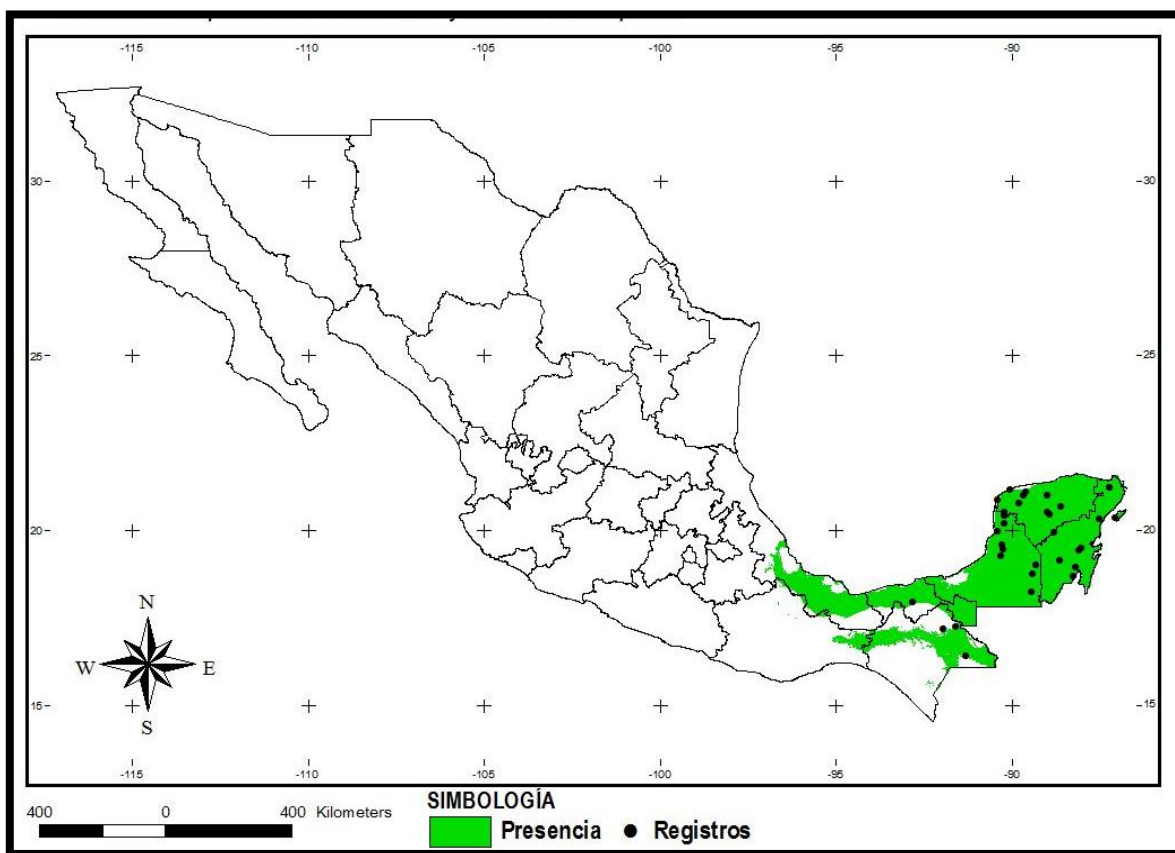


Fig. 18 Distribución potencial actual de *Lysiloma latisiliquum*.

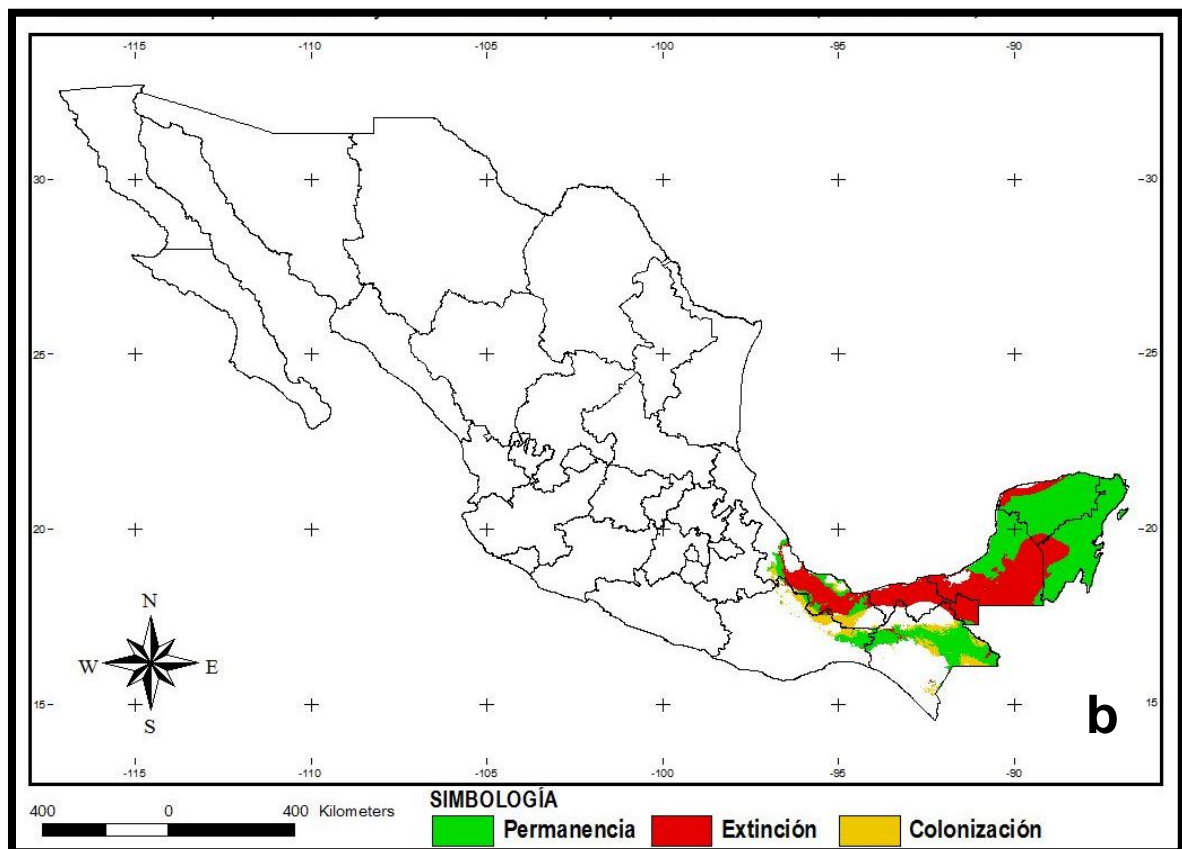
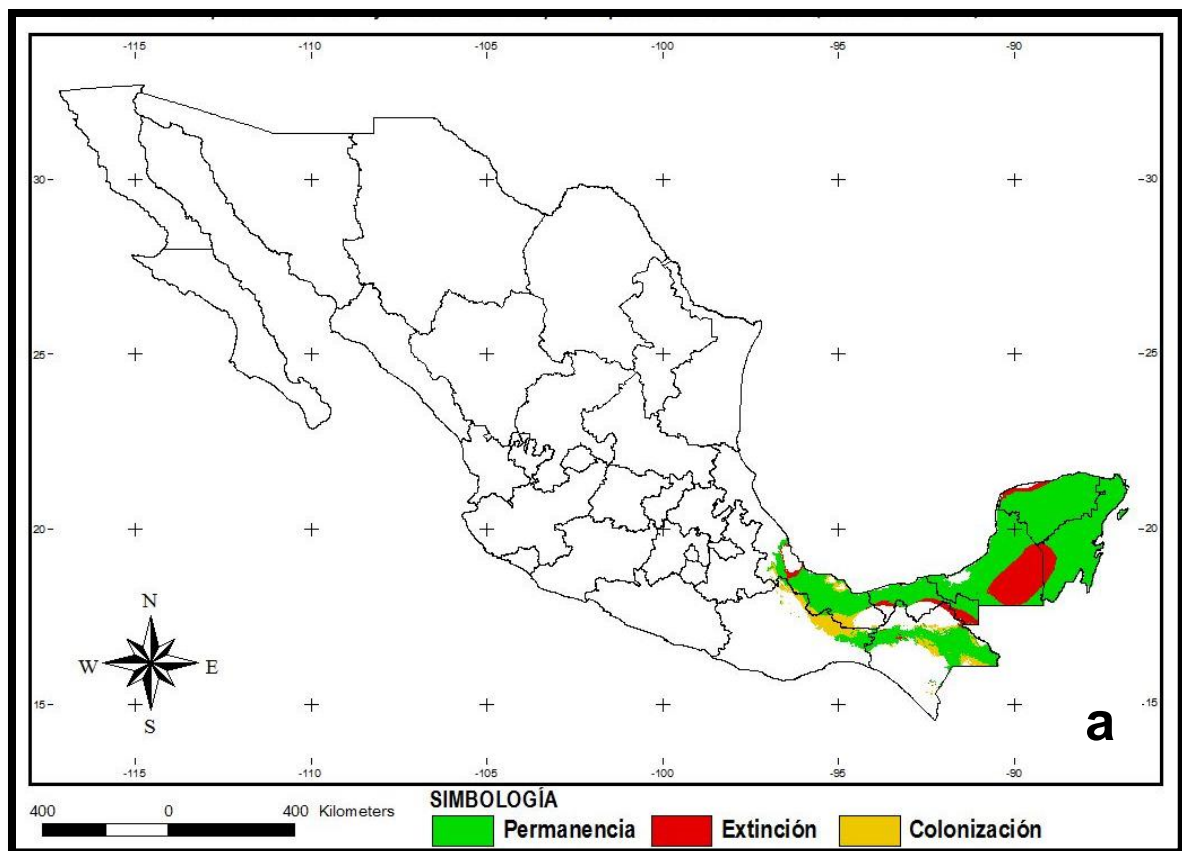


Fig. 19 Distribución potencial de *Lysiloma latisiliquum* bajo un escenario A2, **a)** para el año 2060 y **b)** para el año 2090.

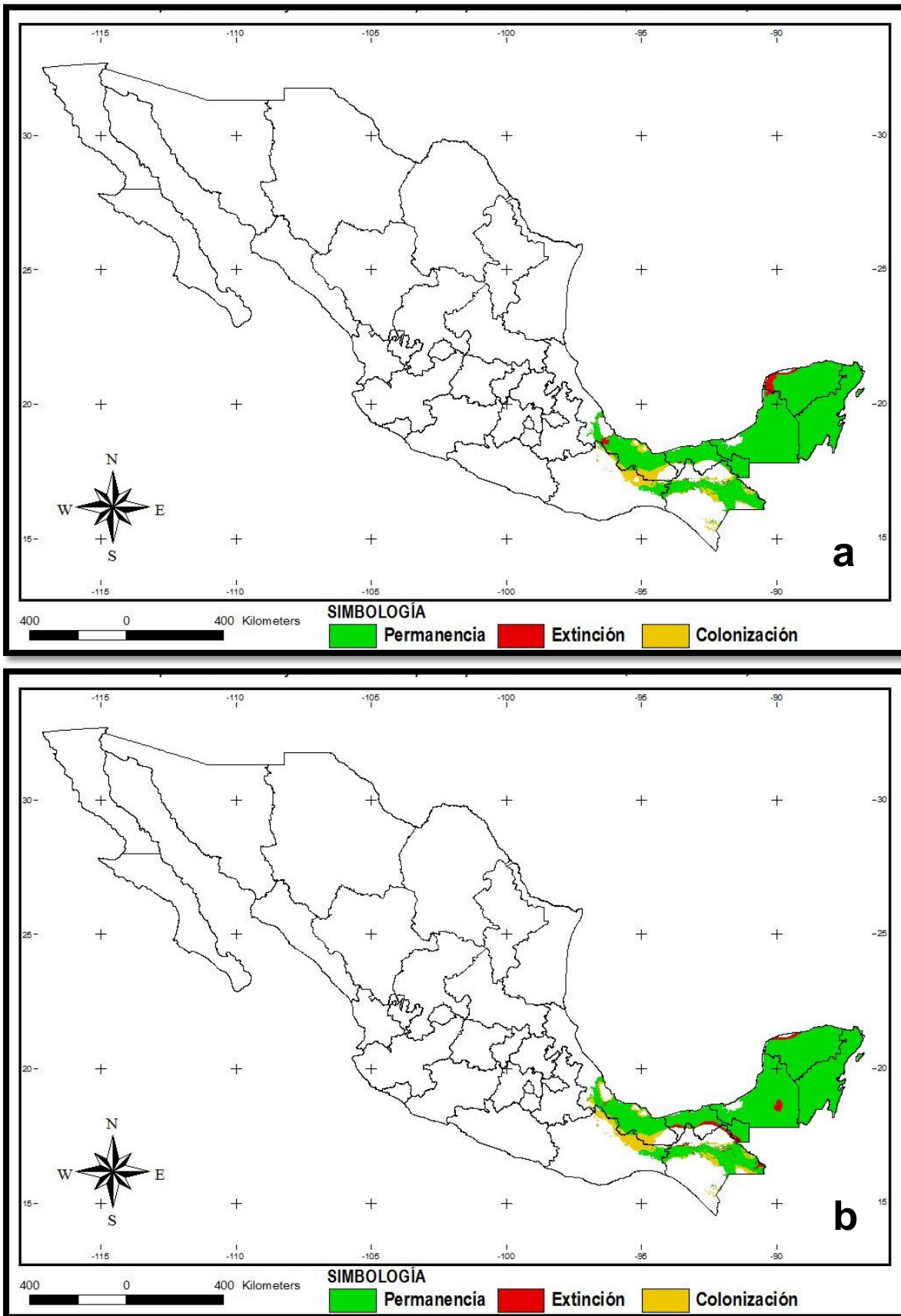
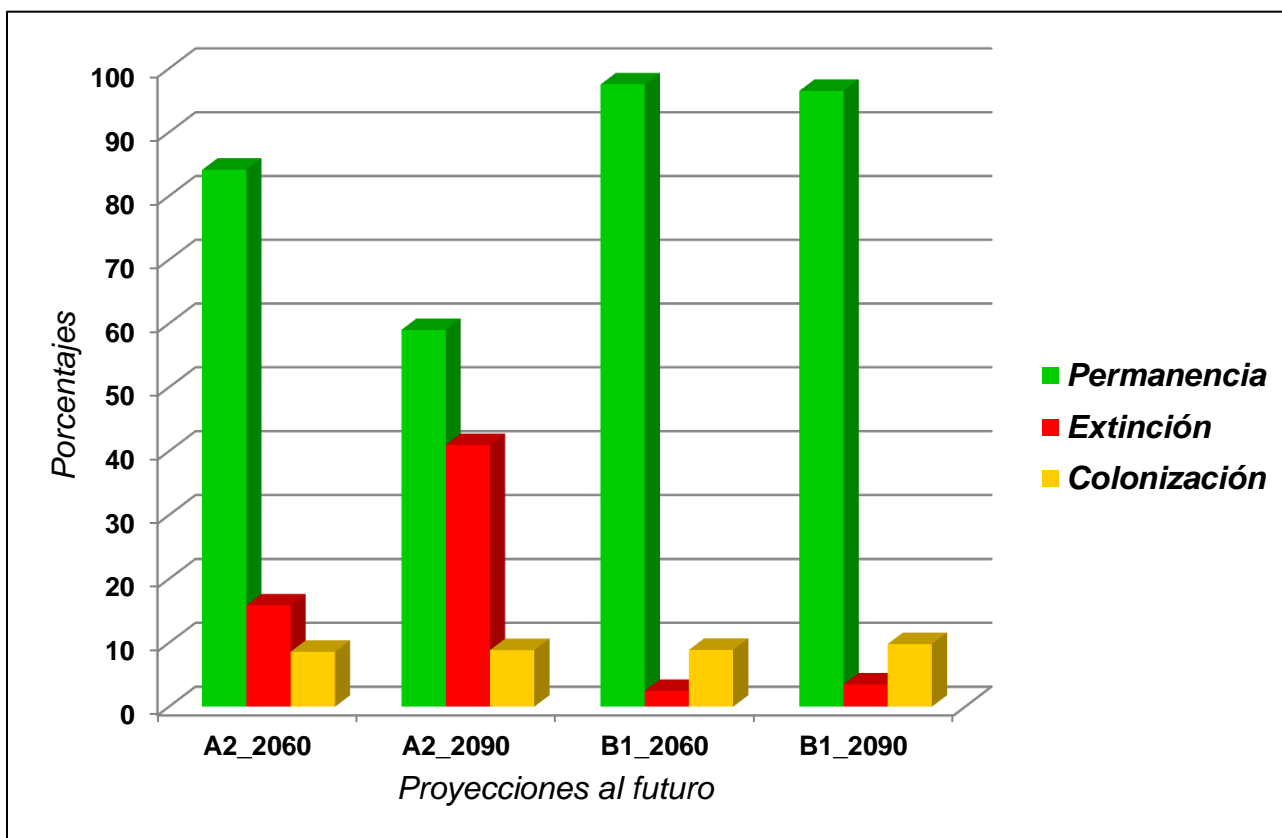


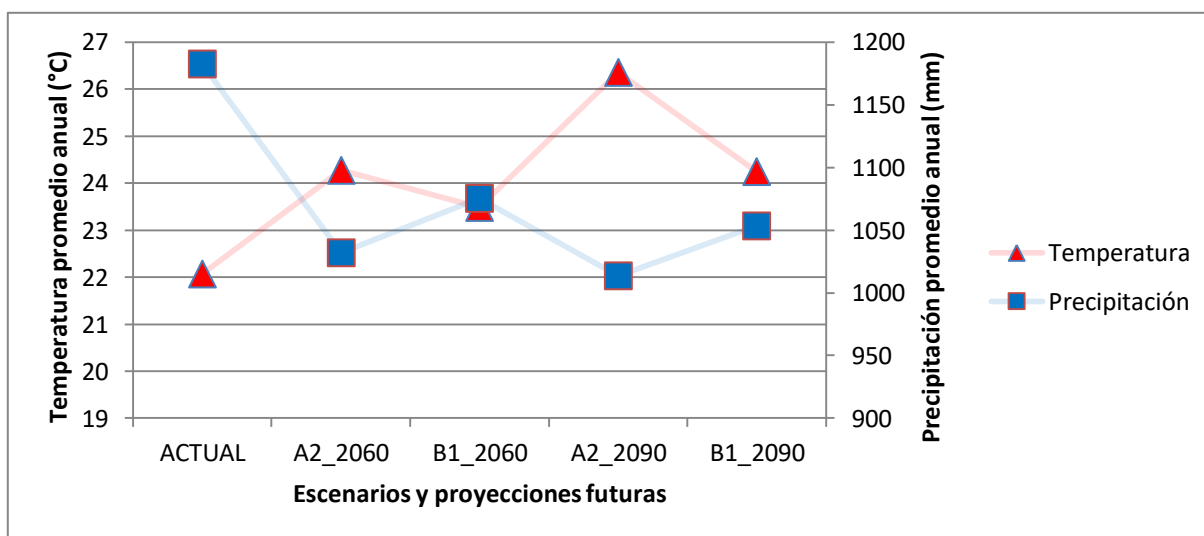
Fig. 20 Distribución potencial de *Lysiloma latisiliquum* bajo un escenario B1, a) para el año 2060 y b) para el año 2090,



Gráf. 14 Cambios futuros en la distribución potencial de *Lysiloma latisiliquum*.

Perfiles bioclimáticos: Los datos obtenidos de acuerdo a los perfiles bioclimáticos para el presente y el futuro (**Gráf. 15**) muestran diferencias significativas entre ellos (Lambda de Wilks= 0.003, F= 24.93, P= <0.0001); actualmente las localidades de presencia de la especie tienen en promedio 22.06°C de temperatura media anual que podrían incrementar con un valor máximo en el escenario A2 para el año 2090 de 26.35°C y en el escenario B1 con un valor de 24.24°C. En lo correspondiente a la precipitación anual actualmente se registra un promedio de 1182 mm y que en las proyecciones futuras tienden a disminuir en ambos escenarios a menos de 1050 mm, siendo de manera más marcada en un escenario A2. Ambientalmente las variaciones más notables entre los escenarios, también se observan en la Bio 13, 14, 16 y 18,

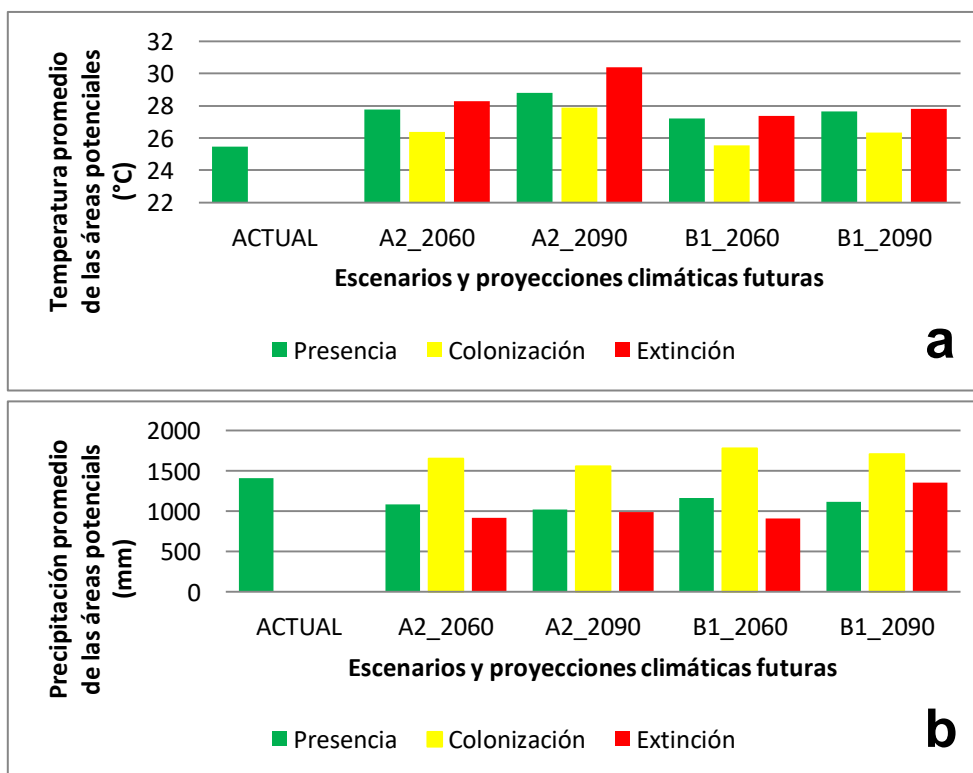
por lo que se infiere que tal variación distribucional para el escenario A2 se podría también deber a que el mes más húmedo sería menos húmedo, el mes más seco será aún más seco, el trimestre más húmedo sería menos húmedo y el trimestre más cálido será aún más cálido (ver **Anexo I**, pág. 116).



Gráf. 15 Perfil bioclimático de *Lysiloma latisiliquum*.

Perfiles climáticos para áreas potenciales: En el escenario A2 los datos ambientales de las áreas potenciales nos permiten identificar que el cambio de las temperaturas (**Gráf. 16a**) son muy específicas e inclusive en un orden gradual: existiendo aprox. 1 °C de diferencia entre el año 2060 al 2090 en las áreas de posible permanencia, aproximadamente 1.5 °C entre las áreas colonizables y ca. 2°C en las zonas de posible extinción entre ambos tiempos. En la precipitación promedio anual (**Gráf. 16b**), actualmente se reconoce 1 403 mm, que disminuiría para el año 2090 en las áreas de presencia hasta los 1 020 mm, incrementaría a 1 555 mm en las zonas colonizables y disminuiría a 989 mm en las áreas con extinciones potenciales.

En lo que refiere al escenario B1 las variaciones entre las temperaturas esperadas para el 2060 y 2090 son menores a los 0.8°C en los tres cambios potenciales futuros, sólo se distingue con mayor claridad que la temperatura en las áreas posibles a colonizar presentarían valores más altos a los actuales con 26.33°C para el 2090; la precipitación promedio anual muestra una marcada diferencia, actualmente la especie se distribuye en áreas con 1 403 mm, los cuales disminuirían a 1 117 mm en el futuro para las zonas donde permanecerían estos árboles, aumentarían a 1 700 mm en las áreas colonizables y disminuirían a 1 354 mm en las zonas con extinciones potenciales.



Gráf. 16 Variación ambiental en las áreas potenciales actuales y futuras de *Lysiloma latisiliquum*.
a) Valores de temperatura y b) precipitación.

Análisis de comunidades arbóreas.

Se obtuvieron diferencias significativas ambientales entre las especies de acuerdo a los MANOVA realizados para la proyección del presente (*Lambda de Wilks*= 0.8005, *F*= 10.24, *P*= <0.0001). Y en las realizadas para el año 2060 (λ = 0.072, *F*= 10.69, *P*= <0.0001 para el escenario A2 y para B1: λ = 0.073, *F*= 10.67, *P*= <0.0001), y en el 2090 (λ = 0.078, *F*= 10.36, *P*= <0.0001 para el escenario A2 y para B1: λ = 0.078, *F*= 10.37, *P*= <0.0001).

A través del análisis de correspondencia y del dendograma, se obtuvieron agrupaciones arbóreas de acuerdo a sus afinidades ambientales, que permitieron identificar las especies que los conforman y los diferentes tipos de vegetación que caracterizan. Para el tiempo actual se obtuvieron 6 agrupaciones (análisis de correspondencia con 96.64 % de explicación para el segundo eje) (**Fig. 21 y 22**), donde la mayoría de las especies que los conforman, corresponden a 5 tipos de vegetación selvática: altas perennifolias (grupo I), medianas perennifolias (II), medianas subperennifolias (II, III y IV), medianas subcaducifolias (III, IV y V) y bajas caducifolias (V y VI) (**Cuadro 8**).

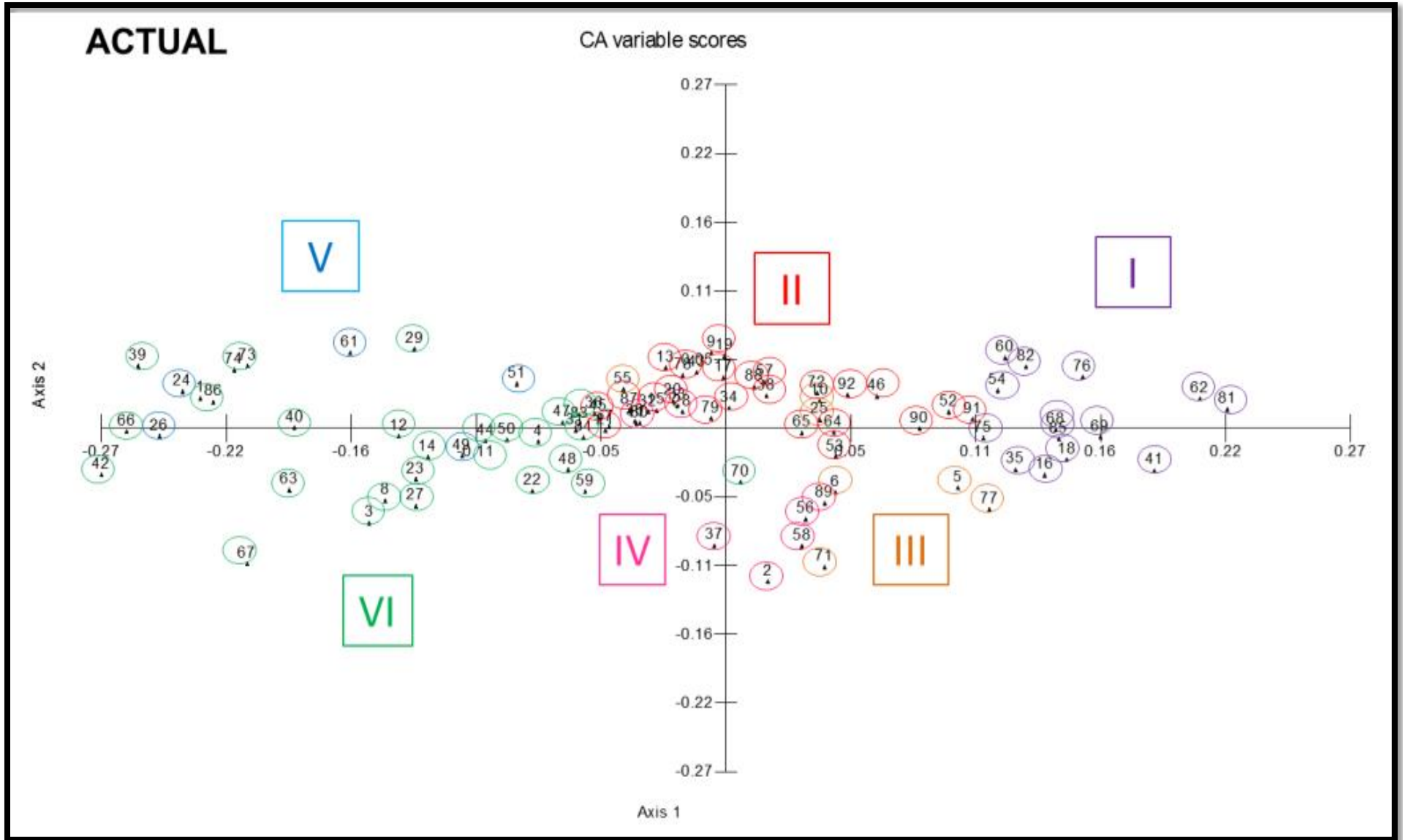


Fig. 21 Análisis de Correspondencia para el presente.

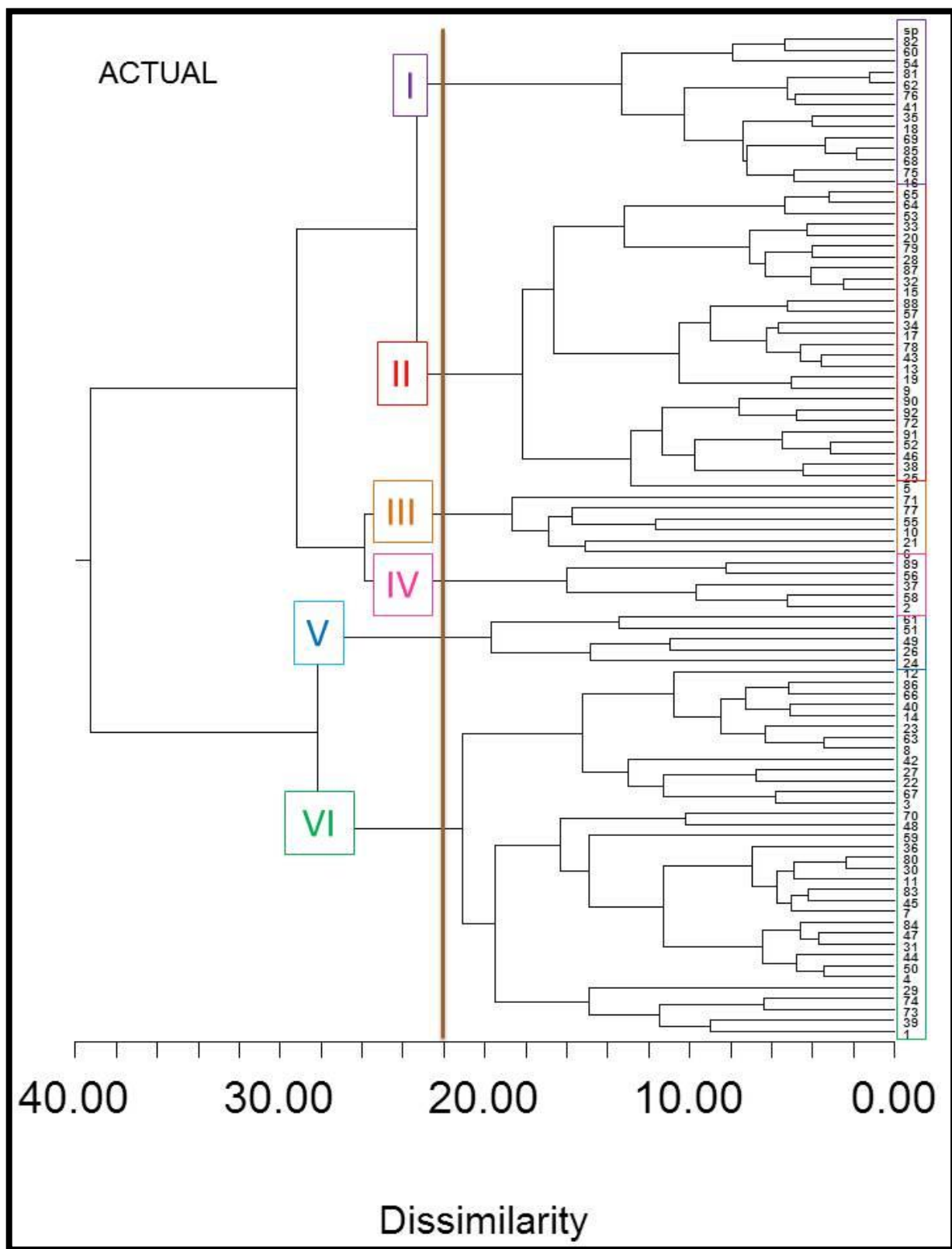


Fig. 22 Dendograma para el presente.

Para el escenario A2 se identifican 6 grupos (**Fig. 23 y 24**), donde el mayor cambio en términos de conformación y cantidad de especies se presentaría en el año 2060 en el grupo V, presentando elementos arbóreos de selvas altas perennifolias, altas subcaducifolias, altas subperennifolias, medianas perennifolias y medianas subperennifolias, en condiciones ambientales similares en donde se establecen elementos arbóreos que pertenecen a selvas medianas subcaducifolias, medianas caducifolias o bajas caducifolias. Tal tendencia de conformación se mantiene en el año 2090, identificando además que en el grupo VI se podrían integrar especies características de selvas medianas subperennifolias y medianas caducifolia en áreas ambientalmente similares en donde permanecerían elementos de selvas bajas caducifolias (**Cuadro 8**). Es decir, en ambos grupos (V y VI) en el futuro podrían coexistir en un área geográfica determinada especies que actualmente son de ambientes más húmedos con especies de zonas más cálidas y secas, bajo condiciones climáticas similares (quizás un tipo climático nuevo). En este análisis también se identifican variaciones en el número de especies que conforman a cada grupo, siendo más marcadas en el grupo III y VI (**Fig. 25 y 26**).

En lo que corresponde a un escenario B1, en el año 2060 se distinguen 3 grupos (**Fig. 27 y 29**), donde la mayor variación en los componentes arbóreos y en el número de especies que lo conforman sería el grupo II, el cual en comparación al presente, estarían mostrando componentes arbóreos tanto de selvas altas perennifolias, medianas perennifolias y medianas subperennifolias, como de selvas medianas caducifolias, medianas subcaducifolias y bajas caducifolias (**Cuadro 8**). Para el año 2090 se identifican 4 diferentes agrupaciones (**Fig. 28 y 30**) donde se

incluyen como nuevos elementos a algunas especies que son características de selvas medianas subperennifolias (grupo IV) y selvas bajas caducifolias (grupo I y III). Es decir, bajo este escenario se muestran grupos de transición que podrían estar mayormente dirigidos por los movimientos distribucionales que podrían presentar principalmente las especies arbóreas que caracterizan a selvas medianas y bajas caducifolias.

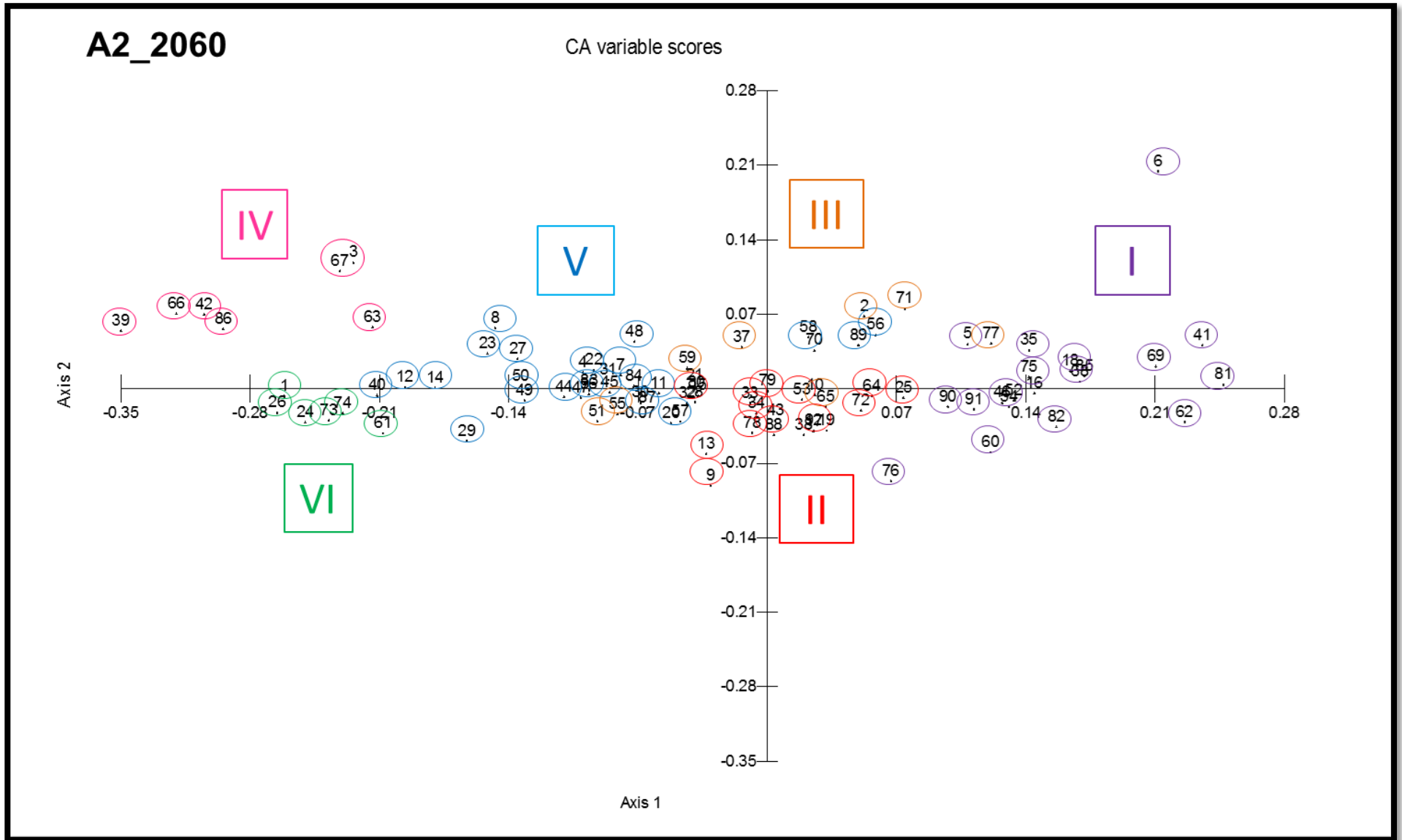


Fig. 23 Análisis de Correspondencia del escenario A2 para el año 2060.

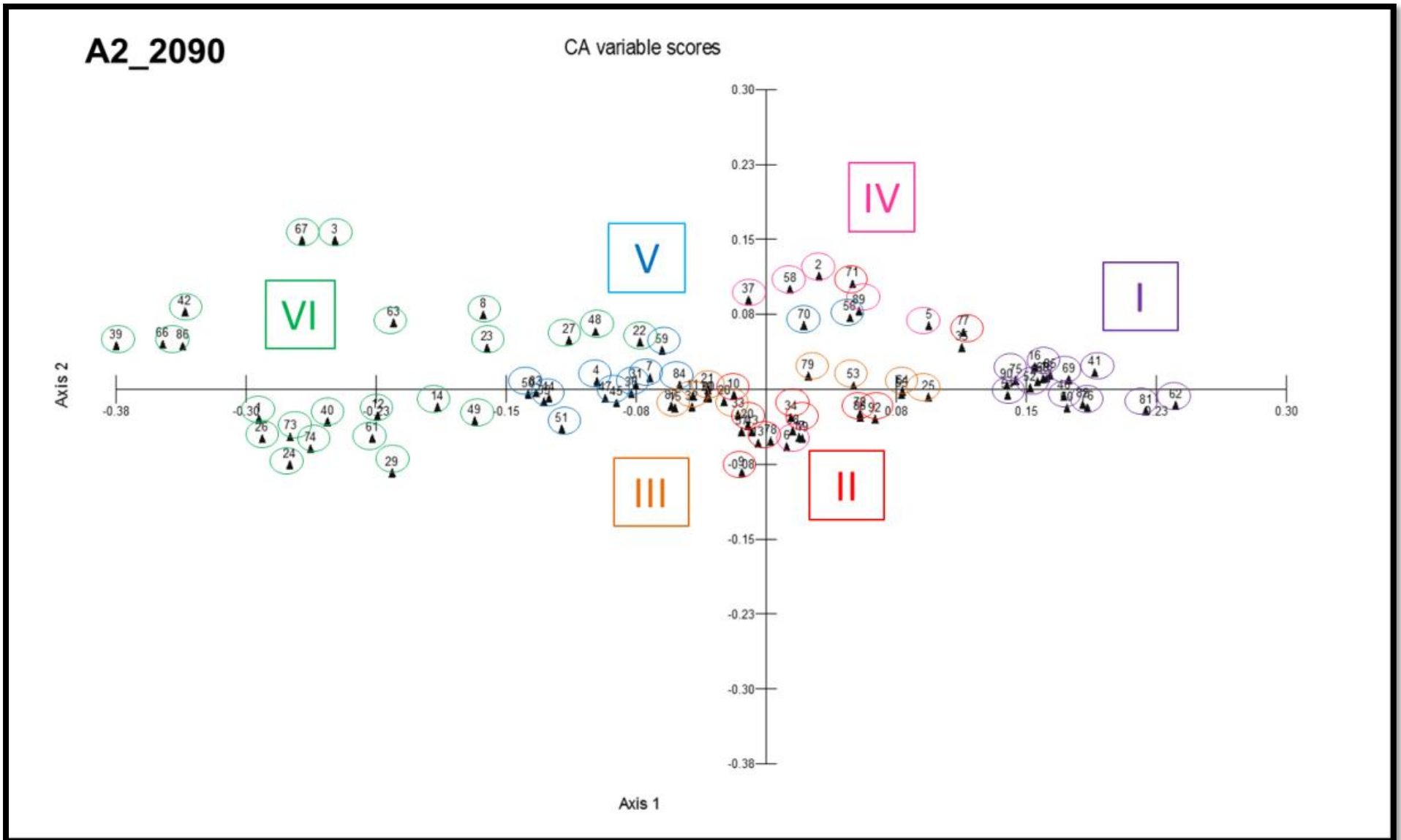


Fig. 24 Análisis de Correspondencia del escenario A2 para el año 2090.

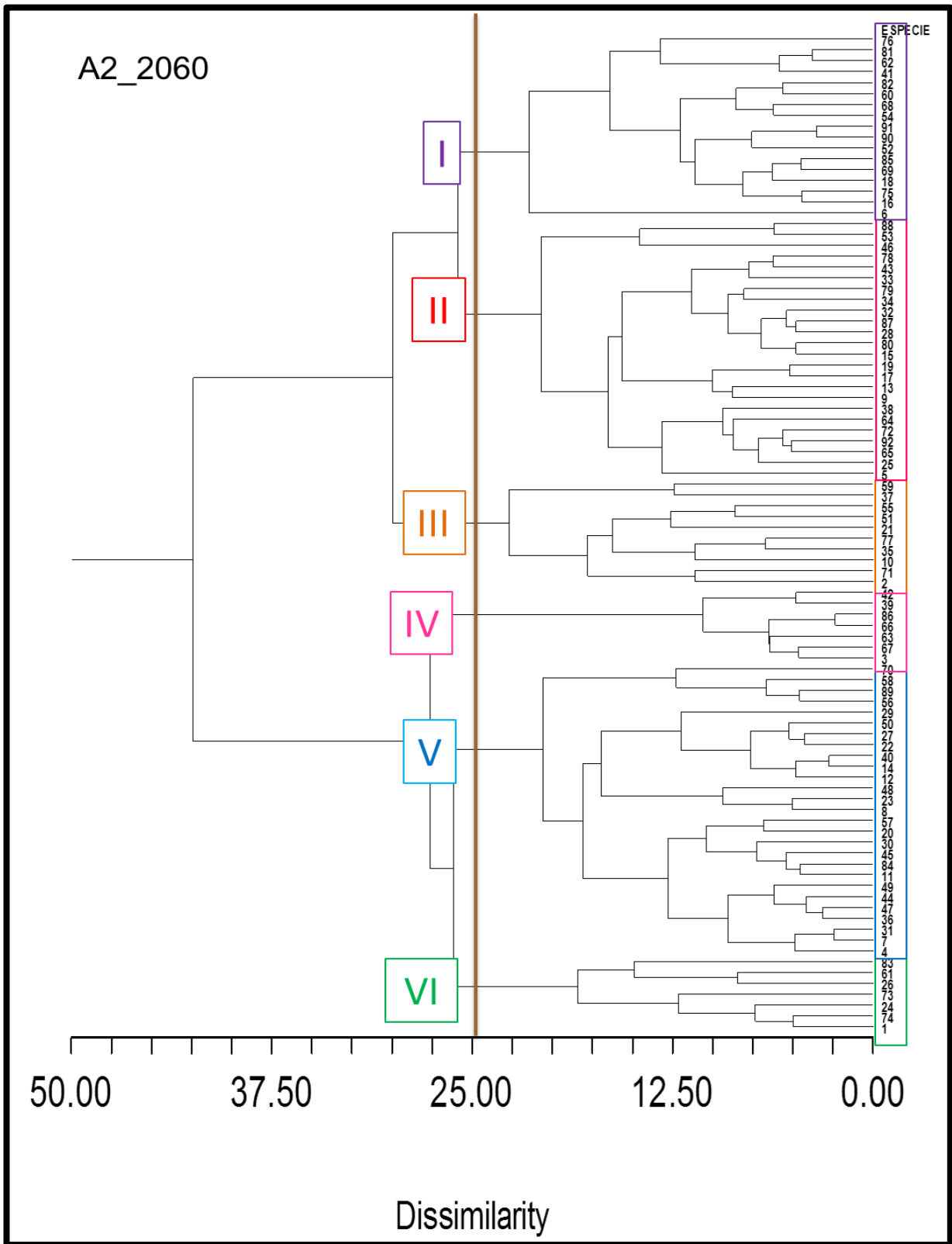


Fig. 25 Dendrograma del escenario A2 para el año 2060.

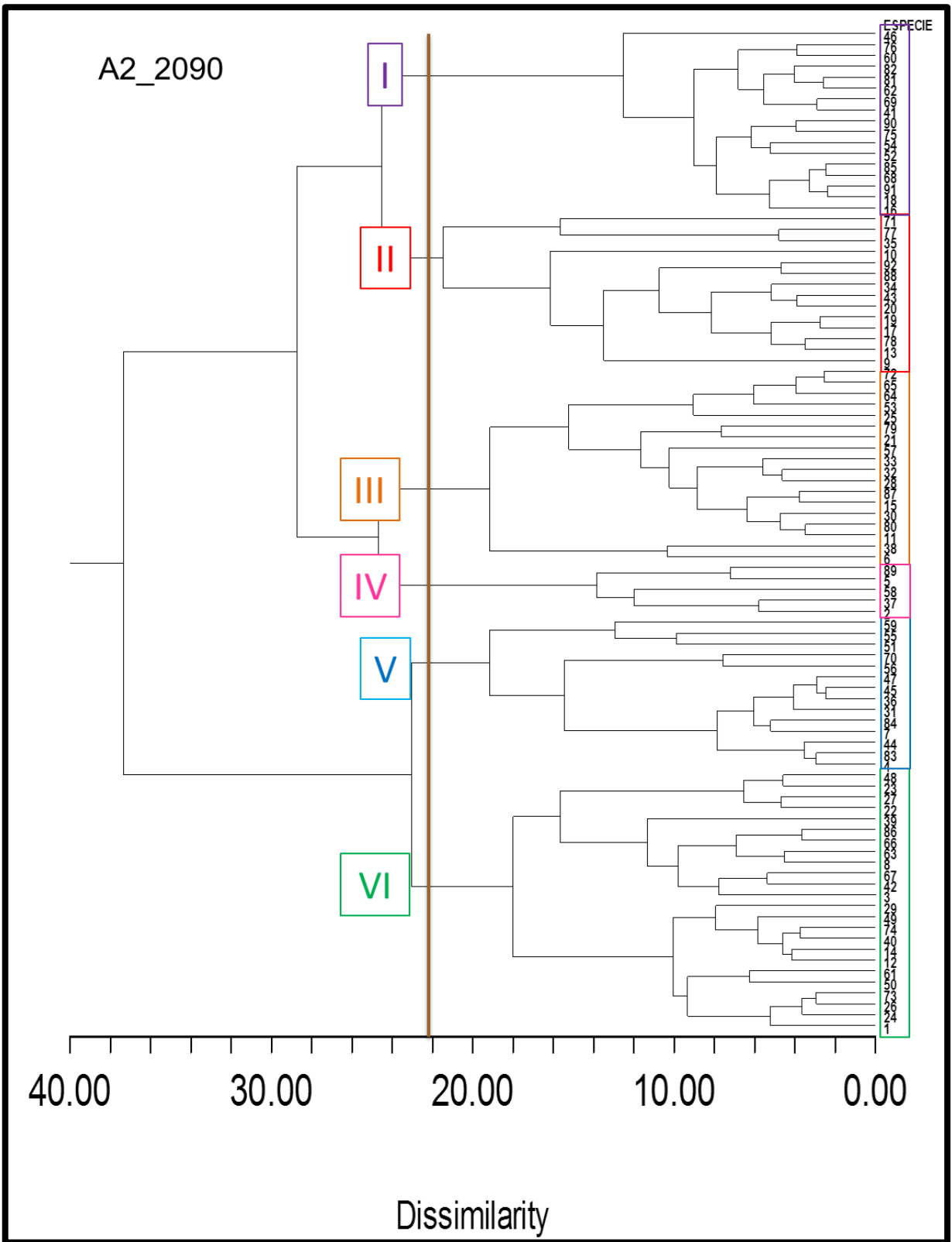


Fig. 26 Dendrograma del escenario A2 para el año 2090.

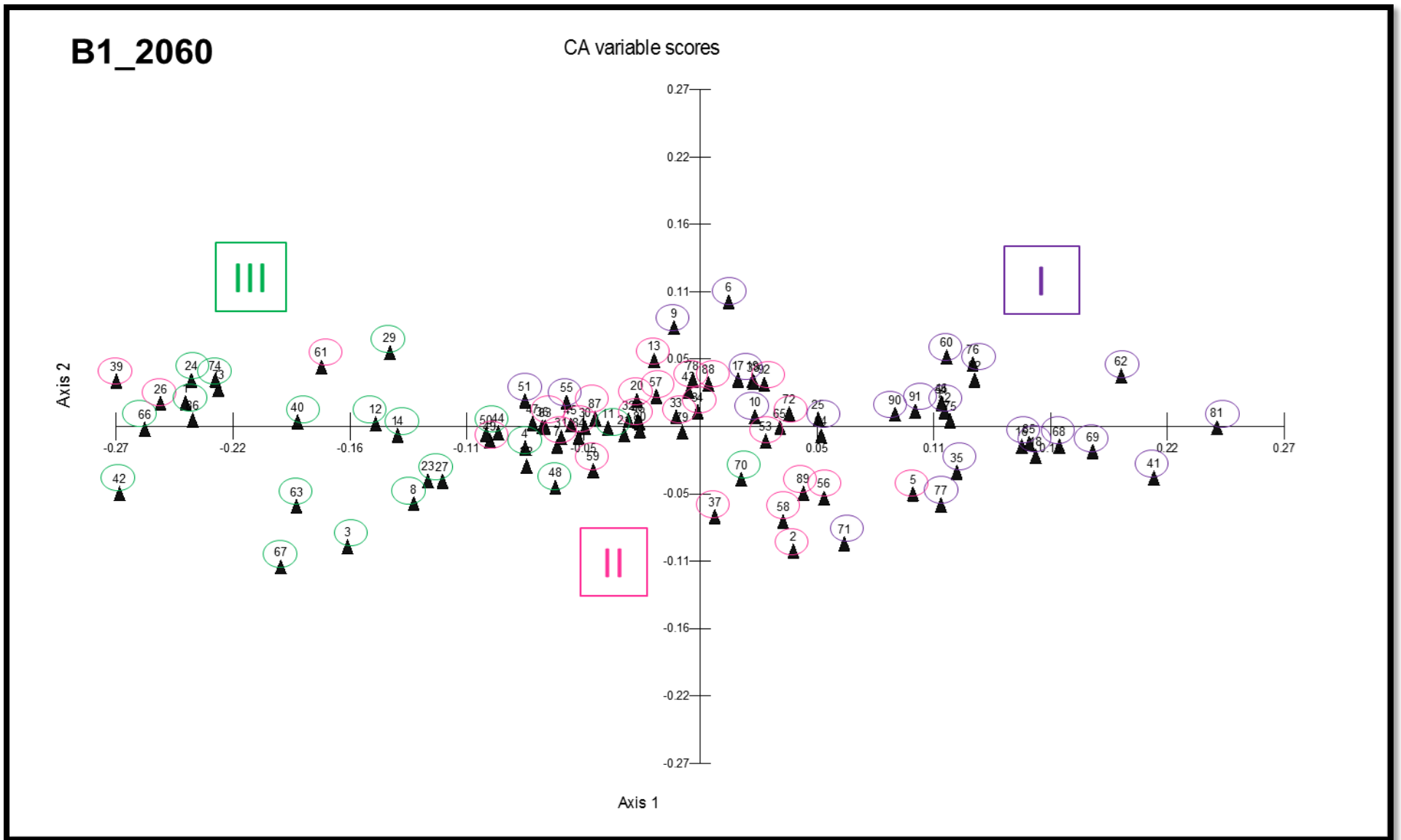


Fig. 27 Análisis de Correspondencia del escenario B1 para el año 2060.

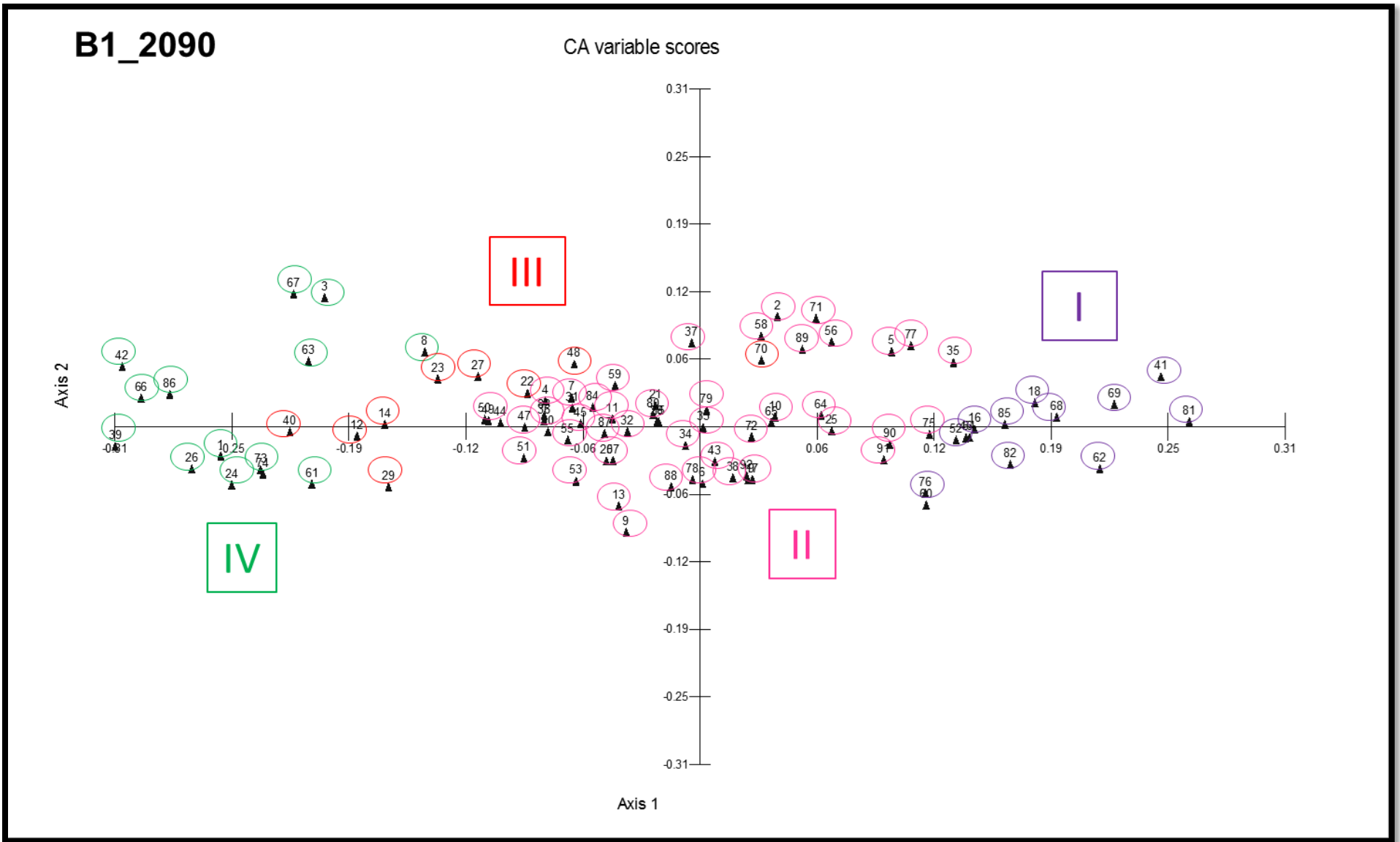


Fig. 28 Análisis de Correspondencia del escenario B1 para el año 2090.

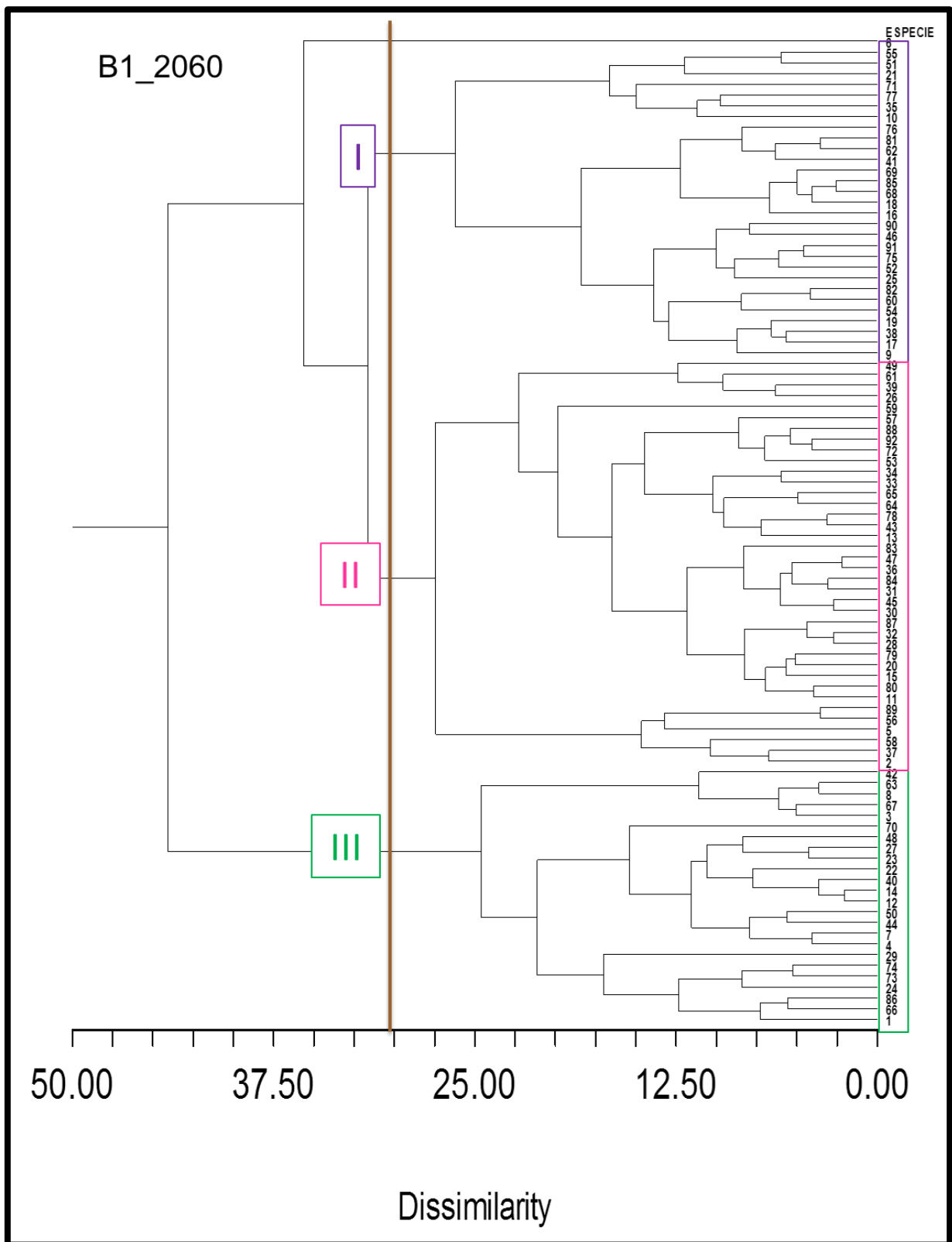


Fig. 29 Dendrograma del escenario B1 para el año 2060.

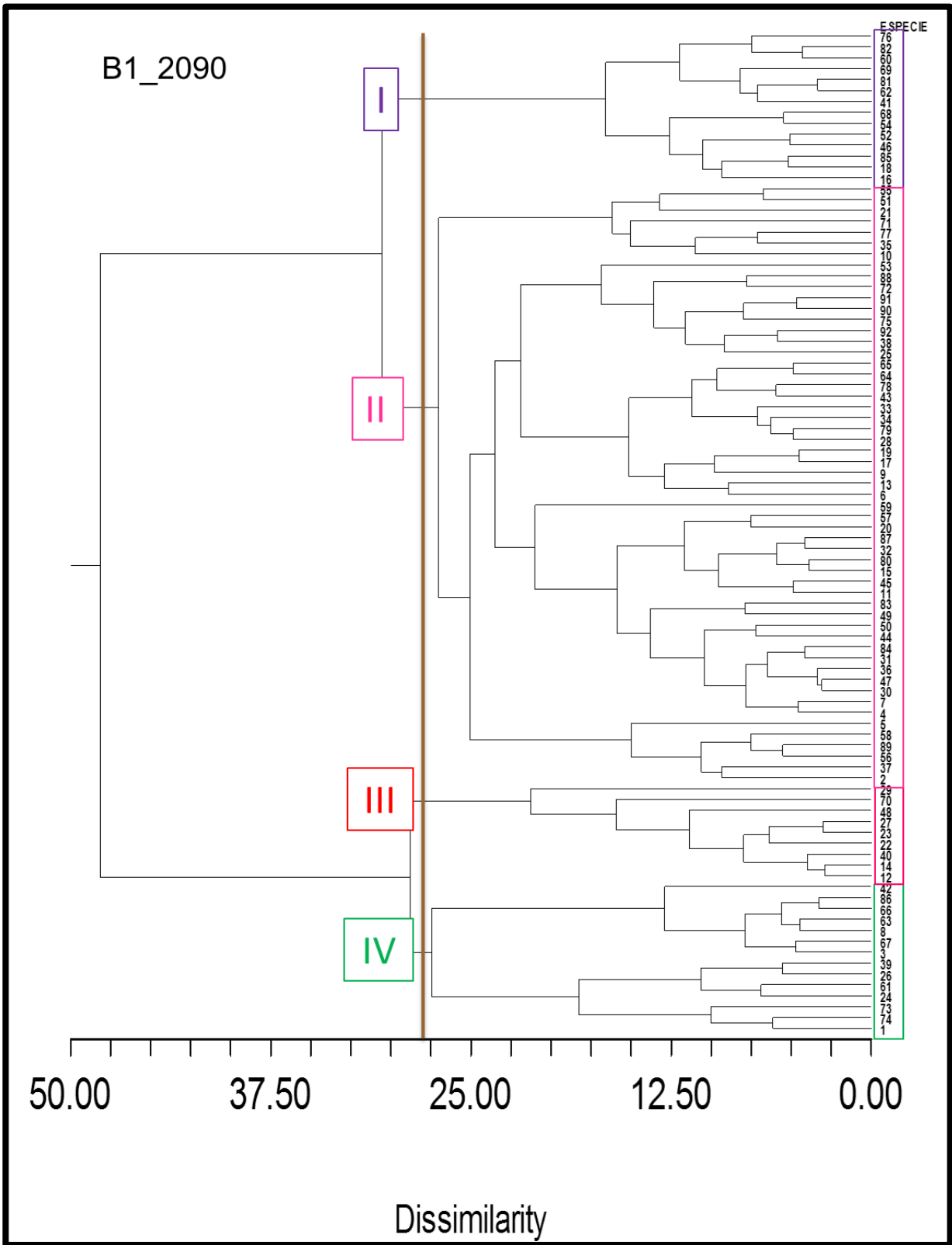


Fig. 30 Dendrograma del escenario B1 para el año 2090.

GRUPOS VEGETALES

PROYECCIÓN	I	II	III	IV	V	VI
ACTUAL	sap, smp, smsp	sap, smp, smsp	sap, smp, smsp, smc, sbc	smsp, smc, sbc, sbec	smc, sbc, sbec	smc, sbc, sbep, sbec
A2_2060	sap, smp, smsp	sap, smp, smsp, smc	smsp, smc, sbc, sbec	smp, smp, smc, sbc, sbec	smp, smp, smc, sbc, sbec	smc, sbc, sbep, sbec
A2_2090	sap, smp, smsp	sap, sasp, smp, smp, smc	sap, sasp, smp, smp, smc	smp, smp, smc, sbc, sbec	smp, smp, smc, sbc, sbec	smc, sbc, sbep, sbec
B1_2060	sap, sasp, smp, smp, smc	sap, sasp, sasp, smp, smp, smc, sbc, sbec	smp, smp, smc, sbc, sbep, sbec	smp, smp, smc, sbc, sbec	smp, smp, smc, sbc, sbec	smc, sbc, sbep, sbec
B1_2090	sap, smp, smsp, sbc	sap, sasp, smp, smp, smc, smc, sbc, sbec, sbec	smp, smp, smc, sbc	smp, smp, smc, sbc, sbec	smp, smp, smc, sbc, sbec	smc, sbc, sbep, sbec

Cuadro 8. Tipos de vegetación que caracterizan a las agrupaciones vegetales; en azul se identifican los tipos de vegetación con la mayor cantidad de especies arbóreas, y en rojo los tipos de vegetación a los que corresponden los árboles que se presentarían en el futuro.

Abreviaturas: **sap** = selva alta perennifolia; **sasp** = selva alta subperennifolia; **sasc** = selva alta subcaducifolia; **smp** = selva mediana perennifolia; **smsp** = selva mediana subperennifolia; **smc** = selva mediana caducifolia; **sbep** = selva baja subperennifolia; **sbc** = selva baja caducifolia; **sbec** = selva baja espinosa caducifolia; **sbep** = selva baja espinosa perennifolia y **sbcs** = selva baja subcaducifolia.

DISCUSIÓN

Las selvas tropicales de México, son uno de los ecosistemas más importantes por los amplios servicios ambientales que proveen y por la gran biodiversidad que albergan, en las cuales los árboles son sus componentes más destacables dada su amplia utilidad. Sin embargo la permanencia de sus especies se ha visto seriamente amenazada por eventos tales como la deforestación, cambios en el uso del suelo, cacería ilegal, tráfico de especies, introducción de especies exóticas, incendios forestales, contaminación, entre otros, por lo que se han colocado en un constante peligro en términos de pérdida de su biodiversidad. Ante tales cambios ambientales globales, se integran los posibles efectos del cambio climático global, a través de las variaciones pronosticadas al futuro principalmente en la precipitación y temperatura, además la tendencia de mayor incidencia de los eventos naturales y meteorológicos extremos (huracanes, sequías, el fenómeno de El Niño, tormentas e incendios) (Magaña, 2004) le han agregado un valor importante ante el eminente riesgo futuro.

Los estudios sobre los efectos del cambio climático sobre la vegetación de México, es un tópico relativamente poco explorado, específicamente para las selvas o bosques tropicales, son escasos. Algunos modelos prospectivos han reportado una menor afectación para estos ecosistemas, específicamente los estudios realizados por Villers & Trejo (2000), predicen bajo modelos de sensibilidad (+2°C y -10 % precipitación (pp)) aumentos en la distribución de los climas cálidos conllevando a un aumento ligero en las comunidades vegetales que se establecen en éstos, como lo son los bosques tropicales perennifolios, subperennifolios y caducifolios (*sensu* Rzedowski), que se podrían establecer en áreas con mayor altitud que las actuales,

restando terreno a los bosques templados de encinos y de coníferas. O bien los bosques tropicales perennifolios y subperennifolios podrían conservar alrededor de 80 % de su distribución en áreas que mantendrán el mismo tipo climático. Bajo predicciones semejantes a la anterior, se ejemplifican los estudios realizados por Trejo y colaboradores (2011), donde al generar nueve zonas bioclimáticas para el año 2050, mencionan que los bosques tropicales húmedos y subhúmedos se mantendrían en la misma proporción a la actual (entre 14.5 a 16.67 % del territorio nacional). Sin embargo los resultados obtenidos en el presente estudio, difieren a los anteriores citados, al estimar que para finales del presente siglo, aprox. el 80 % (escenario A2) o el 63 % (B1) de las especies analizadas mostrarían una disminución en su área de distribución para el futuro, siendo las especies de las selvas altas perennifolias y las medianas subperennifolias (Bosques tropicales húmedos o bosque tropicales perennifolios), las más afectadas y cuya pérdida se localizaría geográficamente en estados como Campeche, Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Tabasco, Veracruz y Yucatán **(Fig. 3)**

Tales pérdidas arbóreas se relacionan a la reducción en la cantidad de precipitación y al incremento en la temperatura que recibirán las localidades donde han sido registradas las especies. Estas áreas se encuentran localizadas en los estados antes mencionados, que de igual manera corresponden en su mayoría a los reportados en los estudios realizados de Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México, generados por Monterroso y colaboradores (2014), en términos de la exposición climática que refiere al grado de estrés climático sobre

una unidad particular, representada por cambios en las condiciones climáticas o bien cambios en la variabilidad climática e incluyendo la magnitud y frecuencia de los eventos extremos, siendo Chiapas y Oaxaca, los estados que presentarían en algunos municipios la categoría “más alta” de exposición climática. Estas tendencias podrían ser complementadas con los cálculos obtenidos de las coberturas ambientales del presente estudio, donde se identifican incrementos en la temperatura media anual para el año 2090 bajo un escenario A2, que van de los 2.9°C en el N de Yucatán, hasta los 4.9°C en el SE de Veracruz, Centro y NE de Oaxaca y SW de Puebla, y con disminuciones en la precipitación anual desde el 8 % (65 mm) en el N de Yucatán, al 35 % (1644 mm) al NE de Oaxaca.

La tendencia de disminución en la mayoría de las especies arbóreas elegidas, es una situación alarmante, aunque el panorama no es del todo fatalista al identificar un 20 % (escenario A2) al 37 % (B1) de especies que podrían verse beneficiadas ante el cambio climático, identificando que sus áreas de distribución se ampliarían o al menos mantendrían su extensión similar a la actual. Tales permanencias se identifican en Campeche, Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Tabasco, Veracruz y Yucatán (**Fig. 2**), en los cuales en algunas de sus áreas podrían permitir la permanencia de al menos el 50 % de especies arbóreas. Sin embargo en comparación a los datos obtenidos por Monterroso y colaboradores (2014), estiman que algunos de los municipios que conforman estas entidades federativas, presentarían un “muy alto” (Centro de Chiapas y escasos municipios en el N, E, y S de Oaxaca), “alto”, “medio” y “bajo” (con más del 50 % de su territorio de Jalisco, Estado de México, Michoacán, San

Luis Potosí y Veracruz) grado de sensibilidad climática, es decir, estas áreas podrían presentar alguna modificación o afectación por las condiciones humanas y ambientales que podrían empeorar o disminuir los impactos del cambio climático. Por lo cual es también importante enfocar los intereses en estas áreas que podrían permitir la permanencia de la vegetación arbórea en términos ambientales, pero que en el futuro podrían modificarse por la población humana y/o aspectos productivos.

También se ha identificado la importancia de las áreas que podrían ser colonizables en el futuro, al presentar condiciones ambientales favorables para las especies, localizadas en pequeñas áreas de Chiapas, Durango, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Nayarit, Oaxaca, Puebla y Veracruz (**Fig. 4**), que coinciden también con pequeñas regiones identificadas con un “muy alto”, “alto” y “medio” grado de capacidad adaptativa (Monterroso *et al.*, 2014), que refiere a la capacidad del sistema de enfrentar los efectos del cambio climático en unión con la sociedad, permitiendo enfrentar de una mejor manera o anticiparse al cambio, lo cual permitiría la conservación futura de áreas que aunque de tamaño reducido, podrían ser significativas al albergan componentes arbóreos tropicales en el futuro.

Los estudios de caso desarrollados para *Platymiscium yucatanum*, *Castilla elastica*, *Dussia mexicana* y *Lysiloma latisiliquum*, han permitido representar de manera particular los diversos tipos de respuesta de las especies ante los posibles cambios climáticos futuros. Los datos obtenidos permiten realizar inferencias sobre su posible localización geográfica y caracterización ambiental de las localidades de presencia, sin embargo estos datos no permiten inferir sobre las áreas “nuevas” potenciales a colonizar, ya que aún no se han reportado la presencia o colecta de

estas especies o cómo serían ambientalmente las áreas de permanencia o en las que habría posibles extinciones. Por lo anterior, el uso de los datos ambientales de cada área potencial, nos permitiría completar las inferencias sobre las respuestas de las especies ante el cambio climático.

De este modo se puede identificar que *P. yucatanum* podría verse relativamente favorecida ante tal proceso, mostrando un área superior a la presente y con notorios desplazamientos longitudinales, dado que es posible que la especie tenga la capacidad de tolerar temperaturas mayores (hasta 4.48°C más) (**Gráf. 6**), pero desplazándose hacia áreas que podrían presentar precipitaciones similares a las actuales (**Gráf. 7a, Fig. 7b y 8b**). *Castilla elastica* es la especie que reducirá su distribución por el incremento de aprox. 4.5°C entre la temperatura media anual presente con respecto a la máxima esperada en el escenario A2 para el año 2090 en las localidades de colecta y cuya tendencia de aumento también se mantiene en las áreas potenciales de extinción, mostrando una variación de aprox. 5°C más que las áreas de permanencia, aunándose a la disminución de la precipitación de hasta en un 12 % en las localidades y un 36 % en las áreas con posibles extinciones (**Gráf. 9 y 10**); éstas áreas de pérdida se localizan principalmente en la costa del Golfo de México y Península de Yucatán, y cuyas proyecciones de variación climática coinciden con las estimadas por Sáenz y colaboradores (2010), para el mismo escenario y tiempo. Las estimaciones realizadas para *C. elastica* adquieren mayor importancia, al reconocer la contribución de ésta en términos comerciales por ser una de las especies que aporta el látex para producir una variedad amplia de productos y

cuya pérdida afectaría también la economía de diversas poblaciones que dependen de ella.

Dussia mexicana representa la tendencia de las especies que podrían tener menor afectación por el cambio climático, dada sus tolerancias al incremento en la temperatura y la posible resistencia a la reducción en la precipitación, tales tendencias se muestran tanto en la variación ambiental en las localidades de muestreo (+ 4.8°C y -20.3 % en pp), como en las áreas potenciales de permanencia (+ 4.9°C y -30.12 % en pp), en el escenario más severo para el año 2090 (**Gráf. 12 y 13**). De otro modo *Lysiloma latisiliquum* responde al conjunto de especies cuya respuesta de cambio dependería del escenario a presentarse en el futuro y que podría estar relacionada a una especificidad ambiental, ya que en un escenario A2 podría disminuir su extensión por las diferencias ambientales estimadas en las localidades de presencia (+ 4.2°C y -14.3 % en pp), que se estiman mayores en respecto al escenario B1 (+ 2.1°C y -10.9 % en pp) donde podría permanecer con extensiones similares a las actuales (**Gráf. 15 y 16**).

De acuerdo a que las especies responderán de manera independiente al cambio climático y cuyas modificaciones en términos de su distribución, harán que permanezcan en las mismas áreas, desaparezcan localmente o que se desplacen hacia regiones nuevas en el futuro, se espera que estos movimientos tengan un impacto en las comunidades vegetales presentando una variación en su composición, adquiriendo nuevas especies o perdiendo otras tantas. Bajo esta perspectiva, este estudio inspecciona algunos métodos estadísticos que permiten realizar tales inferencias, a través de la generación de agrupaciones que comparten

afinidades ambientales, logrando identificar a los tipos de vegetación a las que estas especies arbóreas caracterizan. De esta manera para la actualidad se identificaron 6 grupos, como se muestra en la **Fig. 22**, donde se representa en el extremo superior a las selvas altas, los grupos intermedios a las selvas medianas y el extremo inferior a las selvas bajas.

Dando seguimiento a tal propuesta metodológica se realizaron los procesos correspondientes para las proyecciones al futuro, logrando identificar 6 grupos para el escenario A2 (**Fig. 23 y 24**), los cuales muestran tendencias similares en ambos horizontes de tiempo, sin embargo es en un par de grupos (V y VI) lo cuales muestran mayor diferenciación, al permitir identificar elementos de selvas altas perennifolias hasta medianas subperennifolias, conviviendo ambientalmente con especies arbóreas de selvas medianas subcaducifolias a bajas espinosas, lo cual podría producir un tipo de vegetación diferente en el futuro. Con tales acomodados ambientales, se identifican a las selvas medianas subperennifolias y medianas subcaducifolias como los tipos de vegetación que presentarían el mayor recambio vegetal. Esta “nueva” composición nos permite inferir que las especies que habitan en áreas con mayor humedad como las propias de selvas altas perennifolias o subperennifolias, y que en el futuro podrían recibir menor cantidad de precipitación, se podrían desplazar (latitudinal y altitudinalmente) hacia áreas geográficas en búsqueda de precipitaciones similares a las actuales, logrando converger con elementos con similitudes ambientales (menos húmedas), como lo serían las selvas medianas subcaducifolias. Y aunque esta propuesta metodológica no permite caracterizar ambientalmente y ubicar geográficamente cada grupo, estos

movimientos estarían relacionados a las colonizaciones, las cuales se identifican en áreas (**Fig. 4**) que actualmente albergan bosques de encinos, coníferas y mixtos, y bosque mesófilos de montaña (INEGI, 2008).

Con respecto al escenario B1 se identifican 3 grupos para el año 2060 y 4 en el 2090 (**Fig. 27 y 28**), los cuáles son menores a los estimados actualmente (6), donde se distingue que en futuro en los grupos I, II y III presentarían elementos arbóreos de selvas medianas subcaducifolias, bajas caducifolias, bajas espinosas perennifolias, bajas espinosas caducifolias y bajas espinosas subcaducifolias, lo que permite inferir que estas especies podrían ser favorecidas por el cambio climático, tal como el caso de *L. latisiliquum* bajo el mismo escenario; estas especies podrían mostrar una capacidad de respuesta más rápida en comparación a los elementos arbóreos de las selvas tropicales húmedas, que para este escenario no mostrarían aparentemente alguna variación. Sin embargo la identificación de estos elementos arbóreos característicos de ambientes más calurosos y menos húmedos, muestra similitud con las predicciones que reportan para los bosques tropicales secos incrementos en un 13 % a casi 20 % de su extensión, en áreas del Pacífico y Golfo de México (Trejo *et al.*, 2011).

Pese a las posibles tendencias climáticas futuras y a las diferentes respuestas de las especies y a que este estudio reporta una cifra significativa de especies que podrían verse afectadas en un futuro, no todo el panorama parece ser desolador. La literatura consultada reporta casos de áreas selváticas con altos valores de recuperación o pronta regeneración natural, ante el impacto de algunos eventos meteorológicos severos (huracanes y sequías) o algún tipo de disturbio (incendios o

extracción forestal), donde se han identificado la presencia de propágulos y diversos tamaños en los árboles, permitiendo inferir sobre la pronta respuesta de las especies ante cambios ambientales abruptos (permitiendo nuevas propuesta silvícolas) (Carreón & Valdez, 2014). También existen estimaciones sobre la capacidad de migración de los árboles, una evidencia revelada en los cambios climáticos pasados, donde la tasa o rapidez con la que se da este proceso ha variado en región y tiempo, por mencionar, se tiene que a finales de la época glacial en el este de EUA y Europa se reportó una tasa de 200m – 1500 m/año y para México en la vertiente noroeste del volcán Iztaccíhuatl en el Último Máximo Glacial (18 000 AP) e inicios del Holoceno (10 000 AP) se calculó una tasa de ~ 4m/100 años e incrementándose a ~ 7m/100 años) (Lozano & Sosa, 2011). Una evidencia más, la han proporcionado las tasas de cambio en los límites térmicos de algunas especies de plantas tropicales (239 especies), estimados a través de aprox. medio millón de registros de presencia provenientes de herbarios, donde se han inferido desplazamientos hacia áreas menos cálidas (Feeley, 2012). Quizás uno de los avances a mayor escala es la generación de programas, alianzas o mecanismos a partir de acuerdos internacionales (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático), por ejemplo está la Alianza México para la Reducción de Emisiones de Carbono por Deforestación y Degradación (REDD+), que pretende seguir la estrategia de mitigar el cambio climático dentro del sector forestal, buscando el desacelerar, frenar y revertir la pérdida de la cubierta forestal y de carbono. Actualmente este mecanismo se implementa en proyectos localizados en las cuencas costeras de Jalisco, selvas de la Península de Yucatán, corredores

biológicos y Selva Lacandona en Chiapas, en el Estado de México, Oaxaca y la Sierra Rarámuri en Chihuahua (Alianza MéxicoREDD+, 2013).

En lo referente a la utilización metodológica en este estudio, es importante resaltar algunos aspectos sobre el uso particular de la base de datos y las coberturas ambientales, los cuales permitieron un mejor desempeño para generar los modelos y obtener resultados comparables con otros estudios. Y aunque el país alberga grandes acervos de información biológica, en el aspecto florístico se ha mostrado un sesgo en la colecta de grupos taxonómicos específicos, los inventarios son incompletos y los registros están incorrectamente georreferenciados o ausentes, por este punto, la utilización de la base de datos de los Árboles Tropicales de México (Pennington & Sarukhán, 2005), permitió contar con una base actualizada, consolidada, estructurada, completa, con mínimos errores y buena representatividad de las especies arbóreas de interés. Sin embargo, se recomienda que en estudios futuros, la base de datos contenga el mayor esfuerzo de realización, con la finalidad de tener la mayor cantidad de información posible, logrando contar con datos provenientes de fuentes de información física (literatura científica y especializada) y digitales (portales bioinformáticos o colecciones en línea) (Martínez & Ballesteros, 2015a). Aún sabiendo que estos también presentan sus propias deficiencias e inconsistencias, mostrando vacíos de información, errores de tipo geográfico o nomenclatural, ausencia de coordenadas geográficas, datos erróneos, entre otros (Martínez & Ballesteros, 2015b).

Sobre el uso de las coberturas ambientales digitales provenientes del Moscow Forestry Sciences Laboratory, éstas contienen bajos errores estándar en los valores

de temperatura y precipitación (1° C y entre 10-15 %, respectivamente) y cuentan con datos provenientes de aprox. 4,000 estaciones climáticas de México, Estados Unidos, Guatemala, Belice y Cuba. (Sáenz *et al.*, 2009; Sáenz *et al.*, 2010), lo que las hace ser consideradas de buena calidad, como una fuente de información adecuada y sugerida, para realizar estudios regionales en el país y colindantes. En comparación con otras generadas a nivel mundial (1 km^2 de resolución), como Worldclim (Hijmans *et al.*, 2005), donde utilizaron 47 554 registros de precipitación, 24 542 de temperatura media y 14 835 de temperatura mínima y máxima, correspondientes a los años de 1950 a 2000; o bien, en equiparación a las coberturas realizadas específicamente para el país, donde existen diferentes fuentes importantes: 1) los parámetros bioclimáticos (CCA, 2015) (resolución ca. 5 km^2 , provenientes de la base climatológica diaria de los años 1902 a 2011 del Servicio Meteorológico Nacional, 2) las coberturas digitales climáticas para México (Téllez *et al.*, 2011) a 1 km^2 de resolución, provenientes de 7 400 estaciones meteorológicas del sur de Estados Unidos de América, México, norte de Centroamérica hasta Nicaragua y occidente de Cuba, de los años 1898 a 1995 y con errores de interpolación en la temperatura promedio mensual de $0.43 - 0.52^{\circ}\text{C}$ y precipitación promedio mensual de $8.8 - 13.9 \%$, y 3) las variables ambientales de las condiciones actuales (1910 – 2009) generadas a alta resolución (1 km^2) para México (Cuervo *et al.*, 2013), obtenidas de la interpolación de los valores de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, adquiridos de cerca de 5 000 estaciones meteorológicas del sur de Estados Unidos, México y norte de Centroamérica, y con un error en la temperatura mensual de $0.48 - 0.56^{\circ}\text{C}$ y precipitación mensual de

11.11 % Sin embargo las coberturas climáticas de Téllez (2011) y Cuervo (2013), a pesar de ser una excelente fuente de información, sólo serían semejantes si se generarán modelos para el presente, debido a que estas no presentan proyecciones al futuro con condiciones de cambio climático global.

De igual modo, las coberturas ambientales empleadas para las proyecciones futuras, fueron adecuadas con las previsiones derivadas de los escenarios A2 y B1 del Canadian Center for Climate Modeling and Analysis para los años 2060 y 2090. Los cuales son tiempos y escenarios diferentes a los que actualmente proyecta Worldclim (<http://www.worldclim.org/CMIP5>), los reconocidos RCP (por su acrónimo en inglés, Representative Concentration Pathways), desarrollados por el IPCC AR5 (Fifth Assessment Report) (IPCC, 2016), que en comparación con los SRES, pueden contemplar los efectos de las posibles políticas o acuerdos internacionales tendentes a mitigar las emisiones; además cada RCP (2.6, 4.5, 6.0 y 8.5) tiene asociada una base de datos de las emisiones de sustancias contaminantes, emisiones y concentraciones de GEI y de usos de suelo hasta el año 2100 (años: 2046-2065 y 2081-2100) (IPCC, 2013). Los resultados obtenidos en este estudio, podrían ser equiparables a las condiciones estimadas en el RCP 4.5 (B1) y RCP 8.5 (A2) (IPCC, 2013), aunque podrían variar, dado los años disponibles (2050 y 2070) y GCM disponibles (cerca de 20). Sin embargo el uso de estas coberturas aún es escaso, bajo las temáticas de este estudio.

En el mismo modo el presente estudio permitió reafirmar el desempeño y robustez de GARP para generar modelos de Nicho Ecológico, pese a que las publicaciones científicas sobre el uso del algoritmo no han incrementado en años

recientes, dando como resultado estudios e investigaciones enfocadas a otros tipos de software, tales como MaxEnt (Phillips *et al.*, 2006; <http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>). Éste es un método de inteligencia artificial que se sustenta en el principio de máxima entropía y que en un tiempo muy reciente, también ha sido empleado bajo un lenguaje de programación en R. Sin embargo, reportamos que previamente al realizar la metodología aquí descrita, también se generaron modelos en MaxEnt, los cuales mostraron resultados inconsistentes para las proyecciones realizadas al futuro e inclusive el rendimiento como tal del software, se vio seriamente afectado en el número de proyecciones y extensión de las coberturas. No obstante, se recomienda el uso de ambos softwares pese sus propias limitaciones, todo dependería de la pregunta de investigación, objetivos, área de estudio y tiempos a considerar (pasado, presente y futuro).

Se resalta la contribución del estudio en las investigaciones referentes al cambio climático global y sobre los posibles efectos en la biodiversidad, principalmente en las especies arbóreas de selvas tropicales, sin embargo es muy importante mencionar que los resultados estimados al futuro dependerán principalmente de los propios requerimientos y capacidades de cada una de las especies. En un segundo término, los resultados podría estar influenciados por las metodologías y por los insumos empleados, los cuales presentan diversas incertidumbres o limitaciones, que deben considerarse en la interpretación, como: **1)** en las proyecciones realizadas para el futuro, podrían presentar diferenciación debido a la variabilidad natural del sistema climático, producido a su vez por su inestabilidad propia o forzamientos externos (Magaña, 2006); **2)** en los escenarios

proyectados no deben considerarse como pronósticos climáticos, ya que las emisiones futuras de GEI afectarían el forzamiento radiativo del sistema climático, por lo que sólo se deberán considerar como estimaciones generadas por el IPCC (Magaña, 2006); **3**) en los datos obtenidos para una especie y/o región determinada, estos dependerán de la escala espacial y temporal (Conde, 2006), así mismo, la adición de información digital como: los aspectos topográficos, tipos de suelo, geología, tipos de vegetación, interacción bióticas, entre otras, dependerán de su existencia, disponibilidad y escala; **4**) en el análisis de las especies, comunidades y/o regiones ante un evento climático y sus estrategias ante este, su interpretación dependerán de la disponibilidad e historia documentada (Conde, 2006); **5**) la dinámica del cambio de uso del suelo, no se incluye, por lo que algunas áreas señaladas como afectadas por cambio climático, podrían además no tener cubierta vegetal o referir a una vegetación secundaria (Villers & Trejo, 2000); **6**) los resultados obtenidos podrían mostrar diferencias significativas con otros estudios y/o trabajos realizados para las mismas especies, debido al: número de registros empleados, la resolución espacial de la información, técnica de modelación o algoritmo empleado y además de los escenarios o proyecciones elegidas (Araújo et al., 2011; Guisan et al., 2007) y finalmente, **7**) los resultados deben de considerarse como una primera aproximación que puede y debe validarse, y mejorarse paulatinamente (Lobo, 2000). Por lo anterior, se recomienda considerar los resultados obtenidos con cautela y consideración debida.

Por otra parte, es igual de importante mencionar que los resultados obtenidos sobre los modelos de distribución geográfica potencial de las especies arbóreas,

están explicados y fundamentados en que la vegetación se relacionan íntimamente con las condiciones climáticas en las que se distribuyen (González, 2004) y que las variaciones climáticas futuras serán de tal magnitud que el tipo de clima existente actualmente, en el futuro podría generar otro subtipo, donde las especies vegetales tendrían que cambiar conforme al nuevo subtipo climático (Villers & Trejo, 2004), siguiendo o mostrando sus tolerancias ambientales. Sin embargo es muy probable que algunas de éstas áreas potenciales que presentan las condiciones ambientales para permitir la permanencia y/o colonización de las especies, presenten algún grado de perturbación o modificación producida por la actividad antropogénica, principalmente por algún cambio en la cobertura del suelo y específicamente por la deforestación.

La deforestación es el cambio de la cobertura vegetal de un área determinada y ha sido uno de los problemas ambientales que conlleva mayor efecto en los ecosistemas, logrando provocar cambios en la temperatura del suelo, disponibilidad de alimento, en los refugios, sitios para la reproducción, fragmentación y la reducción del área habitable (Martínez *et al.*, 2014). Quizás en el tiempo que se tardó en leer el párrafo anterior, habrán desaparecido 42 hectáreas de selva húmeda tropical (selvas altas y medianas perennifolias y subperennifolias) en el mundo (Gómez, 2004), donde se han mostrado desde tiempos remotos, diversos tipos de explotación arbórea para establecer espacios destinados a la ganadería y/o aprovechamiento de las maderas preciosas. De acuerdo a Challenger & Dirzo (2009), reportan que gran parte de las selvas permanecían “intactas” aún en la década de los 40’s, hasta que el fomento a la ganadería junto con la exploración y producción petrolera, se hizo

presente mostrando hasta la fecha la tasa de deforestación más alta en el país (mencionar la velocidad a la que se desmontan las áreas naturales, ha sido problemático poder estimarla, debido a que la cartografía desarrollada históricamente sigue metodologías diferentes que impide una comparación directa (Martínez *et al.*, 2014)). Actualmente permanece como selva “conservada” algunos remanentes vegetales con diferentes mosaicos de vegetación secundaria. Las selvas secas (selvas bajas y medianas caducifolias y subcaducifolias, así como las selvas espinosas) han sido transformadas con fines agrícolas desde hace miles de años, donde el mayor valor de deforestación se presentó en la década de los 70’s con el reparto agrario, la Revolución Verde y las políticas públicas del fomento agropecuario, que las transformaron en distritos de riego, ejidos, plantaciones y tierras de agostadero para la ganadería extensiva.

Consultando la más reciente cartografía digital sobre el uso del suelo y vegetación (escala 1:250 000, serie V) (INEGI, 2015), se logran identificar múltiples polígonos correspondientes a zonas dedicadas a la agricultura (de riego, riego eventual y riego temporal), áreas sin vegetación, áreas urbanas y pastizales (inducido y cultivado), ubicados geográficamente en Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Estado de México, Querétaro, Hidalgo, Morelos, Tlaxcala, Ciudad de México, Puebla, Veracruz, Oaxaca, Tabasco y Chiapas, los cuales son algunos de los estados en los que las especies arbóreas se distribuyen actualmente. Además, es probable que tales tendencias de deforestación persistan en los próximos años futuros, colocando en mayor peligro a aquellas especies que por cambio climático se verían afectadas.

Sin embargo, pese a que el paisaje en las selvas tropicales de México pudiera estar fragmentado, también existen diferentes áreas conservadas y otras tantas presentan vegetación secundaria que permitirían establecer programas de conservación presentes y al futuro, ya que estas áreas muestran ser reservorios de biodiversidad, refugios para las especies amenazadas y en peligro de extinción, permitirían aumentar la conectividad del paisaje y reducirían el aislamiento de las poblaciones (Arroyo *et al.*, 2011).

CONCLUSIONES

Las especies arbóreas características de las Selvas Tropicales de México, presentarán cambios en su distribución geográfica potencial, bajo las condiciones pronosticadas de cambio climático, donde las selvas medianas subperennifolias y medianas subcaducifolias, son los tipos de vegetación en que sus especies mostrarían las mayores variaciones y se ubica el mayor recambio vegetal en los estados de Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Oaxaca, Puebla y Veracruz.

Se reporta que entre el 80 % (escenario A2) al 63 % (B1) de las 92 especies de árboles analizados, se verán afectados por el cambio climático al reducir su área de distribución (posibles extinciones) y por ser escasas o nulas las áreas posibles para su permanencia a través de los procesos de colonización (como el caso de *C. elastica*), tales cambios podrían estar relacionados a la disminución de la precipitación en las localidades muestreadas.

☼ Se estima que del 37 % (B1) al 20 % (A2) de especies arbóreas estudiadas, podrían verse beneficiadas por el cambio climático al mantener estables sus áreas de distribución (ejemplo de *D. mexicana*) o por incrementar su área al desplazarse hacia otras regiones (estudio de *P. yucatanum*). Estos cambios podrían explicarse a que las especies se desplazarían siguiendo sus tolerancias climáticas ancestrales o bien, mostrando sus tolerancias ambientales en las mismas áreas, esto debido a que se estima que las localidades de muestreo y las áreas potenciales, tenderían a ser más calurosas y menos húmedas. Por otra parte algunas especies podrían responder de manera distinta dependiendo del escenario que se presente en el futuro, tal como el caso de *L. latisiliquum*.

☼ Los posibles cambios en la distribución de las especies arbóreas ante el cambio climático, dependerán de su capacidad de respuesta a través de sus características biológicas desarrolladas históricamente y serán de manera individualista, por lo que se identifica que las composiciones vegetales en los diferentes tipos de selvas tropicales, serán en el futuro diferentes a las actuales.

☼ Las comunidades vegetales serán diferentes en el futuro, contando con elementos que convergen con árboles de zonas húmedas y de secas, creando grupos transicionales. Se identifica que los tipos de vegetación del trópico húmedo, se desplazarían latitudinal y altitudinalmente hacia áreas en las que actualmente se distribuyen bosques de encinos, coníferas, mixtos y mesófilos de montaña.

🌳 Los resultados mostrados son estimaciones realizadas bajo proyecciones futuras que muestran un cierto grado de incertidumbre, por lo que deberán ser considerados con cautela. Sin embargo a través de éstos, se han logrado identificar tendencias que permitirían desarrollar programas de manejo y/o conservación o unirse de manera complementaria en los casos de éxito de recuperación en áreas selváticas del país.

🌳 Los resultados obtenidos en las proyecciones actuales y futuras de las especies arbóreas, podrían ser equiparables con diversas investigaciones que han empleado insumos, algoritmos y escenarios diferentes a los presentados.

🌳 Se reconoce la necesidad imperante de ampliar y generar estudios biológicos, fisiológicos, ecológicos e históricos de las especies vegetales, para lograr una mayor interpretación en los análisis ambientales y geográficos generados y contribuir con mayor precisión en la toma de decisiones en términos de conservación y/o preservación.

🌳 Es posible que algunas de las áreas estimadas como potenciales para la presencia y permanencia de las especies arbóreas, actualmente ya presenten algún tipo de afectación por las actividades antropogénicas, particularmente por la deforestación. Por lo que varias especies que se verían afectadas por el cambio climático, también incrementarían su riesgo por este tipo de actividades.

LITERATURA CITADA

- Aguilar R. 2004. *Castilla elastica*. Fotografía digital. En: Vaylón Ch. L. I. 2012. Uso y distribución de *Castilla elastica* (Hule) en Zozocolco de Guerrero, Veracruz (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ciencias, UNAM. México. 102 pp.
- Alfaro B. R. G., Ortíz D. J. J. & J. A. González A. 2010. Plantas melíferas: melisopalinología. En: Durán, G. R. & M. Méndez G. (Eds.). Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, Seduma. Mérida, Yucatán. 346- 348 pp.
- Alianza México REDD+. 2013. Construcción de un mecanismo REDD+ en México. Recuperado de: < <http://www.alianza-mredd.org/biblioteca/publicaciones-de-la-alianza-2/programa-de-implementacion-local-de-la-alianza-mexico-redd-2#.VpdFIU8wA8J>>.
- Anderson R. P., Lew D. & A. T. Peterson. 2003. Evaluating predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling* 162: 211-232.
- Araújo M. B., Guilhaumon F., Rodríguez N. D., Pozo O. I. & R. Gómez C. 2011. Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático de la Biodiversidad Española. 2 Fauna de Vertebrados. Dirección general de medio Natural y Política Forestal. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Madrid. 640 p.
- Arroyo R. V & S. Mandujano. 2007. Efectos de la fragmentación sobre la composición y la estructura de un bosque tropical lluvioso mexicano. En: Harvey C. A. & J. C. Sáenz (Eds.). Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica. Instituto Nacional de Biodiversidad. Santo Domingo de Heredia, Costa Rica. 179-196 pp.
- Arroyo R. V., Mandujano S. & J. Benítez M. 2011. Diversidad y estructura de la vegetación en fragmentos de selva de Los Tuxtlas. En: CONABIO. La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México. 239-246 pp.

- BDMTM. Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana. 2009. Atlas de las Plantas de la Medicina Tradicional Mexicana. *Castilla elastica*. UNAM. Recuperado de: <
<http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/monografia.php?l=3&t=&id=7842>>.
- Carreón S. R. J. 2013. Estructura y crecimiento de tres especies arbóreas en una selva mediana subperennifolia en Quintana Roo. (Tesis de Maestría en Ciencias). Colegio de Postgraduados. Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. 80 p.
- Carreón S. R. J. & J. I. Valdez H. 2014. Estructura y Diversidad arbórea de vegetación secundaria derivada de una selva mediana subperennifolia en Quintana Roo. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2013.06.023.
- CCA. Centro de Ciencias de la Atmósfera. 2015. Parámetros bioclimáticos. Recuperado de: < <http://atlasclimatico.unam.mx/atlas/kml/>>
- Challenger A. & R. Dirzo. 2009. Factores de cambio y estado de la biodiversidad. En: Capital natural de México. Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO. México. 37-73 pp.
- CICY. Centro de Investigación Científica de Yucatán. 2010. Flora de la Península de Yucatán. *Platymiscium yucatanum*. Recuperado de: <
http://www.cicy.mx/sitios/flora%20digital/ficha_virtual.php?especie=1654>
- CIEco. Centro de Investigaciones en Ecosistemas. 2011a. Laboratorio de Ecología de Poblaciones y Comunidades Tropicales. *Platymiscium yucatanum*. Recuperado de: <
http://www.oikos.unam.mx/muestras/index.php?main_page=product_info&products_id=210>
- CIEco. Centro de Investigaciones en Ecosistemas. 2011b. Laboratorio de Ecología de Poblaciones y Comunidades Tropicales. *Castilla elastica*. Recuperado de:<
http://www.oikos.unam.mx/muestras/index.php?main_page=product_info&products_id=223>.

- CONABIO. Comisión Nacional para Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad. 2015a. Biotas. Explorador de especies de México. Biodiversidad Mexicana. *Platymiscium yucatanum*. Recuperado de: <
<http://bios.conabio.gob.mx/especies/6053255>>.
- CONABIO. Comisión Nacional para Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad. 2015b. Biotas. Explorador de especies de México. Biodiversidad Mexicana. *Castilla elástica*. Recuperado de: <
<http://bios.conabio.gob.mx/especies/6029814>>
- CONABIO. Comisión Nacional para Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad. 2015c. Biotas. Explorador de especies de México. Biodiversidad Mexicana. *Dussia mexicana*. Recuperado de:<
<http://bios.conabio.gob.mx/especies/6051572>>.
- CONABIO. Comisión Nacional para Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad. 2015d. Biotas. Explorador de especies de México. Biodiversidad Mexicana. *Lysiloma latisiliquum*. Recuperado de:<
<http://bios.conabio.gob.mx/especies/6036037>>.
- Conde A. A. C. 2006. Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: descripción de un estudio de caso (los retos en las investigaciones actuales). En: Urbina, S. J. & J. Martínez F. Más allá del cambio climático. Las dimensiones psicosociales del cambio ambiental global. SEMARNAT. INE. UNAM. Fac. de Psicología. 157-172 pp.
- Cué B. E. M., Villaseñor J. L., Arredondo A. L., Cornejo T. G. & G. Ibarra M. 2006. La flora arbórea de Michoacán, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 78:47-81.
- Cuervo R. A. P., Téllez V. O., Gómez - A. M. A., Venegas B. C. S., Manjarrez J. & E. Martínez M. 2013. An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. International Journal of Climatology. Doi: 10.1002/joc.3848.
- De la Paz Pérez O. C., Vélez J. S., Serrano G. A. & B. Rochin G. 2002. La madera de las guitarras de Paracho, Michoacán. Contactos. 44:45-53.

- Del Aguilar A. M. 2006. Consecuencias del Cambio Climático sobre la flora y la vegetación canaria. En: El cambio climático en Canarias. Ciclo de conferencias. Academia Canaria de Ciencias.
- Dominguez D. O., Martínez M. E., Zambrano L & G. Pérez P. de L. 2006. Using ecological – niche modeling as a conservation tool for freshwater species: live – bearing fishes in Central Mexico. *Conservation Biology*. 20(6):1730-1739.
- Dzib C. B., Chanatásig V. C. & N. A. González V. 2014. Estructura y composición en dos comunidades arbóreas de la selva baja caducifolia y mediana subcaducifolia en Campeche, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85:167-178.
- Estrada Ch. A., Rodríguez G. A. & J. Sánchez G. 2005. Evaluación y categorización del estado de conservación de plantas en Costa Rica. Museo Nacional de Costa Rica. Instituto Nacional de Biodiversidad. Sistema Nacional de Áreas de Conservación. 229 p.
- Feeley K. J. 2012. Distributional migrations, expansions, and contractions of tropical plant species as revealed in dated herbarium records. *Global Change Biology*. 18: 1335-1341. Doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02602.x.
- García de la Cruz Y., Ramos P. J. M. & J. Becerra Z. 2011. Semillas forestales nativas para la restauración ecológica. *CONABIO. Biodiversitas*. 94:12-15.
- Garza L. M., Ortega R. J. M., Zamudio S. F. J., López T. J. F., Domínguez A. F. A. & C. Sáenz R. 2016. Calakmul como refugio de *Swietenia macrophylla* King ante el cambio climático. *Botanical Sciences*. 94(1):43-50.
- Gaubert P., Papes M. & A. T. Peterson. 2006. Natural history collections and the conservation of poorly known taxa: Ecological niche modeling in central African rainforest genets (*Genetta* spp). *Biological Conservation*. 130:106-117.
- Gilman E. F., Duryea M. L., Kampf E., Partin T. J., Delgado A. & C. J. Lehtola. 2006. Evaluación del daño y restauración de los árboles después de un huracán. Programa de restauración del bosque urbano afectado por huracanes. University of Florida. 16 p.

- GDF. Gobierno del Distrito Federal. 2000. Manual técnico para la poda, derribo y trasplante de árboles y arbustos de la Ciudad de México. Gobierno del Distrito Federal, Banco Interamericano de Desarrollo y Secretaría del Medio Ambiente. México. 166 p.
- Gómez V. L. E. 2004. Reseña de “Las selvas tropicales húmedas de México. Recurso poderoso, pero vulnerable” de A. Estrada y R. Coate E. *Ciencia UANL*. 7(3):406-408.
- Gómez D. J. D., Monterroso R. A. I., Tinoco R. J. A. & M. L. Toledo M. 2011. Assessing current and potential patterns of 16 forest species driven by climate change scenarios in México. *Atmósfera*. 24(1):31-52.
- Gómez R. M. L. & J. L. Toro, M. 2007. Manejo de las semillas y la propagación de diez especies forestales del bosque húmedo tropical. Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia. *Corantioquia. Boletín Técnico Biodiversidad*. Medellín. 2:71 pp.
- González M. F. 2004. Las comunidades vegetales de México. SEMARNAT e INE. Pp. 9-82.
- Guevara S., Meave J., Moreno C. P., Laborde J. & S. Castillo. 1994. Vegetación y flora de potreros en la Sierra de los Tuxtlas, México. *Acta Botánica Mexicana*. 28:1-27.
- Guisan A., Graham C. H., Elith J., Huettmann F. & the NCEASS Species Distribution Modelling Group. 2007. Sensitivity of predictive species distribution models to change in grain size. *Diversity and Distributions*. 13:332-340.
- Gutierrez E. & I. Trejo. 2014. Effect of climatic change on the potential distribution of five of temperate forest trees in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85:179-188.
- Gutiérrez J. M. & M. R. Pons. 2006. Modelización numérica del cambio climático: bases científicas, incertidumbres y proyecciones para la Península Ibérica. *Revista de Cuaternario y Geomorfología*. 20(3-4):15-28.

- Hayden W. J. 2011a. *Platymiscium yucatanum*. Fotografía digital. Flora of Kaxil Kiuic. Helen Moyers Biocultural Reserve. Yucatán, México. Recuperado de: <http://chalk.richmond.edu/flora-kaxil-kiuic/p/platymiscium_yucatanum.html>.
- Hayden W. J. 2011b. *Lysiloma latisiliquum*. Fotografía digital. Flora of Kaxil Kiuic. Helen Moyers Biocultural Reserve. Yucatán, México. Recuperado de: <http://chalk.richmond.edu/flora-kaxil-kiuic/l/lysiloma_latisiliquum.html>
- Hernández C. G. 2011. Diseño de ARC Macro Language (AML) para ArcInfo 9.0. Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa.
- Hijmans R. J., Cameron S. E., Parra J. L., Jones P. G. & A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 25: 1965-1978.
- Hirzel A. H. & G. Le Lay. 2008. Habitat suitability modelling and niche theory. *J Appl Ecol*. 45(5):1372–1381.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2013. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie V. 2da. Edición. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, México. Recuperado de: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/usv250s5ugw.xml?_http_cache=yesand_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html_xsland_indent=no>
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Instituto Nacional de Ecología (INE). 2008. Ecorregiones Terrestres de México. Escala 1:1000000. México.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2015. Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación. Escala 1:250,000. Serie V. México. 200 pp.
- IPCC. 2000. Informe Especial del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. Resumen para responsables de políticas. ISBN: 92-9169-413-4. 27 pp.

- IPCC. 2013. Cambio Climático: Bases Físicas. Guía resumida del quinto informe de evaluación del IPCC. Grupo de Trabajo 1. España. 47 p.
- IPCC. 2016. Intergovernmental Panel of Climate Change. Fifth Assessment Report. (AR5). Recuperado de: < <http://www.ipcc.ch/>>.
- Klepac D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. 2da. Ed. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 297 p.
- Koyoc R. L. G., Mendoza V. J., Pérez J. J. C. & N. Torrescano V. 2015. Efectos de la perturbación antrópica en Petenes de selva en Campeche, México. Acta Botánica Mexicana. 110:89-103.
- Lobo J. 2000 ¿Es posible predecir la distribución geográfica de las especies basándonos en variables ambientales? En: Hacia un proyecto CYTED para el inventario y estimación de la Diversidad Entomológica en Iberoamérica: PrIBES-2000. Piera, M. F., Morrone, J.J. & A. Melic (Eds.) Monografías Tercer Milenio. 1:55-68.
- Lozano G. M. S. & S. Sosa N. 2011. Dinámica de la vegetación en la cuenca de México durante el último ciclo glacial/interglacial. En: Caballero, M & B. Ortega. Escenarios de cambio climático: Registros del Cuaternario en América Latina I. UNAM. Instituto de Geofísica. México.
- Magaña R. V. O. 2004. El cambio climático global: comprender el problema. En: Martínez, J., A. Fernández B. (Comp.). Cambio climático: una visión desde México. 17-28 pp.
- Magaña R. V. O. 2006. El Cambio climático global, ¿Qué significa? En: Urbina S. J. & J. Martínez F. Más allá del cambio climático. Las dimensiones psicosociales del cambio ambiental global. SEMARNAT. INE. UNAM. Fac. de Psicología. 79-88 pp.
- Martínez C. J. L. & E. Martínez P. C. 1996. Características de maquinado de 32 especies de madera. Madera y Bosques. 2(1):45-61.
- Martínez M., E., Peterson A. T. & W. W. Hargroves. 2004. Ecological niches as stable distributional constraints on mammal species, with implications for Pleistocene

- extinctions and climate change projections for biodiversity. *Global Ecology and Biogeography*. 13:305-314.
- Martínez M., E., Sosa E., J. E. & F. Álvarez. 2014. El estudio de la biodiversidad en México: ¿una ruta con dirección? *Revista Mexicana de Biodiversidad*. DOI: 10.7550/rmb.43248.
- Martínez M., E., Townsend P. A., Servín J. I. & L. F. Kiff. 2006. Ecological niche modelling and prioritizing areas for species reintroductions. *Oryx*. 40(4):411-418.
- Martínez M. L. & C. Ballesteros B. 2015a. Análisis de la información Mastofaunística en Reservas de la Biosfera en México. Memorias del V Congreso Mexicano de Ecología. Fronteras de la Ecología en un Mundo Globalizado. Sociedad Científica Mexicana de Ecología. San Luis Potosí, México. ID:971.
- Martínez M. L. & C. Ballesteros B. 2015b. Evaluación de la calidad de la información contenida en las bases de datos de colecciones científicas en líneas del Orden Cingulata. Memorias del XXII Congreso Nacional de Zoología. Sociedad Mexicana de Zoología, A.C. Mazunte, Oaxaca, México.
- Martínez M. N., Aguirre P. E., Eguiarte L. E. & J. P. Jaramillo C. 2016. Modelado de nicho ecológico de las especies del género *Abies* (Pinaceae) en México: Algunas implicaciones taxonómicas y para la conservación. *Botanical Sciences*. 94(1):5-24.
- Mendoza A. G. E., Navarro M. A., Ochoa G. S. & H. Van der Wal. 2011. Arquitectura arbórea y desarrollo del bosque de *Guaiaacum sanctum* L. en Balam-Kin, Campeche, México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 17(2):215-224.
- Monterroso R. A., Fernández E. A., Trejo V. R. I., Conde A. A. C., Escandón C. J., Villers R. L. & C. Gay G. 2014. Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera. Programa de Investigación en Cambio Climático Universidad Nacional Autónoma de México. 644 p.

- Monterrubio R. T., Villaseñor G. L. E., Marín T. Ma. C., López C. E. A., Fabian T. B. & V. Sorani D. 2007. Distribución histórica y actual del loro cabeza amarilla (*Amazonia oratrix*) en la costa central del Pacífico Mexicano: ventajas y limitaciones en el uso de GARP en especies bajo fuerte presión de tráfico. *Ornitología Neotropical*. 18:263-276.
- Naturalista. 2011a. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. *Castilla elastica*. Recuperado de:<
<http://naturalista.conabio.gob.mx/taxa/202573-Castilla-elastica>>.
- Navarro S. A. G., Peterson A. T., Nakazawa U. Y. J & I. Liebing F. 2003. Colecciones biológicas, modelaje de nichos ecológicos y los estudios de la biodiversidad. En: Morrone, J. J. & J. Llorente B. Una perspectiva latinoamericana de la Biogeografía. Las prensas de ciencias. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 115-122 pp.
- Negreros C. P. & I. Martínez S. 2011. Crecimiento y regeneración avanzada de *Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth. en una selva de Quintana Roo. *Rev. Mex. Cien. For.* 2(5):15-28.
- Negreros C. P., Cámara C. L., Devall M. S, Fajvan M.A., Mendoza B. M. A., Mize, C. W. & A. Navarro M. 2014. Guía para la silvicultura de las selvas de la caoba en Quintana Roo. CFAN. CONAFOR. México. 76 p.
- Padilla V. E., Cuevas G. R., Ibarra M. G. & S. Moreno G. 2006. Riqueza y biogeografía de la flora arbórea del estado de Colima, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 77:271-295.
- Parmesan, C. 1996. Climate and species' range. *Nature*. 382:765-766.
- Parmesan C., Nils R., Stefanescu C., Hill J.K., Thomas D., Descimon H., Huntley B., Kaila L., Kullberg J., Tammaru T., Tennent W. J., Thomas J. A. & M. Warren. 1999. Polewards shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature*. 399:579-583.
- Pavón N & O. Briones. 2011. El efecto del niño en ecosistemas semiáridos: un estudio de caso sobre fenología de arbustos en el centro-sur de México. En: Sánchez G., Ballesteros C. & N. Pavón (Eds.). *Cambio Climático*.

- Aproximaciones para el estudio de su efecto en la biodiversidad. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México. 49-58 pp.
- Pennington T. & J. Sarukhán. 2005. Árboles tropicales de México. Manual para identificación de las principales especies. 3er. Ed. Fondo de cultura económica. UNAM. México. 523 p.
- Peñuelas J., Sabaté S., Filella I. & C. Gracia. 2004. Efectos del cambio climático sobre los ecosistemas terrestres: observación, experimentación y simulación. En: Valladares F. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio de medio Ambiente. Madrid. 425-460 pp.
- Phillips S. J., Anderson R. P. and R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190:231-259.
- Plantabosques. 2010. *Castilla elastica*. Recuperado de: <<http://guiadelplantabosques.blogspot.mx/2010/08/el-arbol-del-hule.html>>.
- PNUD. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo México. 2012. Catálogo de Maderas Tropicales de México. Biodiversidad en Bosques de Producción y Mercados Certificados. Proyecto: Biodiversidad en Bosques de Producción y Mercados Certificados. PUND. GEF. CONAFOR. Rainforest Alliance.
- Richter H. G., Silva G. J. A., Fuentes T. J. F., Rodríguez A. R. & P. A. Torres A. 2012. Fichas de Propiedades Tecnológicas de las Maderas. Proyecto ITTO PD 385/05. Rev. 4 (I,F.). Industrialización, Comercialización y Desarrollo Sostenible de Diez Especies de Maderas Nativas Mexicanas. ITTO. Universidad de Guadalajara. CONAFOR.
- Rodríguez R. R. M., Torres A. Y. & E. Furrázola G. 2014. Micorrizas arbusculares asociadas a Júcaro de ciénaga (*Bucida palustris*) y Soplillo (*Lysiloma latisiliquum*) en la Reserva de la Biosfera Ciénaga de Zapata, Cuba. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*. 45(2):86-93.
- Rodríguez V. J., Sinaca C. P. & G. J. García. 2009. Frutos y semillas de árboles tropicales de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 123 pp.

- Rzedowski J. 1990. Vegetación potencial. IV.8.2. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía. UNAM. México.
- Sáenz R. C., Rehfeldt G. E., Crookston N. L., Duval P. & J. Beaulieu. 2009. Estimaciones de cambio climático para Michoacán. Implicaciones para el sector agropecuario y forestal y para la conservación de la Mariposa Monarca. Cuadernos de Divulgación Científica y Tecnológica del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Michoacán. C + Tec. Innovación es solución a mi alcance. Serie 3. Núm. 28. 22 pp.
- Sáenz R. C., Rehfeldt N. G., Crookston N. L., Duval P., St-Amant R., Beaulieu J. & B. A. Richardson. 2010. Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. *Climate Change*. 102:595-623.
- Sáenz R. C., Rehfeldt G. E., Duval P. & R. A. Lindig C. 2012. *Abies religiosa* habitat prediction in climatic change scenarios and implications for monarch butterfly conservation in México. *Forest Ecology and Management*. 275:98-106.
- Sánchez – Cordero V., Illoldi R. P., Linaje M., Sarkar S. & A. T. Peterson. 2005. Deforestation and extant distributions of Mexican endemic mammals. *Biological Conservation*. 126:465-473.
- Sánchez – Cordero V., Peterson A. T. & P. Escalante P. 2001. El modelado de la distribución de especies y la conservación de la diversidad biológica. En: Hernández H. M., García A. A. N., Álvarez F. & M. Ulloa (Comps.). Enfoques contemporáneos para el estudio de la biodiversidad. Instituto de Biología. UNAM. México. 359-379 pp.
- SIRE. (s.f.) Sistema de Información para la reforestación. Paquetes Tecnológicos. *Platymiscium yucatanum*. CONABIO. CONAFOR.
- Soberón J. & A. T. Peterson. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*. 2:1-10.
- StatSoft. 2010. Statistica 9.1. StatSoft Inc. Tulsa, OK, USA.

- Stockwell D. R. B. & D. Peters. 1999. The GARP modelling system: Problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographic Information Systems* 13:143-158.
- Stockwell D. R. B. & I. R. Noble. 1992. Induction of sets of rules from animal distribution data: a robust and informative method of data analysis. *Mathematic and computers in simulation* 33:385-390.
- Téllez V. O. 2011. Generación de coberturas ambientales presentes y futuras a través de la interpolación de datos climáticos. Unidad de Biología, Tecnología y Prototipos. Facultad de Estudios Superiores unidad Iztacala.
- Téllez V. O., Chávez H. Y. M., Gómez - Tagle Ch. A. & M. V. Gutiérrez G. 2004. Modelado bioclimático como herramienta para el manejo forestal: Estudio de cuatro especies de *Pinus*. *Rev. Ciencia Forestal en México*. 29(95):61-82.
- Téllez V. O., Hutchinson M. A., Nix H. A. & P. Jones. 2011. Desarrollo de coberturas digitales climáticas para México. En: Sánchez R. G., Ballesteros B. C. & N. P. Pavón. Cambio climático: aproximaciones para el estudio de su efecto sobre la biodiversidad. Universidad Autónoma de Hidalgo. México. 15-25 pp.
- Trejo I., Martínez - Meyer, E. Calixto - Pérez, S. Sánchez - Colón, R. Vázquez de La Torre & L. Villers - Ruiz. 2011. Analysis of the effects of climate change on plant communities and mammals in Mexico. *Atmósfera*. 24 (1): 1-14.
- Thuiller W., Albert C., Araújo M. B., Berry P. M., Cabeza M., Guisan A., Hickler T., Midgley G. F., Patero J., Schurr F. M., Sykes M. T & N. E. Zimmermann. 2008. Predicting global change impacts on plant species' distributions: Future challenges. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. 9:137-152.
- Toledo V., Batis A., Becerra R., Martínez E. & C. Ramos. 1995. La selva útil: etnobotánica cuantitativa de los grupos indígenas del trópico húmedo de México. *Interciencia*. 20(4):177-187.
- Trejo I., Martínez E., Calixto E., Sánchez S., Vázquez R. & L. Villers. 2011. Analysis of the effects of climate change on plant communities and mammals in Mexico. *Atmósfera*. 24(1):1-14.

- Vallejo M. M., Domínguez C. A. & R. Dirzo. 2006. Simulated seed predation reveals a variety of germination responses of neotropical rain forest species. *American Journal of Botany*. 93(3):369-376.
- Vaylón Ch. L. I. 2008. *Castilla elastica*. Fotografía digital. En: Uso y distribución de *Castilla elastica* (Hule) en Zozocolco de Guerrero, Veracruz (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ciencias, UNAM. México. 102 pp.
- Vaylón Ch. L. I. 2012. Uso y distribución de *Castilla elastica* (Hule) en Zozocolco de Guerrero, Veracruz (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ciencias, UNAM. México. 102 pp.
- Velva E. R. 1963. The Genus *Dussia* (Leguminosae). *Contributions from the United States National Herbarium*. 32(4):1-31.
- Vester H. F. M. & A. Navarro M. 2007. Fichas ecológicas de árboles maderables de Quintana Roo. Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica. CONACyT. Gobierno del Estado de Quintana Roo. México. 136 pp.
- Villaseñor J. L. & G. Ibarra M. 1998. La riqueza arbórea de México. *Boletín del IBUG*. 5(1-3):95-105.
- Villaseñor J.L., Ortiz E., Alvarado L., Mora M. & G. Segura. 2013. La flora arbórea de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto JE012. México, D.F.
- Villers L. & I. Trejo. 2000. El cambio climático y la vegetación en México. En: Gay, G. C. (Comp.). México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. INE. UNAM. US Country Studies Program. Pp. 57-72.
- Villers L. & I. Trejo. 2004. Evaluación de la vulnerabilidad en los ecosistemas forestales. En: En: Martínez, J., A. Fernández B. (Comp.). Cambio climático: una visión desde México. 239-254 pp.
- Zizumbo V. D., Colunga G. M. P., May P. F., Martínez C. J. & J. O. Mijangos C. 2011. Recursos fito-genéticos para la alimentación y la agricultura. En: Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. Parte 3. Uso de la biodiversidad. Capítulo 7. Uso de la flora y fauna silvestre. 334-339 pp.

CAPÍTULO II

Composición actual y futura de las especies arbóreas bajo condiciones de cambio climático, en las selvas tropicales de las áreas naturales protegidas de México.

INTRODUCCIÓN

Las áreas naturales protegidas (ANP) son las zonas del territorio nacional (regiones acuáticas, costeras o terrestres) en las que los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano. Actualmente son la estrategia más importante para la protección, preservación, conservación integral del patrimonio biológico (incluyendo procesos evolutivos y ecológicos) y de los servicios ambientales que estas prestan a su población (provisión, regulación y cultural) (Bezaury, 2004; LGEEPA, 2012).

Existen 177 ANP federales decretadas que equivalen a 25 628 239 ha del territorio nacional. Se dividen legalmente de acuerdo a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) en 6 categorías: Reservas de la biosfera, Parques nacionales, Monumentos naturales, Áreas de protección de recursos naturales, áreas de protección de flora y fauna y santuarios. Donde los parques nacionales son los que presentan la mayor cantidad con 66 decretos, mientras que las Reservas de la biosfera abarcan la mayor extensión territorial con 12 751 149 ha (CONANP, 2015a; González *et al.*, 2014). Estas áreas se zonifican para ordenar el territorio en función del grado de conservación y representatividad de sus ecosistemas, vocación natural del terreno, uso actual y potencial, y se

subzonifican para establecerse en el programa de manejo respectivo con el fin de ordenar detalladamente las zonas núcleo (preservación de los ecosistemas a mediano y largo plazo) y de amortiguamiento (LGEEPA, 2012) donde se deberán especificar las actividades que se permitan y prohíban en cada una, así como, las limitaciones, condicionantes y modalidades de dichas actividades (CONANP, 2016).

Existen dos enfoques para estas áreas: 1) las políticas ambientales nacionales que dirigen sus esfuerzos por garantizar que estos decretos cumplan con su función y 2) las políticas de conservación, que se centran para fomentar, consolidar y aprovechar todos los esfuerzos desde individuales, colectivos (comunidades y/u organizaciones no gubernamentales), institucionales (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - SEMARNAT, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático – INECC y la Comisión Nacional para el uso y conocimiento de la Biodiversidad - CONABIO), empresas privadas y de los gobiernos estatales, en favor de la investigación en materia ambiental, para ampliar la extensión, cobertura y representatividad de los ecosistemas protegidos y consolidar el manejo de las áreas. (González *et al.*, 2014; Villalobos, 2000). Para las anteriores finalidades dentro de las ANP, se han incluido Programas de Conservación y Manejo, además de programas ambientales (posibilitando una obtención financiera mediante la conservación) como el “Programa de Pagos por Servicios Ambientales Hidrológicos (a partir de 2003) y el Programa para Desarrollar el Mercado de Servicios Ambientales por Captura de Carbono y los Derivados de la Biodiversidad y para Fomentar el Establecimiento y el

Mejoramiento de Sistemas Agroforestales (a partir de 2004) (Bezaury, 2004; Yáñez, 2007).

En lo referente a la protección de los diferentes tipos de vegetación natural del país dentro de alguna ANP, se reconocen (hasta el año 2009) 25 de los 52 identificados (*sensu* INEGI, 2005), donde la selva alta perennifolia, alta subperennifolia, mediana perennifolia, mediana subperennifolia, mediana caducifolia, mediana subcaducifolia, baja perennifolia, baja subperennifolia, baja caducifolia, baja subcaducifolia, baja espinosa subperennifolia y baja espinosa caducifolia, muestran algún tipo de representatividad. Particularmente, en el total nacional son la selva mediana perennifolia (44.1 %) y la selva alta subperennifolia (49.3 %), las mejores representadas y en el caso contrario lo están: la selva mediana subcaducifolia (3.5 %), selva baja caducifolia (3.4 %), selva baja espinosa caducifolia (2.9 %) y la selva mediana caducifolia (0.7 %) (Arriaga *et al.*, 2009).

Sin embargo, bajo los términos del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINAP), donde refiere a todas aquellas áreas que por su diversidad y características ecológicas sean consideradas de especial relevancia en el país y que no necesariamente incluye a todas las ANP federales, pero que tampoco excluye aquellas de interés estatal, municipal o particulares; la representatividad de estos tipos vegetativos selváticos, podría variar considerablemente, siendo la selva perennifolia y subperennifolia las de mayor superficie (10.43 %) y las selvas subcaducifolias, las menores (0.96 %) (Bezaury & Gutiérrez, 2009).

Pese a los valores de representatividad de estos ecosistemas en alguna categoría de protección, también se pone de manifiesto que presentan diferentes grados de afectación o perturbación, producidos por las diversas actividades humanas y que además, podrían presentar cambios en su biodiversidad producidos por el cambio climático (CONANP, 2014). Este último proceso, representa una alerta constante en el capital natural y humano del país, los modelos que permiten inferir sobre las posibles tendencias y que se encuentran basados en escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, predicen modificaciones importantes principalmente en el régimen hidrológico (variación en la precipitación) y en la temperatura (aumento). Tales manifestaciones tendrán un efecto en la biodiversidad, impactando en la actual distribución de las especies (a nivel regional y global) (Gómez *et al.*, 2008), produciendo cambios notables en la composición y estructura de las comunidades, además en la dinámica de los ecosistemas (Lorente *et al.*, 2004; Trejo *et al.*, 2007), lo que ocasionará en el futuro la formación de “nuevos ecosistemas” (Delgado & Suárez, 2009). Diversas investigaciones han reportado tales evidencias (como se vio en el *Capítulo I: “El cambio climático global y su efecto en la biodiversidad”*, del presente escrito), pero aún la incertidumbre acerca de cómo responderán los sistemas naturales y las especies se amplifica, sin embargo esto no puede ser una limitante para no realizar o posponer toda acción hasta tener pleno conocimiento científico a los impactos y las respuestas al cambio climático (CONANP, 2011).

Por lo anterior, es importante reconocer el valor intrínseco de las ANP, considerando a la conservación, manejo, restauración, creación y administración en éstas, como estrategias de adaptación al cambio climático (CONANP, 2015b). En la misma manera, la labor comunitaria de los diferentes sectores (social, científico y político) han contribuido en el desarrollo de leyes y/o estrategias que reconocen explícitamente su rol e incorporan los conceptos de: mitigación, protección, vulnerabilidad, sustentabilidad, conectividad y resiliencia, como acciones clave para estas áreas. Ejemplo de lo anterior, son la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) (CONANP, 2015b), la Ley General del Cambio Climático (LGCC, 2012), el Programa Especial de Cambio Climático (PECC, 2014) y los Programas de adaptación al cambio climático en las ANP. Éstos últimos se encuentran dirigidos y liderados por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), quienes han identificado estrategias de conservación para contribuir a mantener la resiliencia de las especies y ecosistemas (entre ellos se encuentran algunos tipos de selvas), como: 1) los complejos del *Caribe Mexicano* (incluye a la reserva de la biosfera de Sian Ka'an, reserva de la biosfera Arrecifes de Sian Ka'an, área de protección de flora y fauna Uaymil, reserva de la biosfera Banco Chinchorro y el parque nacional Arrecifes de Xcalak) (CONANP, 2011a), 2) la *Selva Maya* (reserva de la biosfera de Calakmul y el área de protección de flora y fauna Bala'an K'aax) (CONANP, 2011b), 3) la *Selva Zoque* (reserva de la biosfera Selva el Ocote) (CONANP, 2011c) y 4) la *Sierra y Costa de Chiapas* (reserva de la biosfera La Encrucijada, reserva de la biosfera La Sepultura, reserva de la biosfera El Triunfo y el área de protección de recursos naturales La Frailescana) (CONANP, 2011d). Donde

las estrategias de tales programas están activas bajo el principio precautorio, enfocadas a la diversidad faunística y botánica, bajo la mayor intención de mantener los ecosistemas (terrestres y acuáticos) y su conectividad ecológica entre los hábitats.

Particularmente los estudios realizados en las especies arbóreas y en las comunidades vegetales que conforman éstas dentro de las ANP, se muestran en términos de: monitoreo, estructura poblacional, fenología, silvicultura comunitaria, restauración arbórea, remoción de especies invasoras, reintroducción de especies nativas, desarrollo forestal sustentable, control de incendios, manejo de especies (principalmente a las adaptadas a sequias), conservación de polinizadores (CONANP, 2011 a, b, c & d) y como almacenadores de carbono para mitigar el cambio climático (Bezaury, 2004).

En tal situación, también se identifica que en ningún programa, estrategia o ley mencionada, así como en los programas forestales de las propias ANP, no consideran ni integran escenarios futuros climáticos para estimar la variación de la temperatura y precipitación dentro de las mismas, ni generan modelos de distribución potencial futura para alguna(s) especie(s) en particular y cuyo empleo de éstos, ha permitido demostrar que son herramientas útiles para estimar los cambios en la distribución de las éstas ante condiciones climáticas diferentes a las actuales (ver detalles en: “*Distribución geográfica potencial y modelado de nicho ecológico*” del Capítulo 1 de este escrito). Si estas herramientas o metodologías se consideran, permitirían inferir y/o analizar los cambios distribucionales en las especies y por ende

las modificaciones posibles en la composición de las comunidades y/o ecosistemas. Asimismo, la interpretación de los propios resultados complementaría las estrategias, propuestas y/o iniciativas de conservación de la biodiversidad dentro de las ANP, además de que podrían proporcionar la identificación de extensiones de área para las mismas, una recategorización o una nueva propuesta de zonificación (o subzonificación).

Existen algunas iniciativas bajo esta misma perspectiva y con el uso de las herramientas propuestas en este trabajo pero realizados en tipos de organismos no arbóreos, tales como los elaborados en especies de Cactáceas localizadas dentro de la reserva de la biosfera de Tehuacán – Cuicatlán (Téllez & Dávila, 2003); los analizados para el resguardo de especies del género *Ferocactus* que se encuentran en alguna categoría de riesgo de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010 y dentro de diferentes ANP (Ballesteros, 2015). En el mismo modo se reportan los estudios de esta misma índole para especies faunísticas, como en las aves endémicas y/o que se encuentran en alguna categoría de riesgo de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2001 y que habitan en áreas importantes para la conservación de aves (Calixto, 2005); también los realizados en especies de vertebrados endémicos de la Faja Transvolcánica Mexicana y el Altiplano Mexicano (Sánchez *et al.*, 2012); o los reportados para las especies amenazadas de la IUCN (por sus siglas en inglés, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) en Mesoamérica, Chocó y los Andes tropicales (Londoño & Sánchez, 2011). En este nivel de enfoque los trabajos mencionados infieren que tales observaciones permitirían realizar dentro de

las ANP: toma de decisiones para la conservación de las especies, evaluar el nivel de protección, plantear nuevas áreas prioritarias, establecer redes de conexión dentro de las ANP y disminuir la probabilidad de extinción poblacional regional. Sin embargo el análisis de estos trabajos se realiza en pocas especies, en una proyección al futuro y/o en alguna ANP en particular. Por lo anterior la relevancia del presente estudio radica en la contribución de un análisis en una mayor cantidad de especies, diferentes horizontes de tiempo, diversos escenarios climáticos, distintas ANP y cuyos alcances en términos de conservación y/o protección de la diversidad vegetal, podrían ser semejantes.

OBJETIVO

Identificar y analizar la composición arbórea actual y futura en cinco áreas naturales protegidas de México, bajo condiciones de cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Modelos de distribución de las especies

Se generaron modelos de distribución geográfica potencial actual y futura, bajo las condiciones de los escenarios A2 y B1 (Canadian Center for Climate Modeling and Analysis, of the third generation) (CGCM3, 2014) para los años 2060 y 2090 (resolución de 1 km²), para 92 especies de árboles característicos de las selvas

tropicales del país (Cuadro 1) (Pennington y Sarukhán, 2005). Se utilizó el Algoritmo Genético para Predicción de Conjuntos de Reglas (GARP; Anderson *et al.*, 2003; Stockwell & Peters, 1999), obteniendo mapas digitales que a través del uso de un SIG (Sistema de Información Geográfica) expresaron la presencia (valor = 1) y ausencia de la especie (valor = 0), en formato GRID (*ver detalles en el Capítulo I: “Materiales y Métodos” de este mismo escrito*).

Se utilizó el SIG de acceso libre y código abierto QGIS Dufour 2.0.1 para colocar valores nulos a los píxeles referentes a “No Data”, con la finalidad de tener exclusivamente valores iguales a 0 y 1. Además de transformar todos los modelos (actuales y futuros) a la misma extensión espacial del país, para lograr mantener una coincidencia precisa entre píxeles y realizar procedimientos para el manejo de la información.

Elección de Áreas Naturales Protegidas

Se eligieron ANP que tuvieran una amplia extensión (entre 300 000 a 750 000 ha) y que principalmente albergaran algún tipo de vegetación referente a selvas tropicales secas o húmedas. Bajo estas características se seleccionaron cinco reservas de la biosfera: Calakmul (ubicada en el estado de Campeche con 723 185 ha), Montes Azules (en Chiapas con 331 200 ha), Sian Ka’an (en Quintana Roo con 528 147 ha), Sierra Gorda (en Querétaro con 383 567 ha) y Tehuacán – Cuicatlán (en Puebla y Oaxaca con 490 186 ha). A través de las herramientas de procesamiento de QGIS Dufour 2.0.1, se colocaron los cinco polígonos en un mismo

archivo y con la misma extensión geográfica que los modelos de distribución potencial de las especies arbóreas para lograr una coincidencia entre cada píxel y poder realizar los procesamientos espaciales y matemáticos.

- Intersección con ANP

Se utilizó el software de SIG ArcView 3.2 y a través del script *Calcgridsinview* se sumaron todos los modelos de distribución potencial de los árboles actuales y futuros. Con el uso de las herramientas de la extensión *Grid Machine* se recortaron las sumatorias obtenidas de acuerdo a los polígonos de las ANP de interés, permitiendo identificar el acomodo geográfico de las especies dentro de cada una y el número de especies que se localizan en cada 1 km² (riqueza arbórea), tales variaciones en los diferentes tiempos futuros permiten identificar los cambios de riqueza y de composición vegetal.

- Extracción de valores de presencia

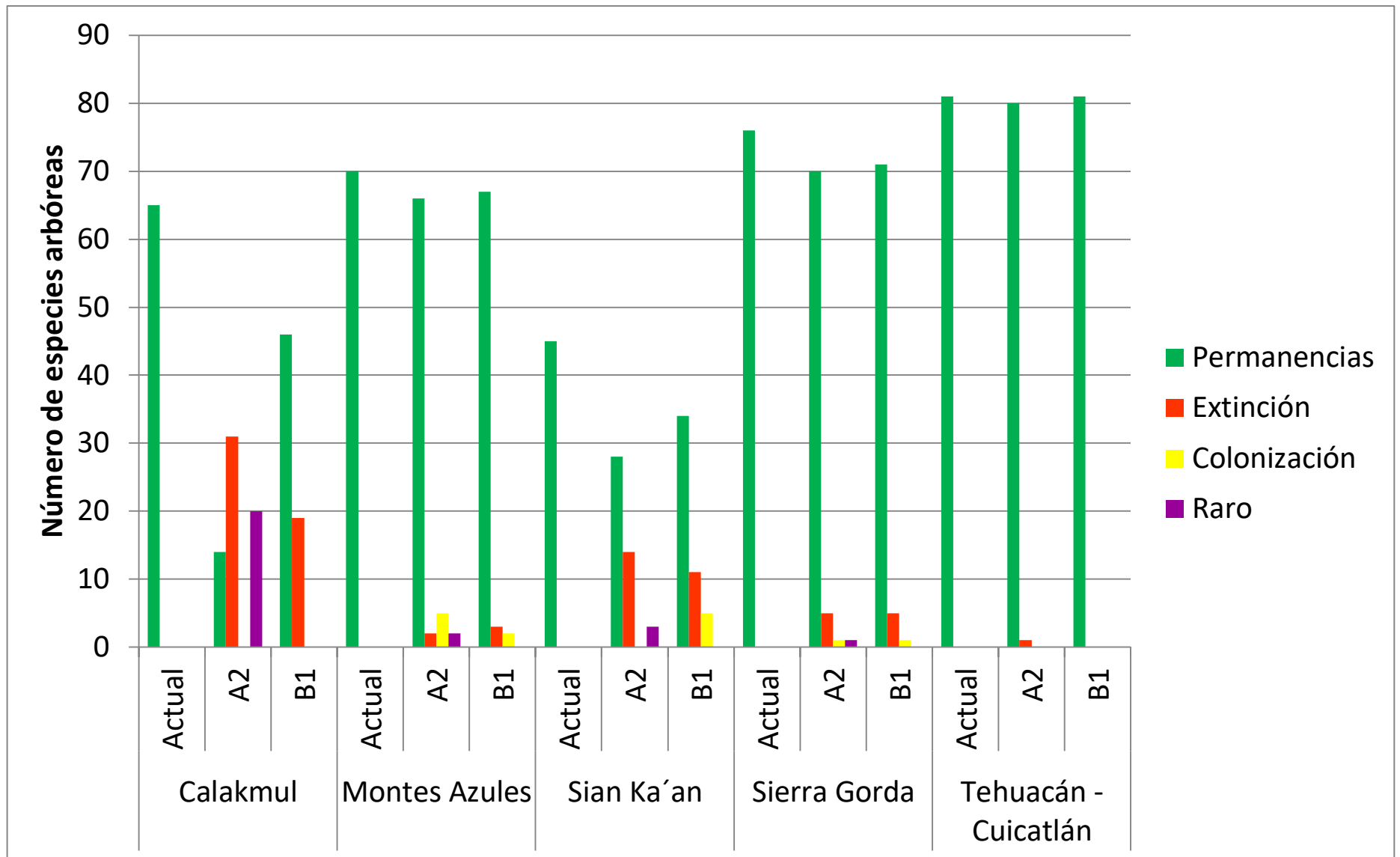
Se utilizó el software de SIG de acceso libre SAGA (2007; *System for Automated Geoscientific Analyses*) y con la herramienta *Grid Statistics for Polygons* se identificó el valor más alto del polígono de interés (ANP) a través de los valores de los píxeles (1 = presencia) que conforman a cada modelo de distribución potencial (actuales y futuros), lo que indicó que al menos un píxel de presencia de alguna(s) especie(s) arbórea(s) se localiza(n) dentro de ellos, obteniendo la identificación del número de especies que se encuentran o encontrarían potencialmente en cada ANP.

- Análisis de cambios de especies por ANP

Se analizaron los cambios posibles en la distribución de las especies en los cinco polígonos de ANP, bajo las condiciones climáticas futuras, a través de la identificación de las especies que: 1) permanecerían, 2) las que posiblemente presentarían una extinción local y 3) aquellas que actualmente no se encuentran pero que en futuro se podrían presentar (colonizaciones), donde tales cambios permitieron identificar los posibles recambios de especies.

RESULTADOS

Se identifican diversos cambios en el número de especies que conforman a las selvas de las cinco ANP analizadas para el futuro (escenario A2 y B1 para el 2060 y 2090) (**Gráf. 17**), lo que permite identificar cambios en la distribución de las especies y en la composición vegetal, principalmente en Calakmul y Sian Ka'an. A continuación se describen los cambios para cada ANP.



Gráf. 17 Cambios en las especies arbóreas para el futuro (escenario A2 y B1) para cinco Áreas Naturales Protegidas.



Reserva de la biosfera de Calakmul

Ubicación: Campeche.

Región CONANP: Península de Yucatán y Caribe Mexicano.

Superficie total: 723 185.12 ha.

Fecha de decreto: 23 de Mayo de 1989.

Tipos de Vegetación: Selva alta perennifolia y subperennifolia, mediana subperennifolia, baja subperennifolia inundable, baja subperennifolia, baja caducifolia y vegetación hidrófila (INE, 2000a).

Flora: Se estima que alberga alrededor de 1,600 especies de plantas vasculares y se presenta una alta proporción de endemismos (12.3 % de árboles). Algunos elementos arbóreos son: *Swietenia macrophylla* (Caoba), *Cedrela odorata* (Cedro), *Cordia dodecandra* (Ciricote), *Manilkara zapota* (Zapote), *Bursera simaruba* (Chacáh), *Brosimum alicastrum* (Ramón), *Alseis yucatanensis*, *Aspidosperma megalocarpum*, *Terminalia amazonia*, *Aspidosperma cruentum*, *Bucida buseras*, *Swartzia cubensis*, *Tabebuia rosea*, *Calophyllum brasiliense*, *Vitex gaumeri*, *Ceiba pentandra*, *Pouteria zapota*, *Castilla elastica*, *Lonchocarpus castilloi*, *Lonchocarpus cruentus*, *Platymiscium yucatanum*, *Cojoba arborea*, *Lysiloma latisiliquum*, *Metopium brownei*, *Dendropanax arboreus*, *Protium copal*, *Simarouba glauca* y *Crescentia cujete* (INE, 2000a).

Clima: Es cálido subhúmedo (Aw) con un claro gradiente de precipitación que va disminuyendo de sur a norte, lo cual le proporciona tres subtipos climáticos localizados: en la frontera de Guatemala $Aw_2(x^1)$, en la zona central (Aw_1) y el norte (Aw_0). Las lluvias se presentan en verano, con un promedio menor a 60 mm durante el mes más seco y con un porcentaje de lluvia invernal entre el 5 % y 10.2 %, y se distingue una amplia variación de precipitación en las diversas localidades (INE, 2000a).

Relieve: Forma parte de la planicie yucateca y del Petén, los lomeríos que presenta alcanzan elevaciones de 300 m s.n.m., y el área también muestra una estructura anticlinal en el sur de Campeche y se precipita al norte.

Análisis de los cambios en las especies: Calakmul es la Reserva de la Biosfera que presenta los cambios más pronunciados con respecto a las especies que actualmente se proyectan en el área y a las que en un futuro podrían persistir. Se identifican 65 especies presentes actualmente y de acuerdo a las condiciones climáticas bajo un escenario A2 para el año 2060, producirían una reducción de aprox. el 75 % del número de especies que alberga, permaneciendo menos del 25 % de su diversidad actual (**Cuadro 9**) como lo serían: *Acacia dolichostachya*, *Acacia farnesiana*, *Acacia pringlei*, *Alseis yucatanensis*, *Crescentia cujete*, *Jacquinia macrocarpa*, *Lysiloma latisiliquum*, *Metopium brownei*, *Melicoccus oliviformis*, *Piscidia piscipula*, *Platymiscium yucatanum*, *Swartzia cubensis*, *Simarouba glauca*, *Spondias purpurea* y *Vitex gaumeri* (**Cuadro 11**). Se identifican aprox. 31 especies que podrían

presentar extinción y 20 especies que se han clasificado como “raros” o “poco consistentes” (**Cuadro 10**).

Estas 20 especies clasificadas como casos “raros”, muestran una variación poco común en su distribución potencial que hace estimarlas presentes actualmente, en el año 2060 muestran una ausencia, pero para el 2090 se manifiestan nuevamente (**Cuadro 11**). Estas especies corresponden en su mayoría a selvas altas perennifolias, altas subperennifolias, medianas perennifolias y medianas subperennifolias. Ante tal situación, se podría inferir que estas posibles diferencias se deberían a las variaciones climáticas previstas al futuro, específicamente para la zona de la Península de Yucatán donde se han identificado posibles cambios en la precipitación que variará entre >10 % a <20 % (Orellana *et al.*, 2009), aunado a las propias desventajas metodológicas que se pueden presentar en la elaboración de Modelos de Nicho Ecológico para estimar Distribuciones Geográficas Potenciales (donde particularmente Desktop Garp tiende a sobreestimar la distribución de las especies).





En lo correspondiente a un escenario B1, la tendencia de disminución para el año 2060 persiste pero de manera menos abrupta que el escenario A2 y lograría permanecer el 70 % de especies arbóreas hasta el año 2090 (**Cuadro 9**). Específicamente las permanencias son mayores, las extinciones son menores pero refieren a elementos característicos de selvas altas perennifolias y medianas subperennifolias, mientras que las especies que podrían establecerse en el futuro

(colonizaciones) son ausentes (al menos para las especies analizadas) (**Cuadro 10 y 12**).

En el aspecto geográfico, la mayor riqueza arbórea actualmente se localiza en el sur del ANP, disminuyendo gradualmente hacia el norte (**Fig. 31**), relacionado a las propias características ambientales del área que también muestran una reducción en la cantidad de precipitación bajo esta misma dirección, y/o a las características topográficas del lugar que la localizan parcialmente en una cuenca interna, la cual puede influir en la humedad a través de las lluvias de las colinas circundantes y por los movimientos del aire causados por la temperatura (INE, 2000a). Las proyecciones futuras para ambos escenarios (**Fig. 32 y 33**) permiten diferenciar áreas de mayor riqueza y composición vegetal de forma diagonal en una dirección oriente – sur, cuyo incremento de especies permitiría revisar y estudiar las áreas colindantes correspondientes al estado de Quintana Roo, y en los países de Guatemala y Belice. Para el escenario A2 (**Fig. 32**), pese a la disminución del número de especies, se identifican los valores más elevados en el sureste del polígono, coincidiendo con las zonificaciones dedicadas para la Preservación y Conservación de los Recursos Naturales y al Aprovechamiento Intensivo, de acuerdo al Programa de Manejo de la ANP (INE, 2000a). En el escenario B1 (**Fig. 33**), la mayoría de las especies se muestran con desplazamientos y/o permanencias hacia el sureste, coincidiendo con las zonificaciones antes mencionadas, además a las correspondientes al Aprovechamiento Controlado y Usos Múltiples.

Proyecciones	Actual	A2_2060	A2_2090	B1_2060	B1_2090
Especies Presentes	65	15	34	64	46

Cuadro 9. Análisis de especies arbóreas presentes y futuras en la Reserva de la Biosfera de Calakmul.

Posibles cambios	Escenario A2	Escenario B1
	Número de especies	Número de especies
 Permanencias	14	46
 Extinción	31	19
 Colonización	0	0
 Raro	20	0

Cuadro 10. Cambios en las especies arbóreas para el futuro (escenario A2 y B1) en la Reserva de la Biosfera de Calakmul.

Especie/Proyección	Valor	Especie/Proyección	Valor	Especie/Proyección	Valor
A_dol_act	1	A_dol_a2_60	1	A_dol_a2_90	1
A_far_act	1	A_far_a2_60	1	A_far_a2_90	1
A_gra_act	1	A_gra_a2_60	0	A_gra_a2_90	1
A_hot_act	1	A_hot_a2_60	0	A_hot_a2_90	1
A_lat_act	1	A_lat_a2_60	0	A_lat_a2_90	0
A_pri_act	1	A_pri_a2_60	1	A_pri_a2_90	1
A_tib_act	1	A_tib_a2_60	0	A_tib_a2_90	0
A_yuc_act	1	A_yuc_a2_60	1	A_yuc_a2_90	1
B_ali_act	1	B_ali_a2_60	0	B_ali_a2_90	1
B_fla_act	1	B_fla_a2_60	0	B_fla_a2_90	0
C_aes_act	1	C_aes_a2_60	0	C_aes_a2_90	0
C_ali_act	1	C_ali_a2_60	0	C_ali_a2_90	1

C_ame_act	1	C_ame_a2_60	0	C_ame_a2_90	0
C_arb_act	1	C_arb_a2_60	0	C_arb_a2_90	0
C_bai_act	1	C_bai_a2_60	0	C_bai_a2_90	0
C_bra_act	1	C_bra_a2_60	0	C_bra_a2_90	0
C_can_act	1	C_can_a2_60	0	C_can_a2_90	0
C_cuj_act	1	C_cuj_a2_60	1	C_cuj_a2_90	0
C_dod_act	1	C_dod_a2_60	0	C_dod_a2_90	1
C_elas_act	1	C_elas_a60	0	C_elas_a90	0
C_gau_act	1	C_gau_a2_60	0	C_gau_a2_90	1
C_mex_act	1	C_mex_a2_60	0	C_mex_a2_90	1
C_odo_act	1	C_odo_a2_60	0	C_odo_a2_90	1
C_pen_act	1	C_pen_a2_60	0	C_pen_a2_90	1
C_pol_act	1	C_pol_a2_60	0	C_pol_a2_90	1
D_arb_act	1	D_arb_a2_60	0	D_arb_a2_90	1
D_dig_act	1	D_dig_a2_60	0	D_dig_a2_90	0
E_cyc_act	1	E_cyc_a2_60	0	E_cyc_a2_90	1
G_ano_act	1	G_ano_a2_60	0	G_ano_a2_90	0
G_gla_act	1	G_gla_a2_60	0	G_gla_a2_90	0
G_jat_act	1	G_jat_a2_60	0	G_jat_a2_90	1
G_sep_act	1	G_sep_a2_60	0	G_sep_a2_90	1
H_pol_act	1	H_pol_a2_60	0	H_pol_a2_90	1
J_mac_act	1	J_mac_a2_60	1	J_mac_a2_90	1
J_mex_act	1	J_mex_a2_60	0	J_mex_a2_90	0
L_aca_act	1	L_aca_a2_60	0	L_aca_a2_90	0
L_cap_act	1	L_cap_a2_60	0	L_cap_a2_90	0
L_cas_act	1	L_cas_a2_60	0	L_cas_a2_90	1

L_cru_act	1	L_cru_a2_60	0	L_cru_a2_90	0
L_lat_act	1	L_lat_a2_60	1	L_lat_a2_90	1
M_bal_act	1	M_bal_a2_60	0	M_bal_a2_90	0
M_bro_act	1	M_bro_a2_60	1	M_bro_a2_90	1
M_oli_act	1	M_oli_a2_60	1	M_oli_a2_90	1
P_bra_act	1	P_bra_a2_60	0	P_bra_a2_90	0
P_cop_act	1	P_cop_a2_60	0	P_cop_a2_90	1
P_dio_act	1	P_dio_a2_60	0	P_dio_a2_90	0
P_lin_act	1	P_lin_a2_60	0	P_lin_a2_90	0
P_oxy_act	1	P_oxy_a2_60	0	P_oxy_a2_90	0
P_pis_act	1	P_pis_a2_60	1	P_pis_a2_90	1
P_yuc_act	1	P_yuc_a2_60	1	P_yuc_a2_90	1
Q_fun_act	1	Q_fun_a2_60	0	Q_fun_a2_90	1
R_mir_act	1	R_mir_a2_60	0	R_mir_a2_90	0
S_cub_act	1	S_cub_a2_60	1	S_cub_a2_90	1
S_don_act	1	S_don_a2_60	0	S_don_a2_90	0
S_gla_act	1	S_gla_a2_60	1	S_gla_a2_90	1
S_mom_act	1	S_mom_a2_60	0	S_mom_a2_90	0
S_pur_act	1	S_pur_a2_60	1	S_pur_a2_90	1
S_sal_act	1	S_sal_a2_60	0	S_sal_a2_90	1
T_ama_act	1	T_ama_a2_60	0	T_ama_a2_90	0
T_ros_act	1	T_ros_a2_60	0	T_ros_a2_90	1
Ta_mex_act	1	Ta_mex_a2_60	0	Ta_mex_a2_90	0
V_gau_act	1	V_gau_a2_60	1	V_gau_a2_90	1
V_gua_act	1	V_gua_a2_60	0	V_gua_a2_90	0
V_lun_act	1	V_lun_a2_60	0	V_lun_a2_90	0

X_fru_act	1	X_fru_a2_60	0	X_fru_a2_90	0
-----------	---	-------------	---	-------------	---

Cuadro 11. Cambios en las especies arbóreas actuales (act) y para el futuro, bajo el escenario A2 para los años 2060 (a2_60) y 2090 (a2_90) en la Reserva de la Biosfera de Calakmul (el color verde indica las permanencias, el rojo las extinciones, el amarillo las colonizaciones y el azul los casos raros; el nombre de la especie se expresa por la primer letra del género, seguido de las tres primeras letras del epíteto específico).

Especie/Proyección	Valor	Especie/Proyección	Valor	Especie/Proyección	Valor
A_dol_act	1	A_dol_b1_60	1	A_dol_b1_90	1
A_far_act	1	A_far_b1_60	1	A_far_b1_90	1
A_gra_act	1	A_gra_b1_60	1	A_gra_b1_90	1
A_hot_act	1	A_hot_b1_60	1	A_hot_b1_90	1
A_lat_act	1	A_lat_b1_60	1	A_lat_b1_90	0
A_pri_act	1	A_pri_b1_60	1	A_pri_b1_90	1
A_tib_act	1	A_tib_b1_60	0	A_tib_b1_90	0
A_yuc_act	1	A_yuc_b1_60	1	A_yuc_b1_90	1
B_ali_act	1	B_ali_b1_60	1	B_ali_b1_90	1
B_fla_act	1	B_fla_b1_60	1	B_fla_b1_90	0
C_aes_act	1	C_aes_b1_60	1	C_aes_b1_90	0
C_ali_act	1	C_ali_b1_60	1	C_ali_b1_90	1
C_ame_act	1	C_ame_b1_60	1	C_ame_b1_90	0
C_arb_act	1	C_arb_b1_60	1	C_arb_b1_90	0
C_bai_act	1	C_bai_b1_60	1	C_bai_b1_90	1
C_bra_act	1	C_bra_b1_60	1	C_bra_b1_90	0
C_can_act	1	C_can_b1_60	1	C_can_b1_90	0
C_cuj_act	1	C_cuj_b1_60	1	C_cuj_b1_90	1
C_dod_act	1	C_dod_b1_60	1	C_dod_b1_90	1

C_elas_act	1	C_elas_b60	1	C_elas_b90	1
C_gau_act	1	C_gau_b1_60	1	C_gau_b1_90	1
C_mex_act	1	C_mex_b1_60	1	C_mex_b1_90	1
C_odo_act	1	C_odo_b1_60	1	C_odo_b1_90	1
C_pen_act	1	C_pen_b1_60	1	C_pen_b1_90	1
C_pol_act	1	C_pol_b1_60	1	C_pol_b1_90	1
D_arb_act	1	D_arb_b1_60	1	D_arb_b1_90	1
D_dig_act	1	D_dig_b1_60	1	D_dig_b1_90	1
E_cyc_act	1	E_cyc_b1_60	1	E_cyc_b1_90	1
G_ano_act	1	G_ano_b1_60	1	G_ano_b1_90	1
G_gla_act	1	G_gla_b1_60	1	G_gla_b1_90	1
G_jat_act	1	G_jat_b1_60	1	G_jat_b1_90	1
G_sep_act	1	G_sep_b1_60	1	G_sep_b1_90	1
H_pol_act	1	H_pol_b1_60	1	H_pol_b1_90	1
J_mac_act	1	J_mac_b1_60	1	J_mac_b1_90	1
J_mex_act	1	J_mex_b1_60	1	J_mex_b1_90	1
L_aca_act	1	L_aca_b1_60	1	L_aca_b1_90	1
L_cap_act	1	L_cap_b1_60	1	L_cap_b1_90	0
L_cas_act	1	L_cas_b1_60	1	L_cas_b1_90	1
L_cru_act	1	L_cru_b1_60	1	L_cru_b1_90	1
L_lat_act	1	L_lat_b1_60	1	L_lat_b1_90	1
M_bal_act	1	M_bal_b1_60	1	M_bal_b1_90	0
M_bro_act	1	M_bro_b1_60	1	M_bro_b1_90	1
M_oli_act	1	M_oli_b1_60	1	M_oli_b1_90	1
P_bra_act	1	P_bra_b1_60	1	P_bra_b1_90	1
P_cop_act	1	P_cop_b1_60	1	P_cop_b1_90	1

P_dio_act	1	P_dio_b1_60	1	P_dio_b1_90	1
P_lin_act	1	P_lin_b1_60	1	P_lin_b1_90	0
P_oxy_act	1	P_oxy_b1_60	1	P_oxy_b1_90	0
P_pis_act	1	P_pis_b1_60	1	P_pis_b1_90	1
P_yuc_act	1	P_yuc_b1_60	1	P_yuc_b1_90	1
Q_fun_act	1	Q_fun_b1_60	1	Q_fun_b1_90	1
R_mir_act	1	R_mir_b1_60	1	R_mir_b1_90	0
S_cub_act	1	S_cub_b1_60	1	S_cub_b1_90	1
S_don_act	1	S_don_b1_60	1	S_don_b1_90	0
S_gla_act	1	S_gla_b1_60	1	S_gla_b1_90	1
S_mom_act	1	S_mom_b1_60	1	S_mom_b1_90	1
S_pur_act	1	S_pur_b1_60	1	S_pur_b1_90	1
S_sal_act	1	S_sal_b1_60	1	S_sal_b1_90	1
T_ama_act	1	T_ama_b1_60	1	T_ama_b1_90	0
T_ros_act	1	T_ros_b1_60	1	T_ros_b1_90	1
Ta_mex_act	1	Ta_mex_b1_60	1	Ta_mex_b1_90	0
V_gau_act	1	V_gau_b1_60	1	V_gau_b1_90	1
V_gua_act	1	V_gua_b1_60	1	V_gua_b1_90	0
V_lun_act	1	V_lun_b1_60	1	V_lun_b1_90	0
X_fru_act	1	X_fru_b1_60	1	X_fru_b1_90	0

Cuadro 12 Cambios en las especies arbóreas actuales (act) y para el futuro, bajo el escenario B1 para los años 2060 (b1_60) y 2090 (b1_90) en la Reserva de la Biosfera de Calakmul (el color verde indica las permanencias, el rojo las extinciones, el amarillo las colonizaciones y el azul los casos raros; el nombre de la especie se expresa por la primer letra del género, seguido de las tres primeras letras del epíteto específico).

Proyección actual y para el futuro

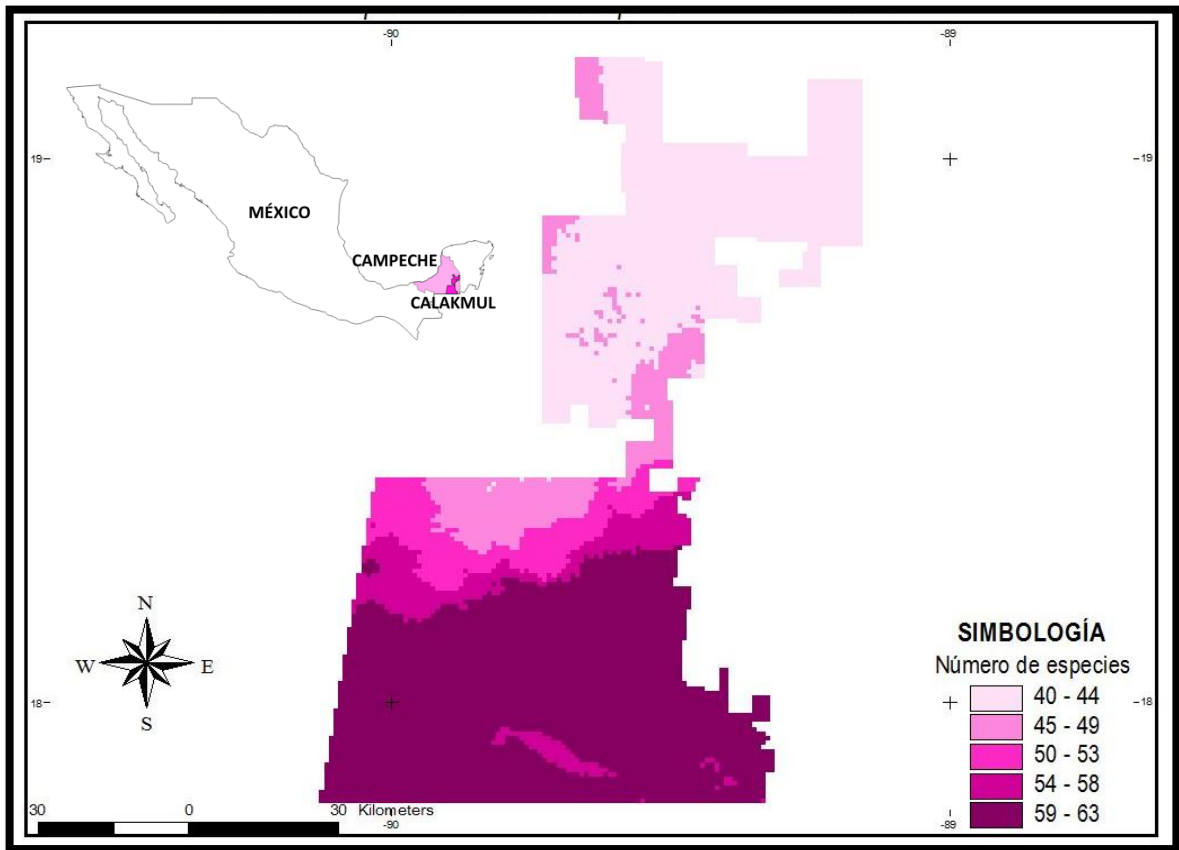


Fig. 31 Riqueza potencial actual de especies arbóreas en la Reserva de la Biosfera de Calakmul.

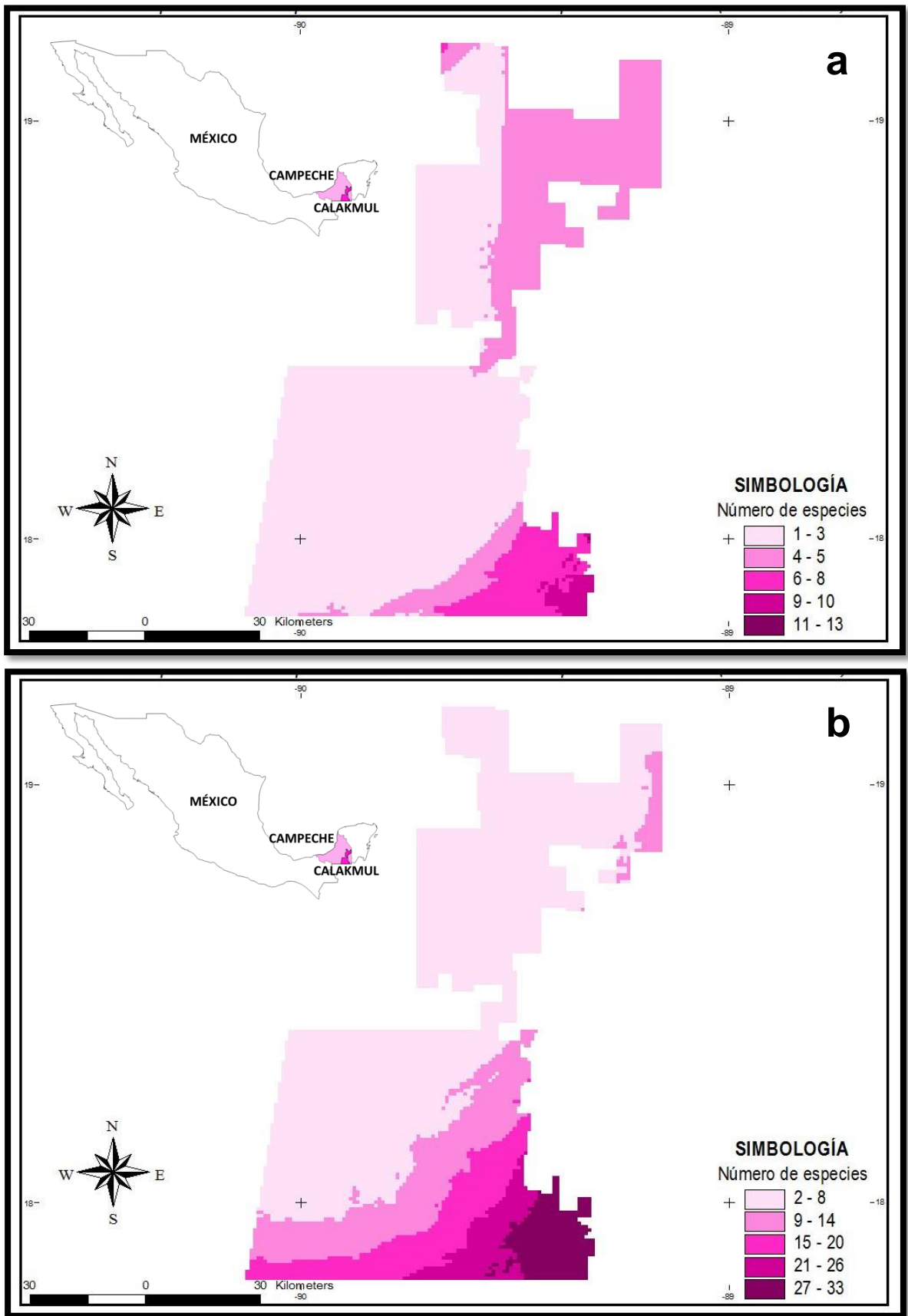


Fig. 32 Riqueza potencial de las especies arbóreas en la Reserva de la Biosfera de Calakmul, bajo un escenario A2, **a)** para el año 2060 y **b)** para el año 2090.

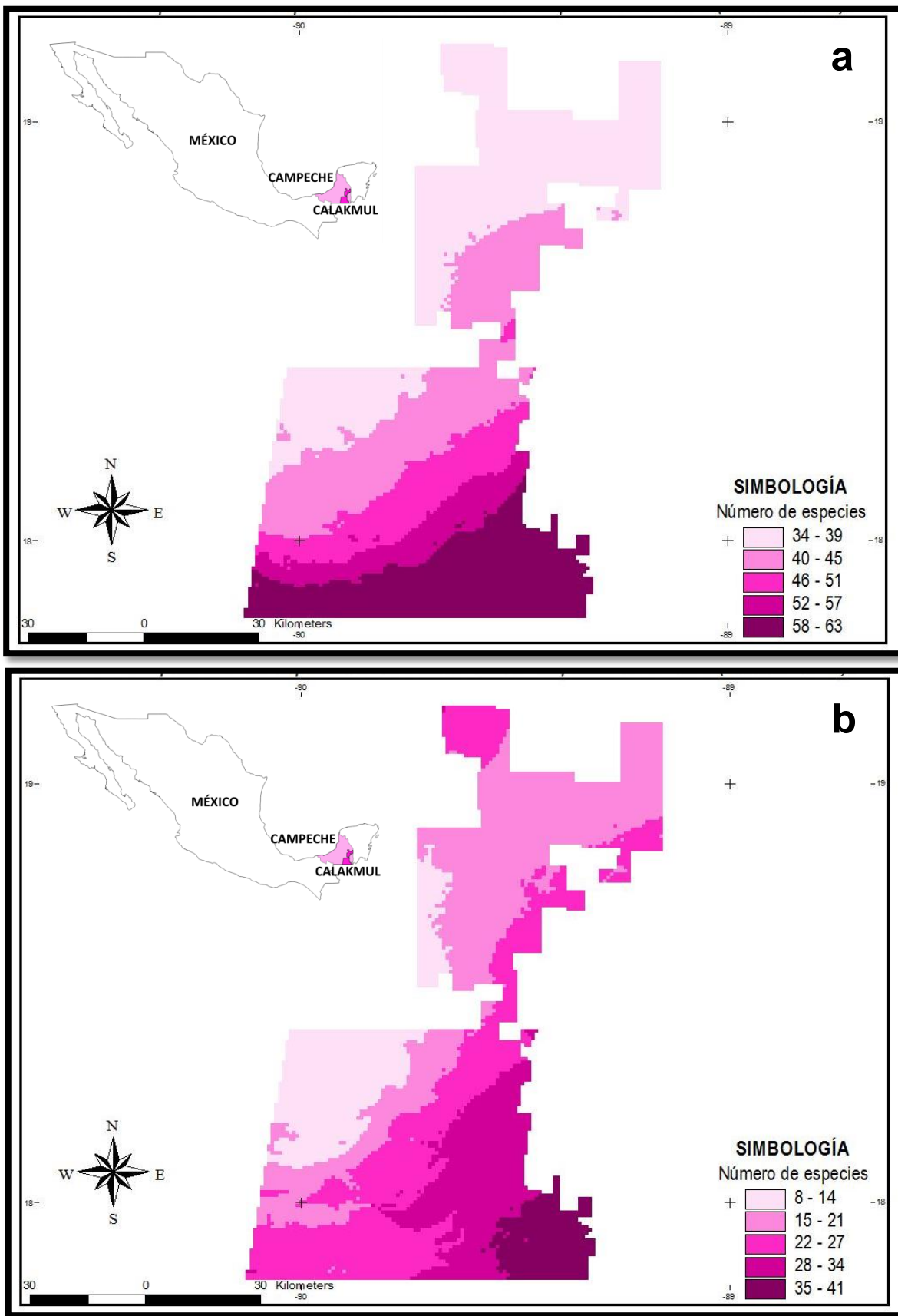


Fig. 33 Riqueza potencial de las especies arbóreas en la Reserva de la Biosfera de Calakmul, bajo un escenario B1, **a)** para el año 2060 y **b)** para el año 2090.



Reserva de la biosfera de Montes Azules

Ubicación: Chiapas.

Región CONANP: Frontera Sur, Istmo y Pacífico Sur.

Superficie total: 331,200.00 ha.

Fecha de decreto: 12 de Enero de 1978.

Tipos de Vegetación: Bosque de coníferas, Bosque de Pino-Encino, Bosque mesófilo de montaña, Bosque ripario, Pastizal, Selva alta perennifolia y mediana perennifolia y Vegetación hidrófila (INE, 2000b).

Flora: Están reportadas 3400 especies de plantas vasculares y escasos endemismos. Algunas especies de árboles representativas son: *Terminalia amazonia* (Canshán), *Dialium guianense* (Palo de lacandón), *Brosimum alicastrum* (Ramón), *Manilkara zapota* (Chicozapote), *Calophyllum brasiliense* (Bari), *Guatteria anomala* (Zopo), *Swietenia macrophylla* (Caoba), *Bursera simaruba* (Chaca), *Vatairea lundellii* (Amargoso), *Schizolobium parahyba* (Palo picho), *Aspidosperma megalocarpon* (Atzoyoc'che), *Pseudobombax ellipticum* (Clavellina), *Talauma mexicana* (Magnolia mexicana), *Tabebuia rosea* (Palo de rosa), *Diospyros digyna* (Zapote prieto), *Spondias mombin* (Jobo), *Dendropanax arboreus* (Hoja fresca), *Pinus maximinoi* (Pino canis), *Pinus pseudostrobus* (Pino ortiguillo), *Myrica cerifera* (Mirto de pantano), *Clusia flava* (Chuunup), *Quercus peduncularis* (Encino) y *Quercus segoviensis* (Encino) (INE, 2000b).

Climatología: El clima que predomina es cálido – húmedo. Estas condiciones están fuertemente determinadas por los vientos alisios (aportando el 80 % del agua que se precipita en el área) y por los contralisios. La temperatura presenta dos máximas en el año, la primera durante mayo y la segunda en agosto en plena época de lluvias. La disminución de la temperatura al aumentar la altitud varía desde 0.3°C por cada 100 m de altitud en el extremo noreste de las montañas del norte de Chiapas, hasta 0.9°C por cada 100 m de aumento en altitud en la parte central de las laderas de las mismas montañas, en general la temperatura media anual varía de 24 a 26°C en sentido sureste – noroeste. La cantidad de precipitación se ve afectada por el relieve accidentado de las montañas de Chiapas, donde a nivel regional se observa un gradiente creciente de precipitación de este a oeste, y se reporta una media anual de 2 226 mm (INE, 2000b).

Relieve: La reserva presenta variaciones altitudinales que van de los 200 msnm en el Río Lacantún y una altitud máxima de 1 500 msnm en la región norte de la Reserva, en la meseta del Ocotal. Su región hidrológica es una de las extensas del país, perteneciendo básicamente al sistema Grijalva – Usumacinta, donde los Ríos Lacantún, Jataté y Lacanjá son las fronteras naturales (INE, 2000b).

Análisis de los cambios en las especies: Montes azules es una de las Reservas de la Biosfera que podría mantener constantes los valores referentes a la presencia de las especies arbóreas, viéndose relativamente favorecida al incrementar hasta en un 4 % de especies nuevas en la ANP para el año 2090 (escenario A2) (**Cuadro 13**), en referencia a las 70 especies estimadas para el presente.

Las condiciones climáticas esperadas en un escenario A2 muestran incrementos en el número de especies arbóreas que podrían establecerse en ambos años (**Cuadro 13**). Se registran datos significativos de permanencias (92 % de presencia), se identifican cinco nuevas especies características de selvas medianas subcaducifolias y bajas caducifolias (*Acacia pringlei*, *Cordia dodecandra*, *Caesalpinia gaumeri*, *Jacaratia mexicana* y *Melicoccus oliviformis*) que podrían desplazarse (posibles colonizaciones) hacia la ANP, las extinciones (*Ceiba aescualifolia* y *Phyllostylon brasiliense*, especies de selvas bajas) y los casos referidos como “raros” o “poco consistentes” son escasos (*Omphalea oleifera* y *Poulsenia armata*, especies de selvas altas perennifolias) (**Cuadro 14 y 15**).

En un escenario B1 las condiciones que se estiman proyectan un incremento de dos especies para el año 2060, pero después se identifica una ligera disminución para el 2090 (**Cuadro 10**). De manera particular, más de 60 especies de árboles permanecerían dentro de la ANP y tres especies podrían presentar procesos de extinción (*Ceiba aescualifolia*, *Gyrocarpus jatrophifolius* y *Phyllostylon brasiliense*, propias de selvas medianas caducifolias y bajas caducifolias) o de colonización (*Cordia dodecandra* y *Jacaratia mexicana*, especies de selvas bajas caducifolias) (**Cuadro 14 y 16**).

Especialmente las especies arbóreas se distribuyen actualmente de manera homogénea en la mayoría del terreno, aunque se identifican 2 áreas: la primera localizada al suroeste representando la presencia de entre 55 a 63 especies

diferentes, y la segunda posicionada al occidente y noroeste albergando entre 64 a 70 especies (**Fig. 34**).

En el escenario A2 del año 2060 (**Fig. 35a**) se muestra una tendencia gradual sobre el acomodo de las especies que va del oriente al centro del ANP, logrando una variación mínima entre las diferentes categorías ejemplificadas (valor mínimo igual a 56 y valor máximo igual a 68), sólo que la mayor cantidad de árboles (> 65 especies) se muestran al occidente y noroeste del polígono, coincidiendo con las referidas en el Programa de Manejo de la ANP como áreas destinadas al Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Naturales y Uso Restringido (INE, 2000b). Para la proyección del 2090 se observa una distribución heterogénea (**Fig. 35b**), donde el gradiente referente a una menor cantidad de especies (alrededor de 40 especies) se sigue localizando en el centro y oriente pero de manera más reducida, mientras que la mayor cantidad se estiman en el sur y suroeste del ANP. Bajo un escenario B1 (**Fig. 36**), para ambos horizontes de tiempo, la mayor cantidad de especies (>60) se localizan al oeste y noroeste del ANP, correspondiendo también a las zonificaciones antes mencionadas. Se identifica que para el año 2090 (**Fig. 36b**) la mayor extensión del terreno podría presentar valores similares entre 56 a 59 especies de árboles.

Proyecciones	Actual	A2_2060	A2_2090	B1_2060	B1_2090
Especies Presentes	70	71	73	72	69

Cuadro 13. Análisis de especies arbóreas presentes y futuras en la Reserva de la Biosfera de Montes

Azules.

Posibles cambios	Escenario A2	Escenario B1
	Número de especies	Número de especies
Permanencias	66	67
Extinción	2	3
Colonización	5	2
Raro	2	0

Cuadro 14. Cambios en las especies arbóreas para el futuro (escenario A2 y B1) en la Reserva de la Biosfera de Montes Azules.

Especie/Proyección	Valor	Especie/Proyección	Valor	Especie/Proyección	Valor
A_far_act	1	A_far_a2_60	1	A_far_a2_90	1
A_gra_act	1	A_gra_a2_60	1	A_gra_a2_90	1
A_hot_act	1	A_hot_a2_60	1	A_hot_a2_90	1
A_lat_act	1	A_lat_a2_60	1	A_lat_a2_90	1
A_mon_act	1	A_mon_a2_60	1	A_mon_a2_90	1
A_pri_act	0	A_pri_a2_60	1	A_pri_a2_90	1
A_tib_act	1	A_tib_a2_60	1	A_tib_a2_90	1
A_yuc_act	1	A_yuc_a2_60	1	A_yuc_a2_90	1
B_ali_act	1	B_ali_a2_60	1	B_ali_a2_90	1
B_fla_act	1	B_fla_a2_60	1	B_fla_a2_90	1
C_aes_act	1	C_aes_a2_60	0	C_aes_a2_90	0
C_ali_act	1	C_ali_a2_60	1	C_ali_a2_90	1
C_ame_act	1	C_ame_a2_60	1	C_ame_a2_90	1
C_arb_act	1	C_arb_a2_60	1	C_arb_a2_90	1
C_bai_act	1	C_bai_a2_60	1	C_bai_a2_90	1
C_bra_act	1	C_bra_a2_60	1	C_bra_a2_90	1

C_can_act	1	C_can_a2_60	1	C_can_a2_90	1
C_cuj_act	1	C_cuj_a2_60	1	C_cuj_a2_90	1
C_dod_act	0	C_dod_a2_60	1	C_dod_a2_90	1
C_edu_act	1	C_edu_a2_60	1	C_edu_a2_90	1
C_elas_act	1	C_elas_a60	1	C_elas_a90	1
C_gau_act	0	C_gau_a2_60	1	C_gau_a2_90	1
C_mex_act	1	C_mex_a2_60	1	C_mex_a2_90	1
C_odo_act	1	C_odo_a2_60	1	C_odo_a2_90	1
C_pen_act	1	C_pen_a2_60	1	C_pen_a2_90	1
C_pol_act	1	C_pol_a2_60	1	C_pol_a2_90	1
D_arb_act	1	D_arb_a2_60	1	D_arb_a2_90	1
D_dig_act	1	D_dig_a2_60	1	D_dig_a2_90	1
D_mex_act	1	D_mex_a2_60	1	D_mex_a2_90	1
E_cyc_act	1	E_cyc_a2_60	1	E_cyc_a2_90	1
E_fol_act	1	E_fol_a2_60	1	E_fol_a2_90	1
G_ano_act	1	G_ano_a2_60	1	G_ano_a2_90	1
G_gla_act	1	G_gla_a2_60	1	G_gla_a2_90	1
G_jat_act	1	G_jat_a2_60	1	G_jat_a2_90	1
G_sep_act	1	G_sep_a2_60	1	G_sep_a2_90	1
H_nut_act	1	H_nut_a2_60	1	H_nut_a2_90	1
H_pol_act	1	H_pol_a2_60	1	H_pol_a2_90	1
J_mac_act	1	J_mac_a2_60	1	J_mac_a2_90	1
J_mex_act	0	J_mex_a2_60	1	J_mex_a2_90	1
L_aca_act	1	L_aca_a2_60	1	L_aca_a2_90	1
L_arb_act	1	L_arb_a2_60	1	L_arb_a2_90	1
L_cap_act	1	L_cap_a2_60	1	L_cap_a2_90	1

L_cas_act	1	L_cas_a2_60	1	L_cas_a2_90	1
L_cru_act	1	L_cru_a2_60	1	L_cru_a2_90	1
L_eri_act	1	L_eri_a2_60	1	L_eri_a2_90	1
L_lat_act	1	L_lat_a2_60	1	L_lat_a2_90	1
M_bal_act	1	M_bal_a2_60	1	M_bal_a2_90	1
M_bro_act	1	M_bro_a2_60	1	M_bro_a2_90	1
M_oli_act	0	M_oli_a2_60	1	M_oli_a2_90	1
O_ole_act	1	O_ole_a2_60	0	O_ole_a2_90	1
P_arm_act	1	P_arm_a2_60	0	P_arm_a2_90	1
P_bra_act	1	P_bra_a2_60	0	P_bra_a2_90	0
P_cop_act	1	P_cop_a2_60	1	P_cop_a2_90	1
P_dio_act	1	P_dio_a2_60	1	P_dio_a2_90	1
P_lin_act	1	P_lin_a2_60	1	P_lin_a2_90	1
P_oxy_act	1	P_oxy_a2_60	1	P_oxy_a2_90	1
P_pis_act	1	P_pis_a2_60	1	P_pis_a2_90	1
Q_fun_act	1	Q_fun_a2_60	1	Q_fun_a2_90	1
R_mir_act	1	R_mir_a2_60	1	R_mir_a2_90	1
S_ape_act	1	S_ape_a2_60	1	S_ape_a2_90	1
S_cub_act	1	S_cub_a2_60	1	S_cub_a2_90	1
S_don_act	1	S_don_a2_60	1	S_don_a2_90	1
S_gla_act	1	S_gla_a2_60	1	S_gla_a2_90	1
S_mom_act	1	S_mom_a2_60	1	S_mom_a2_90	1
S_mul_act	1	S_mul_a2_60	1	S_mul_a2_90	1
S_par_act	1	S_par_a2_60	1	S_par_a2_90	1
S_pur_act	1	S_pur_a2_60	1	S_pur_a2_90	1
S_sal_act	1	S_sal_a2_60	1	S_sal_a2_90	1

T_ama_act	1	T_ama_a2_60	1	T_ama_a2_90	1
T_ros_act	1	T_ros_a2_60	1	T_ros_a2_90	1
Ta_mex_act	1	Ta_mex_a2_60	1	Ta_mex_a2_90	1
V_gau_act	1	V_gau_a2_60	1	V_gau_a2_90	1
V_gua_act	1	V_gua_a2_60	1	V_gua_a2_90	1
V_lun_act	1	V_lun_a2_60	1	V_lun_a2_90	1
X_fru_act	1	X_fru_a2_60	1	X_fru_a2_90	1

Cuadro 15. Cambios en las especies arbóreas actuales (act) y para el futuro, bajo el escenario A2 para los años 2060 (a2_60) y 2090 (a2_90) en la Reserva de la Biosfera de Montes Azules (el color verde indica las permanencias, el rojo las extinciones, el amarillo las colonizaciones y el azul los casos raros; el nombre de la especie se expresa por la primer letra del género, seguido de las tres primeras letras del epíteto específico).

Especie/Proyección	Valor	Especie/Proyección	Valor	Especie/Proyección	Valor
A_far_act	1	A_far_b1_60	1	A_far_b1_90	1
A_gra_act	1	A_gra_b1_60	1	A_gra_b1_90	1
A_hot_act	1	A_hot_b1_60	1	A_hot_b1_90	1
A_lat_act	1	A_lat_b1_60	1	A_lat_b1_90	1
A_mon_act	1	A_mon_b1_60	1	A_mon_b1_90	1
A_tib_act	1	A_tib_b1_60	1	A_tib_b1_90	1
A_yuc_act	1	A_yuc_b1_60	1	A_yuc_b1_90	1
B_ali_act	1	B_ali_b1_60	1	B_ali_b1_90	1
B_fla_act	1	B_fla_b1_60	1	B_fla_b1_90	1
C_aes_act	1	C_aes_b1_60	1	C_aes_b1_90	0
C_ali_act	1	C_ali_b1_60	1	C_ali_b1_90	1
C_ame_act	1	C_ame_b1_60	1	C_ame_b1_90	1
C_arb_act	1	C_arb_b1_60	1	C_arb_b1_90	1

C_bai_act	1	C_bai_b1_60	1	C_bai_b1_90	1
C_bra_act	1	C_bra_b1_60	1	C_bra_b1_90	1
C_can_act	1	C_can_b1_60	1	C_can_b1_90	1
C_cuj_act	1	C_cuj_b1_60	1	C_cuj_b1_90	1
C_dod_act	0	C_dod_b1_60	1	C_dod_b1_90	1
C_edu_act	1	C_edu_b1_60	1	C_edu_b1_90	1
C_elas_act	1	C_elas_b60	1	C_elas_b90	1
C_mex_act	1	C_mex_b1_60	1	C_mex_b1_90	1
C_odo_act	1	C_odo_b1_60	1	C_odo_b1_90	1
C_pen_act	1	C_pen_b1_60	1	C_pen_b1_90	1
C_pol_act	1	C_pol_b1_60	1	C_pol_b1_90	1
D_arb_act	1	D_arb_b1_60	1	D_arb_b1_90	1
D_dig_act	1	D_dig_b1_60	1	D_dig_b1_90	1
D_mex_act	1	D_mex_b1_60	1	D_mex_b1_90	1
E_cyc_act	1	E_cyc_b1_60	1	E_cyc_b1_90	1
E_fol_act	1	E_fol_b1_60	1	E_fol_b1_90	1
G_ano_act	1	G_ano_b1_60	1	G_ano_b1_90	1
G_gla_act	1	G_gla_b1_60	1	G_gla_b1_90	1
G_jat_act	1	G_jat_b1_60	1	G_jat_b1_90	0
G_sep_act	1	G_sep_b1_60	1	G_sep_b1_90	1
H_nut_act	1	H_nut_b1_60	1	H_nut_b1_90	1
H_pol_act	1	H_pol_b1_60	1	H_pol_b1_90	1
J_mac_act	1	J_mac_b1_60	1	J_mac_b1_90	1
J_mex_act	0	J_mex_b1_60	1	J_mex_b1_90	1
L_aca_act	1	L_aca_b1_60	1	L_aca_b1_90	1
L_arb_act	1	L_arb_b1_60	1	L_arb_b1_90	1

L_cap_act	1	L_cap_b1_60	1	L_cap_b1_90	1
L_cas_act	1	L_cas_b1_60	1	L_cas_b1_90	1
L_cru_act	1	L_cru_b1_60	1	L_cru_b1_90	1
L_eri_act	1	L_eri_b1_60	1	L_eri_b1_90	1
L_lat_act	1	L_lat_b1_60	1	L_lat_b1_90	1
M_bal_act	1	M_bal_b1_60	1	M_bal_b1_90	1
M_bro_act	1	M_bro_b1_60	1	M_bro_b1_90	1
O_ole_act	1	O_ole_b1_60	1	O_ole_b1_90	1
P_arm_act	1	P_arm_b1_60	1	P_arm_b1_90	1
P_bra_act	1	P_bra_b1_60	1	P_bra_b1_90	0
P_cop_act	1	P_cop_b1_60	1	P_cop_b1_90	1
P_dio_act	1	P_dio_b1_60	1	P_dio_b1_90	1
P_lin_act	1	P_lin_b1_60	1	P_lin_b1_90	1
P_oxy_act	1	P_oxy_b1_60	1	P_oxy_b1_90	1
P_pis_act	1	P_pis_b1_60	1	P_pis_b1_90	1
Q_fun_act	1	Q_fun_b1_60	1	Q_fun_b1_90	1
R_mir_act	1	R_mir_b1_60	1	R_mir_b1_90	1
S_ape_act	1	S_ape_b1_60	1	S_ape_b1_90	1
S_cub_act	1	S_cub_b1_60	1	S_cub_b1_90	1
S_don_act	1	S_don_b1_60	1	S_don_b1_90	1
S_gla_act	1	S_gla_b1_60	1	S_gla_b1_90	1
S_mom_act	1	S_mom_b1_60	1	S_mom_b1_90	1
S_mul_act	1	S_mul_b1_60	1	S_mul_b1_90	1
S_par_act	1	S_par_b1_60	1	S_par_b1_90	1
S_pur_act	1	S_pur_b1_60	1	S_pur_b1_90	1
S_sal_act	1	S_sal_b1_60	1	S_sal_b1_90	1

T_ama_act	1	T_ama_b1_60	1	T_ama_b1_90	1
T_ros_act	1	T_ros_b1_60	1	T_ros_b1_90	1
Ta_mex_act	1	Ta_mex_b1_60	1	Ta_mex_b1_90	1
V_gau_act	1	V_gau_b1_60	1	V_gau_b1_90	1
V_gua_act	1	V_gua_b1_60	1	V_gua_b1_90	1
V_lun_act	1	V_lun_b1_60	1	V_lun_b1_90	1
X_fru_act	1	X_fru_b1_60	1	X_fru_b1_90	1

Cuadro 16. Cambios en las especies arbóreas actuales (act) y para el futuro, bajo el escenario B1 para los años 2060 (b1_60) y 2090 (b1_90) en la Reserva de la Biosfera de Montes Azules (el color verde indica las permanencias, el rojo las extinciones, el amarillo las colonizaciones y el azul los casos raros; el nombre de la especie se expresa por la primer letra del género, seguido de las tres primeras letras del epíteto específico).

Proyección actual y para el futuro

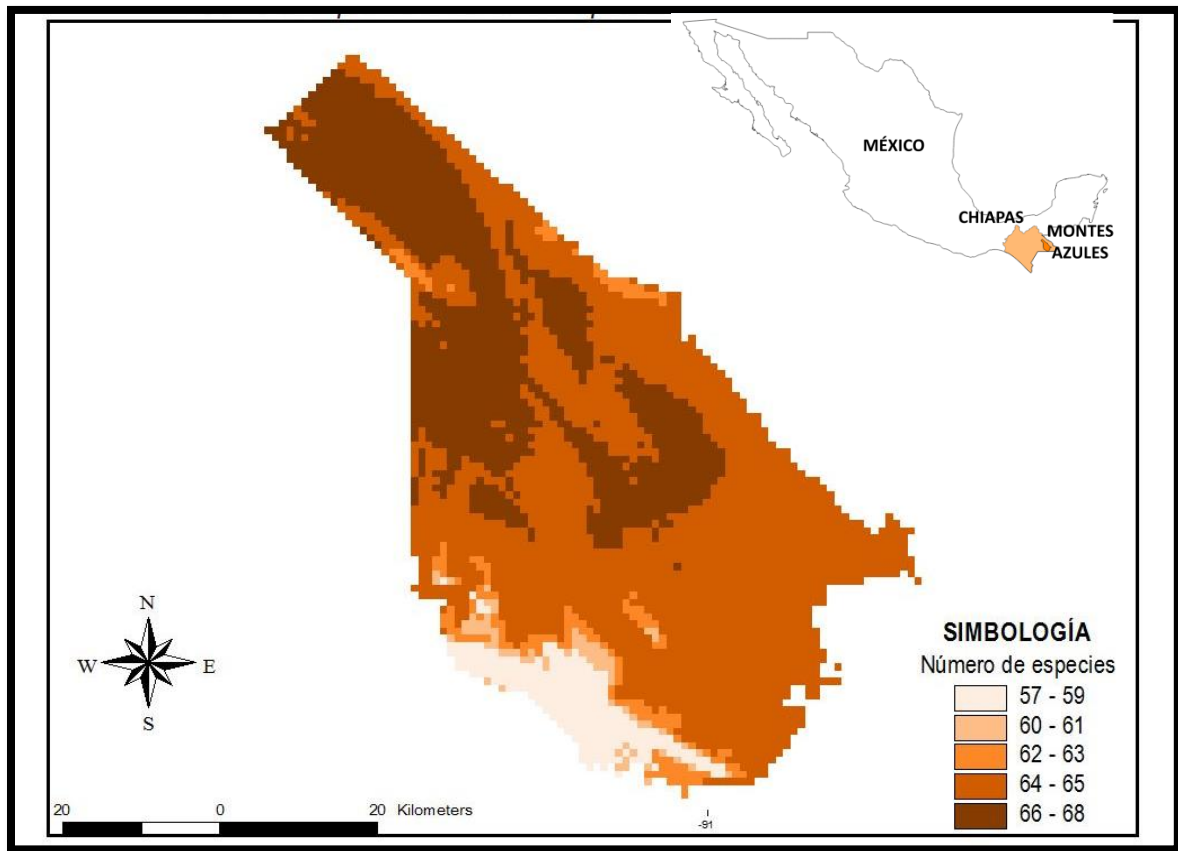


Fig. 34 Riqueza potencial actual de especies arbóreas en la Reserva de la Biosfera de Montes Azules.

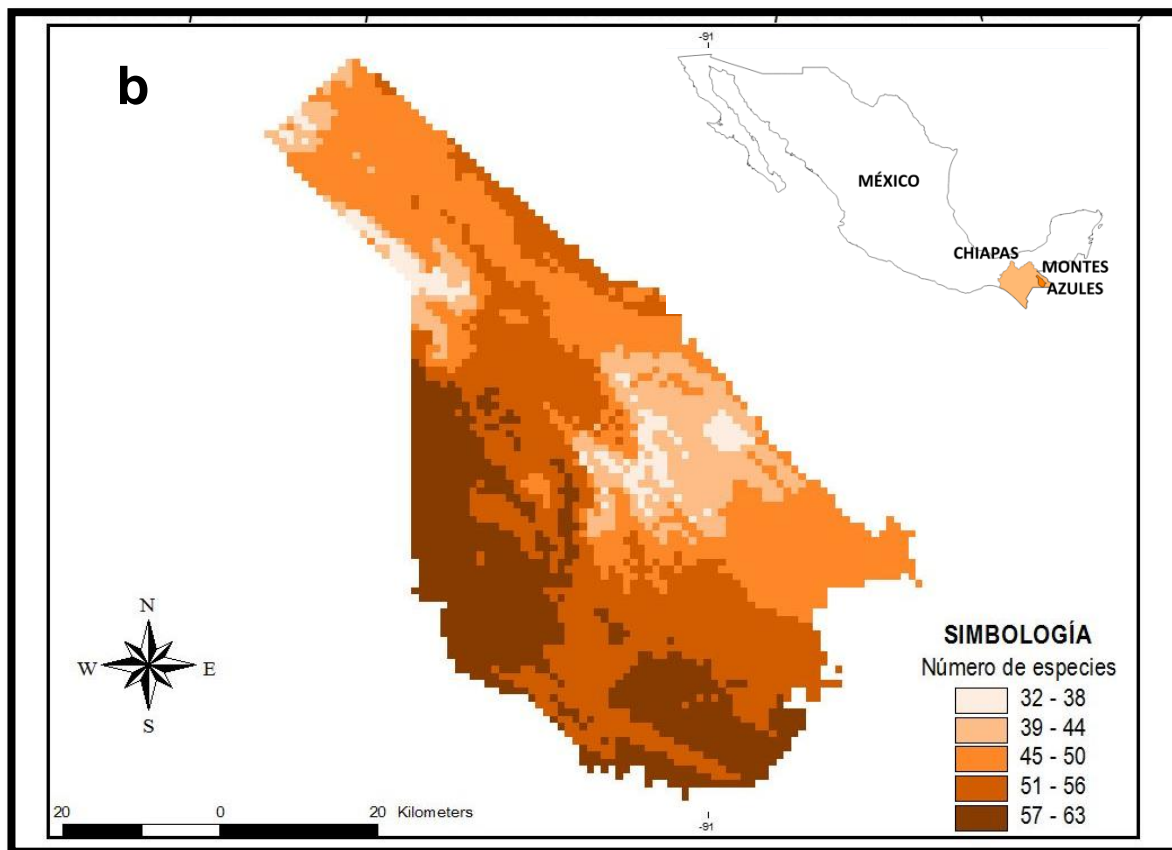
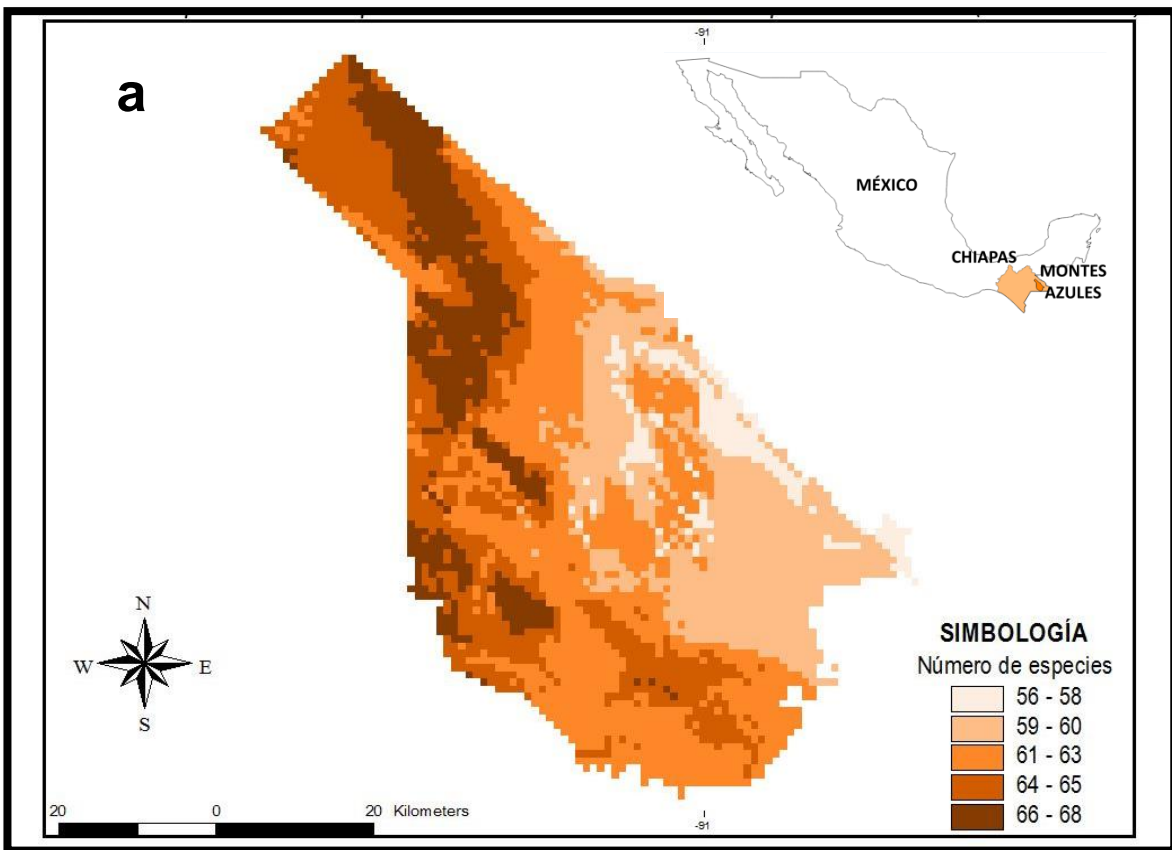


Fig. 35 Riqueza potencial de las especies arbóreas en la Reserva de la Biosfera de Montes Azules, bajo un escenario A2, **a)** para el año 2060 y **b)** para el año 2090.

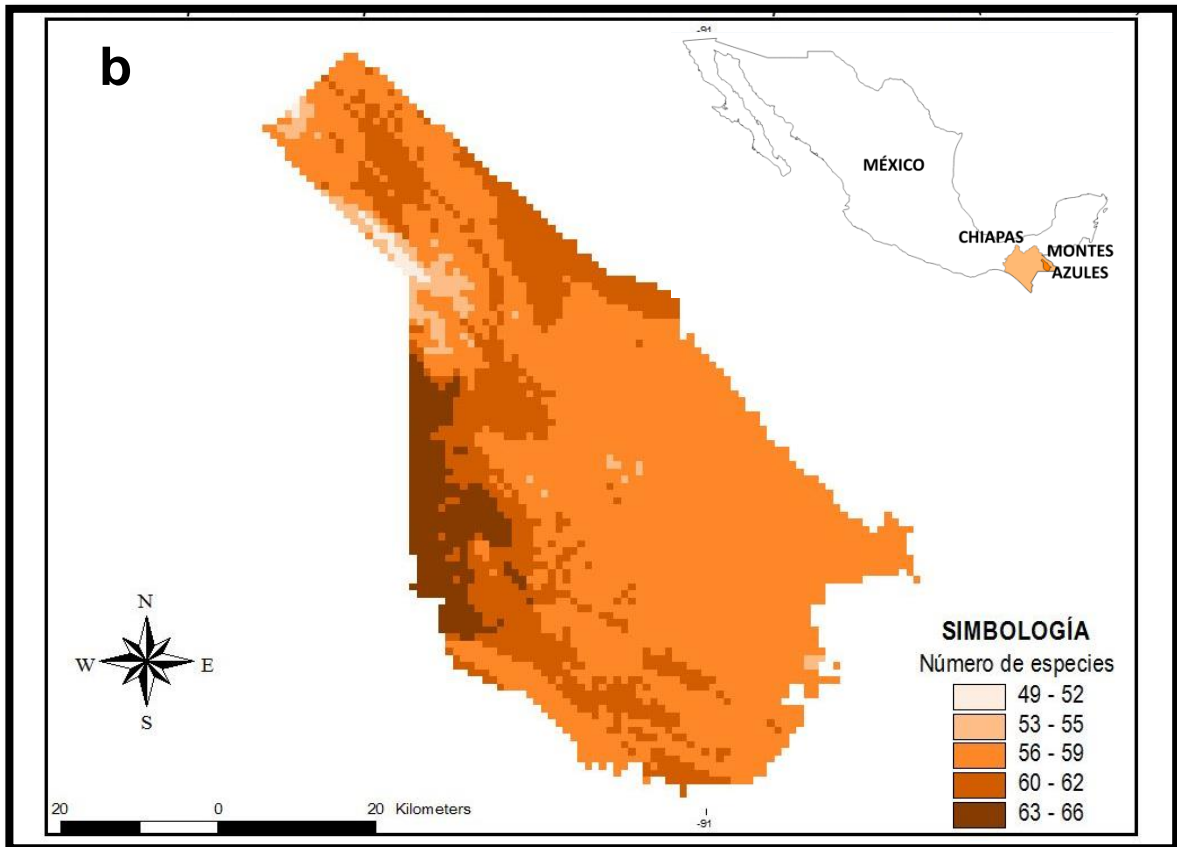
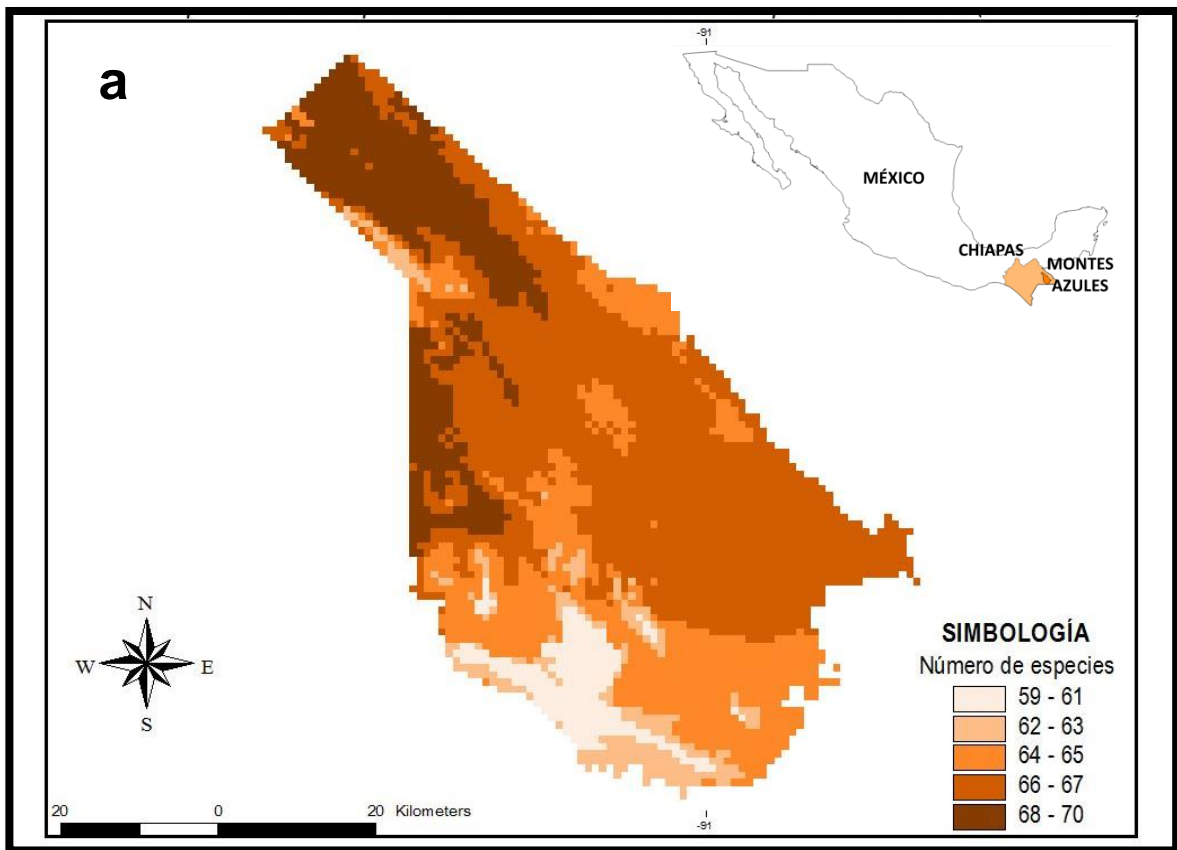


Fig. 36 Riqueza potencial de las especies arbóreas en la Reserva de la Biosfera de Montes Azules, bajo un escenario B1, a) para el año 2060 y b) para el año 2090.



Reserva de la biosfera de Sian Ka'an

Ubicación: Quintana Roo.

Región CONANP: Península de Yucatán y Caribe Mexicano.

Superficie total: 528,147.66 ha.

Fecha de decreto: 20 de Enero de 1986.

Tipos de Vegetación: Selva mediana subperennifolia, selva mediana subcaducifolia y selva baja inundable (endémicas de la Península de Yucatán), Vegetación Hidrófila y Manglar.

Flora: Hasta el año 2014, se habían determinado 1 426 especies de plantas, siendo los árboles más representativos: *Metopium brownei* (Chechem negro), *Manilkara zapota* (Chicozapote), *Bursera simaruba* (Chaca o palo mulato, palo chaca), *Lysiloma latisiliquum* (Dzalam), *Nectandra spp*, *Byrsonima bucidaefolia* (Nance), *Caesalpinia gaumeri*, *Piscidia piscipula* (Habin), *Piscidium sartorianum* (Guayabillo), *Vitex gaumeri* (Ya'xnik), *Bucida buceras* (Pucte), *Crescentia kujete* (Jícara) y *Haematoxilon campechianum* (Tinte) (SEMARNAT, 2014).

Climatología: Presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw). La temperatura media mensual es superior a 22°C y la media anual es de 26.5°C. La precipitación media anual es de 1 128 mm, el 75 % de la precipitaciones se presentan de mayo a octubre, el mes más lluvioso es septiembre (promedio de 208.1 mm) y el más seco es marzo (29.4 mm); una porción importante de precipitación es

registrada por los huracanes y ciclones tropicales que se originan en el Caribe y el Atlántico.

Relieve: La región es plana con una leve pendiente con dirección de sur a norte, donde la altitud máxima es menor a 20 msnm (SEMARNAT, 2014).

Análisis y cambios en las especies: En esta ANP se ha identificado para el presente la presencia potencial de 45 especies arbóreas. Para el escenario A2 se muestra una reducción en el número de especies para el año 2060, mientras que en el 2090 se estima un pequeño incremento que no es suficiente para aproximarse a los valores actuales (aprox. 31 especies) (**Cuadro17**). Específicamente las permanencias son menores a 30 especies arbóreas, las extinciones son alrededor de 14 especies que pertenecen a selvas medianas subperennifolias, medianas subcaducifolias y a bajas, son ausentes las especies que podrían llegar a colonizar ANP y son menores los registros clasificados como “raros” o poco consistentes en las proyecciones al futuro (*Brosimum alicastrum*, *Dendropanax arboreus* y *Enterolobium cyclocarpum*, elementos arbóreos de selvas altas perennifolias, altas subperennifolias y medianas subperennifolias) (**Cuadro 18 y 19**).

Para un escenario B1 (**Cuadro 17**) se estima un incremento de especies de aprox. un 4 % (5 especies) en el año 2060, sin embargo una reducción en el número de especies se presentaría en el año 2090, logrando permanecer alrededor de 34 especies. De manera particular las disminuciones en las especies son menores en comparación al escenario A2, (**Cuadro 18**) donde las permanencias son mayores a

30 especies, las extinciones son mayores a 10 especies (pertenecientes en su mayoría a selvas medianas y bajas), son escasos los casos inconsistentes y se identifican 5 especies que podrían establecerse y/o permanecer en el área de interés, como lo son *Alchornea latifolia*, *Guarea glabra*, *Lonchocarpus cruentus*, *Pleuranthodendron lindenii* y *Quararibea funebris* (especies de selvas altas perennifolias, medianas perennifolias y subperennifolias) (**Cuadro 20**)

Espacialmente la proyección actual para Sian Ka'an se muestra homogénea en cuanto al número de especies a lo largo del polígono (**Fig. 37**), sólo se detectan pequeñas áreas que muestran una variación por toda la costa caribeña. El acomodo espacial proyectado al futuro en el escenario A2 (**Fig. 38**) secciona al ANP en 2 regiones para el año 2060 y en 3 para el 2090, donde la mayor cantidad de especies (>20) se encuentran en los extremos norte y sur. El acomodo geográfico para el escenario B1 para el año 2060, es muy similar al actual, siendo la mayor variación para el año 2090, donde se identifican en los extremos (norte y sur) la mayor cantidad de especies (>25), mientras que el centro y costa permanecen los valores constantes (de 19 a 24) (**Fig. 39**).

Proyecciones	Actual	A2_2060	A2_2090	B1_2060	B1_2090
Especies Presentes	45	29	31	47	34

Cuadro 17. Análisis de especies arbóreas presentes y futuras en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.

Posibles cambios	Escenario A2	Escenario B1
	Número de especies	Número de especies
Permanencias	28	34
Extinción	14	11
Colonización	0	5
Raro	3	0

Cuadro 18. Cambios en las especies arbóreas para el futuro (escenario A2 y B1) en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.

Especie/Proyección	Valor	Especie/Proyección	Valor	Especie/Proyección	Valor
A_dol_act	1	A_dol_a2_60	1	A_dol_a2_90	1
A_far_act	1	A_far_a2_60	0	A_far_a2_90	0
A_gra_act	1	A_gra_a2_60	1	A_gra_a2_90	1
A_hot_act	1	A_hot_a2_60	1	A_hot_a2_90	1
A_pri_act	1	A_pri_a2_60	1	A_pri_a2_90	1
A_yuc_act	1	A_yuc_a2_60	1	A_yuc_a2_90	1
B_ali_act	1	B_ali_a2_60	0	B_ali_a2_90	1
C_aes_act	1	C_aes_a2_60	0	C_aes_a2_90	0
C_ali_act	1	C_ali_a2_60	1	C_ali_a2_90	1
C_bai_act	1	C_bai_a2_60	0	C_bai_a2_90	0
C_cuj_act	1	C_cuj_a2_60	1	C_cuj_a2_90	1
C_dod_act	1	C_dod_a2_60	1	C_dod_a2_90	1
C_elas_act	1	C_elas_a60	0	C_elas_a90	0
C_gau_act	1	C_gau_a2_60	1	C_gau_a2_90	1
C_mex_act	1	C_mex_a2_60	1	C_mex_a2_90	1

C_odo_act	1	C_odo_a2_60	0	C_odo_a2_90	0
C_pen_act	1	C_pen_a2_60	1	C_pen_a2_90	1
C_pol_act	1	C_pol_a2_60	0	C_pol_a2_90	0
D_arb_act	1	D_arb_a2_60	0	D_arb_a2_90	1
D_dig_act	1	D_dig_a2_60	0	D_dig_a2_90	0
E_cyc_act	1	E_cyc_a2_60	0	E_cyc_a2_90	1
G_ano_act	1	G_ano_a2_60	0	G_ano_a2_90	0
G_jat_act	1	G_jat_a2_60	1	G_jat_a2_90	1
G_sep_act	1	G_sep_a2_60	1	G_sep_a2_90	1
H_pol_act	1	H_pol_a2_60	1	H_pol_a2_90	1
J_mac_act	1	J_mac_a2_60	1	J_mac_a2_90	1
J_mex_act	1	J_mex_a2_60	1	J_mex_a2_90	0
L_aca_act	1	L_aca_a2_60	1	L_aca_a2_90	1
L_cas_act	1	L_cas_a2_60	0	L_cas_a2_90	0
L_lat_act	1	L_lat_a2_60	1	L_lat_a2_90	1
M_bro_act	1	M_bro_a2_60	1	M_bro_a2_90	1
M_oli_act	1	M_oli_a2_60	1	M_oli_a2_90	1
P_cop_act	1	P_cop_a2_60	0	P_cop_a2_90	0
P_dio_act	1	P_dio_a2_60	0	P_dio_a2_90	0
P_pis_act	1	P_pis_a2_60	1	P_pis_a2_90	1
P_yuc_act	1	P_yuc_a2_60	1	P_yuc_a2_90	1
R_mir_act	1	R_mir_a2_60	0	R_mir_a2_90	0
S_cub_act	1	S_cub_a2_60	1	S_cub_a2_90	1
S_gla_act	1	S_gla_a2_60	1	S_gla_a2_90	1
S_mom_act	1	S_mom_a2_60	1	S_mom_a2_90	1
S_pur_act	1	S_pur_a2_60	1	S_pur_a2_90	1

S_sal_act	1	S_sal_a2_60	1	S_sal_a2_90	1
T_ama_act	1	T_ama_a2_60	0	T_ama_a2_90	0
T_ros_act	1	T_ros_a2_60	1	T_ros_a2_90	1
V_gau_act	1	V_gau_a2_60	1	V_gau_a2_90	1

Cuadro 19. Cambios en las especies arbóreas actuales (act) y para el futuro, bajo el escenario A2 para los años 2060 (a2_60) y 2090 (a2_90) en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an (el color verde indica las permanencias, el rojo las extinciones, el amarillo las colonizaciones y el azul los casos raros; el nombre de la especie se expresa por la primer letra del género, seguido de las tres primeras letras del epíteto específico).

Especie/Proyección	Valor	Especie/Proyección	Valor	Especie/Proyección	Valor
A_dol_act	1	A_dol_b1_60	1	A_dol_b1_90	1
A_far_act	1	A_far_b1_60	1	A_far_b1_90	0
A_gra_act	1	A_gra_b1_60	1	A_gra_b1_90	1
A_hot_act	1	A_hot_b1_60	1	A_hot_b1_90	1
A_lat_act	0	A_lat_b1_60	1	A_lat_b1_90	0
A_pri_act	1	A_pri_b1_60	1	A_pri_b1_90	1
A_yuc_act	1	A_yuc_b1_60	1	A_yuc_b1_90	1
B_ali_act	1	B_ali_b1_60	1	B_ali_b1_90	1
C_aes_act	1	C_aes_b1_60	0	C_aes_b1_90	0
C_ali_act	1	C_ali_b1_60	1	C_ali_b1_90	1
C_bai_act	1	C_bai_b1_60	1	C_bai_b1_90	0
C_cuj_act	1	C_cuj_b1_60	1	C_cuj_b1_90	1
C_dod_act	1	C_dod_b1_60	1	C_dod_b1_90	1
C_elas_act	1	C_elas_b60	1	C_elas_b90	0
C_gau_act	1	C_gau_b1_60	1	C_gau_b1_90	1
C_mex_act	1	C_mex_b1_60	1	C_mex_b1_90	1

C_odo_act	1	C_odo_b1_60	1	C_odo_b1_90	0
C_pen_act	1	C_pen_b1_60	1	C_pen_b1_90	1
C_pol_act	1	C_pol_b1_60	1	C_pol_b1_90	1
D_arb_act	1	D_arb_b1_60	1	D_arb_b1_90	1
D_dig_act	1	D_dig_b1_60	1	D_dig_b1_90	0
E_cyc_act	1	E_cyc_b1_60	1	E_cyc_b1_90	1
G_ano_act	1	G_ano_b1_60	1	G_ano_b1_90	0
G_gla_act	0	G_gla_b1_60	1	G_gla_b1_90	0
G_jat_act	1	G_jat_b1_60	1	G_jat_b1_90	1
G_sep_act	1	G_sep_b1_60	1	G_sep_b1_90	1
H_pol_act	1	H_pol_b1_60	1	H_pol_b1_90	1
J_mac_act	1	J_mac_b1_60	1	J_mac_b1_90	1
J_mex_act	1	J_mex_b1_60	1	J_mex_b1_90	1
L_aca_act	1	L_aca_b1_60	1	L_aca_b1_90	1
L_cas_act	1	L_cas_b1_60	1	L_cas_b1_90	1
L_cru_act	0	L_cru_b1_60	1	L_cru_b1_90	0
L_lat_act	1	L_lat_b1_60	1	L_lat_b1_90	1
M_bro_act	1	M_bro_b1_60	1	M_bro_b1_90	1
M_oli_act	1	M_oli_b1_60	1	M_oli_b1_90	1
P_cop_act	1	P_cop_b1_60	1	P_cop_b1_90	0
P_dio_act	1	P_dio_b1_60	1	P_dio_b1_90	0
P_lin_act	0	P_lin_b1_60	1	P_lin_b1_90	0
P_pis_act	1	P_pis_b1_60	1	P_pis_b1_90	1
P_yuc_act	1	P_yuc_b1_60	1	P_yuc_b1_90	1
Q_fun_act	0	Q_fun_b1_60	1	Q_fun_b1_90	0
R_mir_act	1	R_mir_b1_60	0	R_mir_b1_90	0

S_cub_act	1	S_cub_b1_60	1	S_cub_b1_90	1
S_gla_act	1	S_gla_b1_60	1	S_gla_b1_90	1
S_mom_act	1	S_mom_b1_60	1	S_mom_b1_90	1
S_pur_act	1	S_pur_b1_60	1	S_pur_b1_90	1
S_sal_act	1	S_sal_b1_60	1	S_sal_b1_90	1
T_ama_act	1	T_ama_b1_60	0	T_ama_b1_90	0
T_ros_act	1	T_ros_b1_60	1	T_ros_b1_90	1
V_gau_act	1	V_gau_b1_60	1	V_gau_b1_90	1

Cuadro 20. Cambios en las especies arbóreas actuales (act) y para el futuro, bajo el escenario B1 para los años 2060 (b1_60) y 2090 (b1_90) en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an (el color verde indica las permanencias, el rojo las extinciones, el amarillo las colonizaciones y el azul los casos raros; el nombre de la especie se expresa por la primer letra del género, seguido de las tres primeras letras del epíteto específico).

Proyección actual y para el futuro

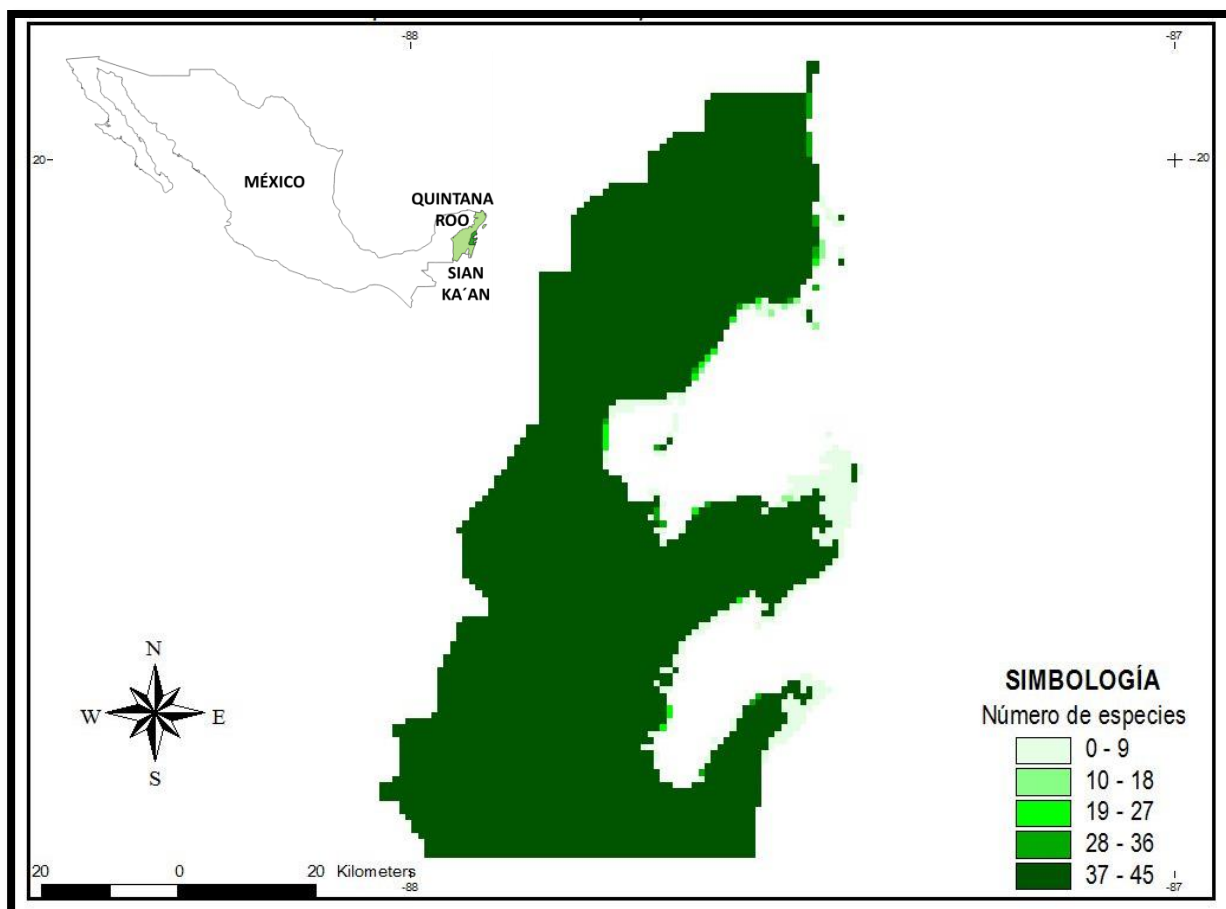


Fig. 37 Riqueza potencial actual de especies arbóreas en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.

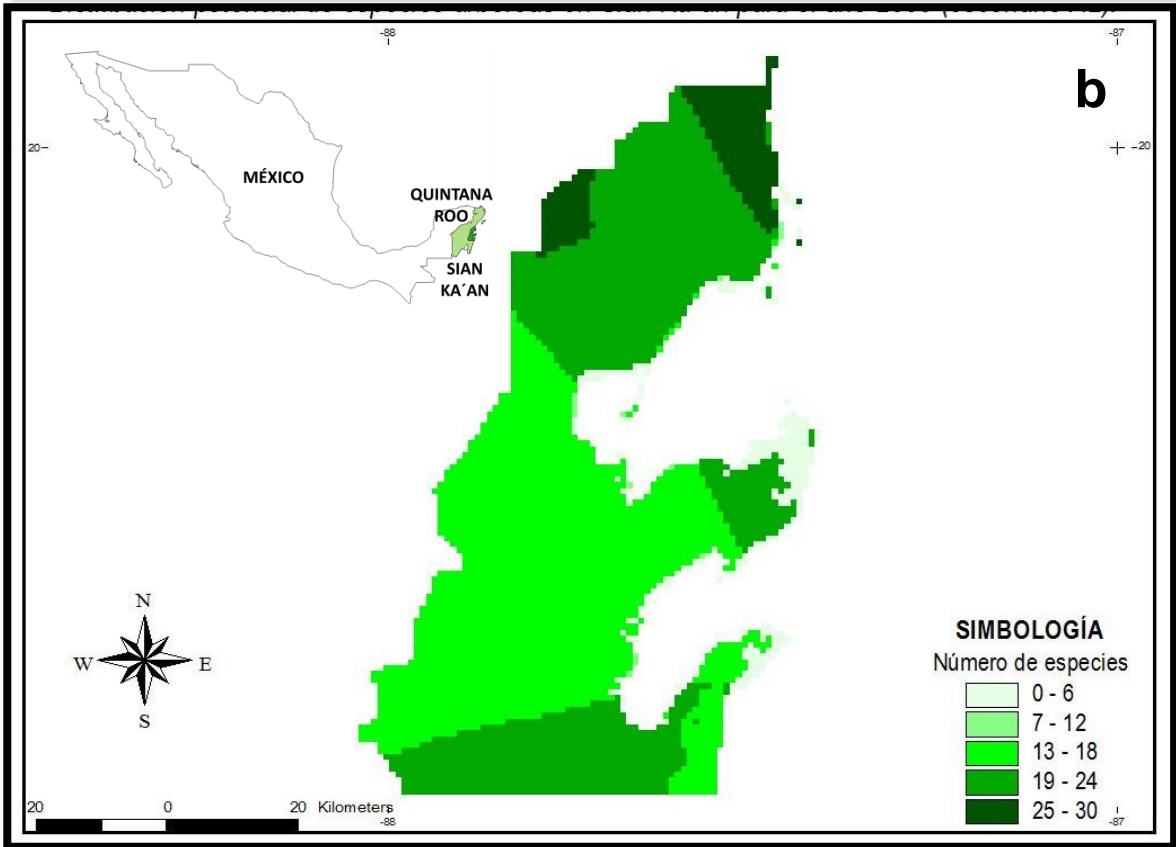
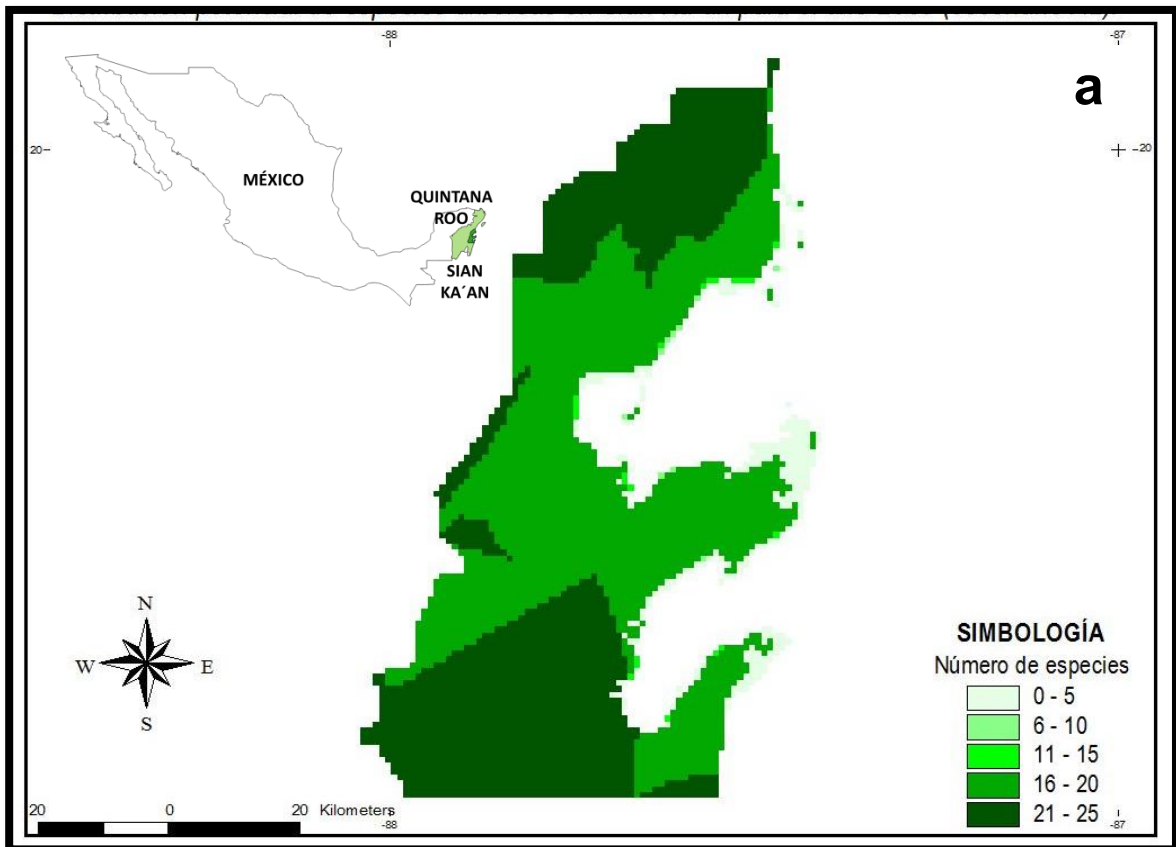


Fig. 38 Riqueza potencial de las especies arbóreas en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, bajo un escenario A2, **a)** para el año 2060 y **b)** para el año 2090.

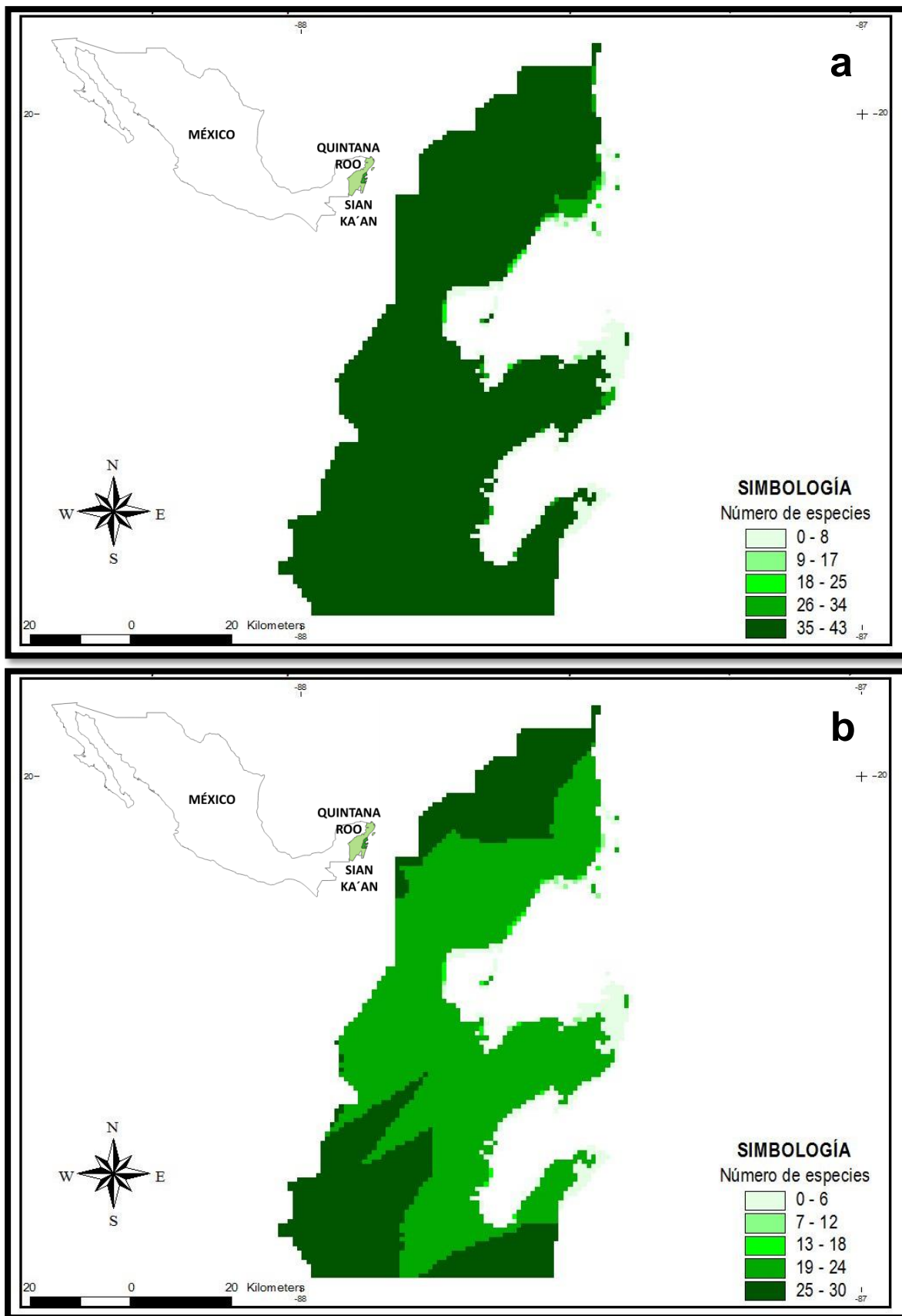


Fig. 39 Riqueza potencial de las especies arbóreas en la reserva de la biosfera de Sian Ka'an, bajo un escenario B1, **a)** para el año 2060 y **b)** para el año 2090.



Reserva de la biosfera de Sierra Gorda

Ubicación: Querétaro.

Región CONANP: Centro y Eje Neovolcánico

Superficie total: 383,567.44 ha.

Fecha de decreto: 19 de Mayo de 1997.

Tipos de Vegetación: Bosque de coníferas, Bosque de Encino, Bosque mesófilo de montaña, Matorral Xerófilo, Selva Caducifolia, Selva Perennifolia y Vegetación inducida.

Flora: Se reporta un total de 1 724 especies de plantas vasculares. Los árboles más representativos son: *Aphananthe monoica*, *Brosimum alicastrum* (Oxite), *Cedrela odorata* (Cedro rojo), *Enterolobium cyclocarpum*, *Chrysophyllum mexicanum*, *Bursera simaruba* (Chaca), *Ceiba pentandra* (Ceiba), *Capparis incana* (Chilito), *Lysiloma microphylla* (Tepemezquite), *Cinnamomum tampicense* (Zapotillo), *Psidium sartorianum* (Arrayán) y *Prosopis laevigata* (Mezquite) (INE, 1999).

Climatología: La reserva presenta diversos climas: **1)** en la parte central predomina el tipo semicálido-subhúmedo ((A)C₁(w₀)(w)), que comprende la zona de transición entre los cálidos y templados, es el tipo más seco de los subhúmedos con un régimen de lluvias en verano, la temperatura media del mes más frío es superior a los 18°C; **2)** el suroeste presenta tipos secos y semisecos semicálidos (BS₁hw y BS₀hw), con lluvias en verano pero que en invierno alcanzan su máximo registro de

10.2 % y un mínimo <5 %; y **3**) al noroeste y oeste son templados subhúmedos con lluvias en verano ($C(w_2)$ y $C(w_2)(w)$), con verano cálido, el más húmedo de los subhúmedos con escasa precipitación invernal y extremoso.

En cuanto a la precipitación, los vientos que impactan sobre los macizos montañosos fomentan movimientos verticales que precipitan con medias anuales de 883.33 mm como máxima y 313.31 mm como mínima, aunque en algunas regiones se han reportado hasta 1 500 mm. Las temperaturas mínimas se presentan en los meses de diciembre y enero, las máximas en abril y mayo, y el promedio anual varía de 13°C en las zonas altas a 24°C en las regiones más bajas (INE, 1999).

Relieve: Se caracteriza por sierras altas con altitudes superiores a los 3000 msnm y con amplios y profundos cañones labrados por los ríos Santa María, Extóraz y Moctezuma. Además de ubicarse en la zona de transición entre la región Neártica y la región Neotropical (INE, 1999).

Análisis y cambio en las especies: Sierra Gorda muestra actualmente la presencia de más de 70 especies diferentes en lo correspondiente a los árboles estudiados. Las proyecciones realizadas al futuro estiman una ligera reducción en el número de especies que podrían permanecer dentro del ANP, con aprox. 72 especies para el escenario A2 y 71 para el B1, ambos en el año 2090 (**Cuadro 21**). Los cambios esperados para ambos escenarios son muy semejantes en el número de especies que podrían permanecer, se estiman cinco especies que podrían extinguirse (características de selvas altas perennifolias, medianas subperennifolias y bajas),





sólo *Guaiacum coulteri* podría presentar colonización (**Cuadro 22, 23 y 24**), y se identifica a *Sterculia apetala* como una especie que podría presentar inconsistencias en su distribución en esta zona para el escenario A2 (**Cuadro 23**).

El acomodo espacial de las especies arbóreas actualmente se representa bajo el gradiente ambiental propio de la ANP: seco – templado – cálido (de menor a mayor precipitación), localizando la mayor cantidad de especies desde el centro hacia el oriente (**Fig. 40**). De acuerdo a las proyecciones realizadas para ambos escenarios y en comparación al modelo del presente, se visualiza para el futuro un desplazamiento longitudinal de las especies hacia el oriente, siendo el centro del ANP la zona con mayor cambio en la cantidad de especies que podrían permanecer, se infieren posibles transiciones para esta zona e inclusive una reducción de extensión. En lo correspondiente a la región occidental, esta incrementará en extensión pero los valores de permanencia serían muy semejantes a los estimados para el presente (**Fig. 41 y 42**).

Proyecciones	Actual	A2_2060	A2_2090	B1_2060	B1_2090
Especies Presentes	76	74	72	76	71

Cuadro 21. Análisis de especies arbóreas presentes y futuras en la reserva de la biosfera de Sierra

Gorda.

Posibles cambios	Escenario A2	Escenario B1
	Número de especies	Número de especies
 Permanencias	70	71
 Extinción	5	5
 Colonización	1	1
 Raro	1	0

Cuadro 22. Cambios en las especies arbóreas para el futuro (escenario A2 y B1) en la reserva de la biosfera de Sierra Gorda.

Especie/Proyección	Valor	Especie/Proyección	Valor	Especie/Proyección	Valor
A_ads_act	1	A_ads_a2_60	1	A_ads_a2_90	1
A_far_act	1	A_far_a2_60	1	A_far_a2_90	1
A_gra_act	1	A_gra_a2_60	1	A_gra_a2_90	1
A_hot_act	1	A_hot_a2_60	1	A_hot_a2_90	1
A_lat_act	1	A_lat_a2_60	1	A_lat_a2_90	1
A_mon_act	1	A_mon_a2_60	1	A_mon_a2_90	1
A_pri_act	1	A_pri_a2_60	1	A_pri_a2_90	1
A_tib_act	1	A_tib_a2_60	1	A_tib_a2_90	1
B_ali_act	1	B_ali_a2_60	1	B_ali_a2_90	1
B_exc_act	1	B_exc_a2_60	1	B_exc_a2_90	0
B_fla_act	1	B_fla_a2_60	1	B_fla_a2_90	1
C_aes_act	1	C_aes_a2_60	1	C_aes_a2_90	1
C_ali_act	1	C_ali_a2_60	1	C_ali_a2_90	1
C_ame_act	1	C_ame_a2_60	1	C_ame_a2_90	1
C_arb_act	1	C_arb_a2_60	1	C_arb_a2_90	1

C_bai_act	1	C_bai_a2_60	1	C_bai_a2_90	1
C_bra_act	1	C_bra_a2_60	1	C_bra_a2_90	1
C_can_act	1	C_can_a2_60	1	C_can_a2_90	1
C_cuj_act	1	C_cuj_a2_60	1	C_cuj_a2_90	1
C_dod_act	1	C_dod_a2_60	1	C_dod_a2_90	1
C_edu_act	1	C_edu_a2_60	1	C_edu_a2_90	1
C_elas_act	1	C_elas_a60	1	C_elas_a90	1
C_gau_act	1	C_gau_a2_60	1	C_gau_a2_90	1
C_mex_act	1	C_mex_a2_60	1	C_mex_a2_90	1
C_odo_act	1	C_odo_a2_60	1	C_odo_a2_90	1
C_pen_act	1	C_pen_a2_60	1	C_pen_a2_90	1
C_pol_act	1	C_pol_a2_60	1	C_pol_a2_90	1
D_arb_act	1	D_arb_a2_60	1	D_arb_a2_90	1
D_dig_act	1	D_dig_a2_60	1	D_dig_a2_90	1
D_mex_act	1	D_mex_a2_60	1	D_mex_a2_90	1
E_cyc_act	1	E_cyc_a2_60	1	E_cyc_a2_90	1
E_eba_act	1	E_eba_a2_60	1	E_eba_a2_90	1
E_fol_act	1	E_fol_a2_60	1	E_fol_a2_90	1
F_pet_act	1	F_pet_a2_60	0	F_pet_a2_90	0
G_ano_act	1	G_ano_a2_60	1	G_ano_a2_90	1
G_cou_act	0	G_cou_a2_60	1	G_cou_a2_90	1
G_gla_act	1	G_gla_a2_60	1	G_gla_a2_90	1
G_jat_act	1	G_jat_a2_60	1	G_jat_a2_90	1
G_sep_act	1	G_sep_a2_60	1	G_sep_a2_90	1
H_nut_act	1	H_nut_a2_60	1	H_nut_a2_90	1
H_pol_act	1	H_pol_a2_60	1	H_pol_a2_90	1

J_mac_act	1	J_mac_a2_60	1	J_mac_a2_90	1
J_mex_act	1	J_mex_a2_60	1	J_mex_a2_90	1
L_aca_act	1	L_aca_a2_60	1	L_aca_a2_90	1
L_cap_act	1	L_cap_a2_60	1	L_cap_a2_90	1
L_cru_act	1	L_cru_a2_60	1	L_cru_a2_90	1
M_bal_act	1	M_bal_a2_60	1	M_bal_a2_90	1
M_bro_act	1	M_bro_a2_60	1	M_bro_a2_90	1
O_ole_act	1	O_ole_a2_60	1	O_ole_a2_90	1
P_arm_act	1	P_arm_a2_60	0	P_arm_a2_90	0
P_bra_act	1	P_bra_a2_60	1	P_bra_a2_90	1
P_cop_act	1	P_cop_a2_60	1	P_cop_a2_90	1
P_dio_act	1	P_dio_a2_60	1	P_dio_a2_90	1
P_dul_act	1	P_dul_a2_60	1	P_dul_a2_90	1
P_lae_act	1	P_lae_a2_60	1	P_lae_a2_90	1
P_lin_act	1	P_lin_a2_60	1	P_lin_a2_90	1
P_oxy_act	1	P_oxy_a2_60	1	P_oxy_a2_90	1
P_pis_act	1	P_pis_a2_60	1	P_pis_a2_90	1
Q_fun_act	1	Q_fun_a2_60	1	Q_fun_a2_90	1
R_fus_act	1	R_fus_a2_60	1	R_fus_a2_90	1
R_mex_act	1	R_mex_a2_60	1	R_mex_a2_90	0
R_mir_act	1	R_mir_a2_60	1	R_mir_a2_90	1
S_ape_act	1	S_ape_a2_60	0	S_ape_a2_90	1
S_don_act	1	S_don_a2_60	1	S_don_a2_90	1
S_gla_act	1	S_gla_a2_60	1	S_gla_a2_90	1
S_mom_act	1	S_mom_a2_60	1	S_mom_a2_90	1
S_mul_act	1	S_mul_a2_60	1	S_mul_a2_90	0

S_par_act	1	S_par_a2_60	1	S_par_a2_90	1
S_pur_act	1	S_pur_a2_60	1	S_pur_a2_90	1
S_sal_act	1	S_sal_a2_60	1	S_sal_a2_90	1
T_ama_act	1	T_ama_a2_60	1	T_ama_a2_90	1
T_dec_act	1	T_dec_a2_60	1	T_dec_a2_90	1
T_ros_act	1	T_ros_a2_60	1	T_ros_a2_90	1
Ta_mex_act	1	Ta_mex_a2_60	1	Ta_mex_a2_90	1
V_gua_act	1	V_gua_a2_60	1	V_gua_a2_90	1
V_lun_act	1	V_lun_a2_60	1	V_lun_a2_90	1
X_fru_act	1	X_fru_a2_60	1	X_fru_a2_90	1

Cuadro 23. Cambios en las especies arbóreas actuales (act) y para el futuro, bajo el escenario A2 para los años 2060 (a2_60) y 2090 (a2_90) en la reserva de la biosfera de Sierra Gorda (el color verde indica las permanencias, el rojo las extinciones, el amarillo las colonizaciones y el azul los casos raros; el nombre de la especie se expresa por la primer letra del género, seguido de las tres primeras letras del epíteto específico).

Especie/Proyección	Valor	Especie/Proyección	Valor	Especie/Proyección	Valor
A_ads_act	1	A_ads_b1_60	1	A_ads_b1_90	1
A_far_act	1	A_far_b1_60	1	A_far_b1_90	1
A_gra_act	1	A_gra_b1_60	1	A_gra_b1_90	1
A_hot_act	1	A_hot_b1_60	1	A_hot_b1_90	1
A_lat_act	1	A_lat_b1_60	1	A_lat_b1_90	1
A_mon_act	1	A_mon_b1_60	1	A_mon_b1_90	1
A_pri_act	1	A_pri_b1_60	1	A_pri_b1_90	1
A_tib_act	1	A_tib_b1_60	1	A_tib_b1_90	1
B_ali_act	1	B_ali_b1_60	1	B_ali_b1_90	1
B_exc_act	1	B_exc_b1_60	1	B_exc_b1_90	1

B_fla_act	1	B_fla_b1_60	1	B_fla_b1_90	1
C_aes_act	1	C_aes_b1_60	1	C_aes_b1_90	1
C_ali_act	1	C_ali_b1_60	1	C_ali_b1_90	1
C_ame_act	1	C_ame_b1_60	1	C_ame_b1_90	1
C_arb_act	1	C_arb_b1_60	1	C_arb_b1_90	1
C_bai_act	1	C_bai_b1_60	1	C_bai_b1_90	1
C_bra_act	1	C_bra_b1_60	1	C_bra_b1_90	1
C_can_act	1	C_can_b1_60	1	C_can_b1_90	1
C_cuj_act	1	C_cuj_b1_60	1	C_cuj_b1_90	1
C_dod_act	1	C_dod_b1_60	1	C_dod_b1_90	1
C_edu_act	1	C_edu_b1_60	1	C_edu_b1_90	1
C_elas_act	1	C_elas_b60	1	C_elas_b90	1
C_gau_act	1	C_gau_b1_60	1	C_gau_b1_90	1
C_mex_act	1	C_mex_b1_60	1	C_mex_b1_90	1
C_odo_act	1	C_odo_b1_60	1	C_odo_b1_90	1
C_pen_act	1	C_pen_b1_60	1	C_pen_b1_90	1
C_pol_act	1	C_pol_b1_60	1	C_pol_b1_90	1
D_arb_act	1	D_arb_b1_60	1	D_arb_b1_90	1
D_dig_act	1	D_dig_b1_60	1	D_dig_b1_90	1
D_mex_act	1	D_mex_b1_60	1	D_mex_b1_90	1
E_cyc_act	1	E_cyc_b1_60	1	E_cyc_b1_90	1
E_eba_act	1	E_eba_b1_60	1	E_eba_b1_90	1
E_fol_act	1	E_fol_b1_60	1	E_fol_b1_90	1
F_pet_act	1	F_pet_b1_60	1	F_pet_b1_90	0
G_ano_act	1	G_ano_b1_60	1	G_ano_b1_90	1
G_cou_act	0	G_cou_b1_60	1	G_cou_b1_90	0

G_gla_act	1	G_gla_b1_60	1	G_gla_b1_90	1
G_jat_act	1	G_jat_b1_60	1	G_jat_b1_90	1
G_sep_act	1	G_sep_b1_60	1	G_sep_b1_90	1
H_nut_act	1	H_nut_b1_60	1	H_nut_b1_90	1
H_pol_act	1	H_pol_b1_60	1	H_pol_b1_90	1
J_mac_act	1	J_mac_b1_60	1	J_mac_b1_90	1
J_mex_act	1	J_mex_b1_60	1	J_mex_b1_90	1
L_aca_act	1	L_aca_b1_60	1	L_aca_b1_90	1
L_cap_act	1	L_cap_b1_60	1	L_cap_b1_90	1
L_cru_act	1	L_cru_b1_60	1	L_cru_b1_90	1
M_bal_act	1	M_bal_b1_60	1	M_bal_b1_90	1
M_bro_act	1	M_bro_b1_60	1	M_bro_b1_90	1
O_ole_act	1	O_ole_b1_60	1	O_ole_b1_90	1
P_arm_act	1	P_arm_b1_60	1	P_arm_b1_90	0
P_bra_act	1	P_bra_b1_60	1	P_bra_b1_90	1
P_cop_act	1	P_cop_b1_60	1	P_cop_b1_90	1
P_dio_act	1	P_dio_b1_60	1	P_dio_b1_90	1
P_dul_act	1	P_dul_b1_60	1	P_dul_b1_90	1
P_lae_act	1	P_lae_b1_60	1	P_lae_b1_90	1
P_lin_act	1	P_lin_b1_60	1	P_lin_b1_90	1
P_oxy_act	1	P_oxy_b1_60	1	P_oxy_b1_90	1
P_pis_act	1	P_pis_b1_60	1	P_pis_b1_90	1
Q_fun_act	1	Q_fun_b1_60	1	Q_fun_b1_90	1
R_fus_act	1	R_fus_b1_60	1	R_fus_b1_90	0
R_mex_act	1	R_mex_b1_60	1	R_mex_b1_90	0
R_mir_act	1	R_mir_b1_60	1	R_mir_b1_90	1

S_ape_act	1	S_ape_b1_60	0	S_ape_b1_90	0
S_don_act	1	S_don_b1_60	1	S_don_b1_90	1
S_gla_act	1	S_gla_b1_60	1	S_gla_b1_90	1
S_mom_act	1	S_mom_b1_60	1	S_mom_b1_90	1
S_mul_act	1	S_mul_b1_60	1	S_mul_b1_90	1
S_par_act	1	S_par_b1_60	1	S_par_b1_90	1
S_pur_act	1	S_pur_b1_60	1	S_pur_b1_90	1
S_sal_act	1	S_sal_b1_60	1	S_sal_b1_90	1
T_ama_act	1	T_ama_b1_60	1	T_ama_b1_90	1
T_dec_act	1	T_dec_b1_60	1	T_dec_b1_90	1
T_ros_act	1	T_ros_b1_60	1	T_ros_b1_90	1
Ta_mex_act	1	Ta_mex_b1_60	1	Ta_mex_b1_90	1
V_gua_act	1	V_gua_b1_60	1	V_gua_b1_90	1
V_lun_act	1	V_lun_b1_60	1	V_lun_b1_90	1
X_fru_act	1	X_fru_b1_60	1	X_fru_b1_90	1

Cuadro 24. Cambios en las especies arbóreas actuales (act) y para el futuro, bajo el escenario B1 para los años 2060 (b1_60) y 2090 (b1_90) en la reserva de la biosfera de Sierra Gorda (el color verde indica las permanencias, el rojo las extinciones, el amarillo las colonizaciones y el azul los casos raros; el nombre de la especie se expresa por la primer letra del género, seguido de las tres primeras letras del epíteto específico).

Proyección actual y para el futuro

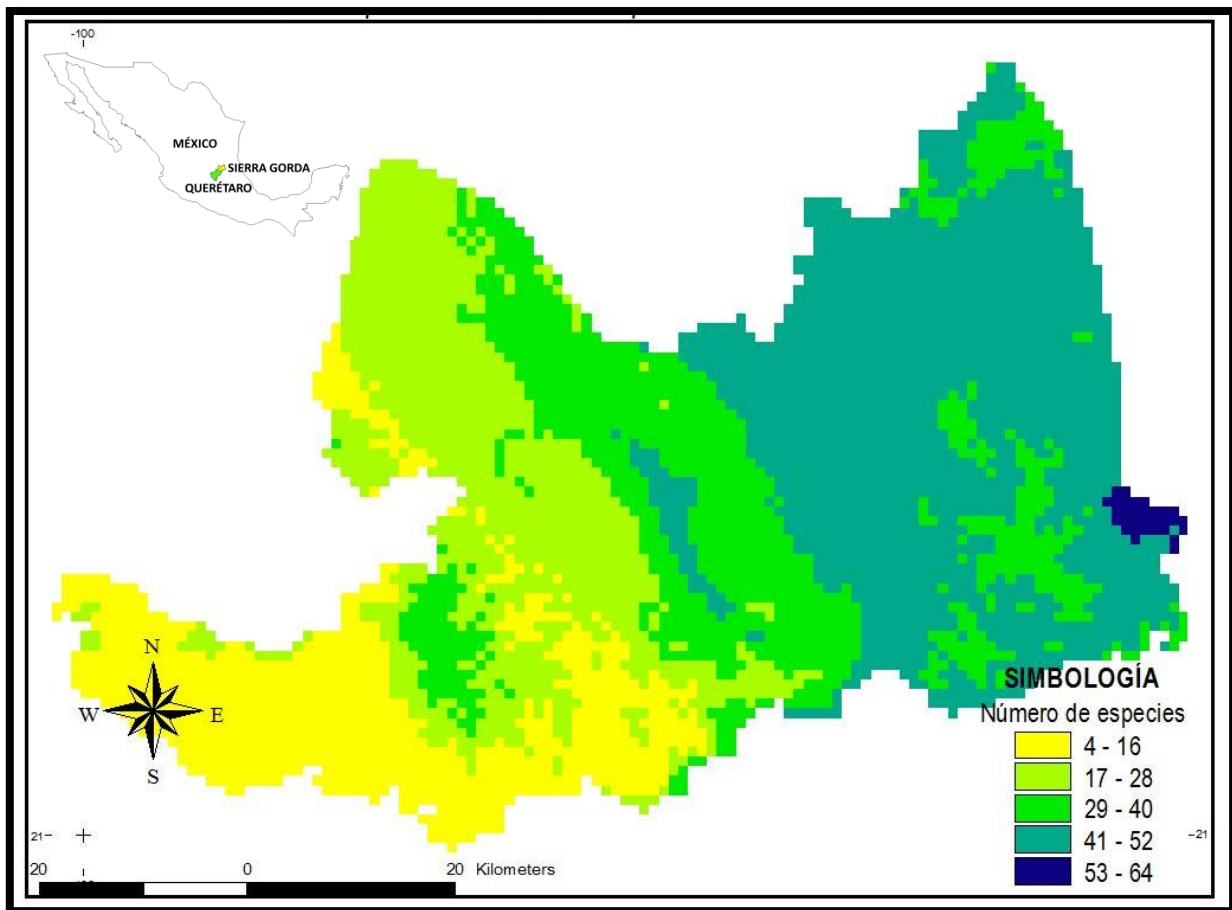


Fig. 40 Riqueza potencial actual de especies arbóreas en la reserva de la biosfera de Sierra Gorda.

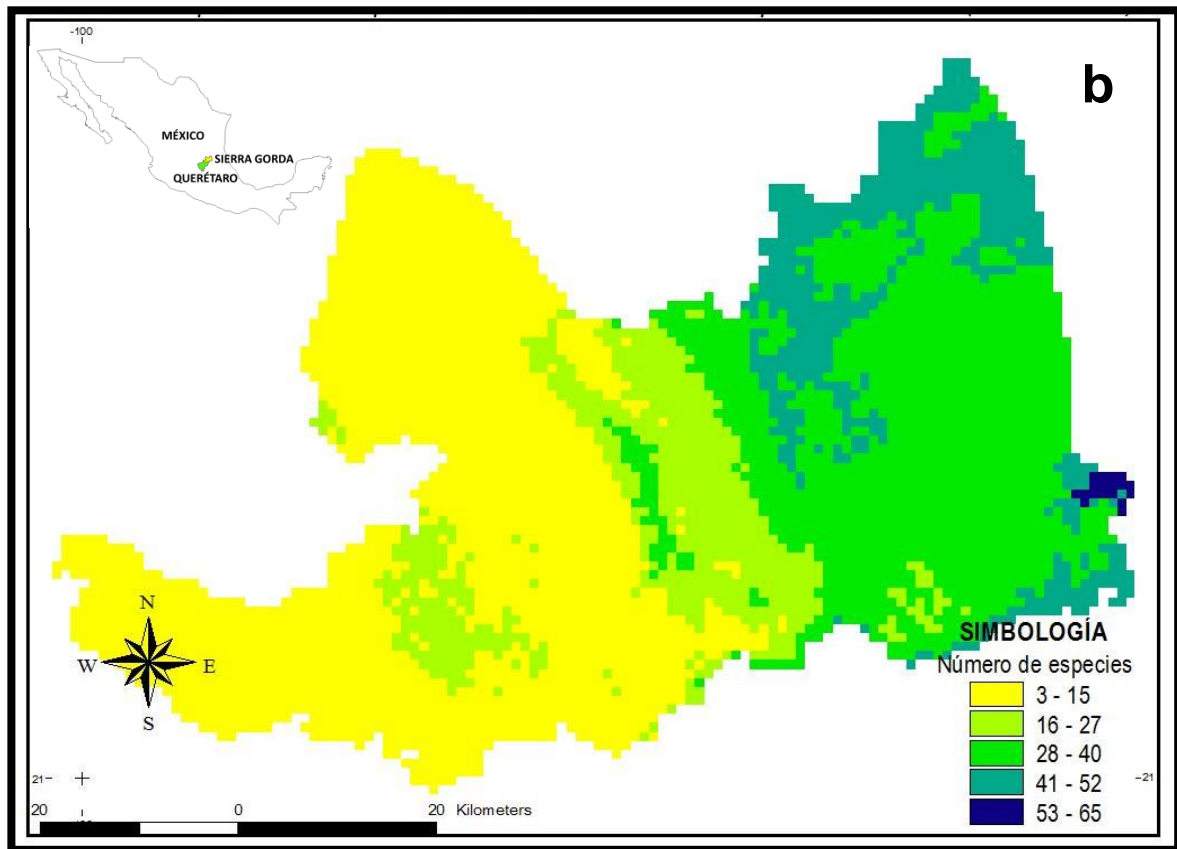
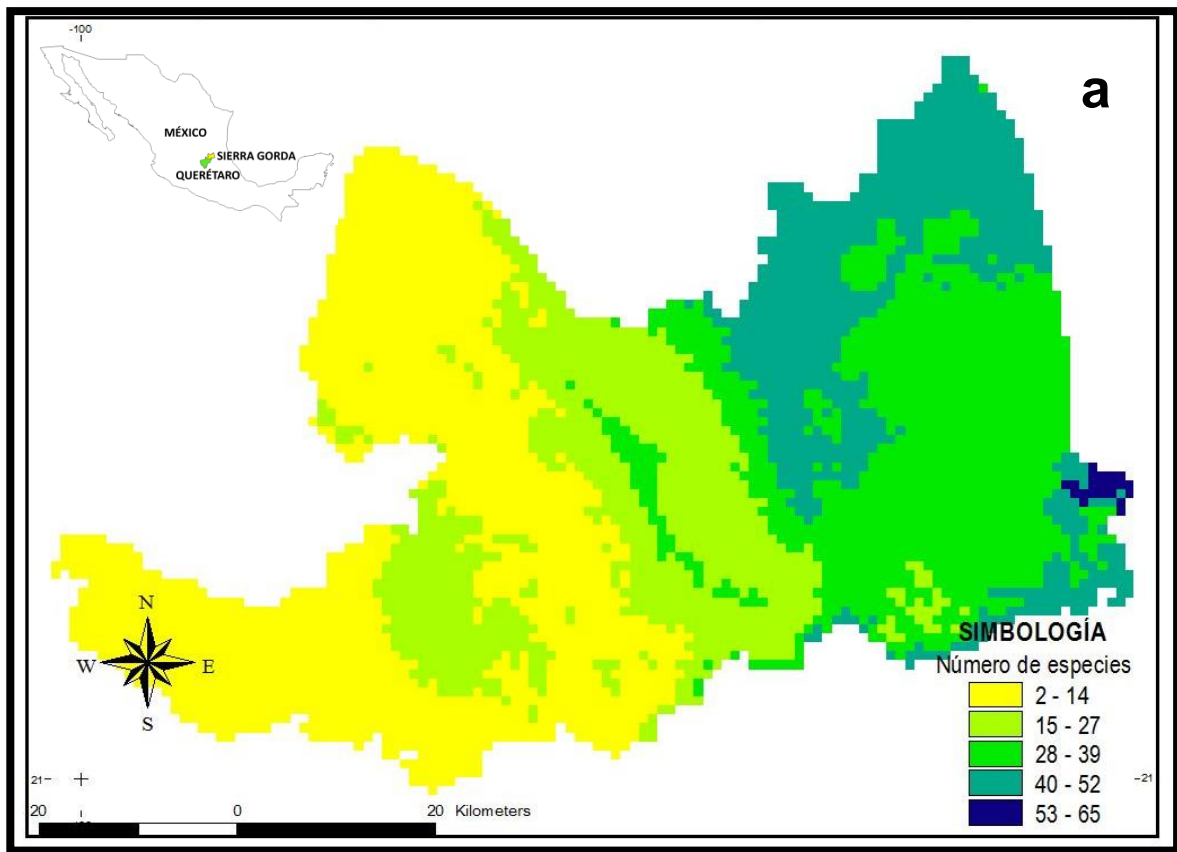


Fig. 41 Riqueza potencial de las especies arbóreas en la reserva de la biosfera de Sierra Gorda, bajo un escenario A2, **a)** para el año 2060 y **b)** para el año 2090.

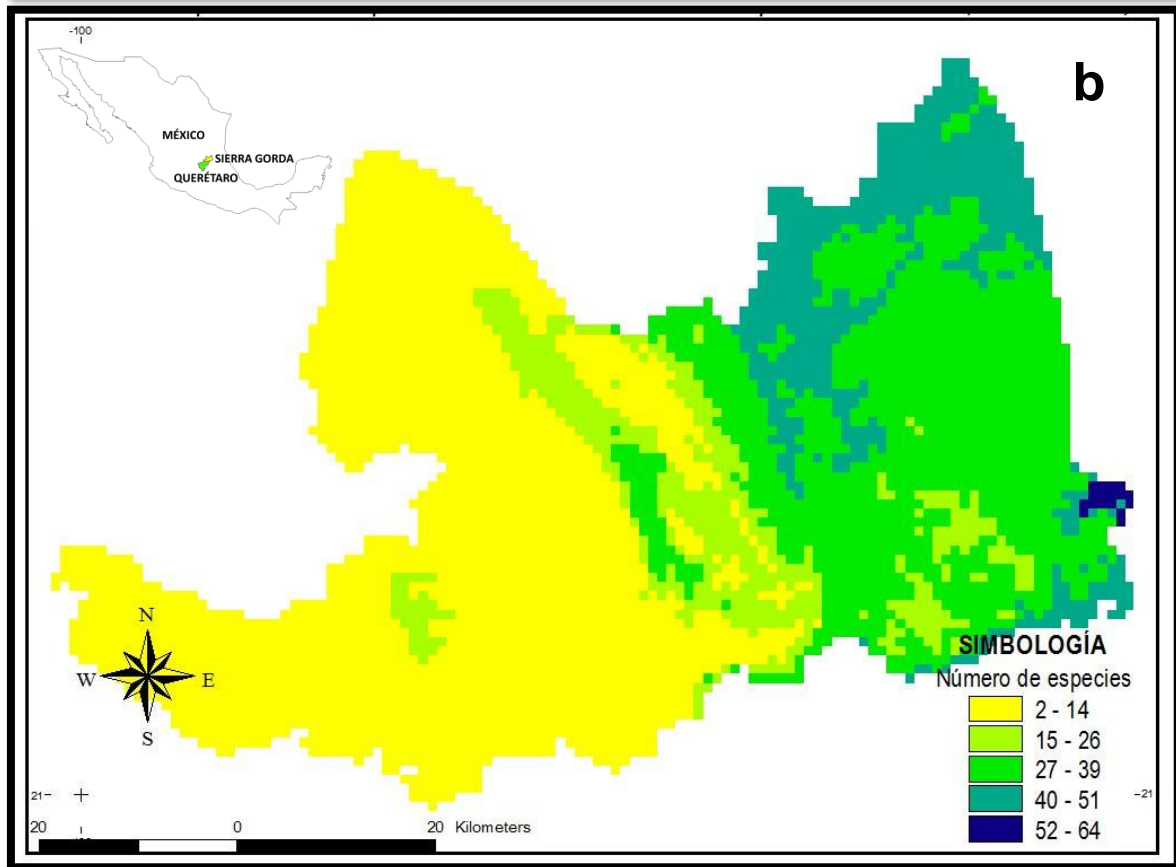
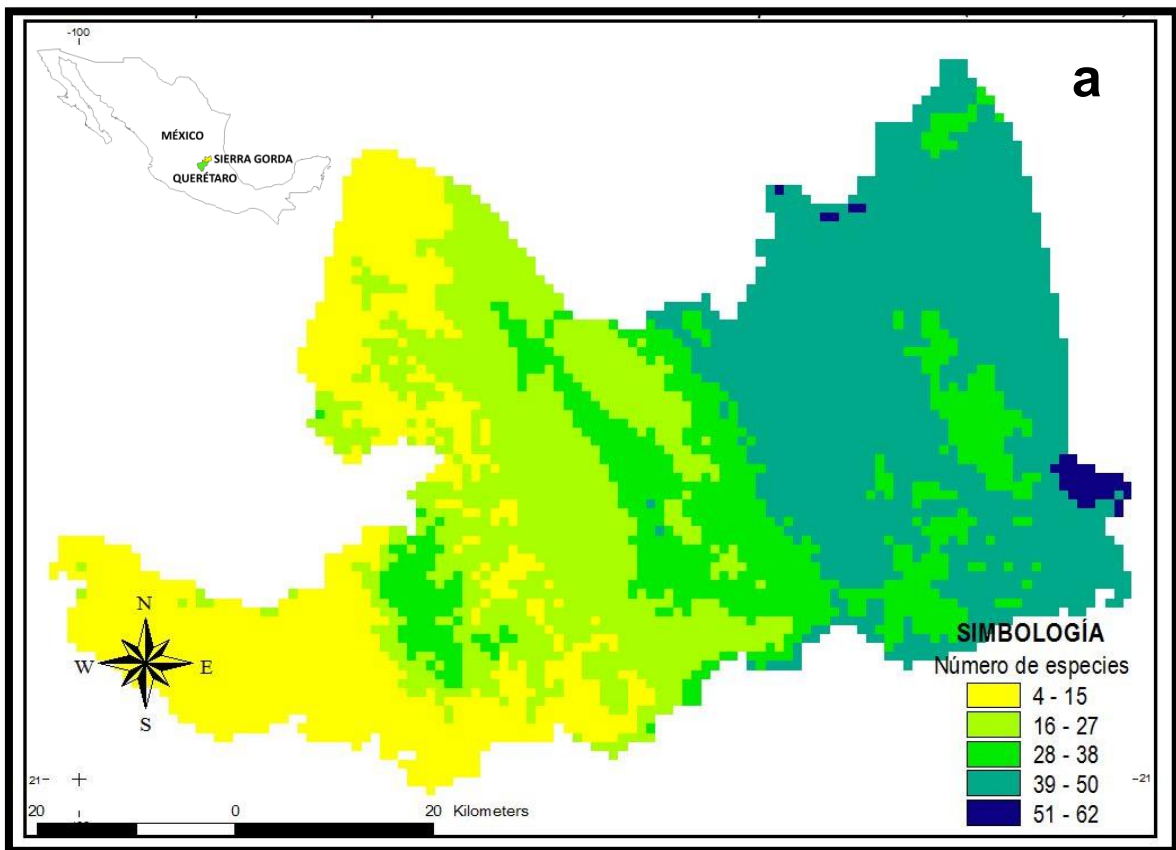


Fig. 42 Riqueza potencial de las especies arbóreas en la Reserva de la Biosfera de Sierra Gorda, bajo un escenario B1, **a)** para el año 2060 y **b)** para el año 2090



Reserva de la biosfera de Tehuacán - Cuicatlán

Ubicación: Puebla y Oaxaca.

Región CONANP: Centro y Eje Neovolcánico

Superficie total: 490 186.87 ha.

Fecha de decreto: 18 de Septiembre de 1998.

Tipos de Vegetación: Bosque tropical caducifolio, Matorral xerófilo, Pastizal, Bosque de coníferas, Bosque mesófilo de montaña, Bosque tropical subcaducifolio, Vegetación acuática, Vegetación subacuática, Bosque de Encino, Bosque Espinoso, Bosque de Galería y Palmar.

Flora: Se reportan 2 686 especies de flora vascular que alberga entre el 10 al 11.4 % de la diversidad florística descrita en el país y se registran 808 especies de plantas útiles. Algunas especies vegetales son: *Pinus spp* (Pino), *Juniperus spp*, *Dioon caputoi* (Cícada), *Dioon califanoi* (Cícada), *Dioon rzedowskii* (Cícada), *Muhlenbergia spp* (Zacatón), *Hechtia spp* (Bromelia), *Agave spp*, *Yucca spp*, *Beaucarnea spp*, *Nolina spp* (Nolina), *Encyclia spp* (Orquídea), *Opuntia spp* (Nopal), *Neobuxbaumia spp* (Cactus columnar), *Acacia spp* (Acacia), *Mimosa spp* (Mimosa), *Viguiera spp*, *Verbesina spp*, *Notholaena spp* (Helecho), *Adiantum spp* (Helecho), *Selaginella spp* (Helecho), *Pleopodium tricholepis* (Helecho), *Didymodon incrassatolimbatu* (Musgo), *Erpodium pringlei* (Musgo), *Funaria orizabensis* (Musgo) y *Gyroweisia obtusifolia* (Musgo) (SEMARNAT, 2013).

Climatología: Debido al gradiente altitudinal, la compleja topografía y la barrera que establece la Sierra Negra y Oaxaqueña a los vientos húmedos del Golfo de México hace que se presenten 3 tipos climáticos: tropical lluvioso (cálido y semicálido A(C)) acotado sólo a la porción serrana que tiene vertiente hacia el Golfo de México, y presentando temperaturas anuales entre 18° a 22°C; el seco (BS) que se presenta en el 73.5 % de la superficie del ANP con temperaturas de 22° a 24°C; y templado lluvioso (C) en el 24.6 %, presentando de 12° a 18°C. La variación de la humedad, de la misma temperatura, la precipitación media anual y de la evapotranspiración, se encuentra determinada por la Sierra Madre del Sur y el Eje Volcánico Transversal (SEMARNAT, 2013).

Relieve: Esta reserva se conforma por dos provincias fisiográficas: la Sierra Madre del Sur (92.65 %) y el Eje Neovolcánico Transversal (7.35 %). Representa un complejo mosaico fisiográfico con valles internos, separados por numerosas cordilleras, donde las condiciones áridas del valle son principalmente el resultado del efecto de sombra orográfica que produce la Sierra Madre Oriental (SEMARNAT, 2013).




Análisis y cambios en las especies: Esta Reserva presenta los datos más semejantes para las estimaciones futuras en comparación al presente; actualmente se estima la presencia de 81 especies y cuya cantidad se mantiene constante en ambos escenarios y tiempos (**Cuadro 25 y 26**), la única variación corresponde a la posible extinción de la especie *Senna multijuga* para el escenario A2 en el año 2090 (**Cuadro 27**). Espacialmente la proyección realizada para la actualidad (**Fig. 43**)

muestra que la mayor cantidad de especies arbóreas se distribuyen en la extensión oriental y occidental del ANP (correspondiente a Bosques Tropicales Caducifolios), mientras que una menor cantidad de especies ocupan la extensión central de norte a sur (donde se registra Matorral Xerófilo).

Las tendencias de distribución se mantienen semejantes para ambas proyecciones y horizontes de tiempo mostrando una franja semicontinua en el centro que se extiende en dirección noroeste al sureste, representando la presencia de menos de 15 especies arbóreas. Con respecto a los extremos correspondientes al oriente y occidente del ANP, estos muestran el mayor número de especies hacia ambas direcciones (**Fig. 44 y 45**).

Proyecciones	Actual	A2_2060	A2_2090	B1_2060	B1_2090
Especies Presentes	81	81	80	81	81

Cuadro 25. Análisis de especies arbóreas presentes y futuras en la Reserva de la Biosfera de Tehuacán – Cuicatlán.

Posibles cambios	Escenario A2	Escenario B1
	Número de especies	Número de especies
 Permanencias	80	81
 Extinción	1	0
 Colonización	0	0

Cuadro 26. Cambios en las especies arbóreas para el futuro (escenario A2 y B1) en la Reserva de la Biosfera de Tehuacán – Cuicatlán.

Especie/Proyección	Valor	Especie/Proyección	Valor	Especie/Proyección	Valor
A_ads_act	1	A_ads_a2_60	1	A_ads_a2_90	1
A_far_act	1	A_far_a2_60	1	A_far_a2_90	1
A_gra_act	1	A_gra_a2_60	1	A_gra_a2_90	1
A_hot_act	1	A_hot_a2_60	1	A_hot_a2_90	1
A_lat_act	1	A_lat_a2_60	1	A_lat_a2_90	1
A_mon_act	1	A_mon_a2_60	1	A_mon_a2_90	1
A_pri_act	1	A_pri_a2_60	1	A_pri_a2_90	1
A_tib_act	1	A_tib_a2_60	1	A_tib_a2_90	1
B_ali_act	1	B_ali_a2_60	1	B_ali_a2_90	1
B_exc_act	1	B_exc_a2_60	1	B_exc_a2_90	1
B_fla_act	1	B_fla_a2_60	1	B_fla_a2_90	1
C_aes_act	1	C_aes_a2_60	1	C_aes_a2_90	1
C_ali_act	1	C_ali_a2_60	1	C_ali_a2_90	1
C_ame_act	1	C_ame_a2_60	1	C_ame_a2_90	1
C_arb_act	1	C_arb_a2_60	1	C_arb_a2_90	1
C_bai_act	1	C_bai_a2_60	1	C_bai_a2_90	1
C_bra_act	1	C_bra_a2_60	1	C_bra_a2_90	1
C_can_act	1	C_can_a2_60	1	C_can_a2_90	1
C_cuj_act	1	C_cuj_a2_60	1	C_cuj_a2_90	1
C_dod_act	1	C_dod_a2_60	1	C_dod_a2_90	1
C_edu_act	1	C_edu_a2_60	1	C_edu_a2_90	1
C_ela_act	1	C_ela_a2_60	1	C_ela_a2_90	1
C_elas_act	1	C_elas_a60	1	C_elas_a90	1
C_eri_act	1	C_eri_a2_60	1	C_eri_a2_90	1

C_gau_act	1	C_gau_a2_60	1	C_gau_a2_90	1
C_mex_act	1	C_mex_a2_60	1	C_mex_a2_90	1
C_oax_act	1	C_oax_a2_60	1	C_oax_a2_90	1
C_odo_act	1	C_odo_a2_60	1	C_odo_a2_90	1
C_pen_act	1	C_pen_a2_60	1	C_pen_a2_90	1
C_pol_act	1	C_pol_a2_60	1	C_pol_a2_90	1
D_arb_act	1	D_arb_a2_60	1	D_arb_a2_90	1
D_dig_act	1	D_dig_a2_60	1	D_dig_a2_90	1
D_mex_act	1	D_mex_a2_60	1	D_mex_a2_90	1
E_cyc_act	1	E_cyc_a2_60	1	E_cyc_a2_90	1
E_fol_act	1	E_fol_a2_60	1	E_fol_a2_90	1
F_pal_act	1	F_pal_a2_60	1	F_pal_a2_90	1
F_pet_act	1	F_pet_a2_60	1	F_pet_a2_90	1
G_ano_act	1	G_ano_a2_60	1	G_ano_a2_90	1
G_cou_act	1	G_cou_a2_60	1	G_cou_a2_90	1
G_gla_act	1	G_gla_a2_60	1	G_gla_a2_90	1
G_jat_act	1	G_jat_a2_60	1	G_jat_a2_90	1
G_sep_act	1	G_sep_a2_60	1	G_sep_a2_90	1
H_nut_act	1	H_nut_a2_60	1	H_nut_a2_90	1
H_pol_act	1	H_pol_a2_60	1	H_pol_a2_90	1
J_mac_act	1	J_mac_a2_60	1	J_mac_a2_90	1
J_mex_act	1	J_mex_a2_60	1	J_mex_a2_90	1
L_aca_act	1	L_aca_a2_60	1	L_aca_a2_90	1
L_arb_act	1	L_arb_a2_60	1	L_arb_a2_90	1
L_cru_act	1	L_cru_a2_60	1	L_cru_a2_90	1
L_eri_act	1	L_eri_a2_60	1	L_eri_a2_90	1

M_bal_act	1	M_bal_a2_60	1	M_bal_a2_90	1
M_bro_act	1	M_bro_a2_60	1	M_bro_a2_90	1
O_ole_act	1	O_ole_a2_60	1	O_ole_a2_90	1
P_aca_act	1	P_aca_a2_60	1	P_aca_a2_90	1
P_bra_act	1	P_bra_a2_60	1	P_bra_a2_90	1
P_cop_act	1	P_cop_a2_60	1	P_cop_a2_90	1
P_dio_act	1	P_dio_a2_60	1	P_dio_a2_90	1
P_dul_act	1	P_dul_a2_60	1	P_dul_a2_90	1
P_lae_act	1	P_lae_a2_60	1	P_lae_a2_90	1
P_lin_act	1	P_lin_a2_60	1	P_lin_a2_90	1
P_oxy_act	1	P_oxy_a2_60	1	P_oxy_a2_90	1
P_pis_act	1	P_pis_a2_60	1	P_pis_a2_90	1
Q_fun_act	1	Q_fun_a2_60	1	Q_fun_a2_90	1
R_fus_act	1	R_fus_a2_60	1	R_fus_a2_90	1
R_mex_act	1	R_mex_a2_60	1	R_mex_a2_90	1
R_mir_act	1	R_mir_a2_60	1	R_mir_a2_90	1
S_ape_act	1	S_ape_a2_60	1	S_ape_a2_90	1
S_don_act	1	S_don_a2_60	1	S_don_a2_90	1
S_gla_act	1	S_gla_a2_60	1	S_gla_a2_90	1
S_mom_act	1	S_mom_a2_60	1	S_mom_a2_90	1
S_mul_act	1	S_mul_a2_60	1	S_mul_a2_90	0
S_par_act	1	S_par_a2_60	1	S_par_a2_90	1
S_pur_act	1	S_pur_a2_60	1	S_pur_a2_90	1
S_sal_act	1	S_sal_a2_60	1	S_sal_a2_90	1
T_ama_act	1	T_ama_a2_60	1	T_ama_a2_90	1
T_dec_act	1	T_dec_a2_60	1	T_dec_a2_90	1

T_ros_act	1	T_ros_a2_60	1	T_ros_a2_90	1
Ta_mex_act	1	Ta_mex_a2_60	1	Ta_mex_a2_90	1
V_gua_act	1	V_gua_a2_60	1	V_gua_a2_90	1
V_lun_act	1	V_lun_a2_60	1	V_lun_a2_90	1
X_fru_act	1	X_fru_a2_60	1	X_fru_a2_90	1

Cuadro 27. Cambios en las especies arbóreas actuales (act) y para el futuro, bajo el escenario A2 para los años 2060 (a2_60) y 2090 (a2_90) en la Reserva de la Biosfera de Tehuacán - Cuicatlán (el color verde indica las permanencias, el rojo las extinciones, el amarillo las colonizaciones y el azul los casos raros; el nombre de la especie se expresa por la primer letra del género, seguido de las tres primeras letras del epíteto específico).

Especie/Proyección	Valor	Especie/Proyección	Valor	Especie/Proyección	Valor
A_ads_act	1	A_ads_b1_60	1	A_ads_b1_90	1
A_far_act	1	A_far_b1_60	1	A_far_b1_90	1
A_gra_act	1	A_gra_b1_60	1	A_gra_b1_90	1
A_hot_act	1	A_hot_b1_60	1	A_hot_b1_90	1
A_lat_act	1	A_lat_b1_60	1	A_lat_b1_90	1
A_mon_act	1	A_mon_b1_60	1	A_mon_b1_90	1
A_pri_act	1	A_pri_b1_60	1	A_pri_b1_90	1
A_tib_act	1	A_tib_b1_60	1	A_tib_b1_90	1
B_ali_act	1	B_ali_b1_60	1	B_ali_b1_90	1
B_exc_act	1	B_exc_b1_60	1	B_exc_b1_90	1
B_fla_act	1	B_fla_b1_60	1	B_fla_b1_90	1
C_aes_act	1	C_aes_b1_60	1	C_aes_b1_90	1
C_ali_act	1	C_ali_b1_60	1	C_ali_b1_90	1
C_ame_act	1	C_ame_b1_60	1	C_ame_b1_90	1
C_arb_act	1	C_arb_b1_60	1	C_arb_b1_90	1

C_bai_act	1	C_bai_b1_60	1	C_bai_b1_90	1
C_bra_act	1	C_bra_b1_60	1	C_bra_b1_90	1
C_can_act	1	C_can_b1_60	1	C_can_b1_90	1
C_cuj_act	1	C_cuj_b1_60	1	C_cuj_b1_90	1
C_dod_act	1	C_dod_b1_60	1	C_dod_b1_90	1
C_edu_act	1	C_edu_b1_60	1	C_edu_b1_90	1
C_ela_act	1	C_ela_b1_60	1	C_ela_b1_90	1
C_elas_act	1	C_elas_b60	1	C_elas_b90	1
C_eri_act	1	C_eri_b1_60	1	C_eri_b1_90	1
C_gau_act	1	C_gau_b1_60	1	C_gau_b1_90	1
C_mex_act	1	C_mex_b1_60	1	C_mex_b1_90	1
C_oax_act	1	C_oax_b1_60	1	C_oax_b1_90	1
C_odo_act	1	C_odo_b1_60	1	C_odo_b1_90	1
C_pen_act	1	C_pen_b1_60	1	C_pen_b1_90	1
C_pol_act	1	C_pol_b1_60	1	C_pol_b1_90	1
D_arb_act	1	D_arb_b1_60	1	D_arb_b1_90	1
D_dig_act	1	D_dig_b1_60	1	D_dig_b1_90	1
D_mex_act	1	D_mex_b1_60	1	D_mex_b1_90	1
E_cyc_act	1	E_cyc_b1_60	1	E_cyc_b1_90	1
E_fol_act	1	E_fol_b1_60	1	E_fol_b1_90	1
F_pal_act	1	F_pal_b1_60	1	F_pal_b1_90	1
F_pet_act	1	F_pet_b1_60	1	F_pet_b1_90	1
G_ano_act	1	G_ano_b1_60	1	G_ano_b1_90	1
G_cou_act	1	G_cou_b1_60	1	G_cou_b1_90	1
G_gla_act	1	G_gla_b1_60	1	G_gla_b1_90	1
G_jat_act	1	G_jat_b1_60	1	G_jat_b1_90	1

G_sep_act	1	G_sep_b1_60	1	G_sep_b1_90	1
H_nut_act	1	H_nut_b1_60	1	H_nut_b1_90	1
H_pol_act	1	H_pol_b1_60	1	H_pol_b1_90	1
J_mac_act	1	J_mac_b1_60	1	J_mac_b1_90	1
J_mex_act	1	J_mex_b1_60	1	J_mex_b1_90	1
L_aca_act	1	L_aca_b1_60	1	L_aca_b1_90	1
L_arb_act	1	L_arb_b1_60	1	L_arb_b1_90	1
L_cru_act	1	L_cru_b1_60	1	L_cru_b1_90	1
L_eri_act	1	L_eri_b1_60	1	L_eri_b1_90	1
M_bal_act	1	M_bal_b1_60	1	M_bal_b1_90	1
M_bro_act	1	M_bro_b1_60	1	M_bro_b1_90	1
O_ole_act	1	O_ole_b1_60	1	O_ole_b1_90	1
P_aca_act	1	P_aca_b1_60	1	P_aca_b1_90	1
P_bra_act	1	P_bra_b1_60	1	P_bra_b1_90	1
P_cop_act	1	P_cop_b1_60	1	P_cop_b1_90	1
P_dio_act	1	P_dio_b1_60	1	P_dio_b1_90	1
P_dul_act	1	P_dul_b1_60	1	P_dul_b1_90	1
P_lae_act	1	P_lae_b1_60	1	P_lae_b1_90	1
P_lin_act	1	P_lin_b1_60	1	P_lin_b1_90	1
P_oxy_act	1	P_oxy_b1_60	1	P_oxy_b1_90	1
P_pis_act	1	P_pis_b1_60	1	P_pis_b1_90	1
Q_fun_act	1	Q_fun_b1_60	1	Q_fun_b1_90	1
R_fus_act	1	R_fus_b1_60	1	R_fus_b1_90	1
R_mex_act	1	R_mex_b1_60	1	R_mex_b1_90	1
R_mir_act	1	R_mir_b1_60	1	R_mir_b1_90	1
S_ape_act	1	S_ape_b1_60	1	S_ape_b1_90	1

S_don_act	1	S_don_b1_60	1	S_don_b1_90	1
S_gla_act	1	S_gla_b1_60	1	S_gla_b1_90	1
S_mom_act	1	S_mom_b1_60	1	S_mom_b1_90	1
S_mul_act	1	S_mul_b1_60	1	S_mul_b1_90	1
S_par_act	1	S_par_b1_60	1	S_par_b1_90	1
S_pur_act	1	S_pur_b1_60	1	S_pur_b1_90	1
S_sal_act	1	S_sal_b1_60	1	S_sal_b1_90	1
T_ama_act	1	T_ama_b1_60	1	T_ama_b1_90	1
T_dec_act	1	T_dec_b1_60	1	T_dec_b1_90	1
T_ros_act	1	T_ros_b1_60	1	T_ros_b1_90	1
Ta_mex_act	1	Ta_mex_b1_60	1	Ta_mex_b1_90	1
V_gua_act	1	V_gua_b1_60	1	V_gua_b1_90	1
V_lun_act	1	V_lun_b1_60	1	V_lun_b1_90	1
X_fru_act	1	X_fru_b1_60	1	X_fru_b1_90	1

Cuadro 28. Cambios en las especies arbóreas actuales (act) y para el futuro, bajo el escenario B1 para los años 2060 (b1_60) y 2090 (b1_90) en la Reserva de la Biosfera de Tehuacán - Cuicatlán (el color verde indica las permanencias, el rojo las extinciones, el amarillo las colonizaciones y el azul los casos raros; el nombre de la especie se expresa por la primer letra del género, seguido de las tres primeras letras del epíteto específico).

Proyección actual y para el futuro

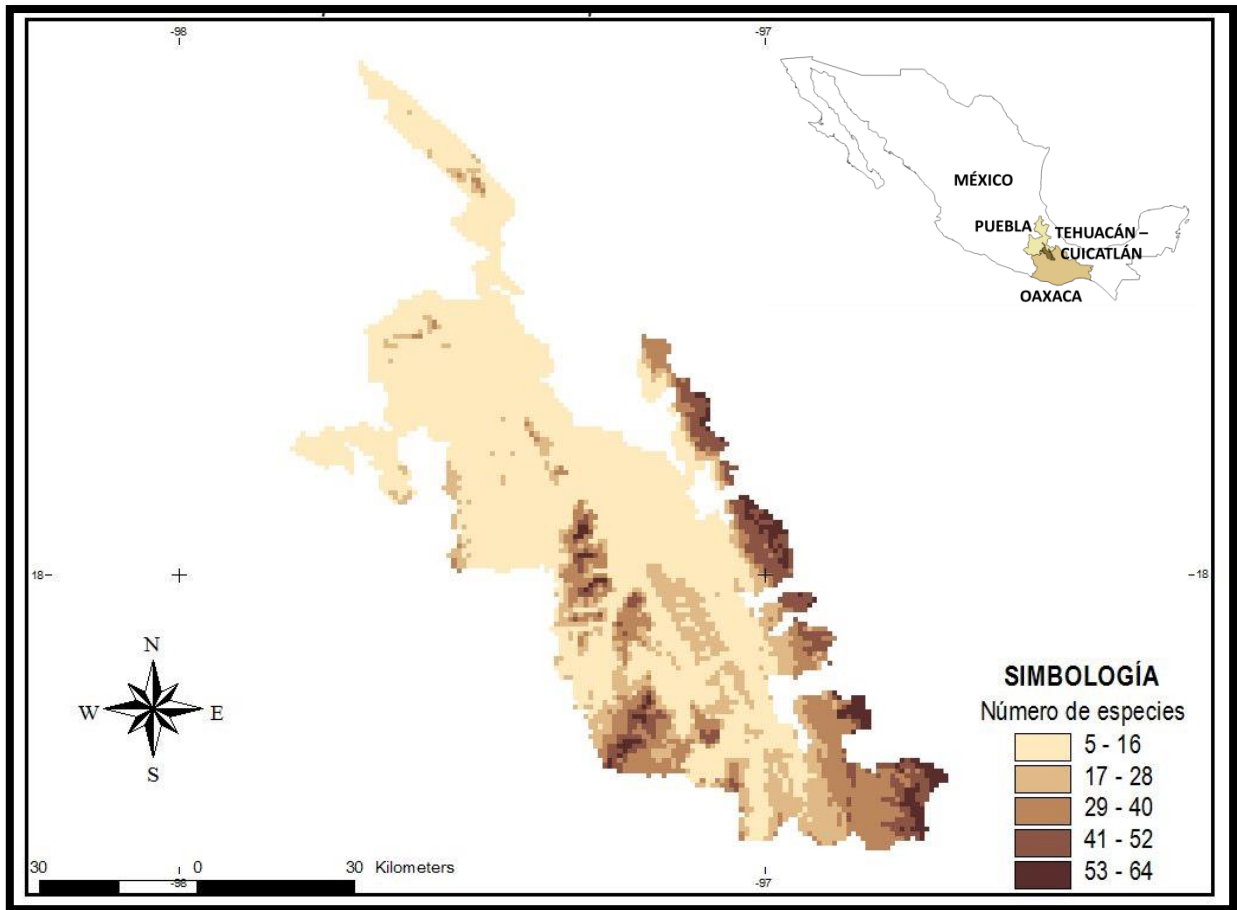


Fig. 43 Riqueza potencial actual de especies arbóreas en la Reserva de la Biosfera de Tehuacán - Cuicatlán.

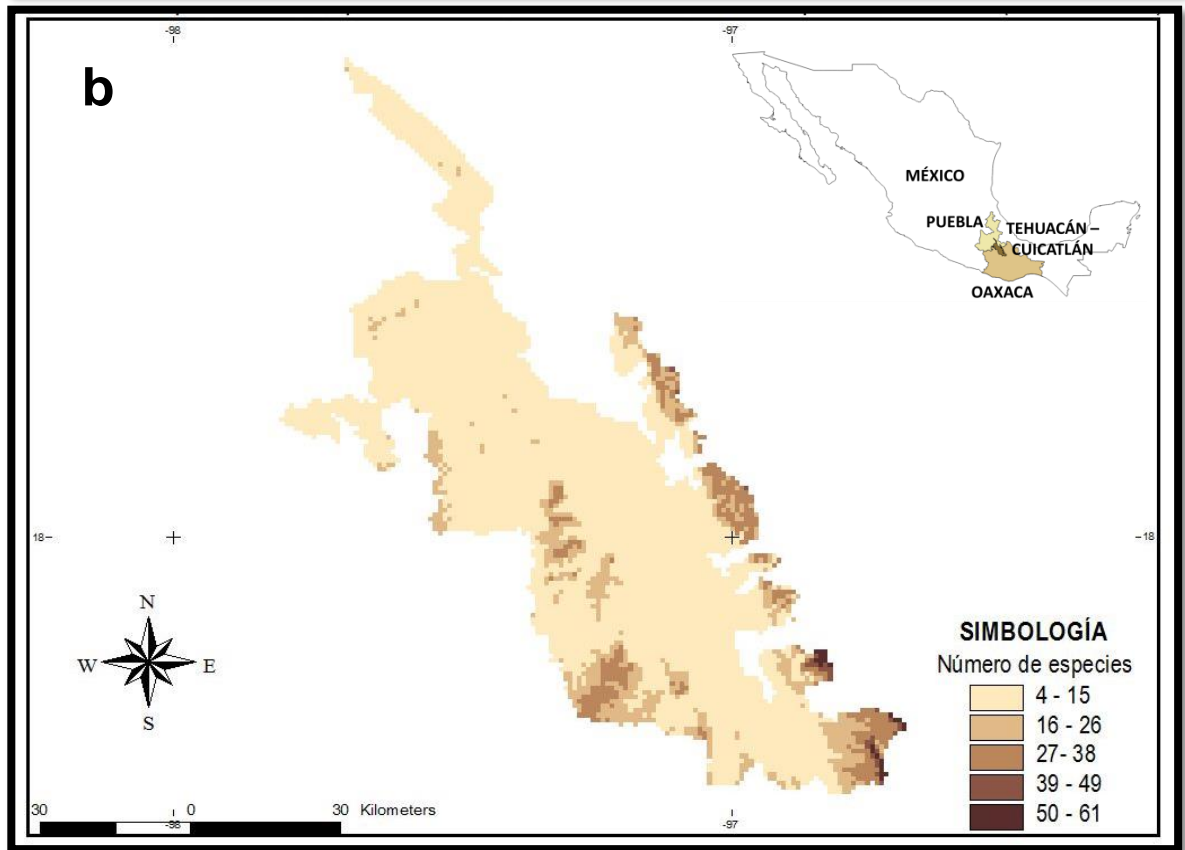
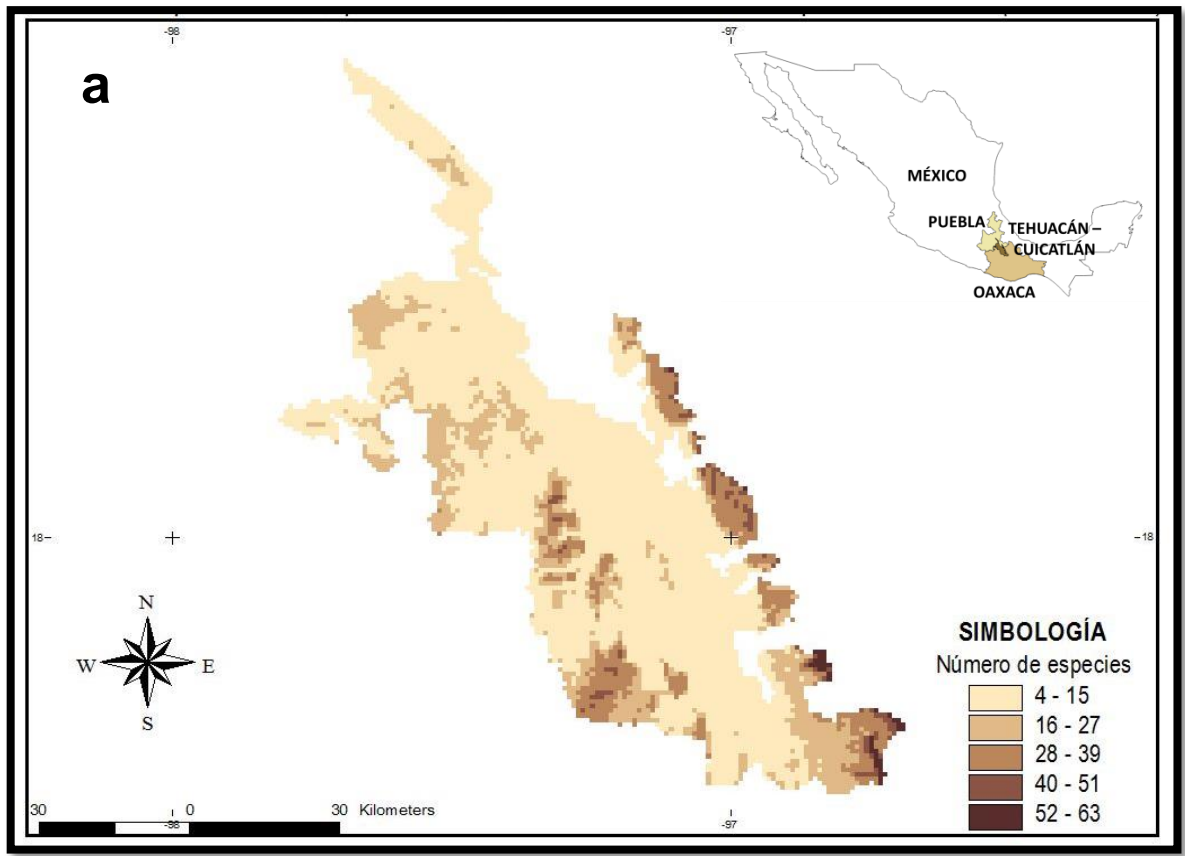


Fig. 44 Riqueza potencial de las especies arbóreas en la Reserva de la Biosfera de Tehuacán - Cuicatlán, bajo un escenario A2, a) para el año 2060 y b) para el año 2090.

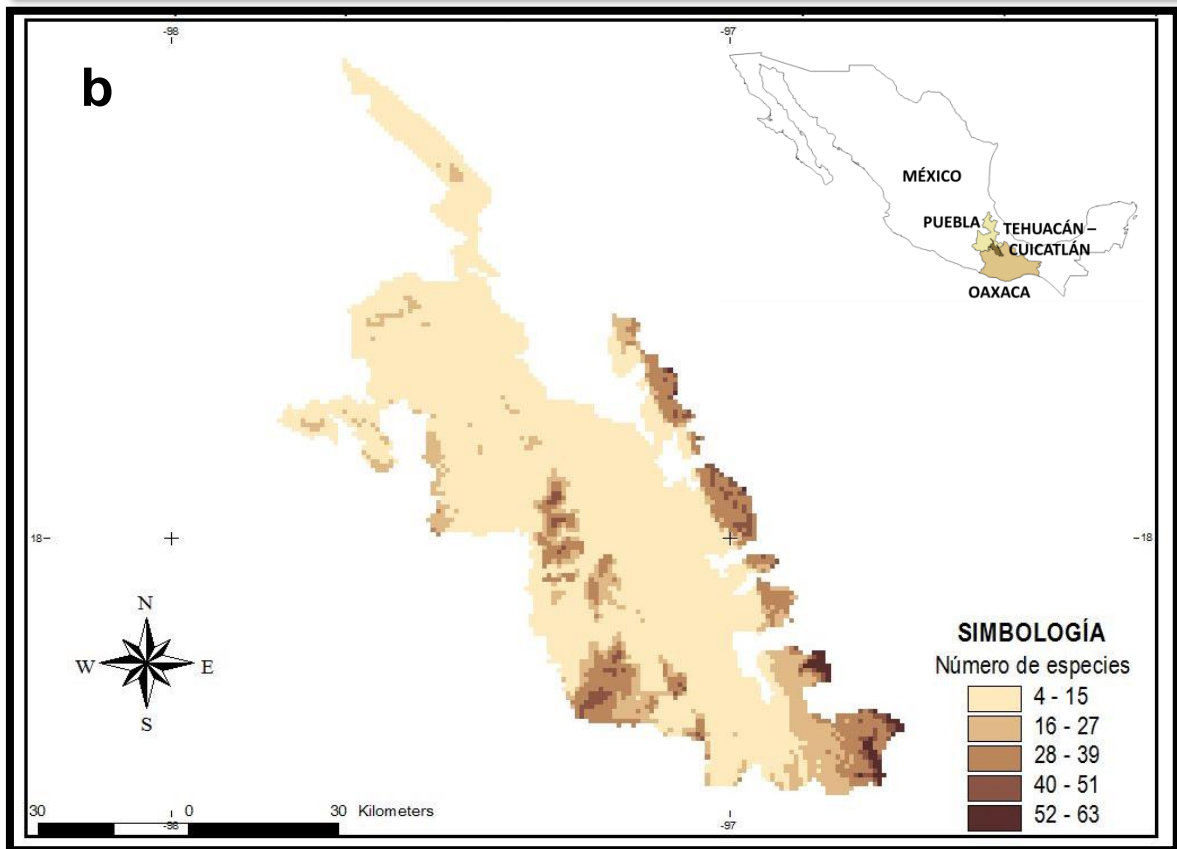
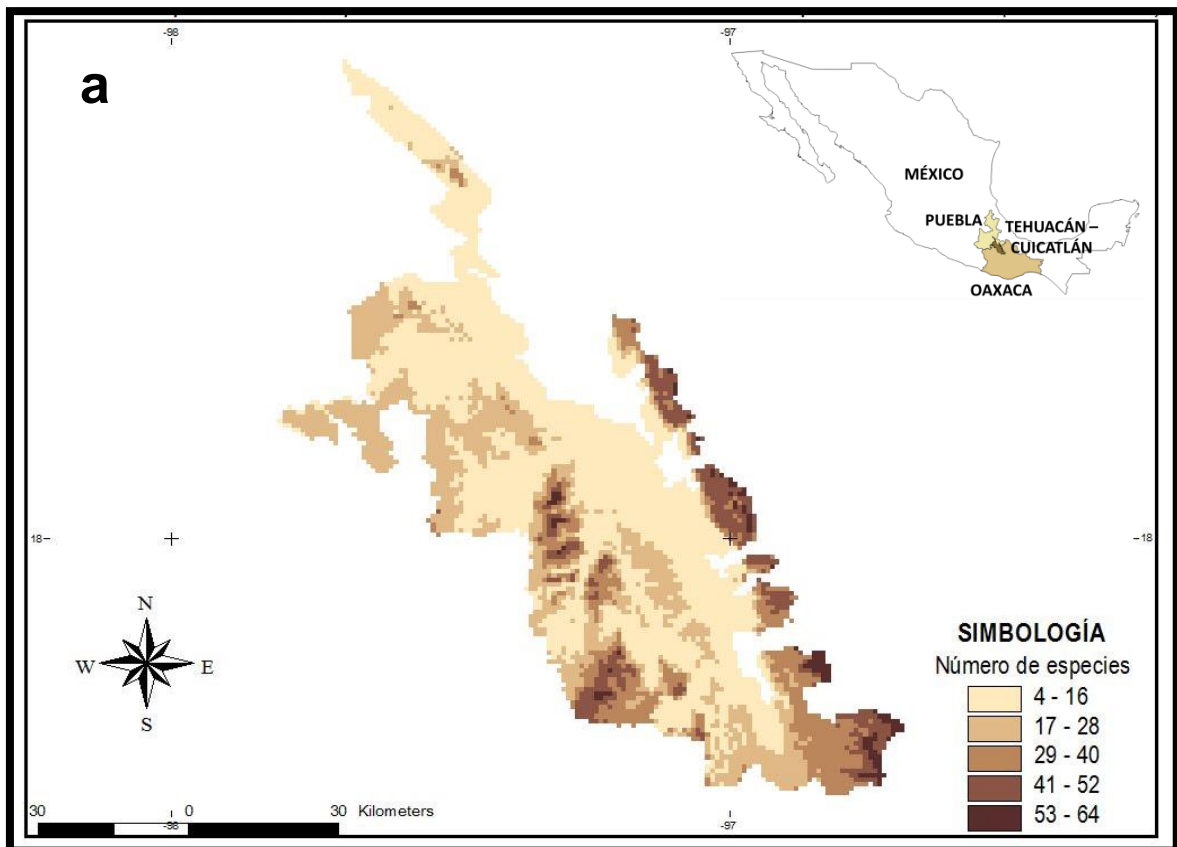


Fig. 45 Riqueza potencial de las especies arbóreas de la Reserva de la Biosfera de Tehuacán – Cuicatlán, bajo un escenario B1, a) para el año 2060 y b) para el año 2090.

DISCUSIÓN

Los estudios realizados en especies arbóreas a través del uso de los modelos de nicho ecológico para estimar su distribución geográfica potencial son escasos (destacan los estudios realizados por Téllez *et al.*, (2004) y Martínez *et al.*, (2016)), estos se reducen más considerando las condiciones climáticas futuras producidas por el cambio climático global (a través del incremento de la temperatura y la variación en la precipitación), particularmente para las especies mexicanas que habitan en las zonas tropicales y pareciera que hasta ahora son nulos para las regiones dedicadas a la conservación de las especies silvestres, como lo son las Áreas Naturales Protegidas. Ante tal situación de escasas informativa, radicó el interés de este estudio, donde los resultados obtenidos para el futuro muestran diferentes tendencias en cada ANP y se identifica que podrán albergar diferentes especies arbóreas, conllevando a una composición vegetal diferente a la actual y cuyo acomodo podrá variar con el tiempo, mostrando desplazamientos hacia diferentes longitudes y latitudes.

De las cinco áreas analizadas, Calakmul es la ANP que muestra mayor variación en el número de especies que podrían albergar en el futuro, al mostrar una reducción de sus elementos arbóreos, algunas especies correspondientes a las selvas altas perennifolias y selvas medianas subperennifolias. Bajo tal tendencia de disminución vegetal se considera que este espacio podría ser oportuno para que otras especies se establezcan a través de procesos de colonización y la consideren como un refugio potencial, conformando tipos vegetales y dominancias diferentes a

los actuales. Sin embargo se desconoce qué “nuevos” elementos vegetales serán, por lo que incrementar el tamaño de la muestra permitiría identificarlas y mostrar estrategias de conservación mayormente dirigidas, especialmente en aquellas que también se encuentren en alguna categoría de riesgo o que muestren un valor ecológico alto para asegurar los servicios ecológicos e interacciones biológicas. Sin embargo bajo el marco legislativo regulatorio que establece por una parte, la salvaguarda de las especies (principalmente de las que están en peligro de extinción, amenazadas, endémicas, raras o sujetas de protección especial), a su vez también determina la prohibición de introducir (o reintroducir) ejemplares o poblaciones de la vida silvestre en las zonas (principalmente núcleo) de las ANP, lo que permite visualizar un marco legislativo que no prevé los efectos posibles del cambio climático (Garza *et al.*, 2016). Por otra parte los esfuerzos de protección deben de incrementarse en aquellas especies más vulnerables al cambio climático, donde la identificación de la posible pérdida de la mitad de las especies para el escenario A2 para el 2090 (**Cuadro 8**), la coloca en una situación de primordial atención.

Sian Ka'an es la segunda Reserva de la Biosfera que presenta variaciones considerables en la permanencia de sus especies arbóreas y los resultados obtenidos dependen del escenario a futuro, sin embargo en el acomodo geográfico se observa que las especies mayormente se acumulan en los extremos del ANP (**Fig. 38 y 39**), debido a que las especies podrían mostrar desplazamientos del centro hacia el norte y sur, correspondiendo a elementos de selvas altas perennifolias y selvas medianas perennifolias. Ante tal modificación se identifica ampliar las áreas

de estudio hacia las zonas colindantes, específicamente al sur con el Área de Protección de Flora y Fauna Uaymil, con la finalidad de verificar tal tendencia, además de precisar que el norte del polígono coincide con la Zona Núcleo Muyil, de acuerdo al Programa de Manejo del ANP (SEMARNAT, 2014).

Se observa que tanto en Calakmul y en Sian Ka'an, el acomodo geográfico de sus especies se establecerá en los extremos de dichos polígonos, lo cual toma mayor relevancia, ya que en la toma de decisiones para el futuro no sólo tendrían que ser considerados estos espacios, sino que también deberán de integrarse las ANP adyacentes del país y las propias de los países colindantes como lo son Guatemala y Belice. Tal tendencia espacial, también podría ser considerada en las zonificaciones y subzonificaciones propias de las ANP, las cuales podrían ser modificadas en extensión o donde algunas áreas tendrían que adquirir una nueva categorización. Y es también en este par de ANP donde la variación climática futura, se observa más marcada y con un gradiente de incremento de temperatura en dirección norte a sur, que podría oscilar hasta los 3.2°C más de los que se registran en promedio anualmente en Sian Ka'an o de 4.2 – 4.6°C para Calakmul, bajo el escenario más drástico para el año 2090.

En lo que refiere a Montes Azules podría mantener estable el número de especies que albergará en el futuro y donde la mayoría de ellas permanecerán en áreas de subzonificación destinadas al *Uso restringido*. Sin embargo algunas malas administraciones o falta de cuidado han provocado que la naturaleza de éstas se pierda y se vean como un negocio, tanto para esta ANP como las decretadas en todo

el estado de Chiapas (El Ocote, La Sepultura, El Triunfo, La Encrucijada, etc.), donde se muestran incrementos en la deforestación entre 3 a 8 veces mayor, particularmente para Montes Azules se reporta una deforestación en el orden de 4.3 mayor para el tiempo comprendido de 1993 al 2000, cifras alarmantes para áreas en las que se han destinado cifras millonarias para su protección, administración y cuidado (Yáñez, 2007).

En cuanto a Tehuacán - Cuicatlán se considera tomar con cautela los datos obtenidos, dado a que la mayoría de las especies arbóreas que se contemplan en este estudio (81 de las 92) se estiman al presente y sin cambios aparentes en el futuro (**Cuadro 24**). Esto no indica que en Tehuacán – Cuicatlán se desarrolle una exuberante vegetación por el número elevado de especies identificadas, lo que indica es la presencia potencial de elementos florísticos con afinidades tropicales, esto debido a que al menos un píxel de la distribución geográfica potencial de las especies seleccionadas que se han registrado en la vertiente del Golfo, en el sureste y/o en la vertiente del Pacífico, se localiza potencialmente dentro o en los límites del polígono de interés. Lo anterior podría relacionarse a la relativa cercanía del ANP con otros tipos de vegetación más cálidos - húmedos, y a las propias características del software e insumos utilizados para este ejercicio.

En lo referente a Sierra Gorda y Tehuacán – Cuicatlán al mostrar menor variación en las especies que permanecerían en el futuro, permiten visualizar acomodos espaciales específicos hacia el extremo oriental de ambos polígonos, lo que hace enfocar la visión hacia los estados colindantes, como lo son San Luis

Potosí e Hidalgo para Sierra Gorda, y Veracruz para Tehuacán – Cuicatlán, lugares que podrían ser propicios para decretar nuevas ANP.

CONCLUSIONES

- 🌳 Las cinco ANP estudiadas presentarán cambios en la distribución de sus especies arbóreas, conllevando a una composición y/o dominancia vegetal diferente a la actual.
- 🌳 Calakmul y Sian Ka'an presentarán en el futuro, considerables disminuciones en el número de especies registradas, principalmente bajo las condiciones del escenario A2. Mientras que los valores más altos de riqueza arbórea se muestran en el escenario B1 en los extremos de los polígonos, coincidiendo con subzonas de las ANP, de acuerdo a los Programas de Manejo.
- 🌳 Montes Azules presentará un ligero incremento en el número de especies en ambos escenarios, correspondiendo a posibles colonizaciones de elementos arbóreos de selvas bajas caducifolias.
- 🌳 Sierra Gorda y Tehuacán – Cuicatlán mantendrá sus valores semejantes o iguales a los establecidos actualmente.
- 🌳 Existirán importantes variaciones espaciales sobre el acomodo geográfico de las especies al futuro, logrando identificar algunos desplazamientos a diferentes longitudes y altitudes que presentarán las condiciones ambientales adecuadas para el establecimiento de las especies, principalmente en Calakmul, Sian Ka'an y Sierra Gorda.

- ✿ Se identifican áreas que presentarán cambios y/o albergarán una mayor riqueza vegetal, los cuales toman relevancia al coincidir a la zonificación propia de las ANP de acuerdo al Programa de Manejo de acuerdo con las categorías de *Zonas Núcleo, Preservación y Conservación de los Recursos Naturales* o *Uso Restringido*. Tales tendencias también coinciden con los límites de las ANP, lo cual invita a inspeccionar o dar continuidad de estudio con los lugares colindantes propios del país e inclusive con los países fronterizos (Guatemala y Belice).
- ✿ Se identifica que la composición vegetal será diferente en el futuro, donde los elementos arbóreos podrían conformar tipos vegetales con dominancias y localizaciones geográficas distintas al presente, donde algunos elementos característicos de selvas altas perennifolias y selvas medianas subperennifolias podrán disminuir (Calakmul), mientras que los de selvas bajas caducifolias podrán incrementar (Montes Azules).
- ✿ Verificar y/o validar la distribución potencial de cada especie dentro de las ANP e incrementar el número de especies vegetales tanto arbóreas como de otra forma biológica (con la finalidad de identificar colonizaciones futuras), son opciones a considerar para que el presente estudio tenga un mayor alcance con sus propios objetivos o con propuestas referentes a la conservación y/o preservación.
- ✿ El ampliar los estudios realizados en las diferentes ANP, no considerando como elección primordial la extensión territorial o tipo de decreto de éstas, permitirá mejorar a través de las verificaciones y/o validaciones directas en

campo los modelos obtenidos dentro de éstas mismas, logrando una mayor interpretación de las tendencias futuras.

- ✿ Se reconoce a las ANP como las estrategias de conservación más importantes del país y con la preservación de ecosistemas con menor grado de perturbación o impacto antrópico, lo que las hace ser lugares idóneos de estudio para inferir sobre las posibles variaciones en las especies considerando el cambio climático.

LITERATURA CITADA

- Anderson R., P., Lew D. & A. T. Peterson. 2003. Evaluating predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling* 162: 211-232.
- Arriaga C., L. Aguilar V. & J. M. Espinoza. 2009. Regiones prioritarias y planeación para la conservación de la biodiversidad. En: *Capital natural de México. Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO. 433-457 pp.
- Ballesteros B. C. 2015. Distribución geográfica y conservación de especies del Género *Ferocactus*. Reunión Nacional de zonas áridas. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, México.
- Bezaury C. J. E. 2004. El valor de los bienes y servicios que las áreas naturales protegidas proveen a los mexicanos. The Nature Conservancy. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. COIZE. UNAM. México. 36 p.
- Bezaury C. J. & D. Gutiérrez C. 2009. Áreas naturales protegidas y desarrollo social en México. En *Capital natural de México. Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO. 385-431.
- CGCM3 (Canadian Center for Climate Modeling and Analysis). 2014. Recuperado de: <http://www.ec.gc.ca/ccmac-cccma/default.asp?lang=En&n=4A642EDE-1>).
- CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas-Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza A.C. The Nature Conservancy. 2011a. Programa de adaptación al cambio climático en áreas naturales protegidas del complejo del Caribe de México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas-Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza A.C.-The Nature Conservancy México. 34 p.
- CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas-Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza A.C. The Nature Conservancy. 2011b. Programa de adaptación al cambio climático en áreas naturales protegidas del complejo de la Selva Maya. Comisión Nacional de Áreas Naturales

Protegidas-Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza A.C.-The Nature Conservancy México. 25 p.

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas-Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza A.C. The Nature Conservancy. 2011c. Programa de adaptación al cambio climático en áreas naturales protegidas del complejo Selva Zoque. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas-Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza A.C.-The Nature Conservancy México. 25 p.

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas-Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza A.C. The Nature Conservancy. 2011d. Programa de adaptación al cambio climático en áreas naturales protegidas del complejo Sierra y Costa de Chiapas. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas-Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza A.C.-The Nature Conservancy México. 33 p

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2014. Estrategia hacia 2040: una orientación para la conservación de las áreas naturales protegidas de México. CONANP. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 84 p.

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2015a. Áreas Protegidas Decretadas. Recuperado de: <
http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/>.

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2015b. Estrategia de Cambio Climático desde las Áreas Naturales Protegidas: Una Convocatoria para la Resiliencia de México (2015-2020). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 62 p.

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2016. Términos de referencia para elaborar los programas de conservación y manejo. Recuperado de:
<http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/programa_manejo.php>

- Delgado T. & D. Suárez D. 2009. Efectos del cambio climático en la diversidad vegetal del Corredor de Conservación Comunitaria Reserva Ecológica El Ángel – Bosque Protector Golondrinas en el norte del Ecuador. *Ecología Aplicada*. 8(2):27-36.
- Garza L. M., Ortega R. J. M., Zamudio S. F. J., López T. J. F., Domínguez Á. F. A. & C. Sáenz R. 2016. Calakmul como refugio de *Swietenia macrophylla* King ante el cambio climático. *Botanical Sciences*. 94(1):43-50.
- Gómez M. L., Galicia, L. & R. Aguilar S. 2008. Sensibilidad de grupos funcionales al cambio climático en la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Investigaciones geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM*. 67-76-100.
- González O. H. A., Cortés C. P., Íñiguez D. L. I. & A. Ortega R. 2014. Las áreas naturales protegidas de México. Número especial monográfico: Áreas Naturales Protegidas. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. 22:7-15.
- INE. Instituto Nacional de Ecología. 1999. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera de Sierra Gorda. INE. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México. 173 p.
- INE. Instituto Nacional de Ecología. 2000a. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera de Calakmul. INE. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México. 271 p.
- INE. Instituto Nacional de Ecología. 2000b. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera de Montes Azules. INE. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México. 257 p.
- INEGI. 2005. Conjunto de datos vectoriales de la Carta de uso actual del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie III. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- LGCC. Ley General de Cambio Climático. 2012. Diario Oficial de la Federación. 44 p.
- LGEEPA. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. 2012. Diario Oficial de la Federación. 114 p.

- Lorente I., Gamó D., Gómez J. L., Santos R., Flores L., Camacho A., Galindo L. & J. Navarro. 2004. Los efectos biológicos del cambio climático. *Ecosistemas*. 13 (1):103-110.
- Martínez M. N., Aguirre - Planter E., Eguiarte L. E. & J. P. Jaramillo C. 2016. Modelado de nicho ecológico de las especies del Género *Abies* (Pinaceae) en México: Algunas implicaciones taxonómicas y para la conservación. *Botanical Sciences*. 94(1):5-24.
- Orellana R., Espadas C., Conde C. & C. Gay. 2009. Atlas: escenarios de cambio climático en la Península de Yucatán. Centro de Investigación Científica de Yucatán. UNAM. Centro de Ciencias de la Atmósfera.
- PECC. Programa Especial de Cambio Climático. 2014. Diario Oficial de la Federación. 96 p.
- Pennington T. & J. Sarukhán. 2005. Árboles tropicales de México. Manual para identificación de las principales especies. 3er. Ed. Fondo de cultura económica. UNAM. México. 523 p.
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2013. Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Tehuacán – Cuicatlán. SEMARNAT. CONANP. México. 336 p.
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2014. Programa de Manejo Complejo Sian Ka'an: Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Área de Protección de Flora y Fauna Uaymil y Reserva de la Biosfera Arrecifes de Sian Ka'an. SEMARNAT. CONANP. México. 486 p.
- Stockwell D. R. B. & D. Peters. 1999. The GARP modelling system: Problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographic Information Systems* 13:143-158.
- Téllez V. O., Chávez H. Y. M., Gómez-Tagle Ch. A. & M. V. Gutiérrez G. 2014. Modelado Bioclimático como herramienta para el manejo forestal: Estudio de cuatro especies de *Pinus*. *Rev. Ciencia Forestal en México*. 25(95):61-82.
- Trejo I., Hernández J. & L. Villers. 2007. Afectación de las comunidades vegetales de México ante el Cambio Climático. En: XI Encuentro de Geógrafos de América

- Latina. Geopolítica, globalización y cambio ambiental: retos para el desarrollo Latinoamericano. Bogotá, Colombia. 15 p.
- Villalobos I. 2000. Áreas naturales protegidas: instrumento estratégico para la conservación de la biodiversidad. *Gaceta Ecológica*. 54:24-34.
- Yáñez M. C. F. 2007. Las áreas naturales protegidas en México, criterios para su determinación. Caso estudio: Sierra Tarahumara, estado de Chihuahua (Tesis de Especialidad en Geología). Al. México. 65 pp.