



Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

Posgrado en Ciencias Biológicas

**Análisis de la distribución geográfica y del estado
de conservación de *Hechtia* Klotzsch
(Hechtioideae:Bromeliaceae) en Megaméxico 3**

Tesis que presenta

Florencia Deyanira Pech Cárdenas

En opción al título de

MAESTRA EN CIENCIAS

(Ciencias Biológicas: Opción Recursos Naturales)

Mérida, Yucatán, México

Marzo 2015

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE YUCATÁN, A. C.



POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS



RECONOCIMIENTO

Por medio de la presente, hago constar que el trabajo de tesis titulado Análisis de la distribución geográfica y del estado de conservación de *Hechtia* Klotzsch (Hechtioideae:Bromeliaceae) en Megaméxico 3 fue realizado en los laboratorios de la Unidad de Recursos Naturales del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. bajo la dirección de la Dra. Ivón M. Ramírez Morillo, dentro de la opción de Recursos Naturales, perteneciente al Programa de Posgrado en Ciencias (Ciencias Biológicas) de este Centro.

Atentamente,

Dr. Manuel Martínez Estévez

Director de Docencia

Mérida, Yucatán, México, Marzo de 2015.

MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO, MARZO DE 2015

DECLARACIÓN DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en la sección de Materiales y Métodos Experimentales, los Resultados y Discusión de este documento proviene de las actividades de experimentación realizadas durante el período que se me asignó para desarrollar mi trabajo de tesis, en las Unidades y Laboratorios del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., y que a razón de lo anterior y en contraprestación de los servicios educativos o de apoyo que me fueron brindados, dicha información, en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, le pertenece patrimonialmente a dicho Centro de Investigación. Por otra parte, en virtud de lo ya manifestado, reconozco que de igual manera los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que deriven o pudieran derivar de lo correspondiente a dicha información, le pertenecen patrimonialmente al Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., y en el mismo tenor, reconozco que si derivaren de este trabajo productos intelectuales o desarrollos tecnológicos, en lo especial, estos se registrarán en todo caso por lo dispuesto por la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, en el tenor de lo expuesto en la presente Declaración.

Firma: _____



Nombre: Florencia Deyanira Pech Cárdenas

"Hoy como en los tiempos de Darwin la distribución de los seres vivos es una fuente inagotable de luz sobre la historia de la vida sobre la Tierra"

Crisci J. V., Katinas L. y P. Posadas, 2000, Introducción a la teoría y práctica de la biogeografía histórica.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia: mis padres, en especial mis hermanas Mónica, Fátima, Kelly y Yoselín, a mi hermanito William y a mis hermosos sobrinos Jade, Liam, Isaac y Demian. ¡¡Los amo!!

A mi tutora la Dra. Ivón Ramírez por permitirme ser su hija académica, por enseñarme a ser puntual, por todo su apoyo brindado durante la realización de mi tesis y la tortura que le hice pasar durante la depuración de mi base de datos, por sus charlas amenas para animarme, por sus regaños, su paciencia, sobre todo por amistad y por dejarme construir mi camino poco a poco, con tropiezos y aciertos, pero siempre contando con ella para apoyarme y corregirme.

Al Dr. Rodrigo Duno, por todo su apoyo durante la realización de mi tesis, todos aquellos artículos que fueron de gran importancia, por todos los momentos que fui a molestarlo y siempre me brindó su ayuda sin importar que tan ocupado estuviera, por todas las impresiones y consejos recibidos.

Al Dr. Germán Carnevali y Dr. Héctor Estrada por ser parte de mi comité tutorial y fortalecer el presente documento a través de sus valiosos comentarios y correcciones.

A la Dra. Celene Espadas, por compartir su conocimiento sobre Sistemas de Información Geográfica y Modelado de nicho conmigo, y aún más, por haberme brindado su amistad, tiempo y paciencia, sin ella mi tesis, mi estancia en Coatepec (Veracruz) y en Misuri, no hubieran sido posibles.

A la Dra. Burgund Bassüner del Centro de Ciencia y Conservación del Jardín Botánico de Misuri, EEUU, por su cálida y grata atención durante mi estancia desarrollada en dicho lugar y por compartir sus conocimientos sobre Sistemas de Información Geográfica conmigo.

A la Dra. Olga Martha Montiel por su enorme apoyo en los gastos de alojamiento en los departamentos del Missouri Botanical Garden y por toda su gran ayuda durante los trámites para mi estancia.

A Alba Arbeláez, Dawn Trog, David Bogler, Mary McNamara, Anne, Megan, Carito, Sebastián, Iván y demás personas y amigos, que de alguna manera contribuyeron a que

podiera realizar mi estancia en Misuri, o bien a disfrutarla al máximo.

A José Eduardo Pérez Sarabia por su apoyo, ayuda y amor durante estos años en mi vida, por crecer juntos y brindarme su cariño incondicional.

A Matt Young por permitirme comenzar un nuevo capítulo de vida, así como a sus padres, Mark y Mary Young, por su hospitalidad y cariño.

Al Instituto de Ecología, A. C. (INECOL) por el uso de sus instalaciones durante el curso Modelado de nicho ecológico, así como al proyecto CONACYT: "Filogenia, evolución y biogeografía de *Hechtia* Klotzsch (Hechtioideae: Bromeliaceae)", por financiar el pasaje para asistir a dicho curso.

A Beto y Genaro por su hospitalidad durante mi estancia en Coatepec, Veracruz.

A Azucena, Sayra, Rocío, Gabi y Eugenia por su amistad y por las aventuras que pasamos juntas redescubriendo la belleza de Coatepec.

A Liligelia García, Nancy Dzulub y Alejandra Arceo, por su amabilidad y apoyo en todos los trámites y solicitud de becas.

Al personal del Herbario CICY, en especial a Silvia Hernández y Lilia Can, a José Luis Tapia por su apoyo en la creación de la base de datos, así como a Sergio de Jesús Pérez de la Biblioteca CICY.

A mis compañeros de la Línea de Sistemática y Florística, así como a mis compañeros de generación, en especial a Manuel Pool e Irina, gracias por su amistad.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la Beca Nacional No. 288653, para realizar los estudios de maestría, por la Beca Mixta No. 290842, para realizar una estancia de Investigación en el Missouri Botanical Garden, Estados Unidos y por los Apoyos Complementarios para Mujeres Indígenas Becarias CONACYT 2014-1 y 2014-2.

Al CICY por las instalaciones prestadas y por la Beca de Movilidad estudiantil 2014-II otorgada para asistir al XVIII Congreso de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y

la Conservación en Copán Ruinas, Honduras.

A Juan Morrone y Peter Löwenberg por facilitarme ciertos artículos científicos.

Al Dr. Tom Wendt, curador del Herbario TEX, de la Universidad de Texas en Austin, por su ayuda con la identificación y curación de determinados ejemplares de *Hechtia*.

A Luis Pereira, de Biocenosis A.C., por su orientación al uso del programa Maxent.

DEDICATORIAS

A mis hijas adoptivas Kelly y Jade, por hacer mi vida más feliz y por ser mi inspiración para seguir adelante cada día.

ÍNDICE

PÁGINA

ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
LISTADO DE ABREVIATURAS	vii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
CAPÍTULO I	11
INTRODUCCIÓN	11
ANTECEDENTES	13
1.1. LA FAMILIA BROMELIACEAE.....	13
1.2. EL GÉNERO <i>HECHTIA KLOTZSCHT</i>	14
1.2.1. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE <i>HECHTIA</i>	14
1.2.2. ¿QUÉ SE CONOCE SOBRE EL GÉNERO <i>HECHTIA</i> ?	15
1.3. BIOGEOGRAFÍA HISTÓRICA Y REGIONALIZACIÓN BIOGEOGRÁFICA.....	16
1.4. FACTORES RELACIONADOS CON EL ENDEMISMO	17
1.5. LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	18
1.6. EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS ESPECIES.....	19
1.7. PATRONES DEL RIESGO DE EXTINCIÓN	23
1.8. LOS REGISTROS DE HERBARIO, ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN Y CONSERVACIÓN.....	24

HIPÓTESIS	27
OBJETIVO GENERAL	28
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
JUSTIFICACIÓN	29
BIBLIOGRAFÍA	30
CAPÍTULO II	37
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA CONOCIDA, ESTADO DE CONSERVACIÓN Y PATRONES DEL RIESGO DE EXTINCIÓN EN <i>HECHTIA</i>	37
2.1. INTRODUCCIÓN	37
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS	38
2.2.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	38
2.2.2. RECOLECCIÓN DE DATOS	38
2.2.3. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA CONOCIDA Y RIQUEZA DE ESPECIES	40
2.2.4. REGIONES BIOGEOGRÁFICAS Y DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES	40
2.2.5. EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN	40
2.2.6. ANÁLISIS DE LOS PATRONES DEL RIESGO DE EXTINCIÓN.....	42
2.3. RESULTADOS.....	43
2.3.1. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA CONOCIDA Y RIQUEZA DE ESPECIES	43
2.3.2. REGIONES BIOGEOGRÁFICAS Y DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES	47
2.3.3. ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS ESPECIES DE <i>HECHTIA</i>	49
2.3.4. PATRONES DE RIESGO DE EXTINCIÓN DE LAS ESPECIES DE <i>HECHTIA</i>	50

2.4. DISCUSIÓN	55
2.4.1. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA CONOCIDA Y RIQUEZA DE ESPECIES	55
2.4.2. REGIONES BIOGEOGRÁFICAS Y DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES	57
2.4.3. ESTADO DE CONSERVACIÓN Y PATRONES DEL RIESGO DE EXTINCIÓN DE <i>HECHTIA</i>	58
3. BIBLIOGRAFÍA	64
CAPÍTULO III	69
CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.....	69
3.1. CONCLUSIONES.....	69
3.2. PERSPECTIVAS.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Categorías de la IUCN (2001)	21
Figura 1.2. Categorías de riesgo del MER	22
Figura 2.1. Región de estudio	38
Figura 2.2. Mapa de distribución general del género <i>Hechtia</i> en Megaméxico 3.	43
Figura 2.3. Densidad de colectas de especies de <i>Hechtia</i> por área de 50 x 50 km en Megaméxico 3	44
Figura 2.4. Número de especies del género <i>Hechtia</i> presentes en uno o más estados o departamentos en Megaméxico 3	45
Figura 2.5. Número de especies de <i>Hechtia</i> por área de 50 x 50 km en Megaméxico 3..	46
Figura 2.6. Número de provincias biogeográficas (<i>sensu</i> Morrone, 2014) en las que están presentes las especies..	47
Figura 2.7. Provincias biogeográficas (<i>sensu</i> Morrone, 2014) presentes en Megaméxico 3 y número total de especies y de endémicas de <i>Hechtia</i>	48
Figura 2.8. Riqueza de especies presentes en las provincias biogeográficas (<i>sensu</i> Morrone, 2014) de Megaméxico 3..	49
Figura 2.9. Categorías de riesgo de la IUCN asignadas a las especies..	50

ÍNCIDE DE CUADROS

Cuadro 1.1. Especies pertenecientes al género <i>Hechtia</i> a las que se les ha realizado evaluación del estado de conservación.....	16
Cuadro 2.1. Número de especies y características de las colectas utilizadas en este estudio.....	39
Cuadro 2.2. Aplicación del criterio B (distribución) para asignar categorías de amenaza... ..	41
Cuadro 2.3. Riesgo de extinción de las especies de <i>Hechtia</i> y tipo y número de hábitats en que se presentan... ..	51
Cuadro 2.4. Riesgo de extinción de las especies de <i>Hechtia</i> y número de provincias biogeográficas (<i>sensu</i> Morrone, 2014) en las que se han registrado las especies.....	51
Cuadro 2.5. Riesgo de extinción de las especies de <i>Hechtia</i> y provincias biogeográficas de Megaméxico 3 (<i>sensu</i> Morrone, 2014).....	52
Cuadro 2.6. Riesgo de extinción de las especies de <i>Hechtia</i> y patrones de crecimiento (<i>sensu</i> Ramírez <i>et al.</i> , 2014).....	53
Cuadro 2.7. Riesgo de extinción en los clados <i>Hechtia. glomerata</i> , <i>H. tillandsioides</i> , <i>H. guatemalensis</i> y <i>H. rosea</i>	54

LISTADO DE ABREVIATURAS

ANP: Área Natural Protegida

AOO: Área de Ocupación

EOO: Extensión de Presencia

IUCN: International Union of the Naturae

km, km²: Kilómetros, kilómetros cuadrados

MER: Método de Evaluación de Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México

SIG: Sistemas de Información Geográfica

NT: No amenazada

DI: Datos insuficientes

Tipos de vegetación

B: Bosque húmedo

MX: Matorral xerófilo

SBC: Selva baja caducifolia

Provincias biogeográficas *sensu* Morrone (2014)

AM: Altiplano Mexicano

DB: Depresión del Balsas

EVT: Eje Volcánico Transmexicano

SMOC: Sierra Madre Occidental

SMOR: Sierra Madre Oriental

SMS: Sierra Madre del Sur

TACH: Tierras Altas de Chiapas

TBP: Tierras Bajas del Pacífico

PBC: Provincia de Baja California

PC: Provincia de California

PM: Provincia Mosquito

PS: Provincia de Sonora

PT: Provincia de Tamaulipas

PV: Provincia Veracruzana

PY: Península de Yucatán

Categorías de riesgo *sensu* IUCN (2001)

CR: Peligro crítico

EN: En peligro

V: Vulnerable

Patrones de crecimiento *sensu* Ramírez *et al.* (2014)

SE: Simpodial estricto

PS: Pseudomonopodial

SFP: Simpodial con floración precoz

RESUMEN

Analizar la distribución geográfica de las especies permite identificar patrones, regiones de alta diversidad y evaluar el estado de conservación de las mismas. Sin embargo, se ha trabajado muy poco acerca del análisis de las categorías de amenaza asignadas a las especies con la finalidad de identificar patrones de distribución del riesgo de extinción a través de grupos monofiléticos. El objetivo de este trabajo fue analizar la distribución geográfica conocida y el estado de conservación de las especies pertenecientes al género *Hechtia*. La monofilia de este género ha sido apoyada por estudios morfológicos y moleculares, siendo el único representante de la subfamilia Hechtioideae (Bromeliaceae). El área de estudio abarcó toda el área de distribución geográfica natural del género, la cual corresponde a la región biogeográfica Megaméxico 3, lo cual permitió analizar la distribución geográfica de las especies en función de las provincias biogeográficas *sensu* Morrone (2014). Se construyó un Sistema de Información Geográfica para analizar la distribución geográfica conocida y se utilizó el sistema de categorización de la IUCN (2001) para asignar las categorías de riesgo de 61 especies. Se encontraron regiones con mayor diversidad de especies, siendo éstos el norte de la Sierra Madre del Sur, la parte este de la Depresión del Balsas y el Eje Volcánico Transmexicano, el sur de la Sierra Madre Oriental y el centro oeste de la Provincia Veracruzana. Más del 70% de las especies evaluadas fueron asignadas a alguna categoría de riesgo de extinción: cuatro especies en Peligro Crítico, 29 en Peligro y 13 Vulnerables. El posterior análisis de las categorías de riesgo del grupo monofilético en toda su área de distribución, permitió identificar patrones ecológicos, biológicos, biogeográficos y filogenéticos del riesgo de extinción. Así, las especies que presentan mayor riesgo de extinción son aquellas que habitan selvas bajas caducifolias, cuyo patrón de crecimiento es simpodial estricto o que están presentes en las provincias biogeográficas de las vertientes del Golfo de México y del Pacífico, siendo que al presentar dos o más de estas características, su riesgo aumenta. La combinación de factores tales como el tipo y número de hábitats y provincias y el patrón de crecimiento, influyen y determinan el riesgo de extinción de los clados propuestos por Ramírez (2014). Finalmente, evaluaciones completas, estudios futuros y acciones de conservación deben ser enfocados sobre las especies y clados más vulnerables.

ABSTRACT

The analysis of the geographic distribution of species can be useful to identify patterns, regions of high diversity of species and assess their conservation status. However, the work on the analysis of the threat categories assigned to species in order to identify patterns of distribution of extinction risk across monophyletic groups is scarce. The aim of this study was to analyze the geographic distribution and conservation status of the species of the *Hechtia* genus. The monophyly of this genus has been supported by morphological and molecular studies, being the only representative of the Hechtioideae (Bromeliaceae) subfamily. The study area comprised the natural geographic distribution area of the genus, which corresponds to the region of Megamexico 3. This allowed to analyze the geographical distribution of species based on biogeographic provinces *sensu* Morrone (2014) to have an approach of historical biogeography of the genus, and moreover, to analyze the threat categories of the species to identify distribution patterns of extinction risk across gender. A Geographic Information System was constructed to analyze the known geographic distribution of the species of the *Hechtia* genus and the IUCN (2001) categorization system was used to allocate the risk categories of the 61 identified species. The regions with the greatest diversity of species were identified at North of the Sierra Madre del Sur, Eastern of the Balsas Basin, Eastern of the Transmexican Volcanic Belt, Southern of the Sierra Madre Oriental and Center-western of the Veracruzana Province. Over 70% of the assessed species were assigned to a category of endangerment: 4 Critically Endangered, 29 Endangered, 13 Vulnerable and 15 Not Endangered. Ecological, biological, biogeographical and phylogenetic patterns of risk of extinction were identified, which allowed further understanding of patterns beyond categorization of species. Thus, species with higher risk of extinction are those either inhabiting low deciduous forests, or presenting a strictly sympodial growth pattern, or distributed in the Mexican Gulf or Pacific provinces. The presence of two or more of these features conspicuously increases the risk of extinction. For clades proposed by Ramírez (2014), the combination of factors such as the type and number of habitats, distribution in certain provinces, and growing patterns, are important in assessing the risk of extinction. Finally, complete assessments, future studies, and conservation actions should be focused on the most vulnerable species and clades.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El área de distribución geográfica que tiene cada especie en el planeta, es una característica intrínseca que permite entender los fenómenos ecológicos, históricos y evolutivos por los cuales existe dicha distribución (Pielou, 1979).

La mayoría de las especies no tiene una distribución geográfica aleatoria, en su mayoría están confinadas en un arreglo determinado. El área de distribución de una especie puede caracterizarse según su forma, ubicación geográfica, continuidad, tendencias de deformación, barreras formadas por eventos históricos que ocurrieron durante el desarrollo de la biota, y el tiempo de existencia del taxón (Lomolino *et al.*, 2010). Además, es posible determinar relaciones genealógicas entre áreas de endemismo, que indican la secuencia histórica de su fragmentación o de su concentración en alguna región, las cuales pudieron fungir como refugios para la biodiversidad en periodos de glaciales e interglaciales.

La distribución geográfica de los taxones, es un criterio importante que se evalúa en los sistemas de categorización de riesgo de especies amenazadas, convirtiéndose en una herramienta importante para la evaluación del estado de conservación de las especies (Ferrier, 2002). En el continente Americano se han reportado 25 sistemas de categorización a nivel internacional, regional y otro establecido por académicos con diferentes criterios (Grammont y Cuarón, 2006). En México se han usado tres sistemas de categorización: a nivel internacional el sistema de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (2001) (IUCN por sus siglas en inglés), a nivel nacional el Método de Evaluación de Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México (MER) (SEMARNAT, 2002), y el de Ceballos y Navarro (1991), el cual es un índice que ayuda a evaluar el estado de conservación potencial de las especies.

Se ha debatido sobre qué método es el más adecuado, y se ha encontrado que el de la IUCN es más objetivo y realmente evalúa el riesgo de extinción de las especies en lugar de prioridades de conservación como lo hace la MER y el de Ceballos y Navarro (1991),

además, los criterios y categorías establecidos se describen de manera explícita y no incluyen elementos subjetivos (Grammont y Cuarón, 2006).

Las evaluaciones del estado de conservación requieren bastante información del grupo en cuestión, pero para la mayoría de las especies vegetales, en especial en los trópicos donde hay muchas especies y la información sobre ellas es escasa, la mejor fuente de información son ejemplares depositados en los herbarios (Rivers *et al.*, 2011) y son, en ocasiones, la única fuente de datos que se tiene disponible para evaluar los criterios y asignar las categorías de riesgo (Willis *et al.*, 2003).

Las taxones endémicos han recibido mucha atención y han sido de gran interés en las evaluaciones del estado de conservación, el hecho de que un taxón sea endémico, significa que sólo habita en un determinado lugar del planeta y en ninguna otra parte más (Chediak, 2009; Trejo-Torres, 2013). Los conservacionistas procuran mucho el cuidado de los taxones endémicos, sobre todo de aquellos que poseen rangos de distribución geográfica pequeños (Trejo-Torres, 2013).

El género *Hechtia* comprende más de 65 especies de las cuales el 94% son endémicas de México (Ramírez y Jiménez, 2012; Ramírez *et al.*, 2014). Las especies de este género presentan flores unisexuales, dioecia, estigma sésil, inflorescencia paniculada, margen foliar espinoso y hojas suculentas dispuestas en rosetas. Según el tipo de crecimiento de la roseta y la posición de la inflorescencia, se identifican tres patrones de crecimiento en las especies de *Hechtia*: simpodial estricto, pseudomonopodial y simpodial con floración precoz (Ramírez *et al.*, 2014). Su distribución se restringe al área biogeográfica denominada Megaméxico 3 (Rzedowski, 1991), región que abarca desde el sur de Estados Unidos (desierto chihuahuense en el sur de Texas), toda la república Mexicana y Centroamérica hasta el norte de Nicaragua (departamentos de Estelí, Jinotega, León, Matriz, Matagalpa y Nueva Segovia). El género se presenta en diferentes tipos de vegetación, forma parte de la vegetación dominante en matorrales xerófilos, y en menor frecuencia, en bosques de encino y pino y selvas secas, en donde se les encuentra creciendo en ambientes extremos, tales como rocas desnudas, taludes y afloramientos rocosos (Jiménez, 2011).

El objetivo de este trabajo fue analizar la distribución geográfica conocida y el estado de

conservación de las especies de *Hechtia* Klotzsch (Hechtioideae: Bromeliaceae) en Megaméxico 3. Se utilizaron Sistemas de Información Geográfica para analizar la distribución geográfica conocida a partir de información de especímenes de herbario. Se realizaron mapas de distribución y se identificaron centros de diversidad de especies. Dado que *Hechtia* es un grupo monofilético, se exploró la distribución geográfica de las especies en relación con las provincias biogeográficas, para tener un acercamiento al entendimiento de la distribución histórica del género en toda su área de distribución geográfica. Para determinar el estado de conservación, se evaluaron los criterios de la IUCN sugeridos por Willis y colaboradores (2003). También, se exploraron las categorías del estado de conservación de las especies en función de factores ecológicos, biológicos, biogeográficos y filogenéticos con la finalidad de identificar patrones del riesgo de extinción dentro del género.

ANTECEDENTES

1.1. La familia Bromeliaceae

La familia Bromeliaceae presenta 58 géneros y aproximadamente 3,140 especies (Stevens, 2013). Son plantas herbáceas, arrosetadas, epífitas, terrestres o rupículas. La familia presenta una alta diversidad ecológica, con especies de hábitos méxicos, semiméxicos y xéricos, que pertenecen a diferentes tipos de vegetación y relieve de América (Luther, 2006; Martínez, 2008).

La familia Bromeliaceae es un grupo Neotropical con una sola especie presente en África (*Pitcamia feliciana* (A. Chev.) Harms y Mildbraed), lo que se atribuye a un evento de dispersión a larga distancia (Givnish *et al.*, 2007, 2011). La familia es nativa de regiones tropicales y subtropicales del Neotrópico extendiéndose desde Virginia, Estados Unidos; hasta el Norte de la Patagonia en Sudamérica (Smith y Till, 1998). Se sugiere que la familia pudo haber surgido en el Norte de Suramérica, en las elevaciones bajas del Escudo Guayanés, y la adquisición de adaptaciones como la fotosíntesis tipo CAM, hábito de tanques y tricomas foliares absorbentes, pudieron favorecer la dispersión más allá de su lugar de origen (Givnish *et al.*, 2007, 2014).

1.2. El género *Hechtia* Klotzsch

El género *Hechtia* comprende cerca de 65 especies (Ramírez *et al.*, 2014), agrupa plantas herbáceas litófitas y terrestres, arrosetadas, que poseen hojas suculentas con el margen espinoso a aserrado, inflorescencias paniculadas, de hasta 2–3 m de alto que pueden ser terminales o laterales, con escapos evidentes, flores con pétalos blancos, amarillos, rosados, rojos, verdes o lilas. Las flores son morfológica y funcionalmente unisexuales con excepción de una especie polígamo-monioca (*H. gayorum* L. W. Lenz) (Espejo *et al.*, 2005). Existen tres tipos de patrones de crecimiento reportados para las especies de *Hechtia*, estos basados en el esquema de crecimiento de las rosetas y la posición de la inflorescencia con relación al grado de desarrollo de las nuevas rosetas: simpodial estricto, pseudomonopodial y simpodial con floración precoz (Ramírez *et al.*, 2014). La mayoría de las especies habita en regiones áridas y semiáridas, en hábitats secos con escasez de agua, aunque también se presentan en la selva baja caducifolia y bosques perturbados de pino o encino (Jiménez, 2011).

Este género ha sido poco estudiado, debido a que son plantas dioicas de gran tamaño y con espinas en el margen de las hojas, por lo que es difícil tener colecciones completas y representativas de las especies que lo conforman, sin embargo, en las últimas décadas, la exploración botánica en el país ha permitido contar con ejemplares más completos y de mejor calidad, aunque todavía existen taxones no descritos o conocidos solamente del tipo (Espejo *et al.*, 2007; Espejo *et al.*, 2008).

1.2.1. Distribución geográfica de *Hechtia*

Rzedowski (1991) en sus análisis sobre la diversidad, orígenes y endemismo de la flora fanerogámica mexicana, señala que la repartición geográfica de los organismos no obedece a las divisiones políticas, sino que se ve delimitado por regiones naturales. Por tanto, para ser congruente con tal circunstancia y dar cuenta de endemismos verdaderos, consideró como “Megaméxico 3” al territorio mexicano, las partes de las zonas áridas sonorenses, chihuahuenses y tamaulipecas de los Estados Unidos de América (sur de Texas), y el territorio centroamericano hasta el norte de Nicaragua (departamentos de Estelí, Jinotega, León, Matriz, Matagalpa y Nueva Segovia).

Los miembros del género *Hechtia* se distribuyen desde el sur de Estados Unidos (Texas) y norte de México hasta el norte de Nicaragua, dicha distribución corresponde a la región Megaméxico 3, la mayor parte de las especies se encuentran en los estados de Guerrero, Oaxaca, Jalisco y Puebla (Ramírez *et al.*, 2004). El 94% de las especies del género *Hechtia* son exclusivas de México (Espejo *et al.*, 2007).

Muchas de las especies del género *Hechtia* presentan una distribución restringida, es decir, se encuentran limitadas geográficamente en uno o algunos sitios (Espejo *et al.*, 2004), por ejemplo, *H. argentea* y *H. mexicana* apenas abarcan 18 km². En varios casos, dicha situación se debe a la especificidad del sustrato sobre el que crecen las plantas, ya que algunas prosperan únicamente sobre rocas volcánicas y otras sobre calizas o bien sobre terrenos yesosos. Sin embargo, la falta de exploración botánica y la carencia de ejemplares adecuados y completos, también pueden subestimar su distribución (Espejo *et al.*, 2010).

1.2.2. ¿Qué se conoce sobre el género *Hechtia*?

La mayoría de los estudios para el género *Hechtia* son trabajos florísticos. Desde la publicación de Flora Neotrópica (Smith y Downs, 1974) han habido pocas contribuciones para el género, la mayoría han sido estudios florísticos en Mesoamérica (Utley and Burt-Utley 1994). Para México se han hecho estudios regionales (Mc Vaugh 1989; Ramírez *et al.*, 2000, 2004), así como en los estados de Guerrero, México, Veracruz y Oaxaca (Pulido-Esparza *et al.*, 2004; Flores 1998; Espejo *et al.*, 2005, 2010; García-Franco, 1987; Espejo y López-Ferrari, 1994, 1998; Espejo *et al.*, 2004).

Otros estudios han descrito nuevas especies (Espejo *et al.*, 2007 y 2008; Ramírez, 2008; López Ferrari *et al.*, 2009; Ramírez y Jiménez, 2012 a, 2012 b), se analizan complejos de especies (Martínez 2008; Jiménez, 2011), y estudian otros aspectos tales como la biología reproductiva (Ramírez *et al.*, 2008; Chuc, 2002), la ecología (Benzing, 1976) y la anatomía (Varadarajan and Gilmartin, 1987).

Pocos estudios mencionan o evalúan el estado de conservación de especies de *Hechtia*, generalmente en trabajos donde se describen novedades para el género (Espejo *et al.*, 2010; Ramírez *et al.*, 2011); sin embargo, la mayoría de las especies no han sido

sometidas a alguna evaluación de su estado de conservación, por lo que no se sabe cuál es la situación de riesgo que presentan (Cuadro 1.1).

Cuadro 1.1. Especies pertenecientes al género *Hechtia* a las que se les ha realizado evaluación del estado de conservación.

Especie	Categoría de riesgo	Metodología usada	Fuente
<i>Hechtia edulis</i>	Datos insuficientes	IUCN 2008	Ramírez <i>et al.</i> , 2011
<i>Hechtia epigyna</i>	Datos insuficientes	IUCN 2001	Espejo-Serna <i>et al.</i> , 2010
<i>Hechtia flexilifolia</i>	Vulnerable	IUCN 2010	Ramírez <i>et al.</i> , 2014
<i>Hechtia hernandez-sandovalii</i>	Vulnerable	IUCN 2001	Ramírez <i>et al.</i> , 2013
	Amenazada	MER 2002	
<i>Hechtia huamelulaensis</i>	Vulnerable	IUCN 2010	Ramírez <i>et al.</i> , 2014
<i>Hechtia nivea</i>	Vulnerable	IUCN 2010	Ramírez <i>et al.</i> , 2014

La monofilia de la subfamilia Hechtioideae, siendo *Hechtia* el único género que la integra, es apoyada por análisis filogenéticos moleculares y morfológicos en la familia Bromeliaceae (Givnish *et al.*, 2011), a pesar de que dichos análisis incluyen pocas especies del género, hay sinapomorfías que apoyan la hipótesis de que son un grupo monofilético. Se propone que la invasión desde Sudamérica hacia Centroamérica por parte del ancestro de *Hechtia* ocurrió hace aproximadamente 16.6 Ma, y el comienzo de su diversificación y diferenciación de especies hace 10.3 Ma (Givnish *et al.*, 2011). En tiempo geológico el género *Hechtia* es relativamente joven, por lo que posiblemente aún se encuentra en proceso de radiación (Givnish *et al.*, 2007). Todavía no se conoce con certeza sobre cuál fue la vía de ingreso del ancestro de *Hechtia* a Megaméxico 3, sin embargo, su invasión a nuevos hábitats, principalmente en regiones áridas y semiáridas, le ha permitido en algunas regiones formar parte de extensos ecosistemas de matorrales rosetófilos (Espejo *et al.*, 2007).

1.3. Biogeografía histórica y regionalización biogeográfica

La biogeografía es el estudio espacio-temporal de la distribución de la biota sobre la

Tierra (Zunino y Zullini, 2003). Cuando dicho estudio se realiza con un enfoque evolutivo, en el que se plantean un conjunto de hipótesis referentes a la distribución de la biota y sus interpretaciones históricas, se le denomina biogeografía histórica (Morrone, 2006).

La regionalización biogeográfica es la categorización de áreas de manera jerárquica en un sistema de conjuntos anidados, los cuales están basados en términos de la biota para la definición de cada una de estas áreas, empezando por el reino, la región, el dominio, la provincia y el distrito, siendo la provincia el nivel elemental (Morrone 2005).

Las provincias biogeográficas presentes en Megaméxico 3 forman parte de las Regiones Neotropical y Neártica. De la primera región se encuentran: la Zona de Transición Mexicana (Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental, Eje Volcánico Transmexicano, Sierra Madre del Sur y Tierras Altas de Chiapas) y la Subregión Brasileña del Dominio Mesoamericano (Tierras Bajas del Pacífico, Depresión del Balsas, Provincia Veracruzana, Península de Yucatán y la Provincia Mosquito). De la Región Neártica, se encuentran las siguientes provincias: California, Baja California, Sonora, Altiplano Mexicano y Tamaulipas (Morrone, 2014).

El solapamiento de dos regiones biogeográficas diferentes en Megaméxico 3 significa más que el simple contacto entre ellas, confluyen dos historias evolutivas distintas que en diferentes tiempos geológicos intercambiaron biotas y que en otros dieron lugar a linajes autóctonos en aislamiento (Halffter *et al.*, 2008).

1.4. Factores relacionados con el endemismo

Una especie endémica está confinada a características de un área geográfica restringida, puede tener un tamaño poblacional pequeño y un riesgo de extinción alto (Ceballos *et al.*, 1998; Broennimann *et al.*, 2005), además las especies endémicas son más sensibles a cambios climáticos (Ohlemüller *et al.*, 2008; Morueta-Holme *et al.*, 2010).

Ohlemüller y colaboradores (2008) encontraron que las distribuciones restringidas de especies de mariposas y plantas de Europa y especies de aves en el hemisferio occidental coinciden con regiones que tienen climas extremos con temperaturas más altas o más bajas que las regiones circundantes. Ellos señalan que dichos climas extremos

presentes en las regiones donde se distribuyen dichas especies, se verán muy afectados por la acción del cambio climático y esto puede conducir a una alta vulnerabilidad de tales especies.

Morueta-Holme y colaboradores (2010) evaluaron los factores que influyen en la distribución geográfica de *Galemys pyrenaicus*, el efecto del cambio climático sobre su distribución y las implicaciones de esto en su conservación. Esta especie es un mamífero pequeño endémico del suroeste de Europa, perteneciente a la familia de los topos, presenta una distribución restringida y además se encuentra aislado filogenéticamente. Los autores encontraron que la temperatura media de verano y el balance hídrico, son los principales factores que influyen en la distribución de dicha especie y el cambio climático, resultará en una reducción significativa de su área de distribución. Concluyen que las especies endémicas con una distribución restringida, son sensibles en mayor grado al clima y pueden ser altamente vulnerables al cambio climático.

El término endémico debe ser inequívoco e ir ligado a una unidad natural, y para que el mismo tenga sentido biológico, tal unidad debería ser biogeográfica. En otras palabras, siendo el endemismo un fenómeno biogeográfico, debería estar en referencia a unidades biogeográficas y no artificiales; sin embargo, frecuentemente el endemismo se ha estudiado de manera subjetiva y se ha definido a partir de unidades artificiales (Trejo-Torres, 2013), haciendo referencia a países, estados u otras divisiones políticas de menor nivel.

1.5. Los Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) o GIS (por sus siglas en inglés), son un conjunto de elementos y procedimientos cuyo objetivo es compilar, almacenar, recuperar, manipular y analizar información geográfica de una región de interés (Tomlinson, 2005). Los SIG requieren de tres elementos: datos, software y personas. Los datos geográficos pueden ser de diferentes fuentes: estadísticas, muestreos, trabajo de campo, sensores remotos (video, imágenes de satélite, fotografía aérea), cartografía (formato vectorial o raster) e información gráfica (fotografías, croquis). Los softwares utilizados en los SIG, permiten realizar una gran cantidad de procedimientos a los datos para un mejor análisis y representación. Las personas son las encargadas de manipular el

software y analizar la información generada. La información en los SIG puede ser almacenada en dos formatos: a) vectorial, que incluye la captura y manipulación de información en forma de puntos, líneas y polígonos y b) raster, en donde se divide el espacio en celdas regulares y cada una de estas representa un único valor (Tomlinson, 2005).

En un SIG se separa la información en diferentes capas temáticas y se almacenan independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando la posibilidad de relacionar la información existente con el fin de generar otra nueva. Los programas de cómputo permiten realizar funciones como: 1) la localización, las características de un lugar concreto, 2) condición, el cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema, 3) tendencia, comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas en alguna característica, 4) rutas, cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos y 5) modelos, generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas (Tomlinson, 2005).

1.6. Evaluación del estado de conservación de las especies

La alteración de la tasa natural de extinción de las especies está ocasionando que enfrentemos una de las mayores problemáticas relacionadas con la pérdida de biodiversidad. Por ello, es de vital importancia de proteger a las especies, sin embargo, los recursos destinados a la conservación de la biodiversidad son limitados. Por tanto, se tiene que tomar la decisión de proteger una fracción de la biodiversidad, esta es, la que presenta un riesgo de extinción más alto (Grammont y Cuarón, 2006), con la finalidad de disminuir la probabilidad de que se extinga en un futuro cercano.

El riesgo de extinción se define como la probabilidad de que una especie se extinga en un momento dado, si las condiciones de peligro prevalecen (Mace y Lande, 1991). Las evaluaciones del estado de conservación son estimaciones del riesgo de extinción de las especies y constituyen las principales herramientas para establecer prioridades de conservación.

Las evaluaciones del estado de conservación también son llamadas sistemas de categorización de especies amenazadas, debido a que asignan categorías de amenaza

basadas en la evaluación de ciertos criterios. Las categorías indican la probabilidad de extinción de la especie en un tiempo dado y los criterios se refieren a las condiciones y tendencias de las poblaciones, características de la especie que la hacen vulnerable a la extinción, o factores antrópicos que la amenazan (Mace y Lande, 1991).

Desde 1966 la IUCN ha evaluado el estado de conservación de especies animales y vegetales de todo el mundo, y actualmente la lista roja de la IUCN es una de las mayores herramientas para diseñar estrategias de conservación, sus evaluaciones se basan en el análisis cuantitativo del riesgo de extinción en un tiempo finito; sin embargo, el número de especies evaluadas apenas cubre una pequeña proporción del total de especies descritas (Hood, 2010).

Sin embargo, se ha criticado mucho sobre la información que se requiere para las evaluaciones de la IUCN y sobre su aplicación a nivel nacional y regional, esto ha ocasionado que surjan otros sistemas de categorización que difieren entre características y criterios. Tan solo en el continente Americano, se han reportado 25 sistemas de categorización de 20 países, los cuales incluyen listas internacionales, sistemas nacionales y otros sistemas propuestos independientemente por académicos (Grammont y Cuarón, 2006). En México se registra la aplicación de tres sistemas de categorización, a nivel internacional el sistema de la IUCN (2001), a nivel nacional el Método de Evaluación de Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México (MER) (SEMARNAT, 2002), y el propuesto por Ceballos y Navarro (1991).

El sistema de la IUCN (2001), permite estimar y cuantificar el estado de conservación de una especie en su distribución global o a partir de poblaciones locales (Gardenfors *et al.*, 2001). Este método requiere la evaluación de cinco criterios cuantitativos: los factores biológicos relacionados con el riesgo de extinción, la tasa de disminución, el tamaño de la población, el área de distribución geográfica y la fragmentación de las poblaciones. Sus categorías de riesgo de extinción son asignadas en base a la evaluación de al menos un criterio de los anteriores. Así, existen tres categorías: bajo riesgo de extinción, amenazada y extinta, las cuales a su vez se dividen en categorías más específicas (Figura 1.1). Además, existen dos categorías más: no evaluado, para las especies que no han sido evaluadas, y datos insuficientes, cuando la información que existe no es la suficiente para realizar la evaluación.

El sistema del MER (SEMARNAT, 2002; 2010), es una herramienta que permite formalizar y documentar de manera sistemática y sencilla, los factores naturales o antrópicos que afectan a un taxón en el país. Se requiere la evaluación de cuatro criterios: la amplitud de la distribución del taxón en México, el estado del hábitat con respecto al desarrollo natural del taxón, la vulnerabilidad biológica intrínseca del taxón y el impacto de la actividad humana sobre el taxón. Cada criterio posee una escala de tres a cuatro valores numéricos que indican grados ascendentes del riesgo de extinción, al final se suman y son normalizados con el puntaje máximo, de tal forma que el valor máximo es de 1 para cada criterio. Finalmente, según el puntaje obtenido, se asigna alguna de las siguientes categorías: probablemente extinta en el medio silvestre, en peligro de extinción (puntaje mayor o igual que 2), amenazada (puntaje mayor que 1.7 y menor que 2) y sujeta a protección especial (puntaje mayor o igual que 1.5 y menor que 1.7) (SEMARNAT, 2002; 2010; Tambutti *et al.*, 2001) (Figura 1.2).

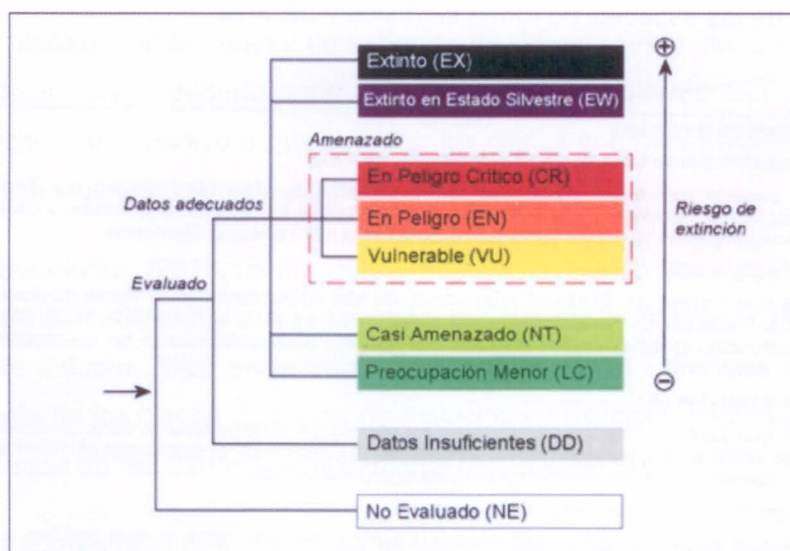


Figura 1.1. Categorías de riesgo de extinción de la IUCN (2001), fuente: www.iucn.org

El hecho de que existan varios sistemas de categorización de especies, incompatibles e incongruentes entre sí, limitan la eficacia de la planificación y las acciones de conservación (Grammont y Cuarón, 2006). Así, al tener una gama de opciones, surge la duda sobre qué sistema usar y por qué.

Ante tales interrogantes, Grammont y Cuarón (2006) evaluaron los sistemas de categorización del estado de conservación de especies utilizados en el continente americano mediante un análisis de las características que los sistemas de categorización de especies amenazadas deberían tener para realizar evaluaciones de manera objetiva. Recopilaron información sobre los sistemas de categorización, básicamente los sistemas utilizados por las organizaciones internacionales, los gobiernos y los propuestos por académicos. Consideraron 25 sistemas de categorización utilizados en 36 listas de especies amenazadas en 20 países y evaluaron quince características en los sistemas, ocho de los cuales fueron propuestos por Mace y Lande (1991) y siete propuestos por los autores, estas características fueron consideradas como deseables en un sistema de categorización que evalúe el riesgo de extinción de una especie de manera científica y objetiva. A cada sistema de categorización se le asignó un punto por cada característica presente y al final los puntos fueron sumados. En sus resultados encuentran que el sistema de la IUCN versión 2001 es el más adecuado para asignar categorías del riesgo de extinción de las especies de forma científica y objetiva.

2.2 Categorías de riesgo 2.2.1 Probablemente extinta en el medio silvestre (E) Aquella especie nativa de México cuyos ejemplares en vida libre dentro del Territorio Nacional han desaparecido, hasta donde la documentación y los estudios realizados lo prueban, y de la cual se conoce la existencia de ejemplares vivos, en confinamiento o fuera del Territorio Mexicano. 2.2.2 En peligro de extinción (P) Aquellas cuyas áreas de distribución o tamaño de sus poblaciones en el Territorio Nacional han disminuido drásticamente poniendo en riesgo su viabilidad biológica en todo su hábitat natural, debido a factores tales como la destrucción o modificación drástica del hábitat, aprovechamiento no sustentable, enfermedades o depredación, entre otros. 2.2.3 Amenazadas (A) Aquellas que podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazo, si siguen operando los factores que inciden negativamente en su viabilidad, al ocasionar el deterioro o modificación de su hábitat o disminuir directamente el tamaño de sus poblaciones. 2.2.4 Sujetas a protección especial (Pr) Aquellas que podrían llegar a encontrarse amenazadas por factores que inciden negativamente en su viabilidad, por lo que se determina la necesidad de propiciar su recuperación y conservación o la recuperación y conservación de poblaciones de especies asociadas.
--

Figura 1.2. Categorías de riesgo del MER, fuente: NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, publicado en el Diario Oficial de la Federación, 30 diciembre 2010.

1.7. Patrones del riesgo de extinción

Se ha tratado de relacionar los patrones de riesgo de extinción con factores intrínsecos de los taxa, como por ejemplo el componente filogenético. Varias hipótesis han sido propuestas para explicar por qué el riesgo de extinción puede no estar distribuido de manera aleatoria. La hipótesis de las relaciones filogenéticas de Gaston y Blackburn (1997), sugiere que si la probabilidad de extinción incrementa sobre el tiempo de vida de las especies, el riesgo de extinción en los clados debería estar relacionado positivamente con la edad del clado.

La hipótesis de la extensión del rango de distribución de Jablonski (1986), menciona que si los patrones de extinción actuales son semejantes a aquellas extinciones masivas pasadas en las cuales los clados con rangos de distribución extensos tuvieron más alta probabilidad de sobrevivir, entonces el riesgo de extinción debería estar negativamente relacionado con la extensión del rango de distribución de todo el clado.

Finalmente, la hipótesis de la riqueza de especies de Brown (1995), señala que el riesgo de extinción de un clado debería estar relacionado negativamente con la riqueza de especies de dicho clado, debido a que por azar los clados con más especies tienen más posibilidad de que algunas de sus especies sobrevivan.

Sheth y colaboradores (2013, com. pers.) sometieron a prueba las tres hipótesis mencionadas arriba, utilizando a las especies del género *Bignoniaceae* (Bignoniaceae) como objeto de estudio. Ellos encontraron una distribución no aleatoria del riesgo de extinción a través de los clados. El riesgo de extinción se relacionó negativamente con la riqueza de especies de los clados y positivamente con la edad del clado.

Olson y colaboradores (2005) también han explorado patrones del riesgo de extinción en el clado *Pedilanthus* dentro del género *Euphorbia* L. (Euphorbiaceae). Dentro de los patrones filogenéticos esperaban que el clado de especies que presentan suculencia tuviera mayor proporción de especies amenazadas, debido a que se encuentran en hábitats con mayor presión antrópica y tienen mayor presión de colecta por su uso ornamental. Sin embargo, encontraron menor proporción de especies amenazadas que el clado conformado por especies frondosas. Por tanto, argumentan que la variación del

riesgo de extinción encontrada entre los clados se debió a la extensión del rango de distribución de las especies.

Además de patrones filogenéticos, Olson y colaboradores (2005) identificaron patrones ecológicos. Encontraron mayor proporción de especies amenazadas en tierras altas húmedas, lo cual atribuyeron a las presiones antropogénicas que sufren estos hábitats en comparación con las tierras secas.

1.8. Los registros de herbario, análisis de la distribución y conservación

Los especímenes de herbario son plantas secas o partes de ellas, que se montan en papel y se acompañan de una etiqueta que contienen algunos o varios datos, como el nombre científico, nombre común, morfología, localidad, hábitat, ecología, fecha de colecta, usos, nombre del colector, número de colecta, entre otros (Willis *et al.*, 2003). Estos datos son un importante recurso de información que puede ser utilizado en muchos tipos de investigaciones, principalmente estudios taxonómicos y sistemáticos. Sin embargo, cada vez son más usados en estudios sobre conservación, enfermedades de especies vegetales, plantas invasoras y contaminación, e incluso en estudios sobre cambio climático y reconstrucción fenológica (Lavoie, 2013).

Las evaluaciones de conservación requieren información específica del grupo en cuestión, información sobre la biología, demografía y ecología, sin embargo, estas investigaciones generalmente requieren de mucho tiempo y financiamiento para desarrollarse; por tanto dicha información no existe para la mayoría de las especies vegetales, en especial las de los trópicos. Por tanto, los datos contenidos en los ejemplares de herbario se convierten en la principal fuente de información (Rivers *et al.*, 2011). Además, los métodos para la evaluación del estado de conservación de las especies requieren la aplicación de la mejor evidencia disponible, en muchas instancias la información de los especímenes de herbario es el único recurso de información disponible y entonces, se convierte en la mejor evidencia disponible (Willis *et al.*, 2003).

Schatz y colaboradores (2000) enfatizan la importancia de la información asociada en los ejemplares de herbario, la cual permite realizar evaluaciones provisionales sobre el grado de conservación de las especies y poner atención en la obtención de información de las especies poco conocidas. Golding y Smith (2001) señalan que los herbarios poseen un

papel potencial que facilita las evaluaciones de la IUCN y otros relacionados con la conservación. Ter Steegue y colaboradores (2000) señalan que los herbarios cuyos ejemplares tienen nombres correctos, es decir, con buena curación, son una fuente más segura para la obtención de datos.

Sin embargo, también existen limitaciones en el uso de datos de herbario. MacDougall y colaboradores (1998) refieren a los especímenes de herbario como una fuente de datos cualitativos más que cuantitativos, debido a que los datos de coordenadas de la localidad proveen una aproximación de la distribución de especies; las colecciones tienden a estar concentradas en áreas de fácil acceso y el número de colectas varía con el tiempo y con los intereses de investigación.

Willis y colaboradores (2003) realizaron un estudio para establecer los criterios de la IUCN que pueden ser obtenidos a partir de datos de especímenes de herbario. Obtuvieron que los criterios más aptos para las asignación de categorías de riesgo son los relacionados con la distribución: extensión de presencia, área de ocupación y fragmentación; y perfil de la población: disminución continua proyectada y número de subpoblaciones. Mientras que las estimaciones de individuos maduros, tiempo generacional, tamaños de la población, reducción de la población, fluctuación extrema y número de ubicaciones, no pueden obtenerse de la información de las etiquetas, por tanto se toman decisiones subjetivas.

Rivers y colaboradores (2011) realizaron un estudio para responder la pregunta ¿cuántas muestras de herbario se necesitan para detectar las especies amenazadas? Determinaron el estado de conservación preliminar (bajo los criterios de la IUCN) de 661 especies endémicas de Leguminosae y Orchidaceae de Madagascar; para asignar las categorías evaluaron el rango de distribución geográfica de las especies a partir de 11.461 registros de herbario. Para el 95% de las especies, obtuvieron que al capturar 15 ejemplares georreferenciados de diferentes localidades, se producen las mismas estimaciones que se obtienen a partir de la captura de todos los ejemplares conocidos.

A pesar de la aplicación y limitaciones de los registros de herbario, éstos han sido una herramienta muy utilizada en los análisis de distribución de especies, la predicción de la presencia o ausencia de especies y también para predecir las áreas potencialmente

adecuadas para la conservación de especies amenazadas y raras (Callmander *et al.*, 2005; Krupnick *et al.*, 2008; Feria-Arroyo *et al.*, 2009; Wilkin *et al.*, 2009; Knapp y Monterrosa, 2010; Saw *et al.*, 2010; Zlatkovic *et al.*, 2009 Ndayishimiye *et al.*, 2012) Tetetla, 2012; Wilkin *et al.*, 2012).

HIPÓTESIS

La formación de cordilleras montañosas y otros eventos geológicos dan lugar a la generación de nuevos ambientes y a una rica topografía, que pueden favorecer el establecimiento y diversificación de especies (Cevallos-Ferriz *et al.*, 2012). Se espera encontrar una alta diversidad de especies en las principales regiones montañosas de Megaméxico 3.

Dado que las especies de *Hechtia* poseen distribuciones restringidas como resultado de la combinación de factores biológicos (poca vagilidad de las semillas) y ecológicos (alta especificidad al sustrato), y que el riesgo de extinción debería estar negativamente relacionado con la extensión del rango de distribución (Jablonski, 1986), se espera que la mayoría de las especies del género sean asignadas en alguna categoría de amenaza.

Analizar las categorías de riesgo de un grupo monofilético, ha permitido identificar patrones filogenéticos y ecológicos del riesgo de extinción (Olson *et al.*, 2005). Dado que *Hechtia* es un grupo monofilético cuyas especies presentan diferencias de acuerdo a los hábitats en los que viven (p.e. selva baja caducifolia vs matorral), en los tipos de crecimiento (simpodial estricto vs pseudomonopodial vs simpodial con floración precoz), en las provincias biogeográficas que ocupan (*sensu* Morrone, 2014) y en los diferentes clados (*sensu* Ramírez, 2014), se espera que el riesgo de extinción presente patrones y no se encuentre distribuido al azar, y que se presenten mayores tendencias de riesgo de extinción en clados cuyas especies habitan en selvas bajas caducifolias, con patrón de crecimiento simpodial estricto.

OBJETIVO GENERAL.

Analizar la distribución geográfica conocida y el riesgo de extinción de las especies de *Hechtia* Klotzsch (Hechtioideae: Bromeliaceae) en Megaméxico 3.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Analizar la distribución geográfica conocida de las especies de *Hechtia* para identificar cuáles áreas y provincias biogeográficas (*sensu* Morrone, 2014) presentan mayor diversidad de especies.
- Asignar categorías del riesgo de extinción de las especies según los criterios de la IUCN.
- Explorar e identificar patrones del riesgo de extinción dentro del género.

JUSTIFICACIÓN.

Existen 19 géneros de Bromeliaceae presentes en México y el género *Hechtia* resulta con un interés particular debido a que es el segundo grupo más diverso, después de *Tillandsia* (Espejo *et al.*, 2004). *Hechtia* presenta altos niveles de endemismo, el 94% de las especies son endémicas de México, por lo cual podemos decir que *Hechtia* es un grupo mexicano. La mayoría habita en zonas áridas del país, y forman parte fundamental de la comunidad de matorral xerófilo (Espejo 2012). Incluso, varios tipos de matorral xerófilo son clasificados de acuerdo a sus especies dominantes; como el caso de los matorrales rosetófilos, caracterizados por la dominancia de especies con hojas agrupadas en forma de roseta como *Hechtia* (Rzedowski 1978). Además de su alto grado de endemismo, la mayoría de las especies poseen distribuciones restringidas, es decir, conocidas de una sola localidad; otras han sido reportadas sólo en algunos sitios o Estados, esto podría conferirles un alto riesgo de extinción.

La naturaleza y carácter restringido de la distribución de las especies endémicas, las hace particularmente vulnerables a perturbaciones ambientales y de origen humano. Por lo tanto, existe un interés en reconocer los factores que favorecen su distribución geográfica así como aquellos que determinan su endemismo. El conocer estos aspectos de la distribución de especies endémicas es fundamental para desarrollar estrategias efectivas para su conservación (Ndayishimiye *et al.*, 2012).

Lo anterior resalta la importancia de aportar elementos que permitan avanzar en la resolución de las siguientes preguntas: ¿Cómo es la distribución actual del género *Hechtia*?, ¿Existen regiones de mayor diversidad de especies del género?, ¿Cuál es la relación de la distribución de las especies y la regionalización biogeográfica del Neotrópico? ¿Cómo se encuentra el estado de conservación de las especies del género?, ¿Existen patrones del riesgo de extinción de las especies?, ¿El riesgo de extinción es mayor o menor para especies en un mismo clado? La generación de este conocimiento permitirá aportar las bases para proponer estrategias de conservación del género.

BIBLIOGRAFÍA

- Benzing, D.H. (1976). Bromeliad Trichomes: Structure, Function and Ecological Significance. *Selbyana*, 1(4), 330-348.
- Broennimann, O., P. Vittoz, D. Moser y A. Guisan (2005). Rarity types among plant species with high conservation priority in Switzerland. *Botanica Helvetica*, 115, 95-108.
- Brown, J.H. (1995). *Macroecology*. University of Chicago Press, Chicago.
- Callmender, M. W., G. E. Schatz y P.P. Lowry II (2005). IUCN Red List assessment and the Global Strategy for Plant Conservation: taxonomists must act now. *Taxon*, 54, 1047-1050.
- Ceballos, G. y D. Navarro (1991). Diversity and conservation of Mexican mammals, in: Latin American mammalogy: history, diversity and conservation, Mares, M. A. y D. J. Schmidly (eds). University of Oklahoma Press, Norman. pp. 137-148.
- Ceballos, G., P. Rodríguez y R. A. Medellín (1998). Assessing conservation priorities in megadiverse Mexico: mammalian diversity, endemism, and endangerment. *Applied Ecology*, 8(1), 8-17.
- Cevallos-Ferriz, S., González-Torres E. y L. Calvillo-Canadell (2012). Perspectiva paleobotánica y geológica de la biodiversidad en México. *Acta Botanica Mexicana* 100: 317-350.
- Chuc, M. G. (2002). Dispersión de polen de *Hechtia schottii* Baker ex Hemsley (Bromeliaceae). Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Conkal. Yucatán, México. 77 p.
- Espejo, A. (2012). El endemismo en las Liliopsida mexicanas. *Acta Botánica Mexicana*, 100, 195-257.
- Espejo, A. y A. R. López-Ferrari (1994). *Bromeliaceae. Las monocotiledóneas mexicanas, una sinopsis florística 1. Lista de referencia, parte III*. Consejo Nacional de la Flora de México, A.C., Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Mexico, D.F. pp. 4-50.
- Espejo, A. y A. R. López-Ferrari (1998). Current floristic and phytogeographic knowledge of Mexican Bromeliaceae. *Revista de Biología Tropical*, 46(3), 1-21.
- Espejo, A., A. R. López-Ferrari e I. Ramírez (2005). *Flora de Veracruz. Bromeliaceae*. Fascículo 136. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Veracruz, México. pp. 2-86.

-
- Espejo, A., A. R. López-Ferrari e I. Ramírez (2008). Dos nuevas especies de *Hechtia* (Bromeliaceae; Pitcairnioideae) del centro de México. *Acta Botanica Mexicana*, 83, 49-61.
- Espejo, A., A.R. López- Ferrari e I. Ramírez- Morillo (2010). *Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Bromeliaceae*. Fascículo 165. Instituto de Ecología A.C., Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Michoacán, México. pp. 2-40.
- Espejo, A., A. R. López-Ferrari, I. Ramírez, B. K. Holst, H. E. Luther y W. Till (2004). Checklist of Mexican Bromeliaceae with notes on species distribution and levels of endemism. *Selbyana*, 25(1), 33-86.
- Espejo, A., A. R. López-Ferrari, I. Ramírez y N. Martínez-Correa (2007). Dos nuevas especies de *Hechtia* (Bromeliaceae) México. *Acta Botanica Mexicana*, 78, 97-109.
- Feria-Arroyo, T. P., M. E. Olson, A. García-Mendoza y E. Solano (2009). A GIS-based comparison of the Mexican National and IUCN Methods for determining extinction risk. *Conservation Biology*, 23(5), 1156-1166.
- Ferrier, S. (2002). Mapping spatial pattern in biodiversity for regional conservation planning: where to from here? *Systematic Biology*, 51: 331-363.
- Flores, C. M. (1998). Flora genérica de la familia Bromeliaceae en el Estado de México. Manual para la identificación de las especies de la familia Bromeliaceae presentes en el estado. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de México (UNAM). Facultad de Ciencias. México. 70 p.
- García-Franco, J. G. (1987). *Las Bromelias de México. Revisión bibliográfica y de herbario*. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Veracruz. 94 p.
- Gardenfors, U. C., G. M. Hilton-Taylor y J. P. Rodríguez (2001). The application of IUCN Red List Criteria at regional levels. *Conservation of Biology*, 15(5), 1206-1212.
- Gaston, K.J., y T. M. Blackburn (1997). Evolutionary age and risk of extinction in the global avifauna. *Evolutionary Ecology*, 11, 557-565.
- Givnish, T.J., M.H.J. Barfuss, B.V. Ee, R. Riina, K. Schulte, R. Horres, P.A. Gonsiska, R.S. Jabaily, D.M. Crayn y J. A. C. Smith (2011). Phylogeny, adaptive radiation, and historical biogeography in Bromeliaceae: Insights from an eight-locus plastid phylogeny. *American Journal of Botany*, 98, 872-895.
- Givnish, T.J., M.H.J. Barfuss, B.V. Ee, R. Riina, K. Schulte, R. Horres, P.A. Gonsiska, R.S.

- Jabaily, D.M. Crayn, J. A. C. Smith, K. Winter, G. K. Brown, T. M. Evans, B. K. Holst, H. Luther, W. Till, G. Zizka, P. E. Berry y K. J. Sytsma (2014). Adaptive radiation, correlated and contingent evolution, and net species diversification in Bromeliaceae. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 71, 55-78.
- Givnish, T. J., K. C. Millam, P. E. Berry y J. Systma (2007). Phylogeny, adaptive radiation, and historical biogeography of Bromeliaceae inferred from *ndhF* sequence data. *Aliso*, 23, 3-26.
- Golding, J. S. y P. P. Smith (2001). A 13-point flora strategy to meet conservation challenges. *Taxon*, 50, 475-478.
- Grammont, P. y A. Cuarón (2006). An Evaluation of Threatened Species Categorization Systems Used on the American Continent. *Conservation Biology*, 20(1), 14-27.
- Halffter, G., J. Llorente-Bousquets y J.J. Morrone (2008). La perspectiva biogeográfica histórica, en *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO. México. pp. 67-86.
- Hood, L. (2010). Biodiversity: facts and figures. Disponible en: <http://www.scidev.net/global/biodiversity/feature/biodiversity-facts-and-figures-1.html> [Acceso 12 mayo 2013].
- International Union for Conservation Nature and Natural Resources, (IUCN) (2001). IUCN Red List Categories and Criteria, Version 3.1. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, United Kingdom, Disponible en: <http://www.iucn.org>. [Acceso 23 de abril de 2013]
- Jablonski, D. (1986). Background and mass extinctions: the alternation of macroevolutionary regimes. *Science*, 231, 129-133.
- Jiménez, C. (2011). Sistemática del complejo *Hechtia glomerata* Zucc. (Bromeliaceae). Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Conkal. Conkal, Yucatán, México. 157 p.
- Knapp, S. y S. J. Monterrosa (2010). A simple method for assessing preliminary conservation status of plants at a national level: a case study using ferns of El Salvador. *Oryx*, 44(4), 523-528.
- Krupnick, G., W. J. Kress y W. Wagner (2008). Using Data from Museum Specimens to Build a Preliminary Conservation Assessment of Species. Paper presented at the Annual Meeting of the International Congress for Conservation Biology. Chattanooga, USA, 10 July 2008.

-
- Lavoie, C. (2013). Biological collections in an ever changing world: Herbaria as tools for biogeographical and environmental studies. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 15 (1), 68-76.
- Lomolino, M.V., B. R. Riddle, R.J. Whittaker y J.H. Brown (2010). *Biogeography*. Fourth edition. Sinauer Associates, Sunderland. 878 pp.
- López-Ferrari, A. R., A. Espejo-Serna y N. Martínez-Correa (2009). *Hechtia caulescens* (Bromeliaceae), a New Species from Central Mexico. *Novon*, 19(2), 197-200.
- Luther, H. E. (2006). *An alphabetical list of Bromeliads Binomials*. The Bromeliad Society International. Tenth edition. 119 p.
- MacDougall, A. S., J. A. Loo, S. R. Clayden, J. C. Goltz y H. R. Hinds (1998). Definig conservation priorities for plant taxa in southeastern New Brunswick, Canada using herbarium records. *Biological Conservation*, 86, 325-328.
- Mace, G. M. y R. Lande (1991). Assessing extinction threats: toward a reevaluation of IUCN threatened species. *Conservation Biology*, 5, 148-157.
- Martínez, N. (2008). Sistemática del complejo de especies de *Hechita podantha* Mez (Pitacairnioideae, Bromeliaceae). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 154 pp.
- McVaugh, R. (1989). *Flora Novo Galiciana, a decriptive account of the vascular plants of western México*, Volumen 15, Bromeliaceae to Dioscoreaceae. The University of Michigan, USA. pp. 54-55.
- Morrone, J.J. (2005). Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 76, 207-252.
- Morrone, J.J. (2006). Biogeographic areas and transition zones of Latin America and the Caribbean islands based on panbiogeographic and cladistic analyses of the entomofauna. *Annual Review of Entomology*, 51, 467-494.
- Morrone, J. J. (2014). Biogeographical regionalization of the Neotropical region. *Zootaxa*, 3782 (1), 001-110.
- Morueta-Holme, N., C. Fløjgaard y J. C. Svenning (2010). Climate change risks and conservation implications for a threatened small-range mammal species. *Plos One* 5(4), e10360, 1-12.
- Ndayishimiye, J., M. Greve, P. Stoffelen, M. Bigendako, C. De Canniere, J. C. Svenning y J. Bogaert (2012). Modelling the spatial distribution of endemic Caesalpinoideae in

- Central Africa, a contribution to the evaluation of actual protected areas in the region. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 4(3), 118-129.
- Ohlemüller, R, B. J. Anderson, M. B. Araújo, S. H. M. Butchart, O. Kudrna, R. S. Ridgely y C. D. Thomas (2008). The coincidence of climatic and species rarity: high risk to small-range species from climate change. *Biology Letters*, 4, 568-572.
- Olson, M. E., J. A. Lomelí e I. Cacho (2005). Extinction threat in the *Pedilanthus* Clade (*Euphorbia*, Euphorbiaceae), with special reference to the recently rediscovered *E. konzattii* (P. pulchellus). *American Journal of Botany*, 92(4), 634-641.
- Pielou, E. C. (1979). *Biogeography*. John Wiley y Sons. New York. 351 pp.
- Pulido-Esparza, V. A., A. R. Lopez-Ferrari y A. Espejo (2004). Flora bromeliológica del estado de Guerrero, México: riqueza y distribución. *Boletín de la Sociedad Botánica Mexicana*, 75, 55-104.
- Ramírez, I. (2008). A new *Hechtia* (Bromeliaceae) from the states of Querétaro and Hidalgo, México. *Acta Botanica Mexicana*, 85, 63-74.
- Ramírez, I., G. Carnevali y F. Chi May (2004). *Guía Ilustrada de las Bromeliaceae de la Porción Mexicana de la Península de Yucatán*. Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. (CICY). México. pp. 7-38.
- Ramírez, I., F. Chi, G. Carnevali y F. May (2008). Reproductive biology of *Hechtia schottii* a dioecious Bromeliaceae, in México. *Revista de Biología Tropical*, 56 (1), 279-289.
- Ramírez, I., M. F Chi, G. Carnevali, F. May y G. P. Chuc (2000). Portraits of Bromeliaceae from the Mexican Yucatan Peninsula-I: *Hechtia schottii* Baker ex Hemsley. *Journal of the Bromeliad Society*, 50(1), 20-24.
- Ramírez, I., A. Espejo-Serna y A. R. López-Ferrari (2011). A New Species of *Hechtia* (Bromeliaceae) from Chihuahua, Mexico. *Novon*, 21(3), 362-367.
- Ramírez, I. y C. F. Jiménez-Nah (2012). A new *Hechtia* (Hechtioideae: Bromeliaceae) from Puebla, Mexico. *Phytotaxa*, 42, 1-8.
- Ramírez, I. y C. F. Jiménez-Nah (2012b). *Hechtia aquamarina*, a new name for *Hechtia pueblensis* I. Ramírez and Jiménez. *Phytotaxa*, 48, 33.
- Ramírez M., I., C.F. Jiménez-Nah, G. Carnevali F. C. y J. P. Pinzón (2014). Three new species and growth patterns in *Hechtia* (Bromeliaceae:Hechtioideae). *Phytotaxa*, 178(2), 113-127.
- Ramírez, I., C. F. Jiménez-Nah y Treviño J. (2013). A new species of *Hechtia* (Bromeliaceae) from southwestern Tamaulipas, México. *Phytotaxa*, 112 (2), 33-42.

-
- Rivers, M. C., L. Taylor, N. A. Brummitt, T. R. Meagher, D. L. Roberts y E. N. Ludghadha (2011). How many herbarium specimens are needed to detect threatened species? *Biological Conservation*, 14(10), 2541-2547.
- Rzedowski, J. (1978). *La vegetación de México*. Limusa. México. 432 pp.
- Rzedowski, J. (1991). *Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México*. *Acta Botanica Mexicana*, 14, 3-21.
- Saw, L. G., L. S. L. Chua, M. Suhaida, W. S. Y. Yong y M. Hamidah (2010). Conservation of some rare and endangered plants from Peninsular Malaysia. *Kew Bulletin*, 65, 681-689.
- Schatz, G. E., C. Birkinshaw, P. P. Lowry II, F. Randriantafika y F. Ratovoson (2000). The Endemic Plant Families of Madagascar Project: Integrating Taxonomy and Conservation, In: *Diversité et endémisme à Madagascar. Mémoires de la Société de Biogéographie*, Lourenco, W. R. y S. M. Goodman (eds). París, Francia.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos naturales (SEMARNAT) (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001. Protección Ambiental. Especies Nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en Riesgo. Anexo normativo I, método de evaluación del riesgo de extinción de las especies silvestres en México (MER). *Diario Oficial de la Federación*. México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental. Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*. México.
- Smith, L. B. y R. J. Downs (1974). Pitcairnioideae (Bromeliaceae). *Flora Neotrópica*, Vol. 14. Hafner Press. New York. pp. 1-658.
- Smith, L. B. y W. Till (1998). Bromeliaceae, in: *The Families and Genera of Vascular Plants, Alismatanae and Commelinanae (except Gramineae)*, Vol. IV, Kubitzki, K. (ed). Springer-Verlag. Berlin. pp. 74-99.
- Stevens, P.F. (2013). Angiosperm Phylogeny.
Disponble en: <http://www.mobot.org/mobot/research/apweb/>
[Acceso 13 de mayo de 2013].
-

- Tambutti, M., A. Aldama, O. Sánchez, R. Medellín y J. Soberón (2001). La determinación del riesgo de extinción de especies silvestres en México. *Gaceta Ecológica*, 61, 11-21.
- Ter Steege, H., M. J. Jansen-Jacobs y V. K. Datadin (2000). Can botanical collections assist in a National Protected Area Strategy in Guyana? *Biodiversity and Conservation*, 9, 215-240.
- Tetetla, E. (2012). Diversidad vegetal de especies raras y su relación con la estructura del paisaje a múltiples escalas espaciales en las selvas de la Península de Yucatán. Tesis de Doctorado en Ciencias y Biotecnología de Plantas. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. 183 pp.
- Tomlinson, R. F. (2005). *Thinking about GIS: Geographic Information System Planning for Managers*. ESRI Press. 328 p.
- Trejo-Torres, J.C. (2013). Un esquema corológico universal para las biotas y su aplicación en la conservación de especies. Tesis de Doctorado. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Mérida, Yucatán. 220 p.
- Utlley, J. y K. Burt-Utlley (1994). Bromeliaceae, in: *Flora Mesoamericana*, Vol. 6, Davidse, G., M. Sousa S. y A. O. Chater (eds). pp. 89-156.
- Varadarajan, G. S. y A. J. Gilmartin (1987). Foliar scales of the Subfamily Pitcairnioideae (Bromeliaceae). *Systematic Botany*, 12(4), 562-571.
- Wilkin, P., A. Hladik, O. Weber, H. C. Marcel y V. Jeannoda (2009). *Dioscorea orangeana* (Dioscoreaceae), a new and threatened species of edible yam from northern Madagascar. *Kew Bulletin*, 64, 461-468.
- Wilkin, P., P. Suksathan, K. Keeratikiat, P. Van Welzen y J. Wiland- Szymanska (2012). A new threatened endemic species from central and northeastern Thailand, *Dracaena jayniana* (Asparagaceae: tribe Nolinoideae). *Kew Bulletin*, 67, 697-705.
- Willis, F., J. Moat y A. Paton (2003). Defining a role for herbarium data in Red List assessments: a case of study of *Plectranthus* from eastern and southern tropical África. *Biodiversity and Conservation*, 12, 1537-1552.
- Zlatkovic, B., G. Tomovic, V. Randelovic, S. Vukojicic y M. Niketic (2009). Distribution and Conservation status of several new and neglected vascular plants in Serbia. *Phytologia Balcanica*, 15(1), 95-105.
- Zunino, M. y A. Zullini (2003). *Biogeografía: la dimensión espacial de la evolución*. Fondo de Cultura Económica, México. 366 p.

CAPÍTULO II

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA CONOCIDA, ESTADO DE CONSERVACIÓN Y PATRONES DEL RIESGO DE EXTINCIÓN EN *Hechtia*

2.1. INTRODUCCIÓN.

La distribución geográfica de los taxones no obedece los límites políticos, más bien, está definida por un conjunto de condiciones ambientales, características geológicas y por la propia historia evolutiva de los taxones. Analizar toda el área donde se presenta un taxón, involucra la distinción de barreras biogeográficas y permite la identificación y el entendimiento de patrones de distribución geográfica actual de los taxones.

La distribución geográfica es un criterio muy utilizado para la asignación de categorías de riesgo de extinción en las evaluaciones del estado de conservación de las especies. Una vez asignadas las categorías de riesgo de extinción, es posible identificar diferentes patrones que expliquen el grado de vulnerabilidad de extinción que presentan las especies.

Hechtia es un género con alto grado de endemidad, dado los pequeños rangos de distribución de la mayoría de sus especies, lo cual puede significar un alto riesgo de extinción y esto es muy importante desde el punto de vista de la conservación de especies. Debido a lo anterior, el presente estudio se enfocó a analizar la distribución geográfica conocida de las especies con la finalidad de identificar regiones de mayor diversidad de especies, analizar la distribución geográfica en función de las provincias biogeográficas de Megaméxico 3, evaluar el estado de conservación de las especies para asignar categorías de riesgo de extinción y finalmente identificar patrones del riesgo de extinción.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS.

2.2.1. Área de estudio

Este estudio comprende la región biogeográfica denominada Megaméxico 3 (Rzedowski, 1991), la cual abarca todo el territorio mexicano, las partes de las zonas áridas sonorenses, chihuahuenses y tamaulipecas, que pertenecen al sur de los Estados Unidos de América, y el territorio centroamericano hasta el norte de Nicaragua (Figura 2.1).

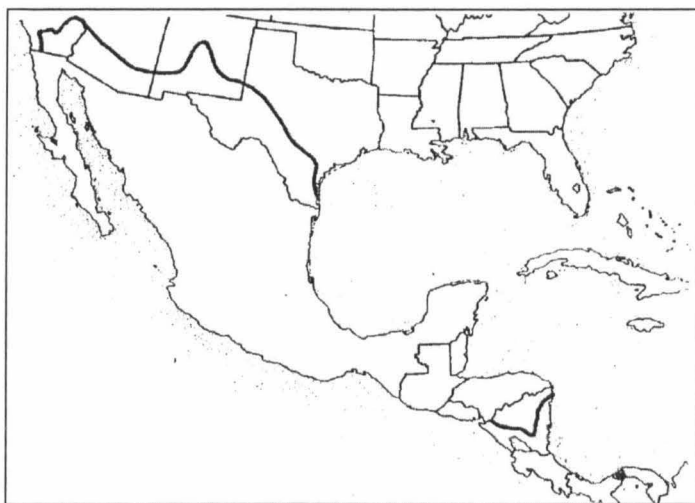


Figura 2.1. Región de estudio, las líneas más gruesas señalan los límites norte y sur de Megaméxico 3, fuente: Rzedowski, 1991.

2.2.2. Recolección de datos

Los datos de distribución se obtuvieron de registros de especímenes de herbarios (nacionales [CHIS, FCME, IEB, MEXU, OAX, QMEX, UAMIZ, XAL, entre otros] e internacionales [B, BM, GH, K, MO, P, PH, UC, US, VER, WU, entre otros]), bases de datos en línea (Tropicos®, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, entre otros) y de colecciones iconográficas (herbarios europeos [OXF, W, Z, etc.], América [F, MICH, NY, SEL, TEX, VT, etc.]). Las abreviaciones de los herbarios se basaron en Holmgren y colaboradores (1990). Mediante una búsqueda y depuración minuciosa de la información de los especímenes, se extrajeron todos los registros de las especies de *Hechtia* colectadas entre los años de 1900 y 2014, estos años abarcan todo el periodo de tiempo en que las especies han sido colectadas.

La información geográfica de las especies se obtuvo de las etiquetas de registro, cuando no se reportaban coordenadas geográficas pero se poseía una descripción amplia y detallada del lugar donde fueron colectados los ejemplares, las coordenadas fueron aproximadas en Google Earth.

Para corroborar la identidad taxonómica de cada especie, la información fue verificada por especialistas del género de la línea de Sistemática y Florística del Centro de Investigación Científica de Yucatán A. C. y del Herbario CICY, en dicho centro. Se cuenta con una colección muy completa de literatura sobre *Hechtia*, incluyendo publicaciones como los protólogos, floras y tratamientos taxonómicos.

Para este estudio se consideraron 71 especies pertenecientes al género (Cuadro A de Anexos), especies con identidad taxonómica confusa fueron excluidas (*H. capituligera*, *H. cordylinoides*, *H. desmetiana*, *H. roseana* y *H. suaveolens*). Se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones taxonómicas en este estudio: *H. elliptica* fue sinónimo de *H. zacatecae*, *H. integerrima* como sinónimo de *H. lundelliorum*, *H. macrophylla* como sinónimo de *H. myriantha*, *H. lindmanoides* se consideró sinónimo de *H. purpusii*, *H. glabra* como sinónimo de *H. stenopetala* y *H. scariosa* es considerada sinónimo de *H. texensis*.

Se generó una base de datos con 1975 registros de ejemplares de herbario, el 50.2 % de estos poseían coordenadas geográficas, 44 % fueron aproximadas y el 5.8% de los ejemplares no pudieron aproximarse (Cuadro 2.1). Esta base contiene además de datos de distribución, datos ecológicos, fenológicos, entre otros.

Cuadro 2.1. Número de especies y características de las colectas utilizadas en este estudio.

No. Especies	71
No total de ejemplares	1975
No ejemplares con coordenadas	993 (50.2%)
No ejemplares con coordenadas aproximadas	869 (44.0 %)
No especies con 3 ó más puntos de colecta diferentes	62 (87%)

2.2.3. Distribución geográfica conocida y riqueza de especies

El mapa base de Megaméxico 3 se elaboró a partir del mapa base a nivel estatal y base general de México con límites externos, escala 1:16,000,000 (CONABIO, 2006); en éste último, los límites de Megaméxico se establecieron a partir de la descripción de Rzedowski (1991), así como de los límites señalados en la imagen presentada en su publicación. Este procedimiento se llevó a cabo con el programa ArcGIS® 10 (ESRI, 2010) y con CartaLinx® (Clark Labs, 1998).

Para generar los mapas de distribución de las especies, se utilizó el mapa base de Megaméxico 3 y el mapa de altitud de WorldClim versión 1 (Hijmans *et al.*, 2005). Este procedimiento se llevó a cabo en ArcGIS® 10 (ESRI, 2010).

Para obtener las regiones con mayor número de colectas y número de especies, se dividió el área de Megaméxico 3 en celdas de 50 x 50 km (Murguía y Rojas, 2001), y para cada celda se contabilizó el número de especies y colectas presentes. Esto se llevó a cabo en ArcGIS® 10 (ESRI, 2010).

2.2.4. Regiones biogeográficas y distribución de especies

Evaluar si la distribución geográfica de cada especie está confinada a una provincia biogeográfica particular permitirá identificar la especie como endémica de la provincia. Para realizar el análisis de las regiones biogeográficas y la distribución de especies, se utilizó el mapa de las provincias biogeográficas para México y Centroamérica propuestas por Morrone (2014) y transformadas a shapefile por Löwenberg-Neto (2014). En este mapa se evaluó la presencia de cada una de las especies dentro de las provincias, así como la riqueza de especies en cada provincia. Se utilizó ArcGIS® 10 (ESRI, 2010).

2.2.5. Evaluación del estado de conservación

Se utilizó el sistema de categorización de la IUCN versión 2001 para asignar las categorías de riesgo de cada una de las especies. Para cada especie de *Hechtia* se obtuvieron los siguientes criterios utilizando ArcMap 10 (ESRI, 2010) y Arcview v. 3.3 (ESRI, 2002):

- 1) Extensión de presencia (EOO por sus siglas en inglés, Criterio B1), expresada como el

polígono convexo que engloba un conjunto de puntos de presencia.

2) Área de ocupación (AOO por sus siglas en inglés, Criterio B2), es el área ocupada por el taxón dentro de la extensión de presencia, para ello se utilizó un tamaño de celda de 3 x 3 km basándose en Callmender y colaboradores (2007), quienes han demostrado la efectividad de este tamaño de celda para calcular el AOO al emplear especímenes de herbario.

3) Número de localidades (Criterio B2a), se obtuvo con el método de celdas contiguas (3 x 3 km) (Willis *et al.*, 2003).

4) Disminución continua futura en el AOO (Criterio B2b), esta se estimó con el porcentaje de AOO fuera de áreas protegidas y áreas prístinas y se calculó de la siguiente manera: $(\text{AOO fuera de ANP's} / \text{AOO total}) \times 100$ y $(\text{AOO fuera de áreas prístinas} / \text{AOO total}) \times 100$ (Callmender *et al.*, 2007).

Posteriormente, se establecieron las categorías de amenaza a las especies según los lineamientos de asignación basadas en la evaluación del Criterio B (Cuadro 2.2).

Cuadro 2.2. Aplicación del criterio B (distribución) para asignar categorías de amenaza. Fuente: IUCN, 2001

B. Distribución geográfica representada como extensión de presencia (B1) Y/O área de ocupación (B2)			
	En Peligro Crítico	En Peligro	Vulnerable
B1. Extensión de presencia (EOO)	< 100 km ²	< 5.000 km ²	< 20.000 km ²
B2. Área de ocupación (AOO)	< 10 km ²	< 500 km ²	< 2.000 km ²
Y por lo menos 2 de las siguientes 3 condiciones:			
(a) Severamente fragmentada, O Número de localidades	= 1	≤ 5	≤ 10
(b) Disminución continua observada, estimada, inferida o proyectada en cualesquiera de: (i) extensión de presencia; (ii) área de ocupación; (iii) área, extensión y/o calidad del hábitat; (iv) número de localidades o subpoblaciones; (v) número de individuos maduros			
(c) Fluctuaciones extremas en cualesquiera de: (i) extensión de presencia; (ii) área de ocupación; (iii) número de localidades o subpoblaciones; (iv) número de individuos maduros			

2.2.6. Análisis de los patrones del riesgo de extinción

Luego de obtener las evaluaciones del estado de conservación de la especie del género *Hechtia* se exploró la existencia de patrones ecológicos, biológicos y filogenéticos de las categorías de riesgo de extinción.

Para identificar patrones ecológicos del riesgo de extinción se analizaron las categorías de riesgo asignadas a las especies y los tipos de vegetación en los que habitan las mismas, esta información se obtuvo de la literatura y de la información ecológica presente en las etiquetas de los ejemplares de herbario.

Los patrones biológicos del riesgo de extinción se obtuvieron analizando las categorías de riesgo asignadas a las especies y el tipo de patrón de crecimiento que presentan las especies (*sensu* Ramírez *et al.*, 2014). La información sobre el tipo de patrón de crecimiento que presenta cada especie del género se obtuvo de la especialista en el género y de la literatura.

Los patrones biogeográficos del riesgo de extinción se obtuvieron analizando las categorías de riesgo asignadas a las especies y las provincias biogeográficas (*sensu* Morrone, 2014) donde se presentan, así como el número de provincias.

Los patrones filogenéticos del riesgo de extinción se determinaron mediante el análisis de las categorías de riesgo de las especies y clados propuestos en una filogenia preliminar del género. Estos clados han sido informalmente identificados y bien soportados en análisis moleculares y morfológicos (Jiménez 2014, resultados no publicados; Ramírez 2014, resultados no publicados).

2.3. RESULTADOS.

2.3.1. Distribución geográfica conocida y riqueza de especies

En la Sección I de Anexos se incluyen los mapas de distribución de cada una de las especies. En la Figura 2.2 se presenta el mapa de la distribución general del género *Hechtia* en Megaméxico 3.

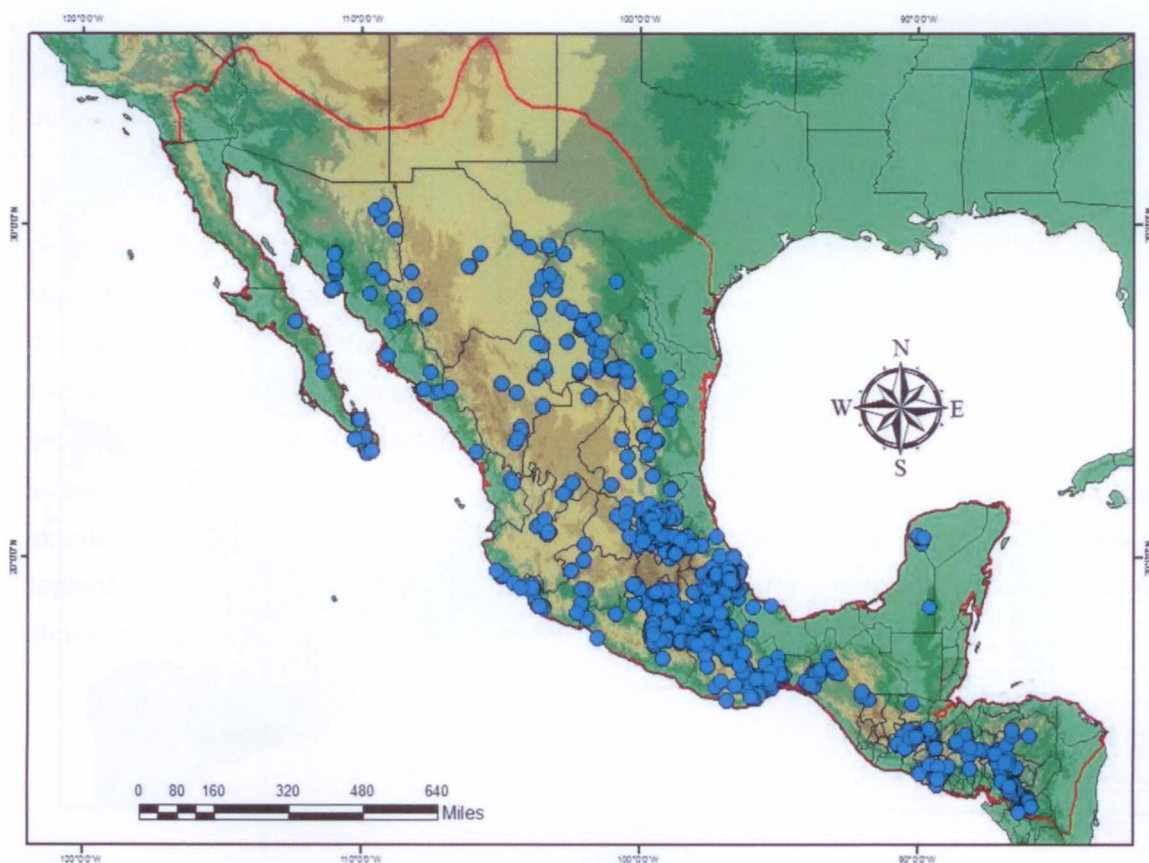


Figura 2.2. Mapa de la distribución general del género *Hechtia* en Megaméxico 3. Los puntos azules representan la colecta de alguna especie.

Hay una mayor concentración de puntos de distribución del género en el sur de la República Mexicana, correspondiente a los estados de Oaxaca, Chiapas, Puebla, Querétaro, Hidalgo y parte de Veracruz. En el norte de Megaméxico 3 se encuentra una menor agrupación de los puntos de distribución, habiendo algunos puntos en el sur de

Texas en Estados Unidos y en el estado de Coahuila en México. En la zona sur de Megaméxico 3 ocurre otra concentración de puntos de distribución, correspondiendo a los países de Guatemala, El Salvador y Nicaragua.

En la Figura 2.3 se presenta el mapa de densidad de colectas de especies de *Hechtia* por superficie de 50 x 50 km en Megaméxico 3.

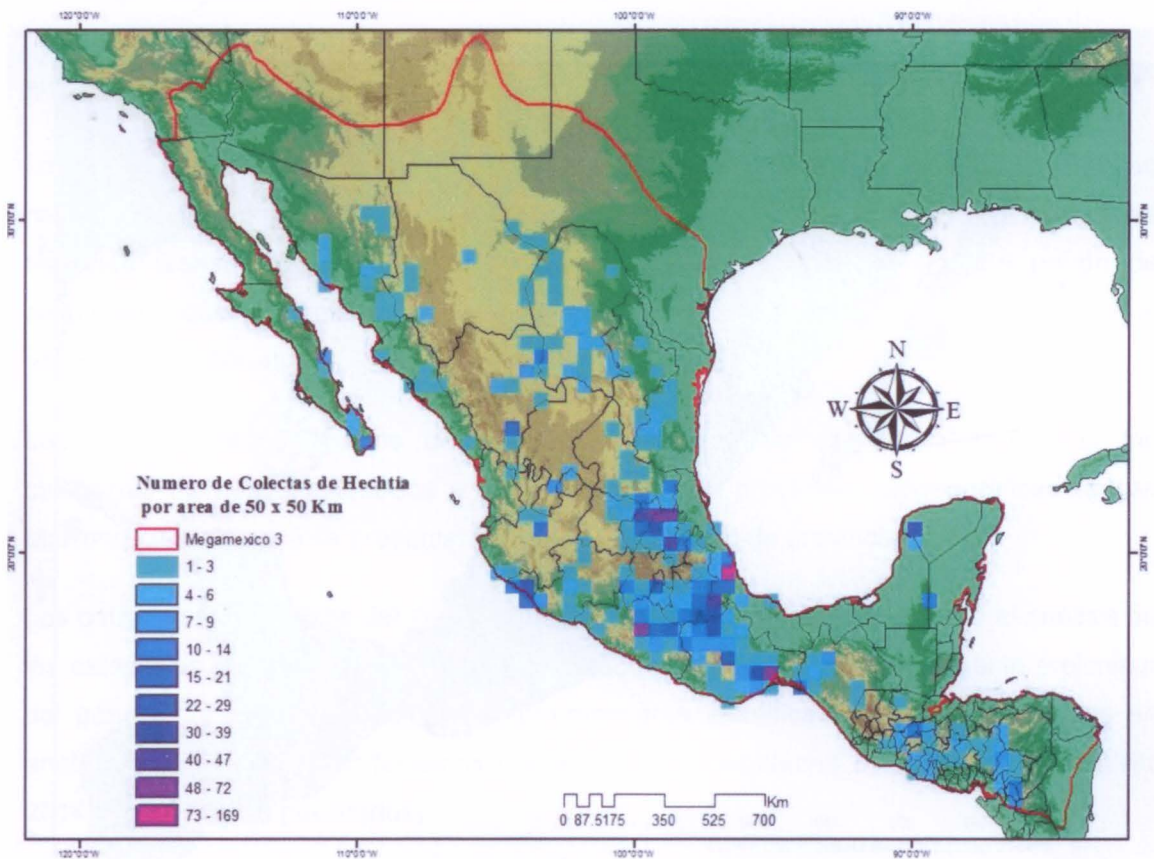


Figura 2.3. Densidad de colectas de especies de *Hechtia* por superficie de 50 x 50 km en Megaméxico 3.

La mayor densidad de colectas se encuentra en los estados de Oaxaca, Puebla, parte de Veracruz, Querétaro e Hidalgo en la República Mexicana. En la zona norte de Megaméxico existe una escasa densidad de colectas, esto corresponde a los estados de Texas y Arizona en Estados Unidos, y Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Chihuahua y Sonora, en la República Mexicana. Además, en esta misma zona existe una amplia área

sin colectas, la cual abarca los estados de Nuevo México y California en Estados Unidos. Por otro lado, en el sur de Megaméxico la densidad de colectas se concentra en Guatemala, El Salvador, Honduras y norte de Nicaragua.

De las 71 especies incluidas en este estudio, 68 (95.7%) se distribuyen únicamente en México, con excepción de *H. texensis* que también se encuentra presente en la parte sur de Texas en Estados Unidos de América, aunque la mayor parte de su área de distribución se encuentra dentro de la República Mexicana. *Hechtia malvernii*, *H. dichroantha* y *H. guatemalensis*, son especies que solo están presentes en Centroamérica, sin embargo existen especies nuevas en Nicaragua que aún no han sido publicadas (Ramírez 2014, com. pers.).

La mayoría de las especies (86%) se encuentran presentes en uno o dos estados (para el caso de la República Mexicana y Estados Unidos de América) o departamentos (para el caso de Centroamérica) (Figura 2.4). Solamente 11 especies (14%) se distribuyen en tres o más estados o departamentos: *H. texensis*, *H. dichroantha* y *H. guatemalensis* se encuentran en más de siete estados o departamentos, *H. elliptica* se encuentran en cinco estados, *H. podantha*, *H. montana* y *H. glomerata* se distribuyen en cuatro estados y *H. lundelliorum*, *H. tillandsioides*, *H. subalata* y *H. sphaeroblata* se presentan en tres estados. Estos datos adquieren relevancia cuando se tratan listados florísticos estatales o regionales, debido a que la aplicación de leyes sobre fauna y flora está restringida a los límites políticos.

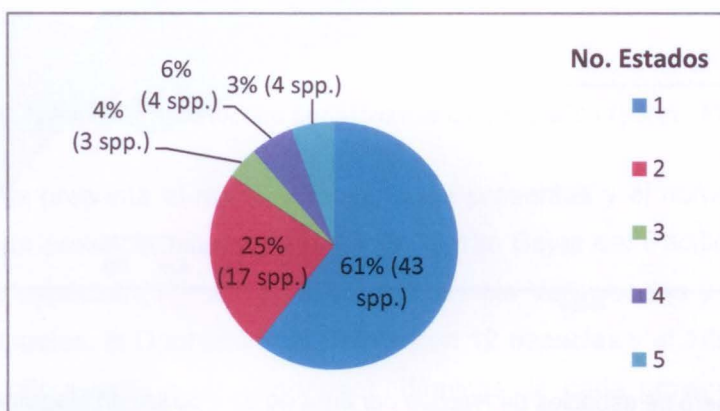


Figura 2.4. Número de especies del género *Hechtia* presentes en uno o más estados (México) o departamentos (países de Centroamérica) en Megaméxico 3.

En la Figura 2.5 se presenta el número de especies de *Hechtia* en un área de 50 x 50 km en Megaméxico 3. Las regiones con mayor número de especies se encuentran en la República Mexicana, en el norte de Chiapas y Oaxaca, sureste de Puebla, noreste de Guerrero, centro de Veracruz, oeste de Morelos, sur de San Luis Potosí, noreste de Guanajuato, así como en los estados de Hidalgo y Querétaro. Fuera de estas regiones el número de especies presentes por superficie de 50 x 50 km no es mayor a dos.

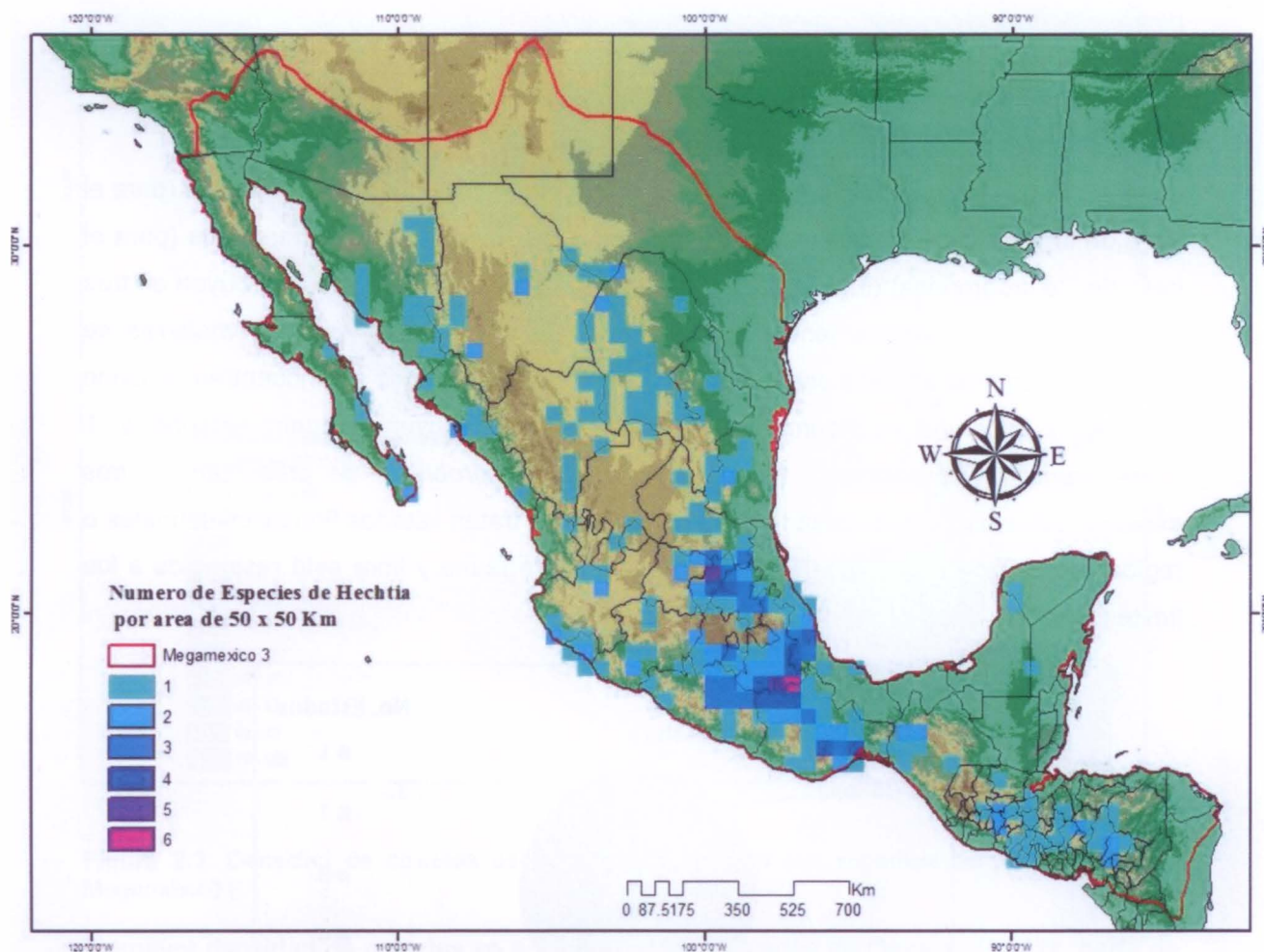


Figura 2.5. Número de especies de *Hechtia* por área de 50 x 50 km en Megaméxico 3.

2.3.2. Regiones biogeográficas y distribución de especies

Se obtuvieron mapas en donde se presenta la distribución de cada especie y las provincias biogeográficas a la que se limitan (Sección I de Anexos).

El 59 % de las especies (42 spp.) solo estuvieron presentes en una provincia, el 35% (24 spp.) en dos provincias y solo el 6% en más de dos provincias (Figura 2.6); en todos los casos las dos provincias son contiguas. *Hechtia hintoniana*, *H. glomerata* y *H. mooreana* están presentes en tres provincias contiguas, y *H. montana* se distribuye en 4 provincias, de las cuales tres son contiguas (Provincia de Sonora, Sierra Madre Occidental y Tierras Bajas del Pacífico) y una no (Provincia de Baja California).

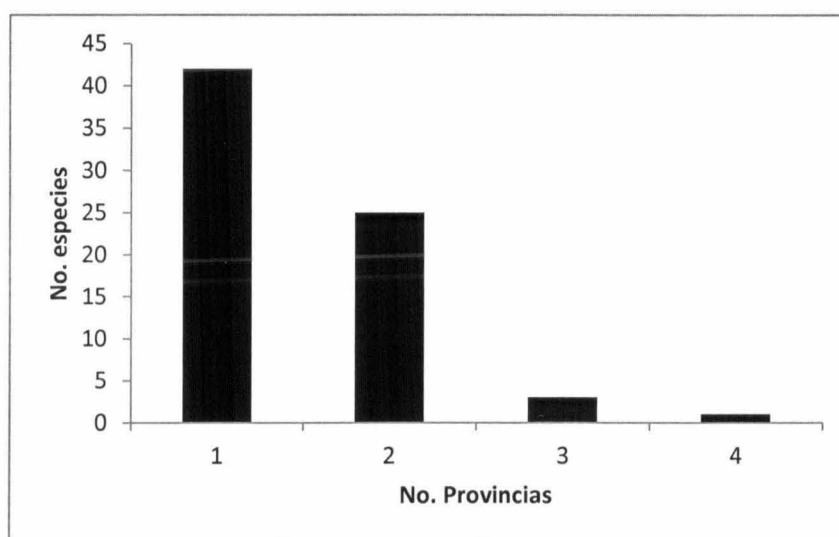


Figura 2.6. Número de especies de *Hechtia* por provincia biogeográfica (*sensu* Morrone, 2014).

En la Figura 2.7 se presenta el número de especies presentes y el número de especies endémicas en cada provincia biogeográfica. Las Tierras Bajas del Pacífico presentan un mayor número de especies (18), seguido por la Provincia Veracruzana y la Sierra Madre del Sur con 17 especies, la Depresión del Balsas con 12 especies y el Altiplano Mexicano con 10 especies. En cuanto a las especies endémicas de cada provincia, la provincia Veracruzana posee un mayor número (9 spp.), seguido de las Tierras Bajas del Pacífico (8 spp.) y la Depresión del Balsas (6 spp.).

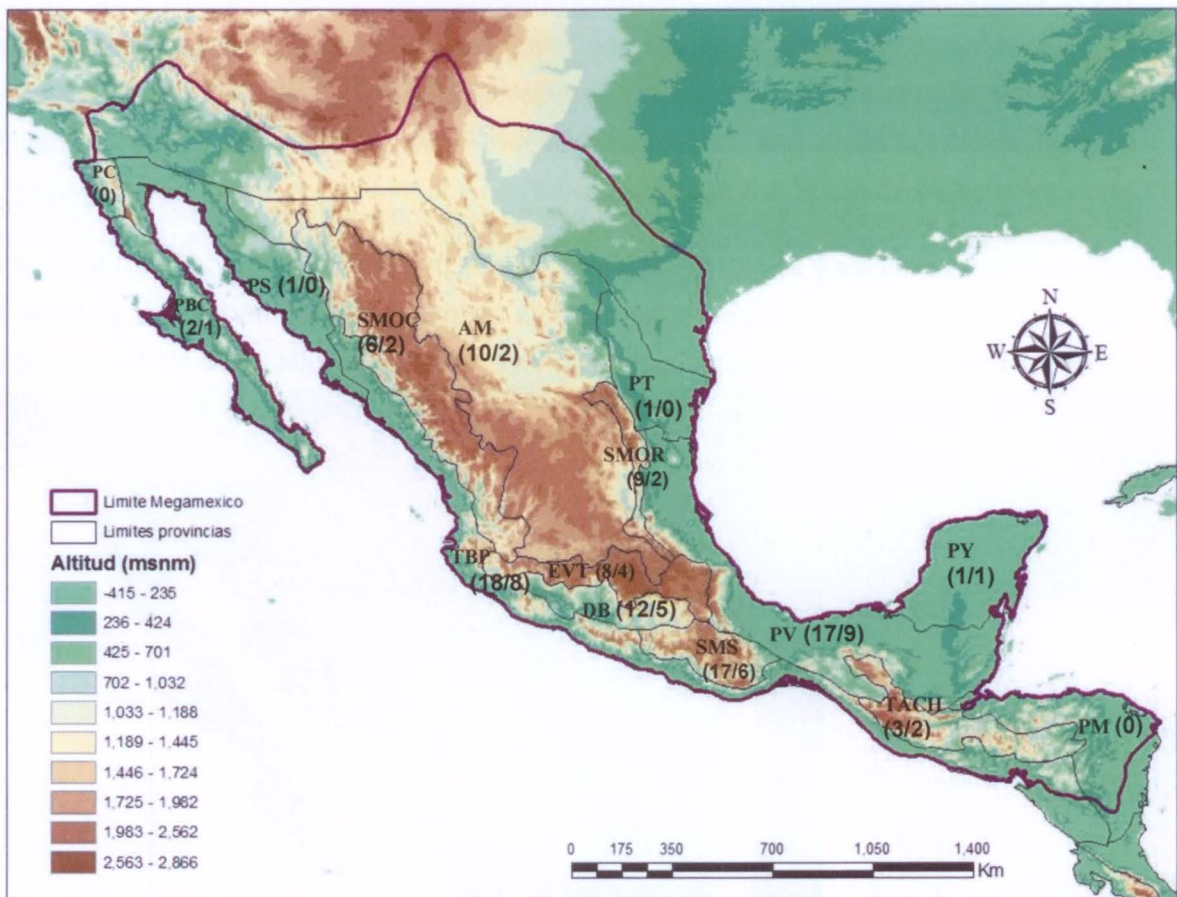


Figura 2.7. Número de especies endémicas del género *Hechtia* en las provincias biogeográficas (*sensu* Morrone, 2014) presentes en Megaméxico 3. Número dentro del paréntesis corresponde al número de especies presentes en dicha provincia/número de especies endémicas. SMOC: Sierra Madre Occidental, SMOR: Sierra Madre Oriental, EVT: Eje Volcánico Transmexicano, SMS: Sierra Madre del Sur, TACH: Tierras Altas de Chiapas, TBP: Tierras Bajas del Pacífico, DB: Depresión del Balsas, PV: Provincia Veracruzana, PY: Península de Yucatán, PM: Provincia Mosquito, PC: Provincia de California, PBC: Provincia de Baja California, PS: Provincia de Sonora, AM: Altiplano Mexicano, PT: Provincia de Tamaulipas.

Las celdas con mayor riqueza de especies también se presentan en la Figura 2.8, dichas celdas corresponden a las regiones de: el sur de la Sierra Madre Oriental, el centro-oeste de la Provincia Veracruzana, el este del Eje Volcánico Transmexicano, norte de la Sierra Madre del Sur y el este de la Depresión del Balsas.



Figura 2.8. Riqueza de especies presentes en las provincias biogeográficas (*sensu* Morrone, 2014) de Megaméxico 3.

2.3.3. Estado de conservación de las especies de *Hechtia*

La IUCN (2001) y Willis y colaboradores (2003), señalan que a partir de tres puntos de colecta diferentes es decir, que difieran al menos por un segundo, se pueden realizar evaluaciones preliminares del estado de conservación (evaluando únicamente EOO y AOO). Rivers y colaboradores (2011), argumentan que para obtener evaluaciones consistentes (que las categorías sean asignadas de manera correcta), es necesario que las especies a evaluar posean 15 ó más puntos de colecta diferentes. Las colectas de *Hechtia* son escasas, habiendo especies que son conocidas solo del ejemplar tipo (p. ej. *H. fosteriana*) y únicamente 21 especies (29.5%) poseían 15 ó más puntos de colecta,

por tanto, se decidió realizar la evaluación del estado de conservación de las especies que poseían a partir de tres puntos de colecta (61/71 spp.).

Las categorías de riesgo asignadas a 61 especies resultó en: 4 especies en **Peligro Crítico**, 29 especies en **Peligro**, 13 especies **Vulnerables**, 15 especies **No Amenazadas** y 10 especies presentaron **Datos Insuficientes** (Cuadro B de Anexos, Figura 2.9).

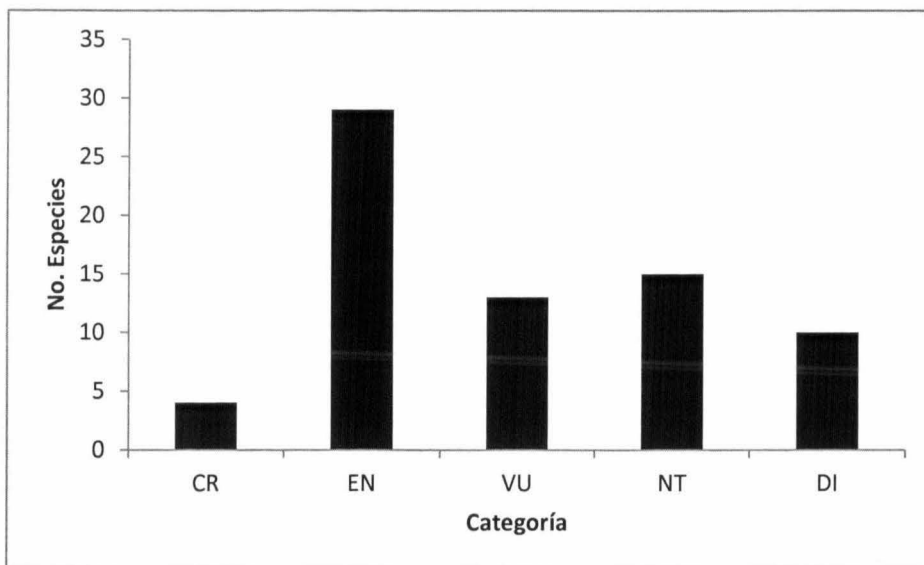


Figura 2.9. Número de especies asignadas a las distintas categorías de riesgo. CR: En Peligro Crítico, EN: En Peligro, VU: Vulnerable, NT: No Amenazada y DI: Datos Insuficientes.

2.3.4. Patrones del riesgo de extinción de las especies de *Hechtia*

Se encontró un patrón de distribución del riesgo de extinción y el tipo y número de hábitats en los que se presentan las especies (Cuadro 2.3). En relación al tipo de hábitat, las 19 especies que se encuentran únicamente en selvas bajas caducifolias resultaron asignadas a alguna categoría de riesgo, y de las 14 especies que habitan solamente matorrales, 10 fueron asignadas a alguna categoría de riesgo. En cuanto al número de hábitats, de las 61 especies evaluadas 33 se encuentran exclusivamente en un tipo de hábitat, de las cuales 29 presentaron amenaza, 14 se encuentran en dos tipos de hábitat, de las cuales 10 tienen riesgo de extinción y 11 especies se presentan en tres tipos de hábitats, de las cuales 4 se encuentran amenazadas.

Cuadro 2.3. Relación entre la categoría de riesgo y de hábitat de las especies de *Hechtia*.

Categoría/Hábitat	SBC	MX	SBC+MX	SBC+MX+B	Total
CR	2	2	0	0	4
EN	12	5	7	2	29
VU	5	3	3	2	13
Sin Riesgo	0	4	4	7	15
Total	19	14	14	11	61

SBC: Selva baja caducifolia, MX: Matorral xerófilo, B: Bosque húmedo.

También se encontró un patrón entre el riesgo de extinción y el número de provincias en los que se presentan las especies (Cuadro 2.4). El 67% de las especies en riesgo (31/61 spp.) se encuentran presentes en una sola provincia, y la categoría de riesgo disminuye conforme aumenta el número de provincias ocupadas. En el Cuadro 2.5 se presentan el número de especies en relación a las categorías de riesgo asignadas y las provincias biogeográficas en las que se presentan. La Provincia Veracruzana (PV) es la provincia con mayor número de especies amenazadas (12/15 spp.), seguida de las Tierras Bajas del Pacífico (TBP) (11/16 spp.) y la Sierra Madre del Sur (SMS) (10/14 spp.).

Cuadro 2.4. Categoría de riesgo de extinción de las especies de *Hechtia* y el número de provincias biogeográficas (*sensu* Morrone, 2014) que ocupan.

Categoría/No. Provincias	1	2	3	4	Total
Peligro Crítico	3	1	0	0	4
Peligro	23	5	1	0	29
Vulnerable	5	8	0	0	13
Sin riesgo	4	8	3	1	15
Total	35	22	4	1	61

Cuadro 2.5. Categoría de extinción de las especies de *Hechtia* y su relación con la ocupación de las provincias biogeográficas de Megaméxico 3 (*sensu* Morrone, 2014).

Categoría/ Provincia	SMS	SMOR	SMOCC	EVT	TACH	DB	PY	PV	PT	PS	BC	AM	TBP
Riesgo (Total)	10	6	3	7	0	7	1	12	0	0	0	6	11
CR	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	0
EN	7	1	1	7	0	5	1	4	0	0	0	2	9
VU	3	4	2	0	0	1	0	7	0	0	0	2	2
Sin riesgo	4	3	1	2	2	3	0	3	1	1	1	4	5
Total	14	9	4	9	2	10	1	15	1	1	1	10	16

SMOC: Sierra Madre Occidental, SMOR: Sierra Madre Oriental, EVT: Eje Volcánico Transmexicano, SMS: Sierra Madre del Sur, TACH: Tierras Altas de Chiapas, TBP: Tierras Bajas del Pacífico, DB: Depresión del Balsas, PV: Provincia Veracruzana, PY: Península de Yucatán, BC: Provincia de Baja California, PS: Provincia de Sonora, AM: Altiplano Mexicano, PT: Provincia de Tamaulipas. CR: Peligro Crítico, EN: Peligro, VU: Vulnerable.

El riesgo de extinción de las especies en función de los patrones de crecimiento se presenta en el Cuadro 2.6. No se pudo identificar el patrón de crecimiento de dos especies debido a la falta de información: *H. reticulata* y *H. caudata*. El 49% de las especies evaluadas presentaron un patrón de crecimiento simpodial estricto (29/59), de las cuales el 72% (21/29 spp.) fue asignado a alguna categoría de riesgo. El patrón simpodial con floración precoz fue el segundo patrón de crecimiento encontrado en un 29% de las especies (17/59 spp.), el 88% (15/17 spp.) fue asignada a alguna categoría de riesgo. El patrón pseudomonopodial se encontró en menor proporción con un 22% (13/59 spp.), y el 62% (8/13 spp.) presentó algún grado de extinción, porcentaje menor en comparación a los otros patrones de crecimiento.

Cuadro 2.6. Categorías del riesgo de extinción de las especies de *Hechtia* y sus patrones de crecimiento (*sensu* Ramírez *et al.*, 2014).

Categoría/ Tipo de crecimiento	SE	SFP	PS	Total
Peligro Crítico	2	0	2	4
Peligro	13	11	3	27
Vulnerable	6	4	3	13
Sin riesgo	8	2	5	15
Total	29	17	13	59

Patrón de crecimiento: SE: Simpodial estricto, PS: Pseudomonopodial, SFP: Simpodial con floración precoz.

En cuanto al patrón filogenético del riesgo de extinción en función de los clados dentro del género, existen diferencias del riesgo de extinción de las especies entre los clados (Cuadro 2.7). El clado *H. tillandsioides* presenta todas las especies con alguna categoría de riesgo, mientras que en el clado *H. guatemalensis* no hay especies con riesgo de extinción, para los clados *H. glomerata* y *H. rosea* hay especies listadas con y sin riesgo de extinción.

CAPÍTULO II

Cuadro 2.7. Categorías del riesgo de extinción en los clados *Hechtia glomerata*, *H. tillandsioides*, *H. guatemalensis* y *H. rosea*.

Clado	Categoría de riesgo	Provincias biogeográficas	Patrón de crecimiento	Tipo de vegetación
Clado <i>H. tillandsioides</i>				
<i>H. caerulea</i>	EN	EVT	SE	SBC
<i>H. lundelliorum</i>	VU	PV	SE	B, SBC
<i>H. purpusii</i>	VU	PV	SE	SBC
<i>H. tillandsioides</i>	VU	SMOR, PV	SE	SBC
Clado <i>H. guatemalensis</i>				
<i>H. dichroantha</i>	NT	TACH	SE	M
<i>H. guatemalensis</i>	NT	TACH, TBP	SE	M, SBC, B
Clado <i>H. glomerata</i>				
<i>H. argentea</i>	CR	SMOR, AM	PS	M, B, SBC
<i>H. ghiesbreghtii</i>	VU	PV	PS	SBC
<i>H. glomerata</i>	NT	AM, PV, SMOR	PS	M, B, SBC
<i>H. hernandez-sandovalii</i>	VU	SMOR, PV	PS	M
<i>H. myriantha</i>	NT	PV	PS	SBC
<i>H. schottii</i>	EN	PY	PS	SBC
Clado <i>H. rosea</i>				
<i>H. meziana</i>	VU	PV, TBP	SFP	SBC
<i>H. rosea</i>	NT	SMS, TBP	SFP	SBC

Categorías de riesgo: CR: Peligro Crítico, EN: Peligro, VU: Vulnerable, NT: No amenazada. Provincias biogeográficas: EVT: Eje Volcánico Transmexicano, PV: Provincia Veracruzana, SMOR: Sierra Madre Oriental, TACH: Tierras Altas de Chiapas, TBP: Tierras Bajas del Pacífico, AM: Altiplano Mexicano, SMS: Sierra Madre del Sur, PY: Península de Yucatán. Patrón de crecimiento: SE: Simpodial estricto, PS: Pseudomonopodial, SFP: Simpodial con floración precoz. Tipo de vegetación: SBC: Selva Baja Caducifolia, B: Bosque húmedo, M: Matorral Xerófilo.

2.4. DISCUSIÓN.

2.4.1. Distribución geográfica conocida y riqueza de especies

La mayoría de las especies resultaron endémicas de uno o dos estados o departamentos, esto se debe al carácter restringido de sus distribuciones, lo cual está influenciado directamente por la poca vagilidad de las semillas, que en conjunto con la presencia de barreras geográficas dificulta la colonización de estas especies hacia nuevas regiones y limita su capacidad de extender sus rangos geográficos.

En este estudio, se identificaron las regiones con mayor diversidad de especies en Megaméxico 3, estas son: el norte de Chiapas y norte de Oaxaca, sureste de Puebla, noreste de Guerrero, centro de Veracruz, oeste de Morelos, sur de San Luis Potosí, noreste de Guanajuato, así como en los estados de Hidalgo y Querétaro. Todas estas regiones se encuentran en México, convirtiendo al país en el centro de diversidad de especies de *Hechtia*, lo cual puede ser atribuido a tres razones principales.

La primera, es la diversidad topográfica y climática de México que permite tener una heterogeneidad ambiental que facilita los procesos de especiación (Cevallos-Ferriz *et al.*, 2012).

Segundo, la invasión del ancestro de *Hechtia* a Centroamérica (ca. 16.6 Ma, en el Mioceno medio, Givnish *et al.*, 2011, 2014), coincide con la etapa de mayor actividad tectónica en esta región (desde el Mioceno hasta ahora) (Cevallos-Ferriz *et al.*, 2012), y con la formación de cadenas montañosas que fungieron como barreras geográficas, se pudo haber impulsado la generación de nuevas especies o la desaparición de otras.

Por último, la diversificación de las especies (ca. 10 Ma, en el Mioceno temprano, Givnish *et al.*, 2011, 2014) coincide con el proceso de aridificación de Norteamérica, en donde el surgimiento de hábitats áridos en conjunto con las adaptaciones fisiológicas y anatómicas a ecosistemas áridos y secos xéricos que presenta *Hechtia* pudo ser un motor principal de la radiación adaptativa de estas especies en México. Dentro de las principales adaptaciones se tiene: la presencia de hojas suculentas y el metabolismo CAM en las bromelias xerofitas, esto se asocia a la colonización de hábitats áridos, debido a que

reducen la transpiración y permiten una mayor eficiencia fotosintética, así como una mayor adaptación a la sequía (Givnish *et al.*, 2007). La presencia de espinas fuertes y agresivas en los márgenes de las hojas, así como la dureza de sus hojas son un buen medio de defensa contra herbívoros vertebrados (Eguiarte y Souza, 2007). La capacidad de reproducirse vegetativamente es otra característica que permite la permanencia de genotipos adaptados a las condiciones de sequía. Por otra parte, la especificidad del sustrato donde crecen, así como su exitosa proliferación en suelos calizos, yesosos y volcánicos, ha permitido a *Hechtia* colonizar hábitats (incluso hábitats tan extremos como riscos y taludes) en los cuales muchas otras especies no tienen la capacidad de sobrevivir (Espejo *et al.*, 2010).

La ausencia de colectas y por tanto de registros de especies de *Hechtia* en Tabasco, Quintana Roo, Tlaxcala y el Distrito Federal, pudiera considerarse en primera instancia a la falta de esfuerzo de muestreo en estos estados. Sin embargo, para los estados de Tlaxcala y el Distrito Federal, Espejo (2012) menciona que tampoco se registran otras especies endémicas de Liliopsidas en dichos estados, por tanto la ausencia de especies también puede deberse a que realmente las especies no crecen en esos lugares, aunado a lo anterior, dichos estados presentan altos niveles de sobrepoblación y los impactos antropogénicos sobre la vegetación son intensos. En el caso Quintana Roo, es un estado con un clima muy húmedo y con escasa presencia de selvas secas o matorrales, la mayoría de sus selvas son medianas-altas y perennifolias, siendo más probable que la ausencia de especímenes se deba a que las condiciones de precipitación y humedad no permiten la existencia de esta especie y no a la falta de exploración. Por otra parte, algunos estados como Michoacán y Chihuahua, en donde sí existen especies identificadas, se registra una escasa densidad de ejemplares debido a la falta de colectas en estas regiones (Espejo *et al.*, 2004; Ramírez *et al.*, 2011).

La ausencia de *Hechtia* en Belice posiblemente se deba a que es una región con una cubierta forestal densa, sus sabanas y matorrales son escasas y tienen una precipitación media anual superior a los 2000 mm, con apenas una estación seca de un mes o a veces inexistente (Vargas-Ulate, 1997). A diferencia de los otros matorrales ubicados también en la vertiente del Caribe que abarcan Guatemala y Honduras, los cuales presentan una escasa precipitación al año, y los matorrales ubicados en el lado del Pacífico, en donde se

presenta una estación seca de 6-7 meses y una precipitación de 700–1500mm (Vargas-Ulate, 1997). Además, hay ausencia de rocas calizas en las Montañas Mayas de Belice (Padilla y Sánchez, 2007), a diferencia de las regiones altas de Chiapas y Guatemala en donde sí se encuentran dichos sustratos calizos (Padilla y Sánchez, 2007).

Las regiones donde ha habido un mayor esfuerzo de colecta son casi las mismas regiones donde se identifica una mayor diversidad de especies, por lo que pudiera haber una relación entre dicho esfuerzo y la identificación de especies nuevas (Espejo *et al.*, 2007; Jiménez, 2011; Ramírez *et al.*, 2011; Ramírez y Jiménez, 2012; López-Ferrari y Espejo, 2013). Aún falta mucho esfuerzo de colecta para tener una representación fiel y completa del género *Hechtia*, sobretodo en la parte norte de Megaméxico 3, lo cual corresponde al sur de Estados Unidos y el norte de la República Mexicana, así como la parte sureste de la República Mexicana, Guatemala, Belice, El Salvador, Honduras y Nicaragua.

Este género estuvo olvidado por muchos años debido a los problemas que presenta su colecta, y el difícil acceso a los lugares donde crece (Ramírez *et al.*, 2012). Aunado a esto, el bajo número de taxónomos y las condiciones socioeconómicas y políticas de los estados donde el esfuerzo de colecta ha sido escaso, no siempre permiten un fácil acceso para la exploración y estudio botánico (Espejo, 2012). Sin embargo, en los últimos años se han publicado nuevas especies y aún faltan por describir (Jiménez, 2014; Ramírez, 2014 com. pers.).

2.4.2. Regiones biogeográficas y distribución de especies

Las regiones con mayor diversidad de especies de *Hechtia* se encuentran en el norte de la Sierra Madre del Sur, la parte este de la Depresión del Balsas y el Eje Volcánico Transmexicano, el sur de la Sierra Madre Oriental y el centro oeste de la Provincia Veracruzana.

El levantamiento de la Sierra Madre Oriental inició en el Paleoceno y terminó en el Mioceno, en dirección norte a sur (Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2000), por tanto la reciente actividad volcánica ocurrida en el Mioceno (10-20 Ma), mismo tiempo en el que *Hechtia* se

presenta en Centroamérica, puede verse involucrado en la riqueza de especies presentes en el sur de la Sierra Madre Oriental.

El Eje Volcánico Transmexicano, es la cadena montañosa más reciente, su formación de oeste a este comenzó desde el Mioceno medio (11-17 Ma) hasta ahora (Cevallos-Ferriz *et al.*, 2012), es posible que esta reciente actividad en la zona este sea en parte responsable de la alta diversidad de especies presentes también en esta región, dada a la formación de barreras que permitieron un aislamiento geográfico de las especies, propiciando su diversificación.

Por otra parte, el desarrollo del Eje Volcánico Transmexicano fue por segmentos, cada segmento originado en distintos momentos y esta provincia antes de ser una barrera, fungió como zona de conexión entre provincias (Cevallos-Ferriz *et al.*, 2012). Para el caso de *Hechtia*, dicha provincia pudo actuar como conexión entre la Depresión del Balsas y el Altiplano Mexicano, posteriormente cuando se constató como barrera el aislamiento geográfico entre las provincias, ocasionó la especiación de los taxa presentes en la Depresión del Balsas, pudiendo explicarse de tal manera la presencia de varias especies en esta provincia (12 spp, de las cuales 5 spp. son endémicas), también puede explicar la presencia de una misma especie en las tres provincias (p.e. *Hechtia hintoniana*).

A lo largo de la planicie del Golfo de México, correspondiente a la provincia Veracruzana, hubo una mínima influencia del vulcanismo durante el Mioceno, en donde la formación de cuencas de depósitos originadas por los procesos tectónicos durante el desarrollo de la Sierra Madre Oriental y el retiro de los mares en estas regiones, también generaron cambios climáticos y ecológicos (Cevallos-Ferriz *et al.*, 2012). Por otro lado, la máxima actividad volcánica en dicha región fue a partir del Plioceno-Pleistoceno (6 Ma) hasta ahora, ocasionando que los suelos estén constituidos principalmente por material volcánico, cenizas y arenas (Ríos- Macbeth, 1952 y Flores-Delgadillo *et al.*, 1999). Lo anterior podría explicar la alta diversidad de especies de *Hechtia* presentes en dicha provincia (17 spp. de las cuales 9 spp. son endémicas).

Por otro lado, el rompimiento de la Península de Baja California inició hace menos de 12 Ma y la formación del mar de Cortes hace menos de 6 Ma en el Plioceno (Atwater, 1970). *Hechtia montana* es una especie presente en la Provincia de Baja California y en Sonora

y Sinaloa, su distribución disyunta pudiera atribuirse a un evento de dispersión o posiblemente a su origen antes de la separación de la Península de Baja California. *Hechtia gayorum* es endémica de la Provincia de Baja California (Los Cabos), y posiblemente su origen puede ser posterior a la formación del mar de Cortés, cuando las poblaciones experimentaron un aislamiento geográfico.

La reciente emersión de la Península de Yucatán, hace aproximadamente 5 Ma en el Plioceno (Cevallos-Ferriz *et al.*, 2012), cuando la península emergió, no era más que sedimento y arrecife, después se convirtió en una planicie de roca caliza. Es muy probable que dicho sustrato favoreciera la colonización del ancestro de *H. schottii* en esta zona, posteriormente con el avance de la sucesión ecológica, el establecimiento de selvas altas y secas en la región generó la proliferación de esta especie. Posteriormente con el cambio de uso del suelo para el cultivo de henequén principio del siglo XX en esta región, las poblaciones de esta especie pudieron haber mermado, restringiéndose actualmente a algunas localidades escondidas entre afloramientos rocosos dentro de las selvas. Otra posibilidad es que en algún periodo glacial la zona seca de Yucatán estaba unida a las zonas secas de Chiapas y Veracruz (de donde se conocen los parientes más cercanos de dicha especie) (Ramírez, 2014, com. pers.), y posteriormente el aislamiento de las poblaciones permitió la especiación (Carnevali, 2014, com. pers.). Sin embargo, estas posibilidades no dejan de ser especulaciones y solo los análisis filogenéticos y biogeográficos permitirán tener un acercamiento a la historia evolutiva del género.

2.4.3. Estado de conservación y patrones del riesgo de extinción de *Hechtia*

En este estudio, más del 75% de las especies estudiadas fueron identificadas en alguna categoría de riesgo, esto es de suma importancia desde dos perspectivas. La primera, realizar un análisis geográfico-filogenético enfocado hacia la biología de la conservación. Además del trabajo de Olson y colaboradores (2005), este es el segundo estudio donde se evaluó el estado de conservación de un grupo monofilético en toda su área de distribución, lo cual permitió ir más allá de la asignación de categorías de riesgo para explorar patrones del riesgo de extinción. Segunda, el alto porcentaje de especies en peligro de extinción en este género lo muestran como un grupo prioritario para realizar trabajos futuros que permitan generar más información sobre la sistemática, ecología y

conservación de las especies.

En cuanto a los patrones ecológicos del riesgo de extinción encontrados en este trabajo, el hecho de que todas las especies que habitan únicamente en selvas bajas caducifolias presenten riesgo de extinción, se debe a que dicho tipo de hábitat es uno de los ecosistemas tropicales más amenazados en el mundo (Murphy y Lugo, 1986), el cual se ve afectado por disturbios antropogénicos tales como la ganadería, extracción de madera, agricultura, los incendios forestales, así como por fenómenos naturales: huracanes, tormentas tropicales, “El Niño”, los cuales han ocasionado un alto grado de fragmentación y perturbación en estos ecosistemas (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997). Lo anterior se ve reflejado en la reducción de los rangos de distribución de las especies, ocasionando un aumento en la proporción de especies que son asignadas en categoría de riesgo de extinción.

En el caso de las especies que habitan únicamente matorrales, no todas presentan algún riesgo de extinción, dado que este ecosistema es el menos afectado por las actividades del hombre gracias a sus condiciones climáticas extremas que impiden el desarrollo adecuado de la agricultura y ganadería extensiva, y a una baja densidad poblacional humana (Rzedowski, 2001). Sin embargo, el avance de las plantaciones comerciales mecanizadas y la ganadería de caprinos se vuelven cada vez más frecuentes también en los matorrales (Rzedowski, 2001). Por otra parte, los matorrales presentan especies de *Hechtia* que son dominantes en estos tipos de ecosistemas, tales como *H. podantha*, la cual a pesar de presentarse únicamente en matorrales, sus adaptaciones fisiológicas y anatómicas le permiten ser una especie dominante, tener poblaciones de mayor tamaño y rangos de distribución más amplios.

El porcentaje de AOO de las especies incluidas en ANP's y en áreas prístinas fueron criterios utilizados para la asignación de las categorías de riesgo, por tanto, el patrón ecológico del riesgo de extinción también se puede deber a la representatividad de cada tipo de hábitat en las ANP's y las áreas prístinas.

La selva baja caducifolia es uno de los tipos de vegetación menos representados en el Sistema Nacional de ANP's de México, del total de 10.14 millones de hectáreas de ANP's (5.7 % del territorio mexicano) 120,482 hectáreas corresponden a selvas bajas

caducifolias (0.06% del territorio mexicano y 1.18% del total de ANP's) (Ordoñez y Flores, 1995). Para las especies que habitan únicamente en dichos ecosistemas el porcentaje de AOO incluidas en ANP's es bajo, debido a la escasa representación de las selvas bajas caducifolias en las áreas protegidas, esto ocasiona que dichas especies sean identificadas con alguna categoría de riesgo.

En cuanto a las áreas prístinas, los matorrales son los hábitats que abarcan la mayor superficie del territorio mexicano (508 958 km²), de la cual el 91.9 % es vegetación conservada (467 886 km²), en comparación con las selvas, las cuales poseen apenas 164 357 km² de superficie territorial, y apenas el 42% (70 720 km²) pertenecen a vegetación conservada (CONABIO, 2014).

El número de hábitats y provincias ocupadas presentan patrones de extinción similar, conforme el número de hábitats y provincias ocupadas por especie aumenta hay una reducción en el riesgo de extinción, esto en la mayoría de los casos se debe a que un incremento en el número de hábitats y provincias refleja también un incremento del rango de distribución y por ende la disminución del riesgo de extinción.

El patrón biogeográfico del riesgo de extinción sugiere que las especies pertenecientes a las provincias de las vertientes del Pacífico (Tierras Bajas del Pacífico y Sierra Madre del Sur) y del Golfo de México (Provincia Veracruzana) tienen mayor riesgo de extinción que las demás provincias. Esto puede atribuirse a factores naturales como la vegetación representada en estas provincias, las selvas bajas caducifolias presentan una mayor superficie en la vertiente del Pacífico, más del 80% (131 485 km²) de las selvas bajas del país se encuentran en la vertiente del Pacífico (Trejo, 2010) y dado que la mayoría de las especies amenazadas se encuentra en este tipo de vegetación, es concordante encontrar una mayor cantidad de especies amenazadas en las regiones biogeográficas de la vertiente del Pacífico.

Por otro lado, los factores antrópicos también pueden estar influenciando el riesgo de extinción de las especies presentes en dichas provincias, la agricultura de subsistencia, la deforestación, la ganadería extensiva y la plantación de cultivos comerciales son las principales amenazas antropogénicas para estas provincias, y recientemente las costas

del Pacífico mexicano están siendo explotadas por su belleza escénica para el turismo, dado que la combinación entre la playa y la selva seca son paisajes muy apreciados por el turismo nacional e internacional (Flannery, 1985; Balvanera y Maass, 2010; Trejo, 2010).

El patrón biológico del riesgo de extinción sugiere que las especies cuyos patrones de crecimiento son simpodial estricto (SE) y simpodial con floración precoz (SFP) tienden a tener mayor riesgo de extinción que las especies con patrón pseudomonopodial (PS). Dado que el patrón de crecimiento PS permite el desarrollo de rosetas de larga vida que producen varias inflorescencias laterales, y que el meristemo apical no muere, da lugar a varios episodios de floración, pudiera haber un aumento del éxito reproductivo, lo cual no ocurre con las especies cuyo patrón de crecimiento son SE y SFP, en donde el episodio de floración y la inflorescencia que se produce son únicos para las especies con patrón SE y para las especies con patrón SFP la floración de la roseta precoz ocurre una sola vez y el meristemo apical puede o no transformarse en meristemo floral (Ramírez *et al.*, 2014).

El patrón filogenético del riesgo de extinción no presenta una distribución uniforme entre los clados. Para los clados *H. guatemalensis* y *H. tillandsioides*, el riesgo de extinción está influenciado con la combinación del tipo de vegetación, el patrón de crecimiento y las provincias biogeográficas. Especies con crecimiento SE de provincias pertenecientes a la vertiente del Golfo de México que habitan únicamente en selvas bajas caducifolias, tienden a tener riesgos de extinción, como ocurre en el clado *H. tillandsioides*. Mientras que especies con el mismo tipo de crecimiento (SE) de provincias pertenecientes a la vertiente del Pacífico que habitan en matorrales (solo o con más tipos de vegetación), tienden a no presentar riesgo de extinción, como en el clado *H. guatemalensis*.

Para los clados *H. glomerata* y *H. rosea* el riesgo de extinción tienden a estar más relacionado con los rangos de distribución que presentan las especies que con los factores biológicos o ecológicos. Esto concuerda con los resultados obtenidos de Olson y colaboradores (2005) en el análisis del riesgo de extinción del clado *Pedilanthus* de *Euphorbia* L., en donde el clado con mayor proporción de especies con rangos de distribución pequeños tuvo la mayor proporción de especies amenazadas, a pesar de que se esperaba obtener mayor número de especies en riesgo de extinción en el clado cuyas

especies tenían atributos hortícolas y mayores presiones de colecta.

A pesar de que aún no se encuentran resueltas todas las relaciones internas dentro del género, esta primera exploración filogenética del riesgo de extinción en algunos clados del género *Hechtia* permite un primer acercamiento de algún patrón filogenético del riesgo de extinción que pudiera existir, además de servir como base para la generación de hipótesis que pueden probarse una vez que se tenga la resolución completa del género.

3. BIBLIOGRAFÍA

- Atwater, T. (1970). Implications of plate tectonics for the Cenozoic tectonic evolution of Western North America. *Geological Society of America Bulletin*, 81(12), 3513-3536.
- Balvanera, P. y M. Mass (2010). Los servicios ecosistémicos que proveen las selvas secas, en: *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las Selvas Secas del Pacífico de México*, Ceballos, G., L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J.B. Creel y R. Dirzo (eds). Fondo de Cultura Económica, CONABIO, CONANP, WWF-México, ECOCIENCIA S.C., TELMEX. México. pp. 251-289.
- Callmender, M.W., G.E. Schatz, P.P. Lowry II, M. O. Laivao, J. Raharimampionona, S. Andriambololonerana, T. Raminosoa y T. K. Consiglio (2007). Identification of priority áreas for plant conservation in Madagascar using Red List criteria: rare and threatened Pandanaceae indicate sites in need to protection. *Oryx*, 41(2), 168-176.
- Calvillo-Canadell, L. y S. R. S. Cevallos-Ferriz (2005). Diverse assemblage of Eocene and Oligocene Leguminosae from Mexico. *International Journal of Plant Science*, 166, 671-692.
- Cevallos-Ferriz, S., E. González-Torres y L. Calvillo-Canadell (2012). Perspectiva paleobotánica y geológica de la biodiversidad en México. *Acta Botánica Mexicana*, 100, 317-350.
- Clark Labs (1998). "Cartalinx, The Spatial Data Builder" User Guide, versión 1.0. Clark University. USA. Capítulos: 3, 4 y 6.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-CONABIO, (2006). Mapa base a nivel estatal y mapa general. Formato raster. Compilación cartográfica. México, D.F. Escala: 1:250000
Disponible en: URL: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
[Acceso 13 de febrero de 2014].
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-CONABIO, (2014) Disponible en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/selvaSeca.html>
[Acceso 10 de octubre del 2014].
- Eguiarte, L. E. y S. V. Souza (2007). Historia natural del *Agave* y sus parientes: Evolución y Ecología, en: *En los ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves*, Colunga, P., A. L. Saavedra y D. Zizumbo (eds). CICY, CONACYT, CONABIO, SEMARNAT e INE.
- Eguiluz de Antuñano, S., M. Aranda-García y R. Marrett (2000). Tectónica de la Sierra

- Madre Oriental, México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 53, 1-26.
- Espejo, S. A. (2012). El endemismo en las Liliopsida mexicanas. Acta Botánica Mexicana, 100, 195-257.
- Espejo, A., A.R. López-Ferrari e I. Ramírez Morillo (2010). *Flora del bajo y de regiones adyacentes. Bromeliaceae*. Fascículo 165. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Michoacán, México. pp. 2-40.
- Espejo-Serna, A., A. R. López-Ferrari, I. Ramírez, B. K. Holst, H. E. Luther, y W. Till (2004). Checklist of Mexican Bromeliaceae with Notes on Species Distribution and Levels of Endemism. Selbyana, 25(1), 33-86.
- Espejo-Serna A., A.R. López-Ferrari, I. Ramírez-Morillo y N. Martínez-Correa (2007). Dos nuevas especies de *Hechtia* (Bromeliaceae) de México. Acta Botánica Mexicana, 78, 97-109.
- ESRI (2002) ArcView GIS, version 3.3. Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA.
- ESRI (2010). ArcGIS Desktop: Versión 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute. Redlands, CA, USA.
- Flannery, K.V. (1985). Los orígenes de la agricultura en México: las teorías y las evidencias, en: Historia de la Agricultura, Época Prehispánica, Siglo XVI, Vol. I, Rojas Rabiela, T. y W.T. Sanders (eds). INAH. México. pp. 237-266.
- Flores-Delgadillo, L., I. Sommer-Cervantes, J. Alcalá-Martínez y J. Álvarez-Sánchez (1999). Estudio morfogenético de algunos suelos de la región de Los Tuxtlas, Veracruz, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 16(1), 81-88.
- Givnish, T.J., M.H.J. Barfuss, B.V. Ee, R. Riina, K. Schulte, R. Horres, P.A. Gonsiska, R.S. Jabaily, D.M. Crayn y J. A. C. Smith (2011). Phylogeny, adaptive radiation, and historical biogeography in Bromeliaceae: Insights from an eight-locus plastid phylogeny. American Journal of Botany, 98, 872-895.
- Givnish, T.J., M.H.J. Barfuss, B.V. Ee, R. Riina, K. Schulte, R. Horres, P.A. Gonsiska, R.S. Jabaily, D.M. Crayn, J. A. C. Smith, K. Winter, G. K. Brown, T. M. Evans, B. K. Holst, H. Luther, W. Till, G. Zizka, P. E. Berry y K. J. Sytsma (2014). Adaptative radiation, correlated and contingent evolution, and net species diversification in Bromeliaceae. Molecular Phylogenetics and Evolution, 71, 55-78.
- Givnish, T. J., K. C. Millam, P. E. Berry y J. Systma (2007). Phylogeny, adaptive radiation,

- and historical biogeography of Bromeliaceae inferred from *ndhF* sequence data. *Aliso*, 23, 3-26.
- Gómez Tuena, A., T. Orozco-Esquivel y L. Ferrari (2005). Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 57(3), 227-285.
- Hijmans, R. J., S. Cameron, J. Parra, P. Jones and A. Jarvis (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25, 1965-1978.
- Holmgren, P. K., N. H. Holmgren y L. C. Barnett, eds. (1990). *Index Herbariorum*. Eight edition. New York Botanical Garden, EE. UU. 693 p.
- Jasso-Castañeda, C., S. Sedov E. Solleiro-Rebolledo y J. Gama-Castro (2002). El desarrollo de paleosuelos como índice de estabilidad del paisaje. *Investigación Geográfica*, 47, 20-35.
- Jiménez Nah, C. F (2011). Sistemática del complejo *Hechtia glomerata* Zucc. (Bromeliaceae). Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Conkal. Mérida, Yucatán, México. 169 p.
- López-Ferrari, A. R. y A. Espejo-Serna (2013). *Hechtia mapimiana* (Bromeliaceae; Hechtioideae), una nueva especie del estado de Durango, México. *Acta Botánica Mexicana*, 102, 89-97.
- Löwenberg-Neto, P. (2014). Neotropical region: a shapefile of Morrone's (2014) biogeographical regionalization. *Zootaxa*, 30802 (2), 300.
- Morán-Zenteno, D. (1984). *Geología de la República Mexicana*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México, D.F. 88 p.
- Morrone, J. J. (2014). Biogeographical regionalization of the Neotropical region. *Zootaxa*, 3782 (1), 001-110.
- Murguía, M. y F. Rojas (2001). Biogeografía cuantitativa, en: Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones, Llorente, B. J. y J. Morrone (eds). Las Prensas de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. pp.39-47.
- Murphy, P. G. y A. E. Lugo (1986). The ecology of tropical dry forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17, 67-88.
- Olson, M. E., J. A. Lomelí e I. Cacho (2005). Extinction threat in the *Pedilanthus* Clade

- (*Euphorbia*, Euphorbiaceae), with special reference to the recently rediscovered *E. conzattii* (*P. pulchellus*). American Journal of Botany, 92(4), 634-641.
- Ordóñez, D. M. y V. O. Flores (1995). *Áreas Naturales protegidas*. PRONATURA. 43 p.
- Padilla, J. y R. Sánchez (2007). Evolución geológica del sureste mexicano desde el Mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 69(1), 19-42.
- Palacios Chávez, R. y J. Rzedowski (1993). Estudio palinológico de las floras fósiles del Mioceno Inferior y principios del Mioceno Medio de la región de Pichucalco, Chiapas, México. Acta Botánica Mexicana, 24, 1-96.
- Ramírez, I., F. Chi M., G. Carnevali F. C. y F. May (2008). Reproductive biology of *Hechtia schottii* a dioecious Bromeliaceae, in Mexico. Revista de Biología Tropical, 56(1), 279-289.
- Ramírez, I.M., G. Carnevali, J. P. Pinzón-Esquivel, J. L. Tapia Muñoz y C. F. Jiménez-Nah (2012). Recircumscription and epitypification of *Hechtia schottii* Baker and *H. stenopetala* Klotzsch (Hechtioideae:Bromeliaceae). The Journal of the Torrey Botanical Society, 139(3), 248-259.
- Ramírez, I., A. Espejo-Serna y A. R. López-Ferrari (2011). A New Species of *Hechtia* (Bromeliaceae) from Chihuahua, México. A Journal for Botanical Nomenclature, 21(3), 362-367.
- Ramírez, I. y C. F. Jiménez Nah (2012). A new *Hechtia* (Hechtioideae: Bromeliaceae) from Puebla, Mexico. Phytotaxa, 42, 1-8.
- Ramírez, I., C.F. Jiménez, G. Carnevali F. C. y J. P. Pinzón (2014). Three new species and growth patterns in *Hechtia* (Bromeliaceae:Hechtioideae). Phytotaxa, 178(2), 113-127.
- Ríos-MacBeth, F. (1952). Estudio geológico de la región de Los Tuxtlas, Veracruz. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 4(9-10), 325-376.
- Rivers, M. C., L. Taylor, N. A. Brummitt, T. R. Meagher, D. L. Roberts y E. N. Ludghadha (2011). How many herbarium specimens are needed to detect threatened species? Biological Conservation, 14(10), 2541-2547.
- Royer, D. L. (2010). Fossil soils constrain ancient climate sensitivity. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107, 517-518.
- Rzedowski, J. (1991). Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. Acta

Botánica Mexicana, 14, 3-21.

- Trejo, I. (2010). Las selvas secas del Pacífico mexicano, en: Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las Selvas Secas del Pacífico de México, Ceballos, G., L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J.B. Creel y R. Dirzo (eds). Fondo de Cultura Económica, CONABIO, CONANP, WWF-México, ECOCIENCIA S.C., TELMEX. México. pp. 41-51.
- Vargas-Ulate, G. (1997). La vegetación de América Central, características, transformaciones y protección. Anuario de Estudios Centroamericanos, 23(1/2), 7-34.
- Vázquez-Yanes, C., S. A. Orosco, M. Rojas, M. A. Sánchez y V. Cervantes (1997). La reproducción de las plantas: semillas y meristemos. Fondo de Cultura Económica.
- Willis, F., J. Moat y A. Paton (2003). Defining a role for herbarium data in Red List assessments: a case of study of *Plectranthus* from eastern and southern tropical África. Biodiversity and Conservation, 12, 1537-1552.

CAPÍTULO III

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

3.1. CONCLUSIONES

Las áreas con mayor diversidad de especies de *Hechtia* en Megaméxico 3 son el norte de Chiapas y Oaxaca, sureste de Puebla, noreste de Guerrero, centro de Veracruz, oeste de Morelos, sur de San Luis Potosí, noreste de Guanajuato, así como en los estados de Hidalgo y Querétaro.

En la parte norte de Megaméxico 3, correspondiente al sur de Estados Unidos y norte de la República Mexicana, así como en el sureste de la República Mexicana, Guatemala, Belice, El Salvador, Honduras y Nicaragua, se identificó una baja diversidad de especies, por lo que realizar futuros estudios en estas áreas permitirá conocer si esto se debe a falta de esfuerzo de colecta o que el género está ausente en dichas regiones.

Las regiones biogeográficas con mayor diversidad de especies de *Hechtia* se encuentran en el norte de la Sierra Madre del Sur, la parte este de la Depresión del Balsas y el Eje Volcánico Transmexicano, el sur de la Sierra Madre Oriental y el centro oeste de la Provincia Veracruzana.

Debido a la restricción del rango de distribución de las especies, el 75.4% (46 de 61 spp.) de las especies evaluadas fueron asignadas a alguna categoría de riesgo de extinción: 4 en Peligro Crítico, 29 en Peligro, 13 Vulnerables, 15 No Amenazadas. Lo anterior resalta que este género, requiere especial atención para la conservación y protección de sus especies.

Evaluar y analizar el estado de conservación de un grupo monofilético en toda su área de distribución natural, permitió identificar patrones ecológicos, biológicos, biogeográficos y filogenéticos del riesgo de extinción de las especies. Se presentó un mayor riesgo de extinción en clados con especies que habitan en selvas bajas caducifolias, con patrón de crecimiento simpodial estricto y de provincias pertenecientes a las vertientes del Golfo de México y del Océano Pacífico. Por tanto evaluaciones completas, así como estrategias de protección y conservación podrían enfocarse en dichos taxa más vulnerables.

3.2. PERSPECTIVAS.

Las evaluaciones preliminares realizadas en este estudio permitirán realizar estudios completos de las especies prioritarias cuyo riesgo de extinción es mayor.

En este estudio se pudo explorar de manera preliminar el patrón filogenético del riesgo de extinción, sin embargo, es necesario tener una filogenia completa y resuelta del género para poder someter a prueba diferentes hipótesis filogenéticas del riesgo de extinción e identificar patrones con mayor certeza. De la misma manera, combinar la información aquí generada sobre distribución y riqueza de especies con la filogenia del género permitirá identificar regiones prioritarias para la conservación de las especies de *Hechtia* basadas en la conservación de la diversidad filogenética.

Por otra parte, este estudio se pudo identificar la distribución actual, sin embargo, conocer la distribución geográfica potencial de las especies mediante el modelado del nicho ecológico permitirá: 1) responder nuevas hipótesis sobre la evolución del nicho, explorar el conservadurismo de nicho en especies filogenéticamente más cercanas y realizar proyecciones al pasado y al futuro para responder diversas preguntas.

ANEXOS

Cuadro A. Especies del género *Hechtia* que se consideraron en este estudio.

No.	Nombre	Autores	Publicación	Año
1	<i>Hechtia aquamarina</i>	I. Ramírez & C.F. Jiménez	Phytotaxa 48: 33	2012
2	<i>Hechtia argentea</i>	Baker	Biol. Cent.-Amer., Bot. 3(17): 317–318	1884
3	<i>Hechtia bracteata</i>	Mez	Monogr. Phan. 9: 550	1896
4	<i>Hechtia caerulea</i>	(Matuda) L.B. Sm.	Phytologia 24: 446, t. 5, f. 5	1972
5	<i>Hechtia carlsoniae</i>	Burt-Utley & Utley	Syst. Bot. 13(2): 276–279, t. 1, f. 1	1988
6	<i>Hechtia caudata</i>	L.B. Sm.	Phytologia 8(1): 5, f. 1–5	1961
7	<i>Hechtia caulescens</i>	López-Ferr., Espejo & Martínez-Correa	Novon 19(2): 197–200, f. 1	2009
8	<i>Hechtia colossa</i>	Martínez-Correa, Espejo & López-Ferrari	Systematic Botany 35(4):745-754.	2010
9	<i>Hechtia confusa</i>	L.B. Sm.	Contr. Gray Herb. 117: 22	1937
10	<i>Hechtia konzattiana</i>	L.B. Sm.	Contr. Gray Herb. 117: 19, t. 1, f. 56	1937
11	<i>Hechtia desmetiana</i>	(Baker) Mez	Monogr. Phan. 9: 551	1896
12	<i>Hechtia dichroantha</i>	Donn. Sm.	Bot. Gaz. 42(4): 299–300	1906
13	<i>Hechtia edulis</i>	I. Ramírez, Espejo & López-Ferr.	Novon 21(3): 363–367, f. 1–2	2011
14	<i>Hechtia elliptica</i>	L.B. Sm.	Contr. Gray Herb. 117: 20, t. 1, f. 61, 62	1937
15	<i>Hechtia epigyna</i>	Harms	Notizbl. Bot. Gart. Berlin–Dahlem 12: 531–532	1935
16	<i>Hechtia fosteriana</i>	L.B. Sm.	Phytologia 8(1): 8, t. 1, f. 10–11	1961
17	<i>Hechtia fragilis</i>	Burt-Utley & Utley	Brittonia 39(1): 40–41, f. 2a–e	1987
18	<i>Hechtia galeottii</i>	Mez	Repert. Spec. Nov. Regni Veg. 16: 71–72	1919
19	<i>Hechtia gayorum</i>	L.W. Lenz	Aliso 14(1): 59	1994
20	<i>Hechtia ghiesbreghtii</i>	Lem.	Ill. Hort. 10: t. 378, f. 1	1863
21	<i>Hechtia glauca</i>	Burt-Utley & Utley	Brittonia 45(3): 220–222, f. 1	1993
22	<i>Hechtia glomerata</i>	Zucc.	Abh. Math.-Phys. Cl. Königl. Bayer. Akad. Wiss. 3: 240–242, pl. 6	1840
23	<i>Hechtia guatemalensis</i>	Mez	Repert. Spec. Nov. Regni Veg. 3: 14	1906
24	<i>Hechtia hernandez-sandovalii</i>	I. Ramírez, C.F. Jiménez & Treviño	Phytotaxa 112(2): 34	2013

No.	Nombre	Autores	Publicación	Año
25	<i>Hechtia hintoniana</i>	Burt-Utley, Utley & García-Mend.	Phytoneuron 2011–59: 2–4, f. 1, table 1	2011
26	<i>Hechtia iltisii</i>	Burt-Utley & Utley	Brittonia 45(3): 222–224, f. 2	1993
27	<i>Hechtia isthmusiana</i>	Burt-Utley	Phytoneuron 2012–69: 10–14, f. 7–8	2012
28	<i>Hechtia ixtlanensis</i>	Burt-Utley	Phytoneuron 69:1-5, f. 1-3	2012
29	<i>Hechtia jaliscana</i>	L.B. Sm.	Phytologia 10(6): 482, t. 1, f. 10	1964
30	<i>Hechtia laevis</i>	L.B. Sm.	Phytologia 10(6): 482–483, t. 1, f. 11–12	1964
31	<i>Hechtia lanata</i>	L.B. Sm.	Phytologia 8(1): 5–6, t. 1, 5–9	1961
32	<i>Hechtia laxissima</i>	L.B. Sm.	Contr. U.S. Natl. Herb. 29(11): 521–522, f. 77	1954
33	<i>Hechtia lepidophylla</i>	I. Ramírez	Acta Bot. Mex. 85: 63–74	2008
34	<i>Hechtia liebmannii</i>	Mez	Bot. Jahrb. Syst. 30(Beibl. 67): 6	1901
35	<i>Hechtia lundelliorum</i>	L.B. Sm.	N. Amer. Fl. 19: 97–98	1938
36	<i>Hechtia lyman-smithii</i>	Burt-Utley & Utley	Brittonia 39(1): 37–40, f. 1a–e	1987
37	<i>Hechtia macdougallii</i>	L.B. Sm.	Phytologia 18: 138, t. 1, f. 4–6	1969
38	<i>Hechtia malvernii</i>	Gilmartin	Ceiba 11(2): 9, f. 4	1965
39	<i>Hechtia mapimiana</i>	López-Ferr. & Espejo	Acta Bot. Mex. (102): 90, 1, 2A, 3A, 4A–C	2013
40	<i>Hechtia marnier-lapostollei</i>	L.B. Sm.	Bull. Bromeliad Soc. 11: 58, f.	1961
41	<i>Hechtia matudae</i>	L.B. Sm.	Phytologia 5: 395, t. 1, f. 1, 2	1956
42	<i>Hechtia melanocarpa</i>	L.B. Sm.	Contr. Gray Herb. 161: 32, t. 4, f. 8, 9	1946
43	<i>Hechtia mexicana</i>	L.B. Sm.	Proc. Amer. Acad. Arts 70: 149	1935
44	<i>Hechtia meziana</i>	L.B. Sm.	Proc. Amer. Acad. Arts 70: 149, t. 1, f. 2, 3	1935
45	<i>Hechtia michoacana</i>	Burt-Utley, Utley & García-Mend.	Phytoneuron 2011–59: 5–7, f. 2, table 1	2011
46	<i>Hechtia montana</i>	Brand.	Erythea 7: 9	1899
47	<i>Hechtia mooreana</i>	L.B. Sm.	Contr. U.S. Natl. Herb. 29(11): 522–523, f. 78	1954
48	<i>Hechtia myriantha</i>	Mez	Bot. Jahrb. Syst. 30(Beibl. 67): 6	1901
49	<i>Hechtia nuusaviorum</i>	Espejo & López-Ferr.	Acta Bot. Mex. 78: 98–103, f. 1–3	2007
50	<i>Hechtia oaxacana</i>	Burt-Utley, Utley & García-Mend.	Phytoneuron 2011–59: 7–9, f. 3	2011

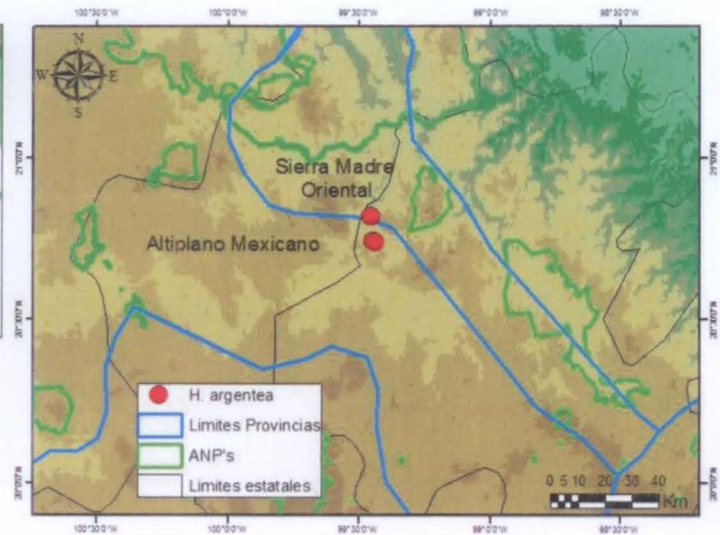
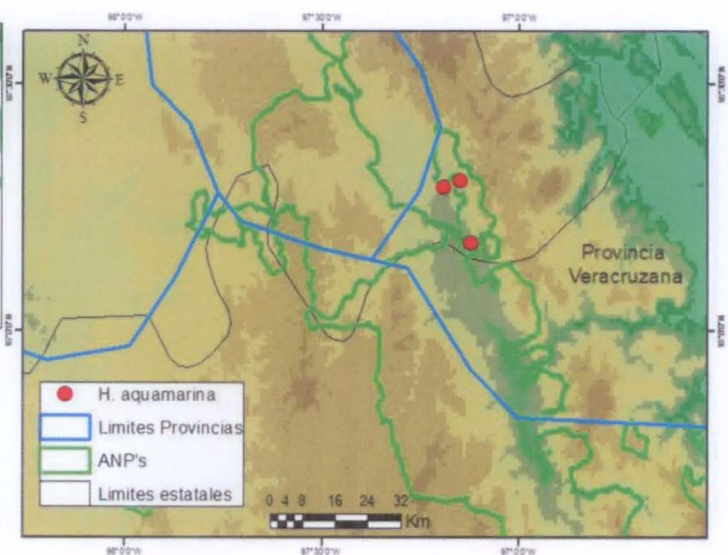
No.	Nombre	Autores	Publicación	Año
51	<i>Hechtia pedicellata</i>	S. Watson	Proc. Amer. Acad. Arts 26: 155	1891
52	<i>Hechtia perotensis</i>	I. Ramírez & Martínez-Correa	Acta Bot. Mex. 78: 103–108, f. 4–5	2007
53	<i>Hechtia podantha</i>	Mez	Monogr. Phan. 9: 549–550	1896
54	<i>Hechtia pretiosa</i>	Espejo & López-Ferr.	Acta Bot. Mex. 83: 50	2008
55	<i>Hechtia pringlei</i>	B.L. Rob. & Greenm.	Amer. J. Sci. Arts, ser. 3 50: 167	1895
56	<i>Hechtia pueblensis</i>	Burt-Utley, Utley & García-Mend.	Phytoneuron 2011–59: 9–13, f. 4–5	2011
57	<i>Hechtia pumila</i>	Burt-Utley & Utley	Syst. Bot. 13(2): 279–281, f. 2	1988
58	<i>Hechtia purpusii</i>	Brandeggee	Univ. Calif. Publ. Bot. 7: 325	1920
59	<i>Hechtia reflexa</i>	L.B. Sm.	Contr. Gray Herb. 177: 18–19, t. 1, f. 54–55	1937
60	<i>Hechtia reticulata</i>	L.B. Sm.	Contr. Gray Herb. 117: 17–18, t. 1, f. 46	1937
61	<i>Hechtia rosea</i>	E. Morren ex Baker	Handb. Bromel. 140	1889
62	<i>Hechtia scariosa</i>	L.B. Sm.	Contr. Gray Herb. 117: 20–21, pl. 1, f. 63–64	1937
63	<i>Hechtia schottii</i>	Baker	Biol. Cent.-Amer., Bot. 3(17): 318	1884
64	<i>Hechtia sphaeroblata</i>	B.L. Rob.	Proc. Amer. Acad. Arts 35(16): 323	1900
65	<i>Hechtia stenopetala</i>	Klotzsch	Allg. Gartenzeitung 3: 402	1835
66	<i>Hechtia subalata</i>	L.B. Sm.	Contr. Gray Herb. 117: 15–16, t. 1, f. 29	1937
67	<i>Hechtia tehuacana</i>	B.L. Rob.	Proc. Boston Soc. Nat. Hist. 31: 265	1904
68	<i>Hechtia texensis</i>	S. Watson	Proc. Amer. Acad. Arts 20: 374–375	1885
69	<i>Hechtia tillandsioides</i>	(André) L.B. Sm.	Contr. U.S. Natl. Herb. 29(10): 431	1951
70	<i>Hechtia zacatacae</i>	L.B. Sm.	Contr. Gray Herb. 117: 21, t. 1, f. 65, 66	1937
71	<i>Hechtia zamudioi</i>	Espejo, López-Ferr. & I. Ramírez	Acta Bot. Mex. 83: 5	2008

Cuadro B. Categorías de amenaza asignadas a cada especie en función del criterio B de la IUCN (2001). CR: Peligro crítico, EN: En peligro, VU: Vulnerable, NT: No amenazada.

Especie	EOO (km)	AOO (km)	% AOO fuera de ANP's	% AOO fuera de Áreas prístinas	Categoría de amenaza
<i>H. aquamarina</i>	34	27	0	67	EN
<i>H. argentea</i>	5	18	100	100	CR
<i>H. bracteata</i>	163	45	20	80	EN
<i>H. caerulea</i>	712	45	40	100	EN
<i>H. carlsoniae</i>	20	36	100	100	CR
<i>H. caudata</i>	154	54	83	100	EN
<i>H. caulescens</i>	8989	72	100	87	VU
<i>H. chichinautzensis</i>	272	72	0	100	EN
<i>H. colossa</i>	3565	27	67	100	EN
<i>H. confusa</i>	19492	216	71	96	NT
<i>H. konzattiana</i>	675	36	25	75	EN
<i>H. dichroantha</i>	32966	153	88	76	NT
<i>H. edulis</i>	44260	45	60	60	EN
<i>H. elliptica</i>	191279	153	82	65	NT
<i>H. epigyna</i>	2475	27	100	33	EN
<i>H. fragilis</i>	6454	72	25	87	VU
<i>H. galeottii</i>	757	54	67	100	EN
<i>H. giesbreghtii</i>	1662	63	43	100	VU
<i>H. glauca</i>	945	27	33	67	EN
<i>H. glomerata</i>	30483	261	28	83	NT

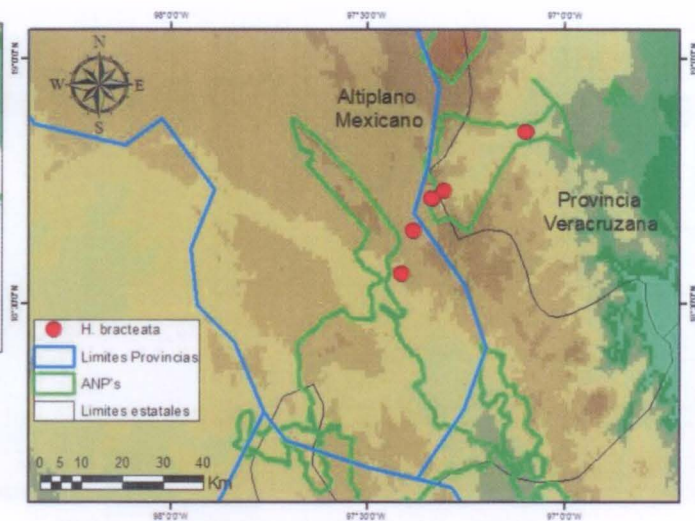
Especie	EOO (km)	AOO (km)	% fuera de ANP's	% fuera de Áreas prístinas	Categoría de amenaza
<i>H. guatemalensis</i>	96824	342	82	92	NT
<i>H. hernandez-sandovalii</i>	2592	54	100	67	VU
<i>H. hintoniana</i>	6284	27	33	67	EN
<i>H. isthmusiana</i>	47	45	20	100	EN
<i>H. ixtlanensis</i>	1076	36	75	75	EN
<i>H. jaliscana</i>	3834	54	17	100	VU
<i>H. laevis</i>	171	63	100	100	EN
<i>H. lanata</i>	47	27	67	67	EN
<i>H. lepidophylla</i>	8079	72	75	75	VU
<i>H. lundelliorum</i>	1218	144	62	83	VU
<i>H. lyman-smithii</i>	2462	45	20	100	EN
<i>H. mapimiana</i>	6	27	0	100	CR
<i>H. marnier-lapostollei</i>	4221	36	75	75	EN
<i>H. matudae</i>	64	45	0	100	EN
<i>H. melanocarpa</i>	2606	171	100	95	NT
<i>H. mexicana</i>	2	18	100	100	CR
<i>H. meziana</i>	2859	90	30	90	VU
<i>H. michoacana</i>	178	63	100	100	EN
<i>H. montana</i>	300570	324	92	78	NT
<i>H. mooreana</i>	16278	162	100	94	NT
<i>H. myriantha</i>	7884	144	87	100	NT
<i>H. nuusaviorum</i>	1	18	100	100	EN

Especie	EOO (km)	AOO (km)	% fuera de ANP's	% fuera de Áreas prístinas	Categoría de amenaza
<i>H. oaxacana</i>	1450	45	100	80	EN
<i>H. perotensis</i>	409	54	100	100	EN
<i>H. podantha</i>	34696	396	86	91	NT
<i>H. pretiosa</i>	4	27	0	100	EN
<i>H. pringlei</i>	7476	72	75	100	VU
<i>H. pueblensis</i>	161	45	20	100	EN
<i>H. pumila</i>	159	54	100	83	EN
<i>H. purpusii</i>	902	99	91	100	VU
<i>H. reflexa</i>	1018	27	100	67	EN
<i>H. reticulata</i>	297	27	100	100	EN
<i>H. rosea</i>	13135	279	87	97	NT
<i>H. schottii</i>	2582	72	87	100	EN
<i>H. sphaeroblasta</i>	31035	207	91	96	NT
<i>H. stenopetala</i>	22232	306	97	94	NT
<i>H. subalata</i>	24935	90	100	60	VU
<i>H. tehuacana</i>	5324	171	42	89	NT
<i>H. texensis</i>	412094	396	70	61	NT
<i>H. tillandsioides</i>	4960	99	36	91	VU
<i>H. zamudioi</i>	268	63	14	100	VU

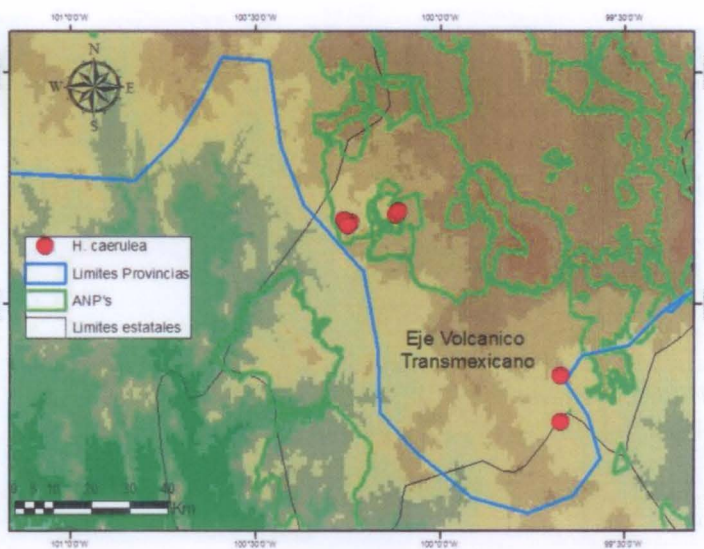
Sección 1. Mapa de distribución de cada una de las especies de *Hechtia*.*Hechtia argentea**Hechtia aquamarina*



Hechtia bracteata

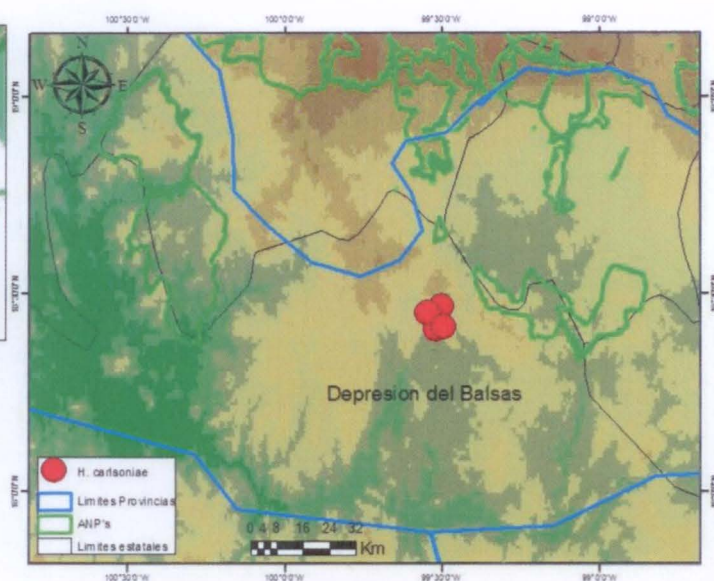


Hechtia caerulea

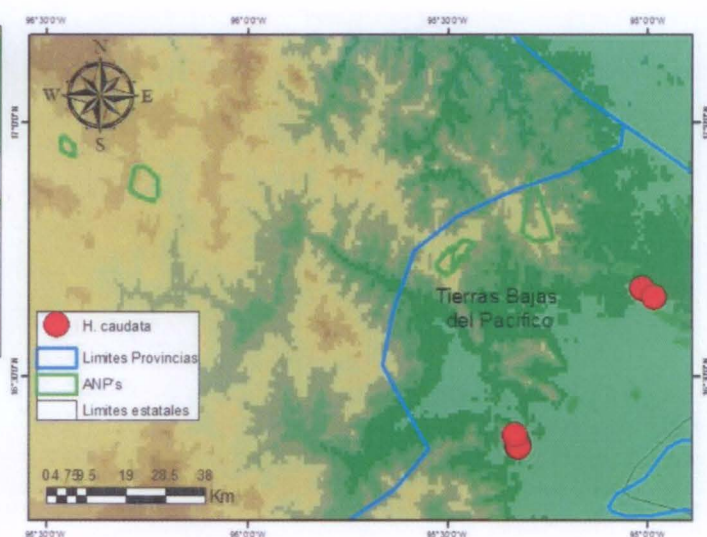




Hechtia carlsoniae

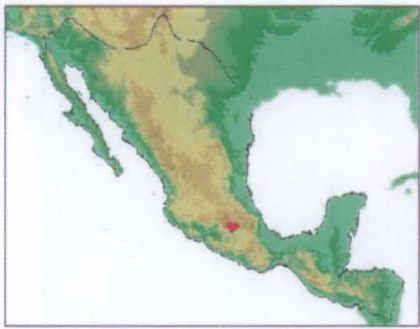
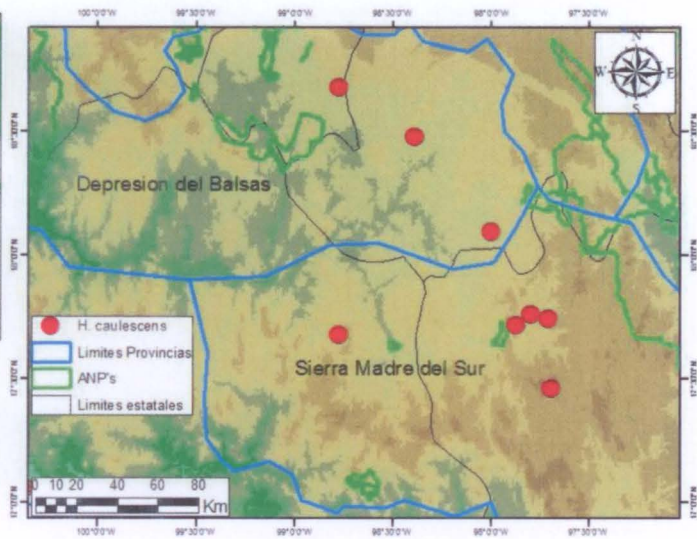


Hechtia caudata

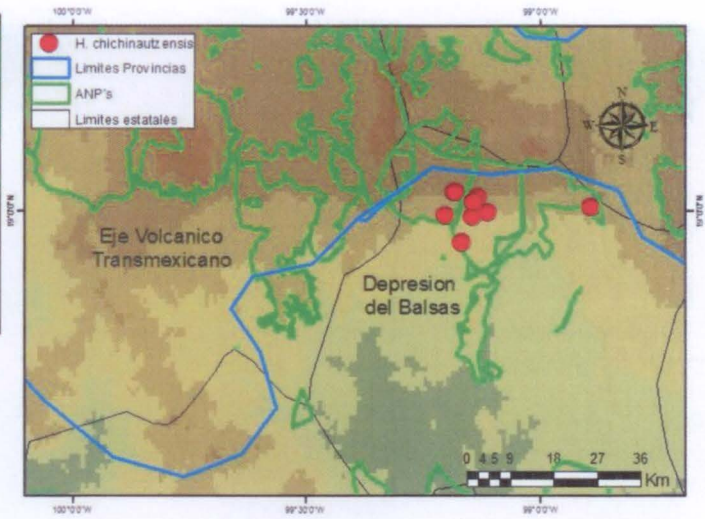




Hechtia caulescens

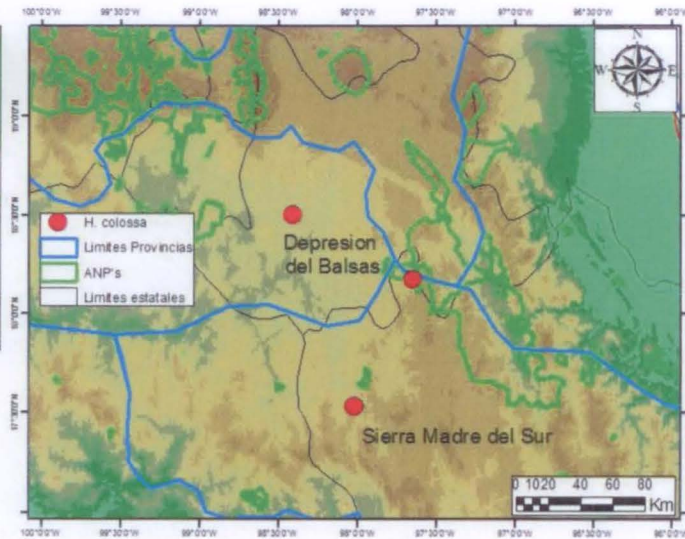


Hechtia chichinautzensis

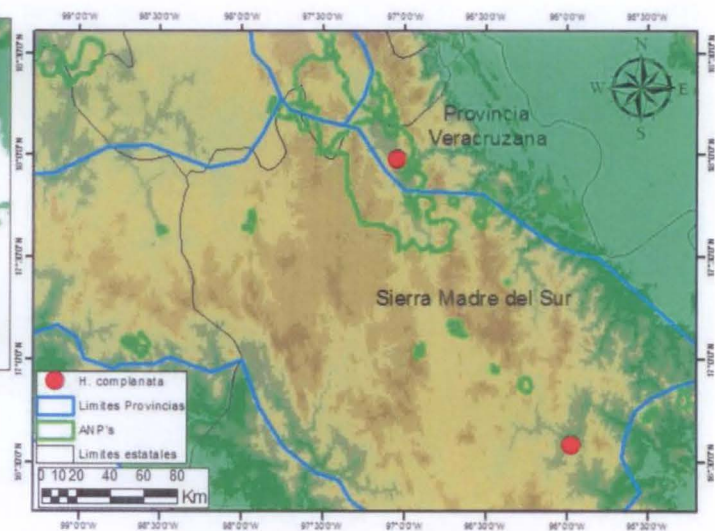


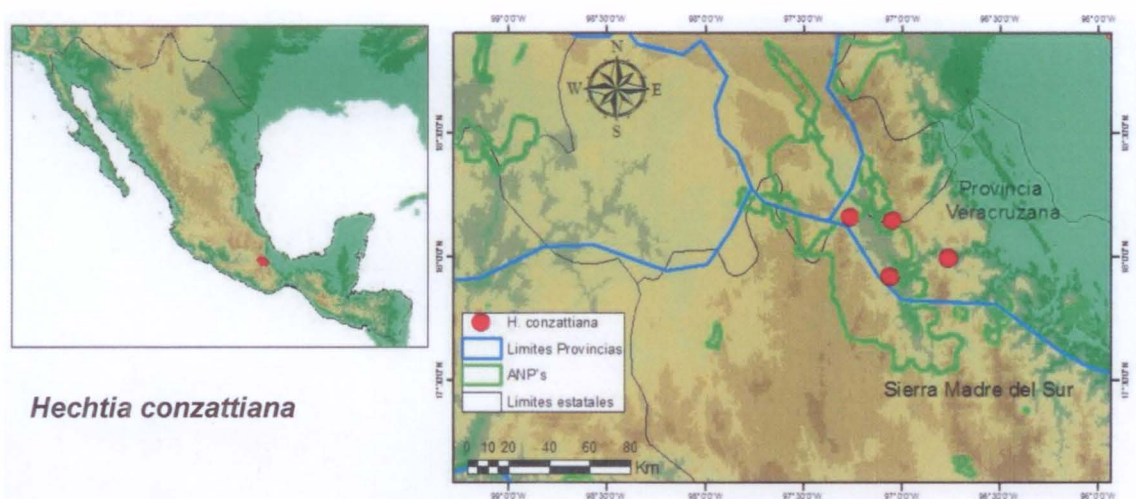
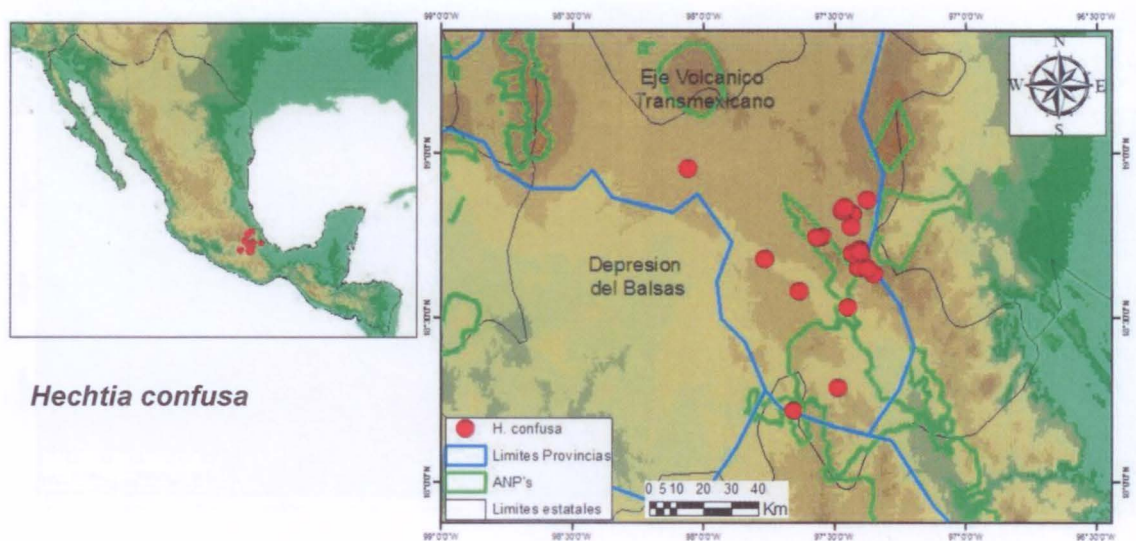


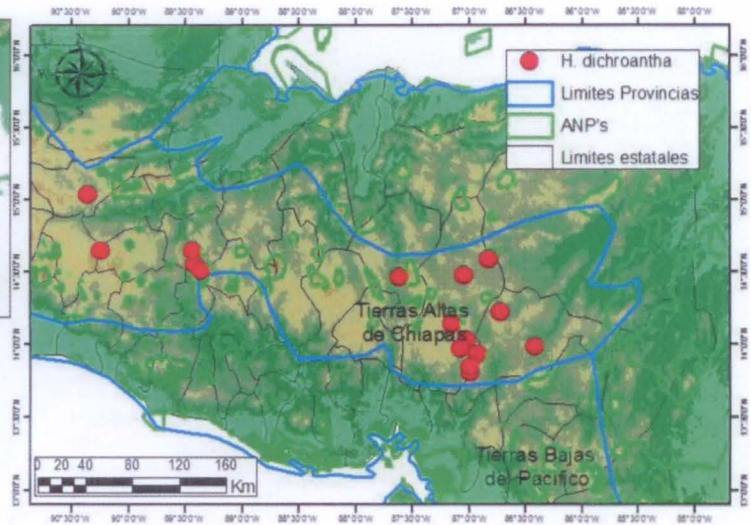
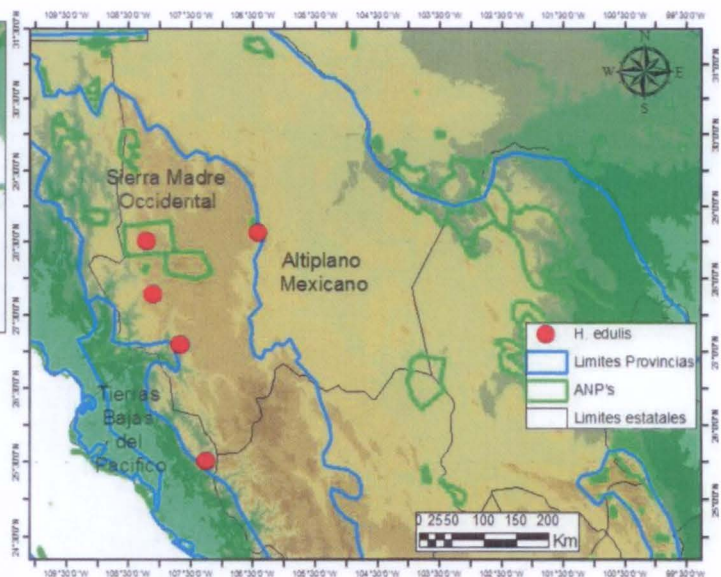
Hechtia colossa

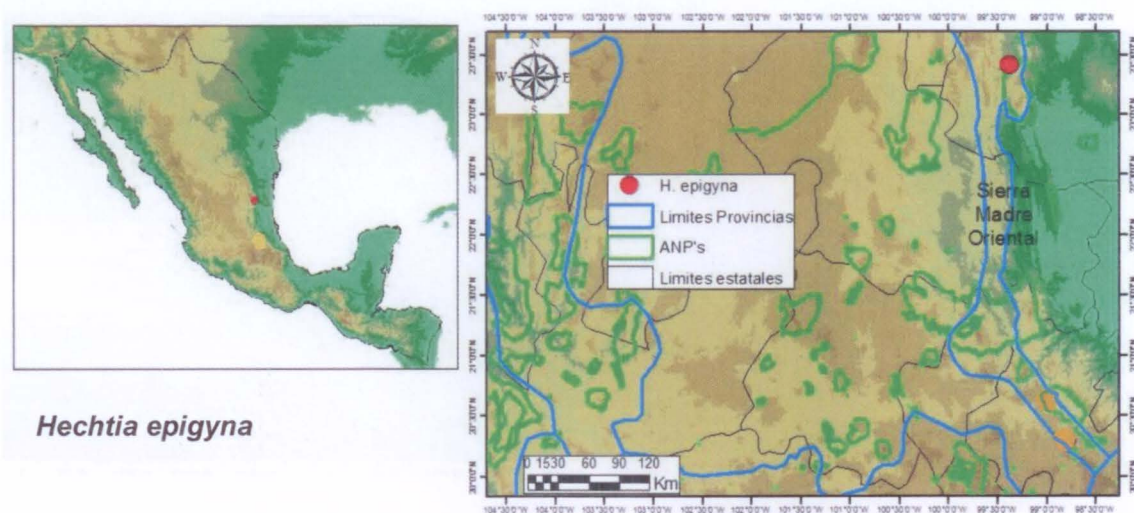
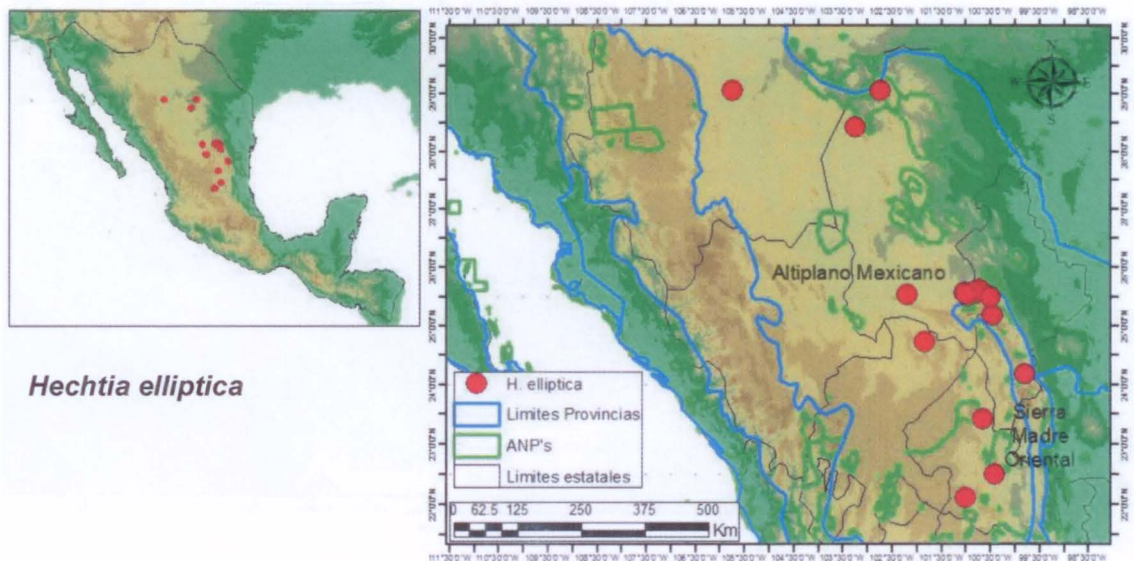


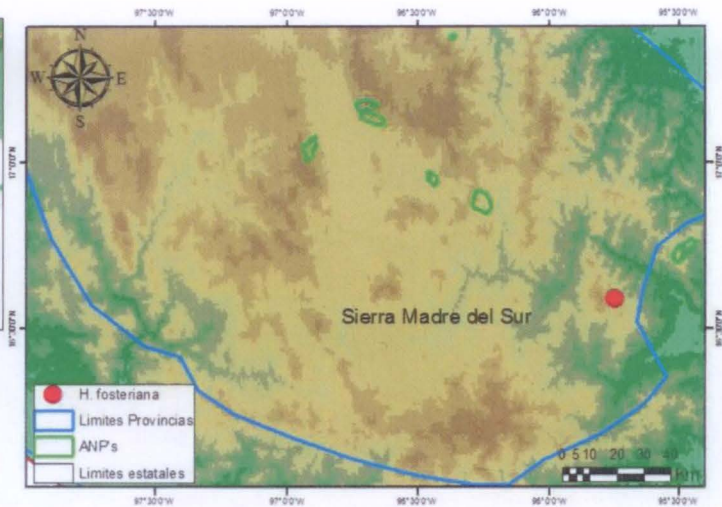
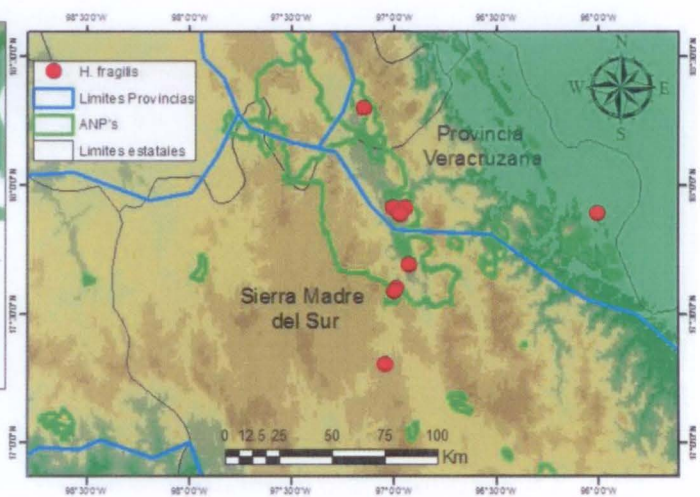
Hechtia complanata





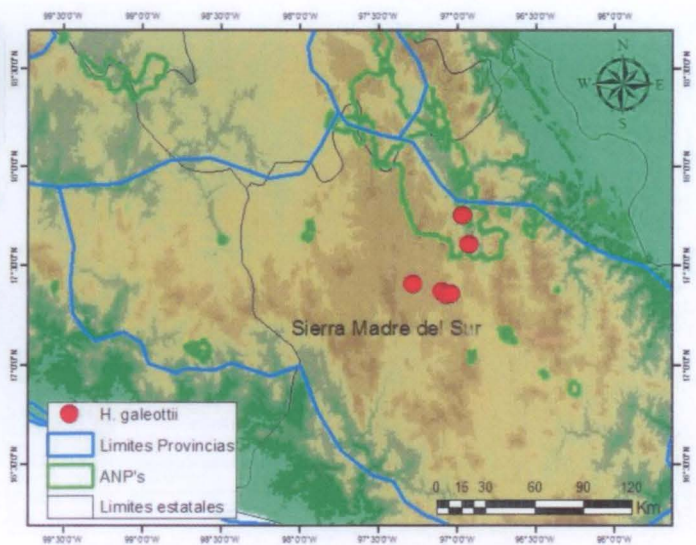
*Hechtia dichroantha**Hechtia edulis*



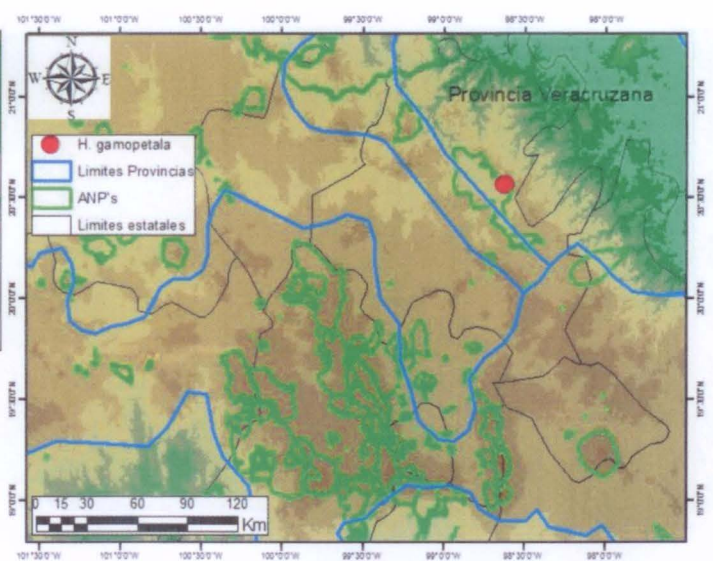
*Hechtia fosteriana**Hechtia fragilis*

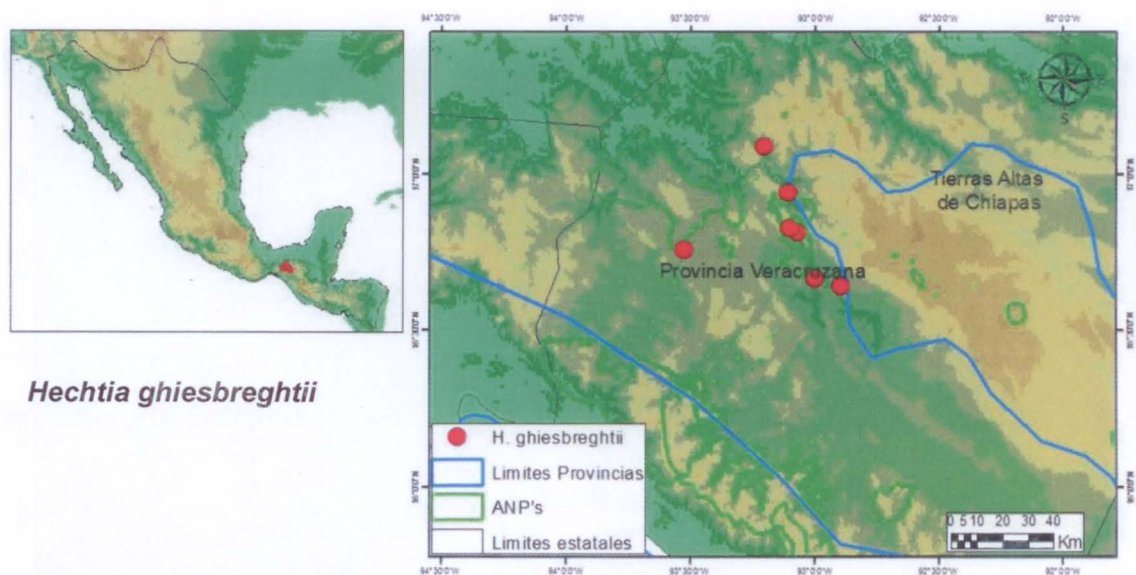
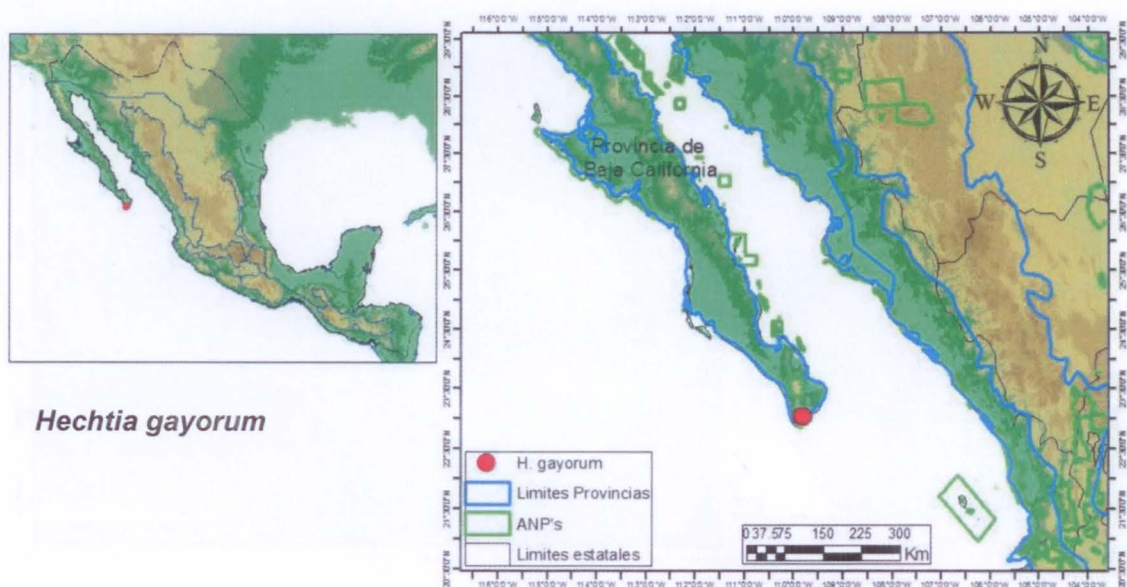


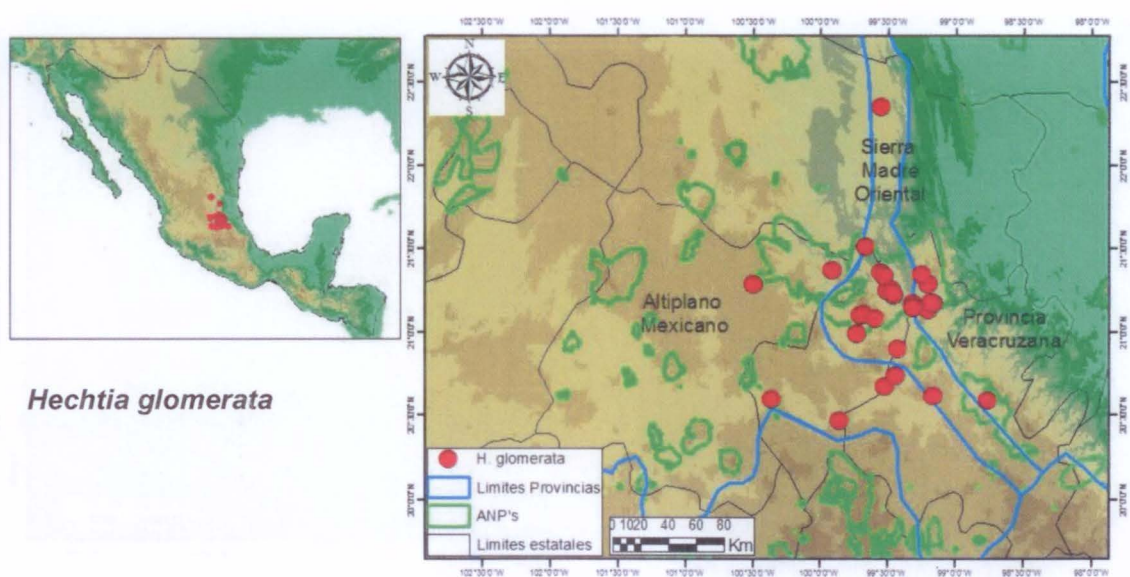
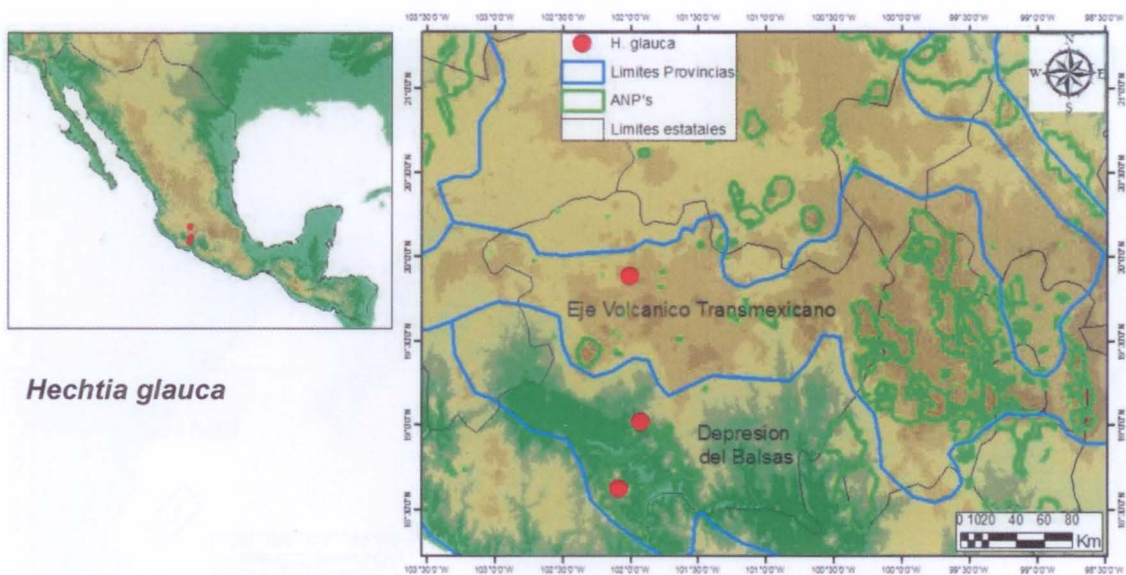
Hechtia galeottii

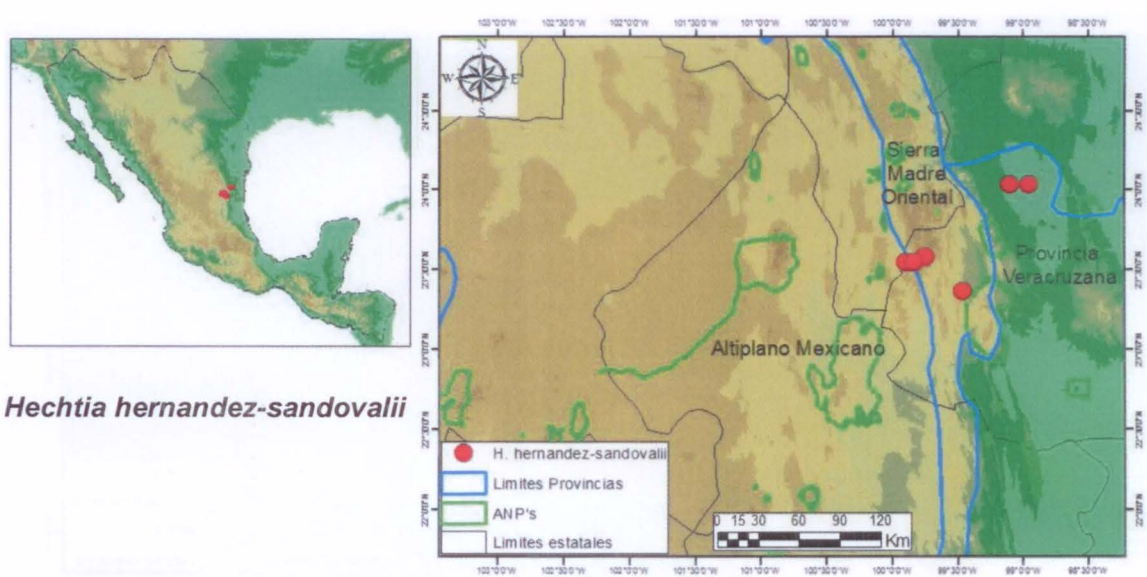
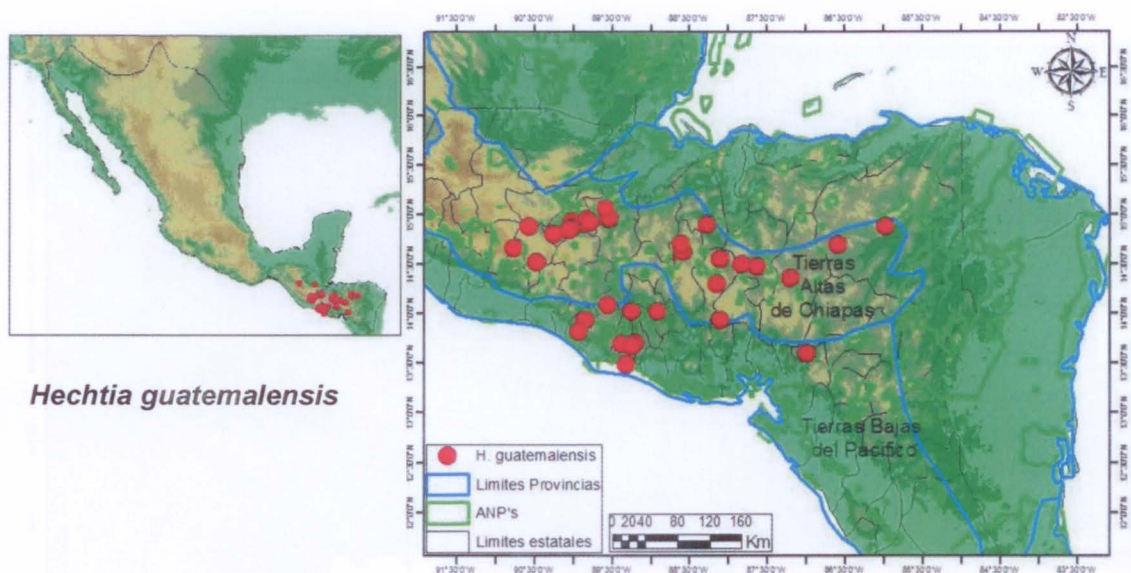


Hechtia gamopetala



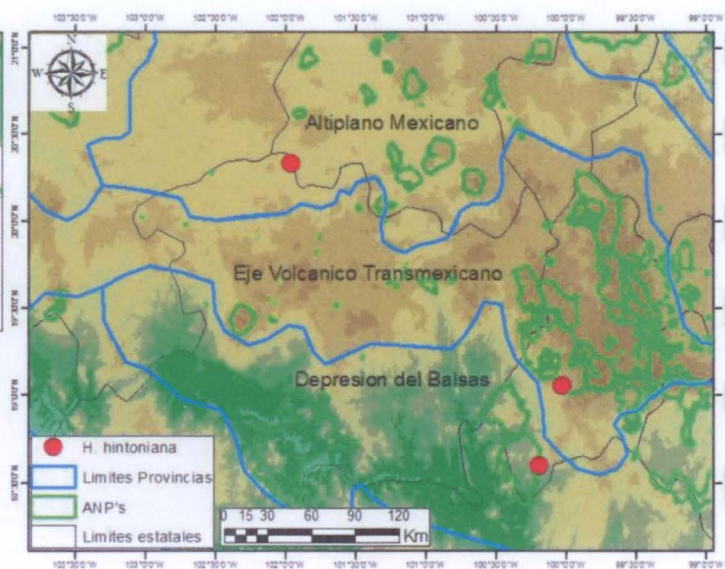




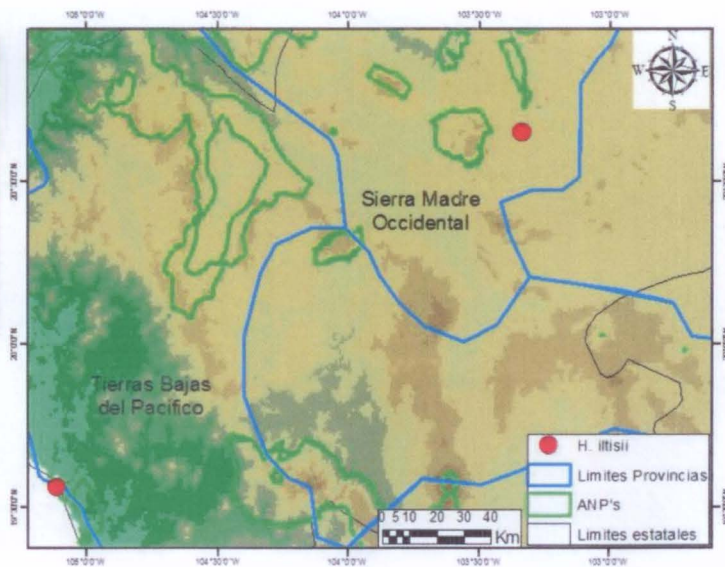




Hechtia hintoniana

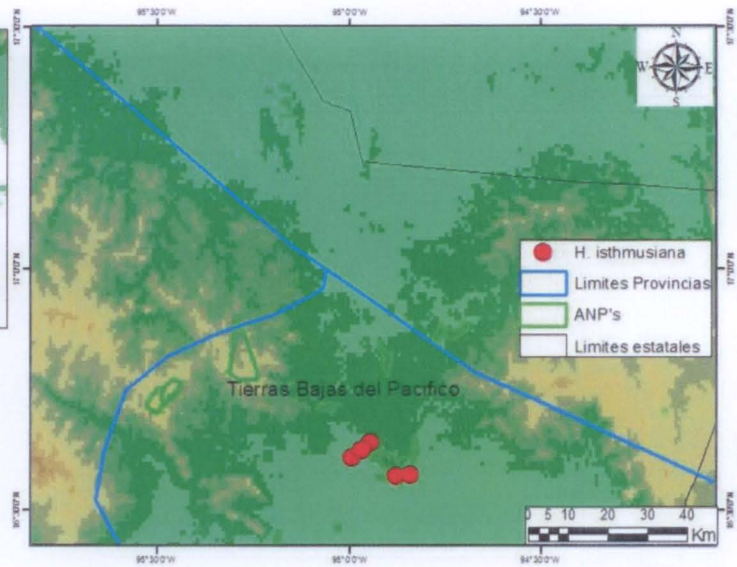


Hechtia iltisii

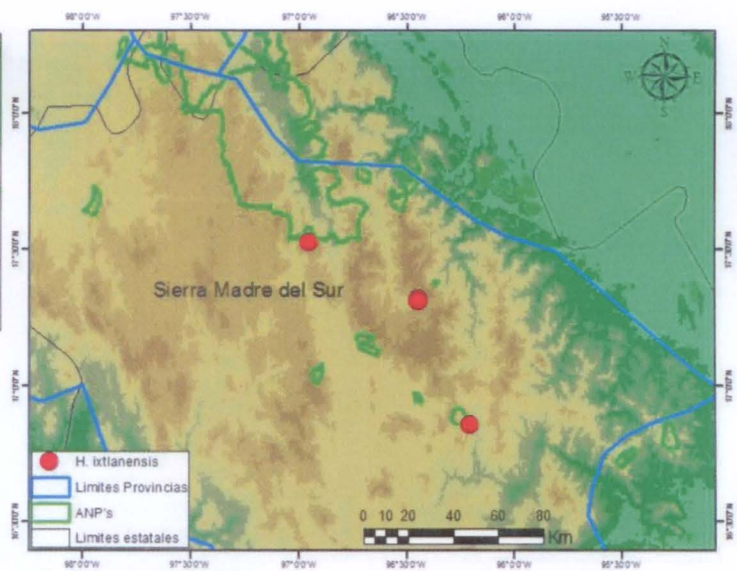




Hechtia isthmusiana

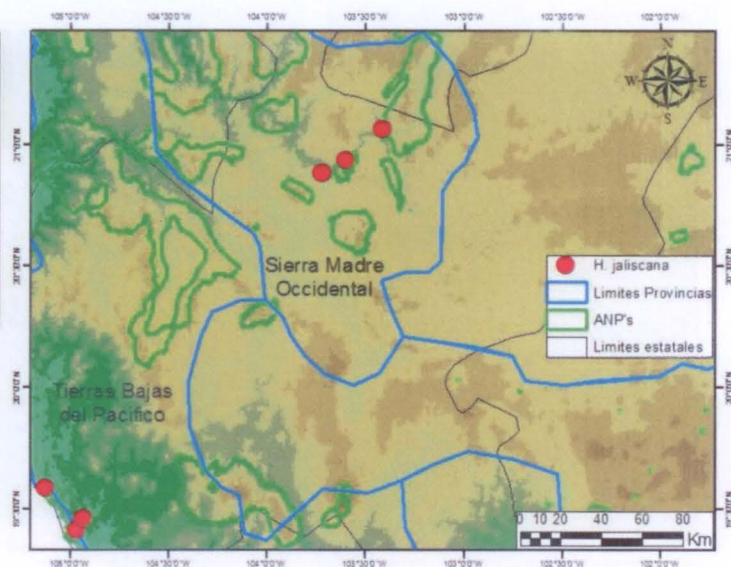


Hechtia ixtlanensis

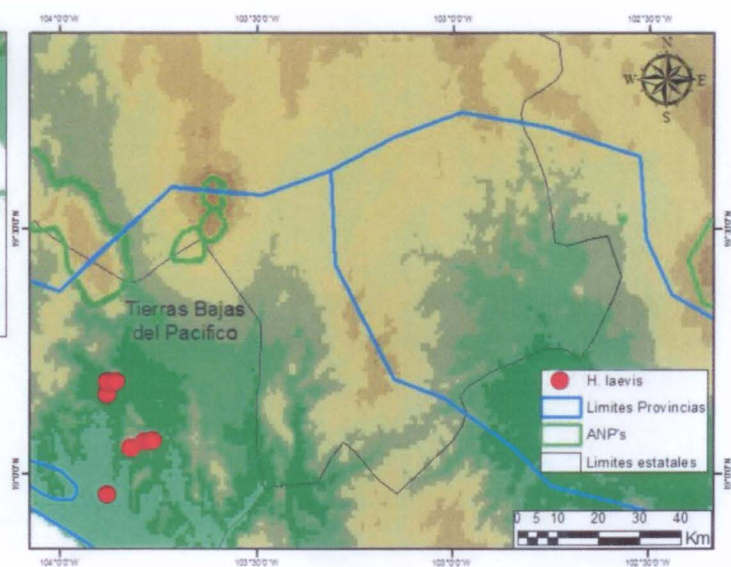




Hechtia jaliscana

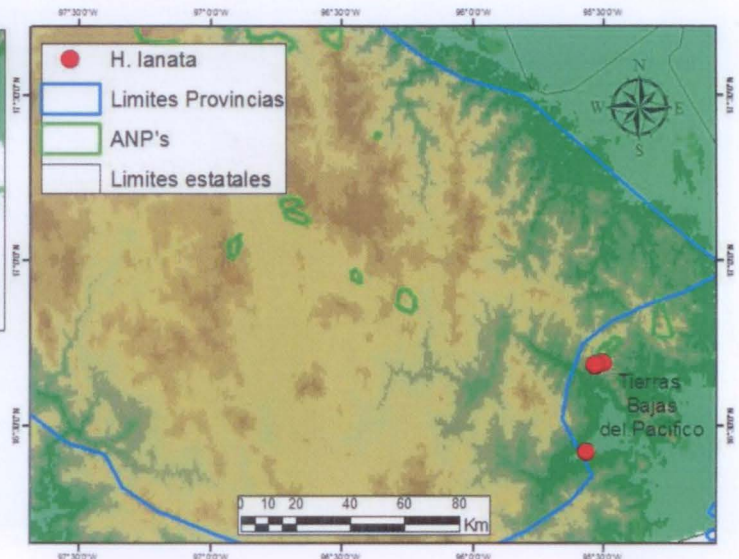


Hechtia laevis

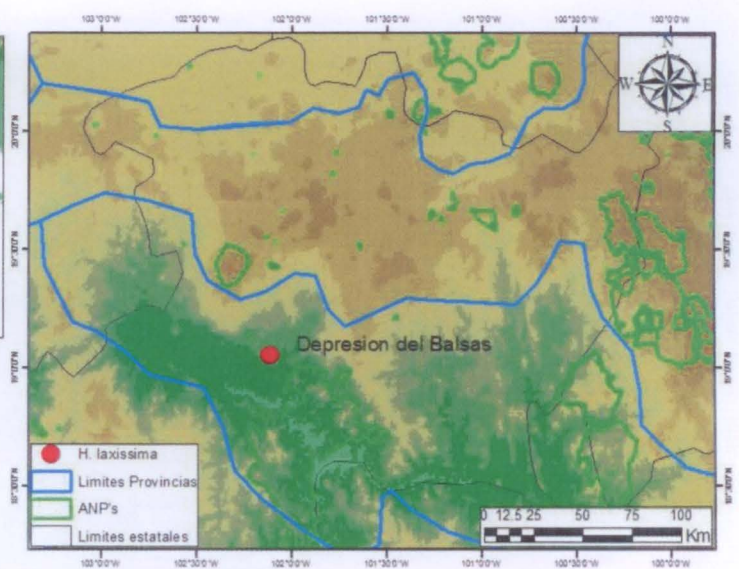


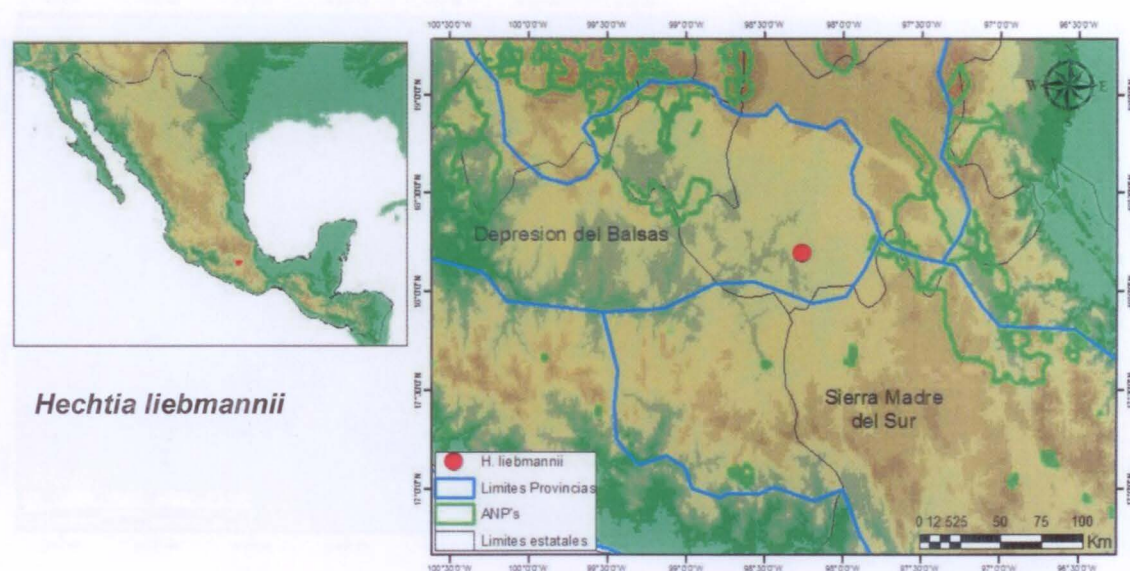
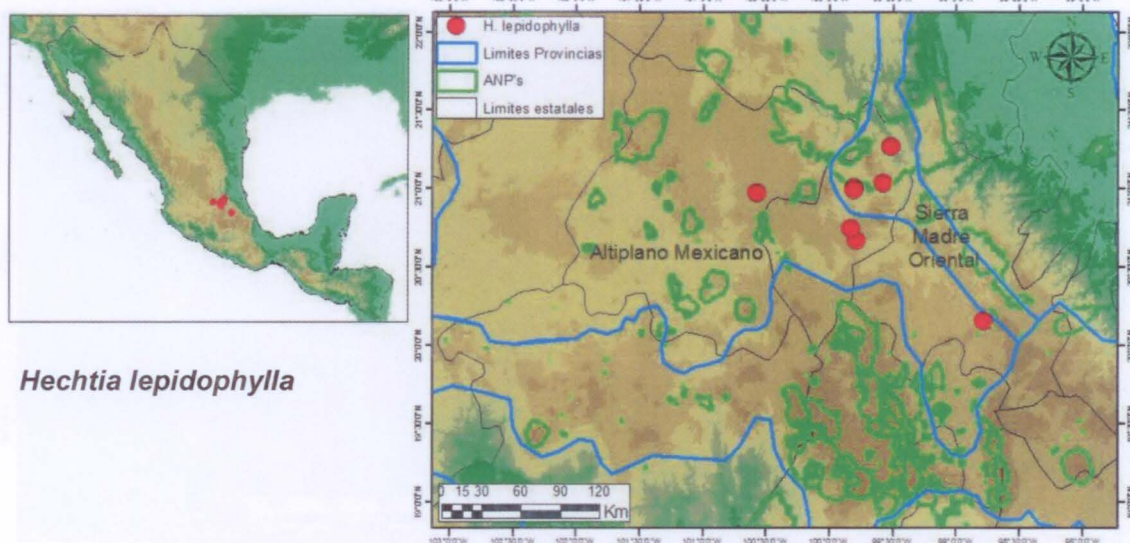


Hechtia lanata



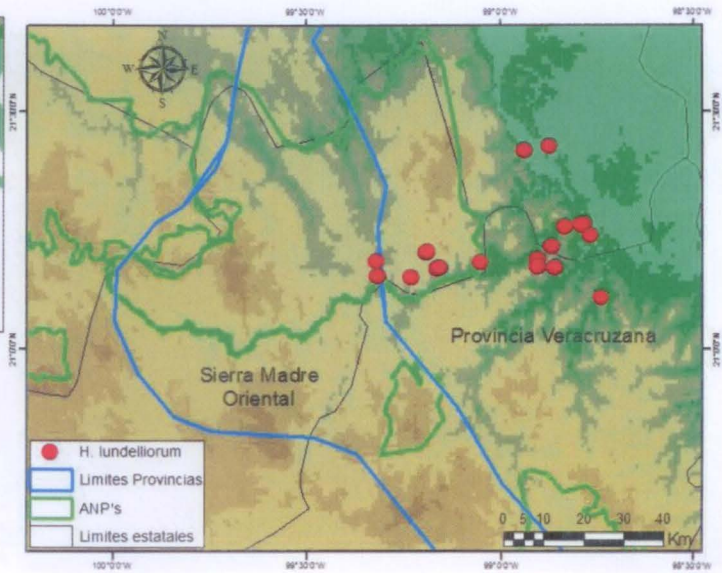
Hechtia laxissima



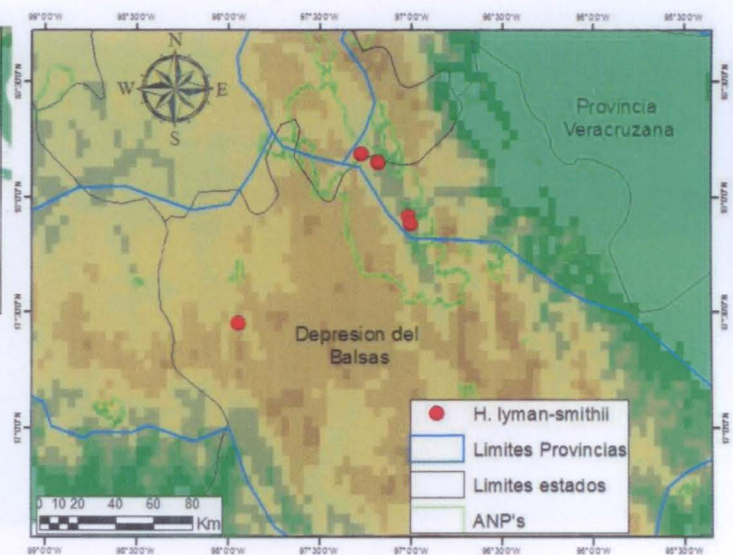




Hechtia lundelliorum



Hechtia lyman-smithii

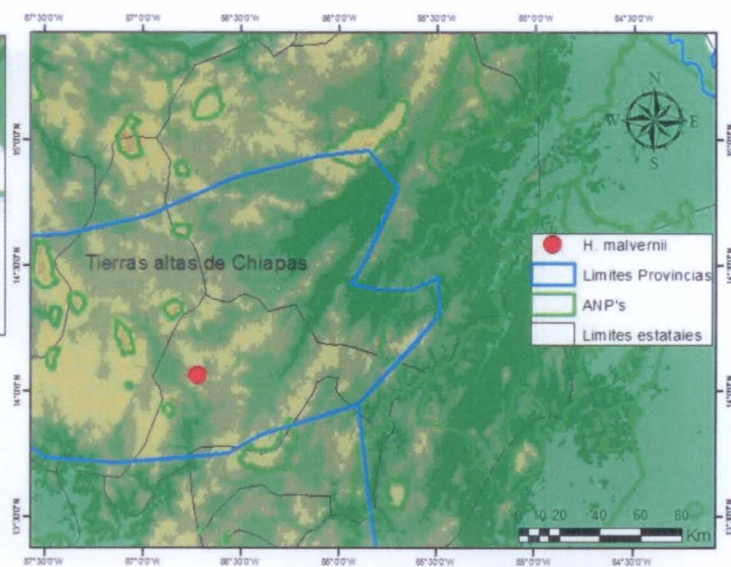


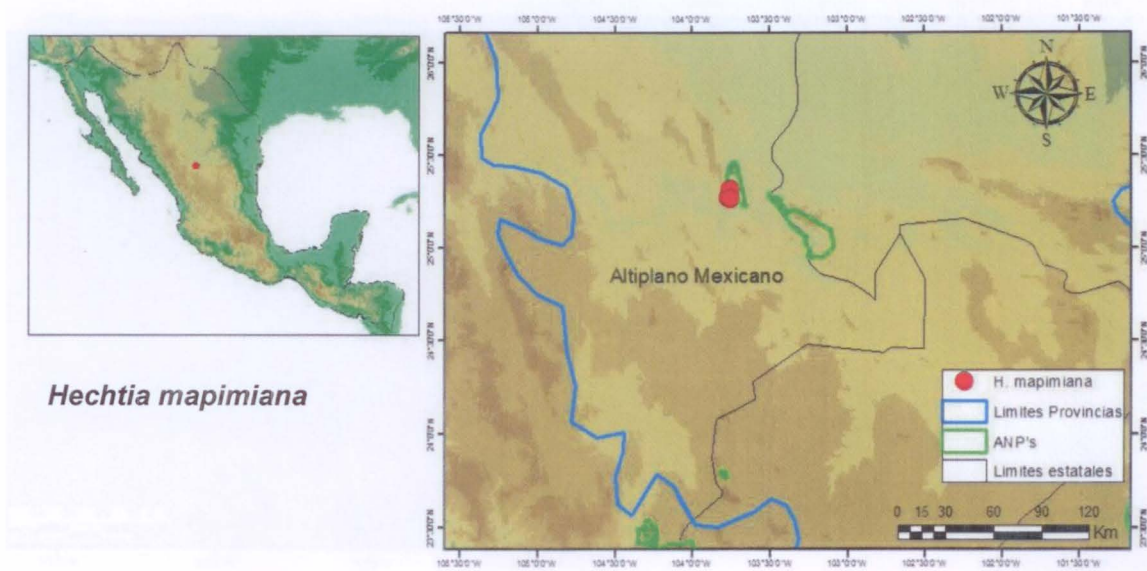


Hechtia macdougallii

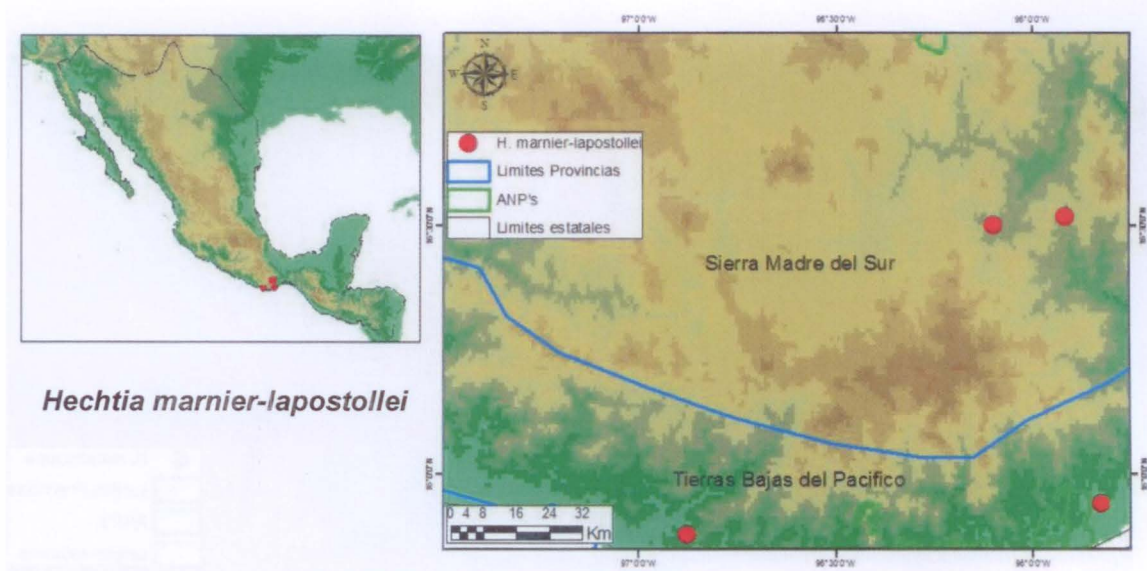


Hechtia malvernii





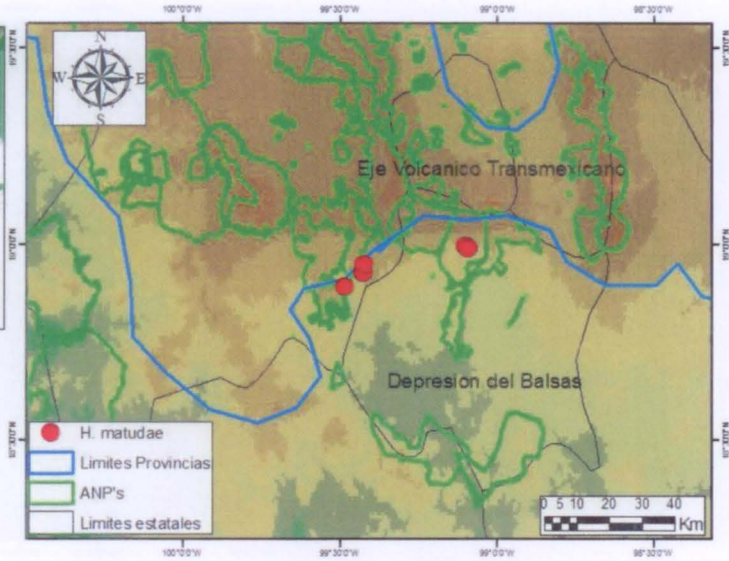
Hechtia mapimiana



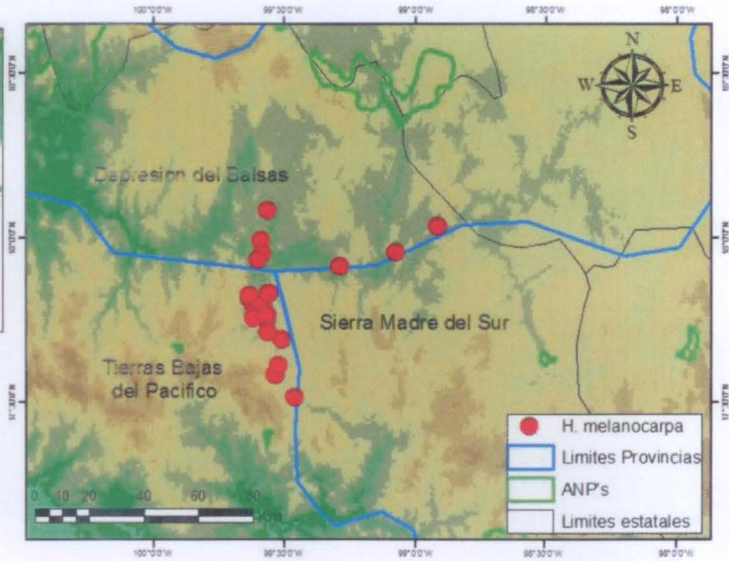
Hechtia marnier-lapostollei



Hechtia matudae

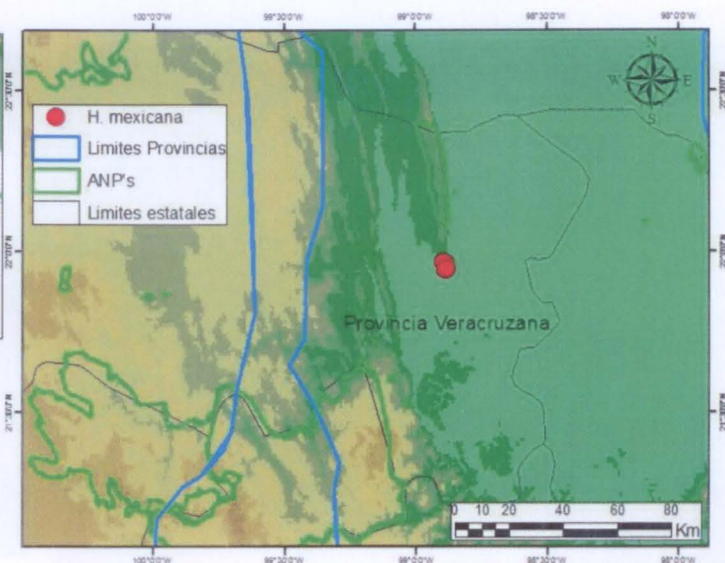


Hechtia melanocarpa

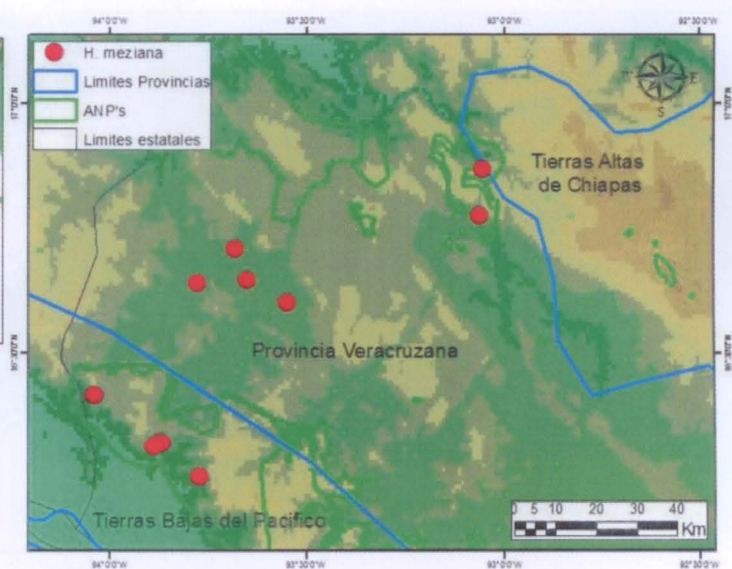




Hechtia mexicana

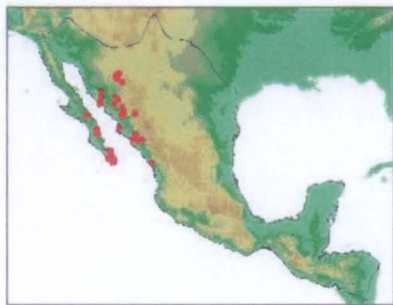
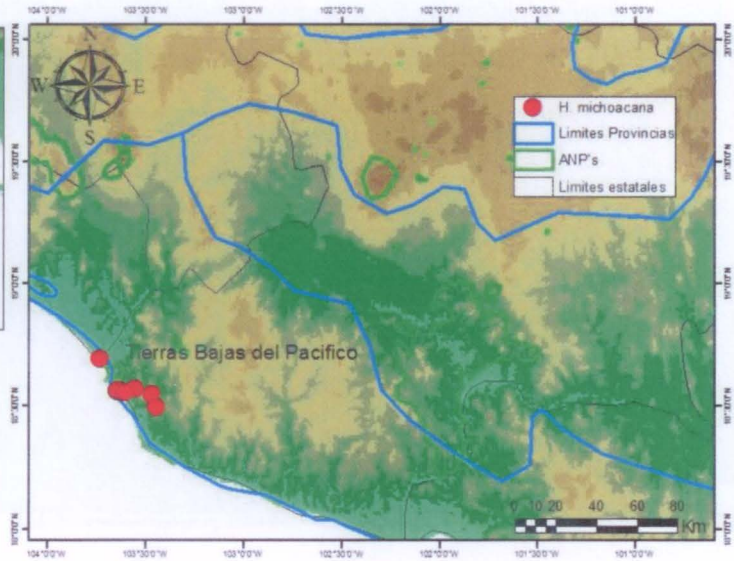


Hechtia meziana

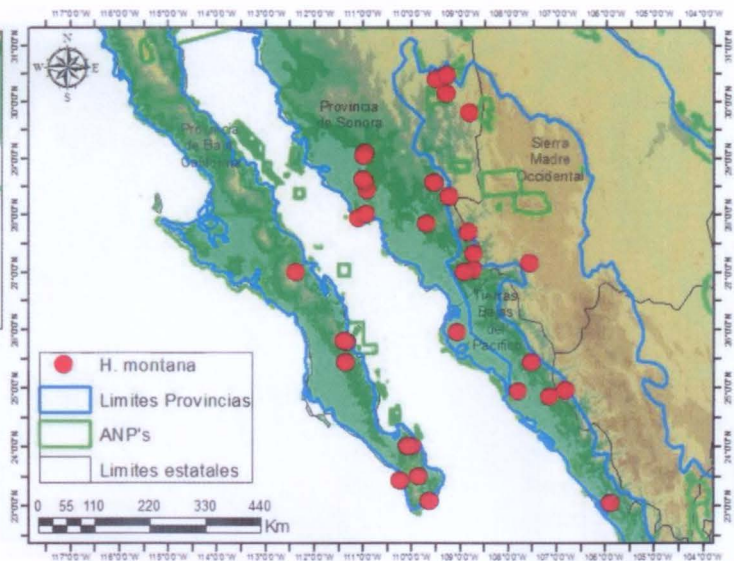




Hechtia michoacana

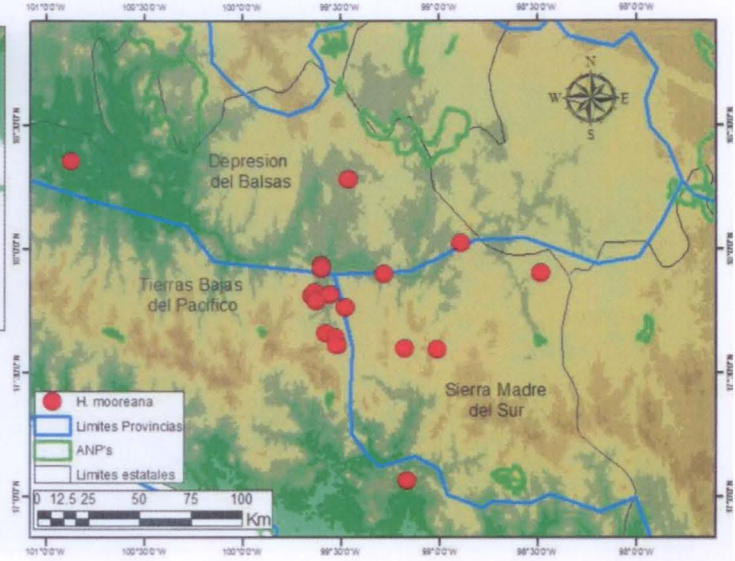


Hechtia montana

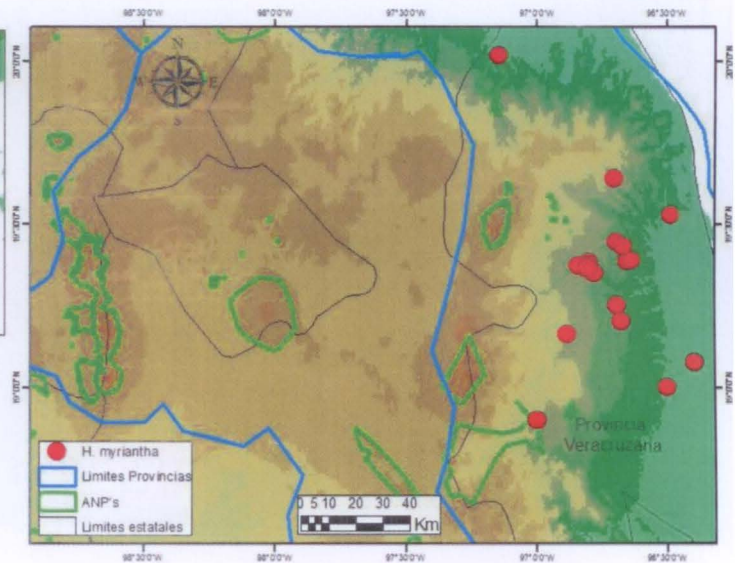




Hechtia mooreana

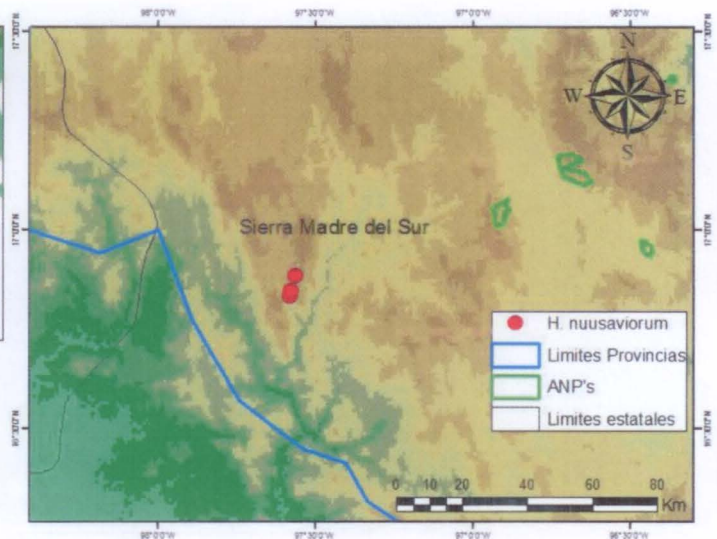


Hechtia myriantha

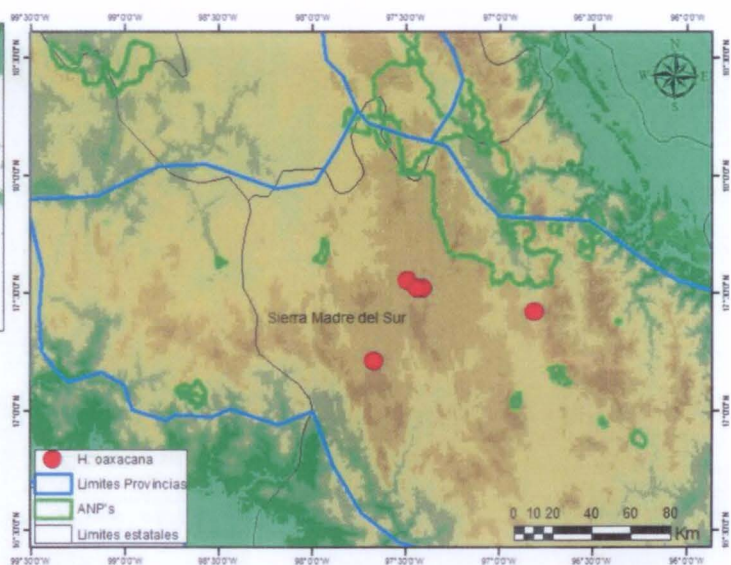


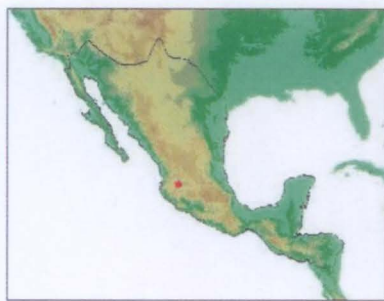


Hechtia nuusaviorum

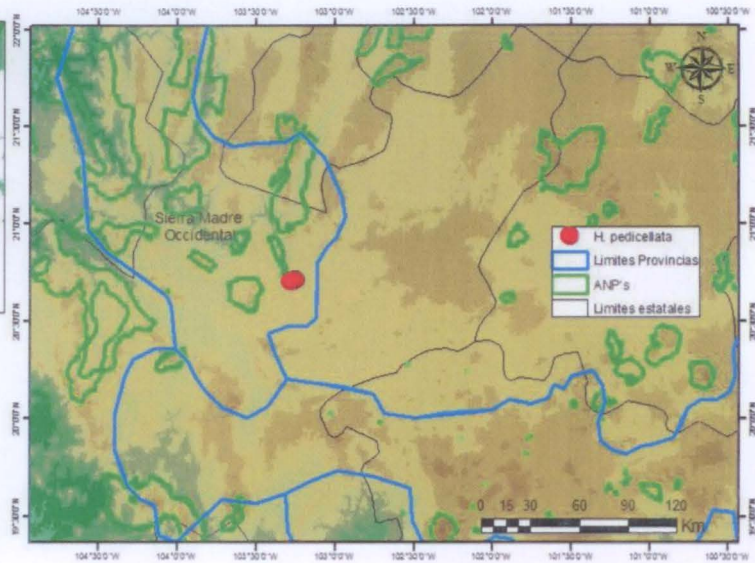


Hechtia oaxacana

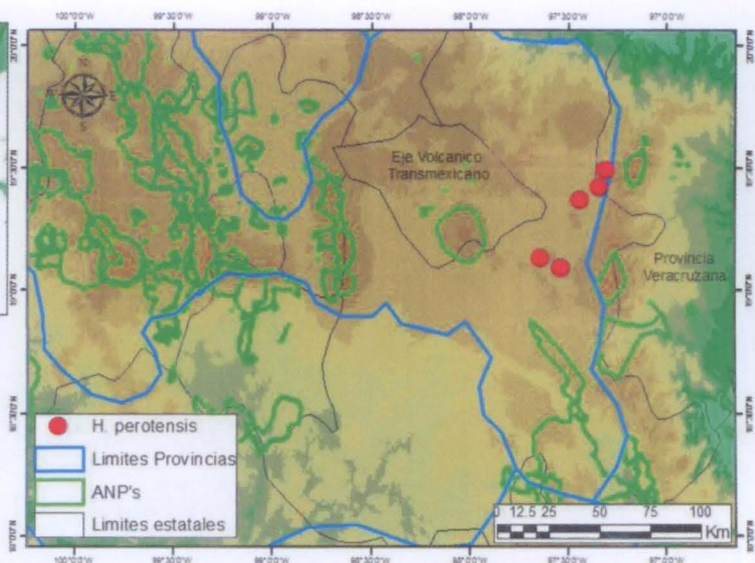


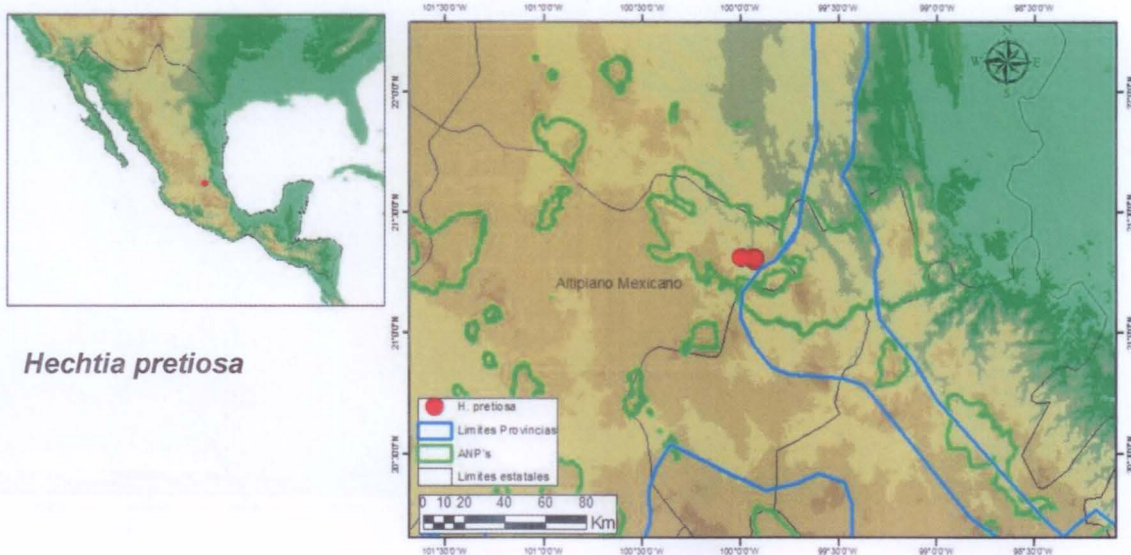
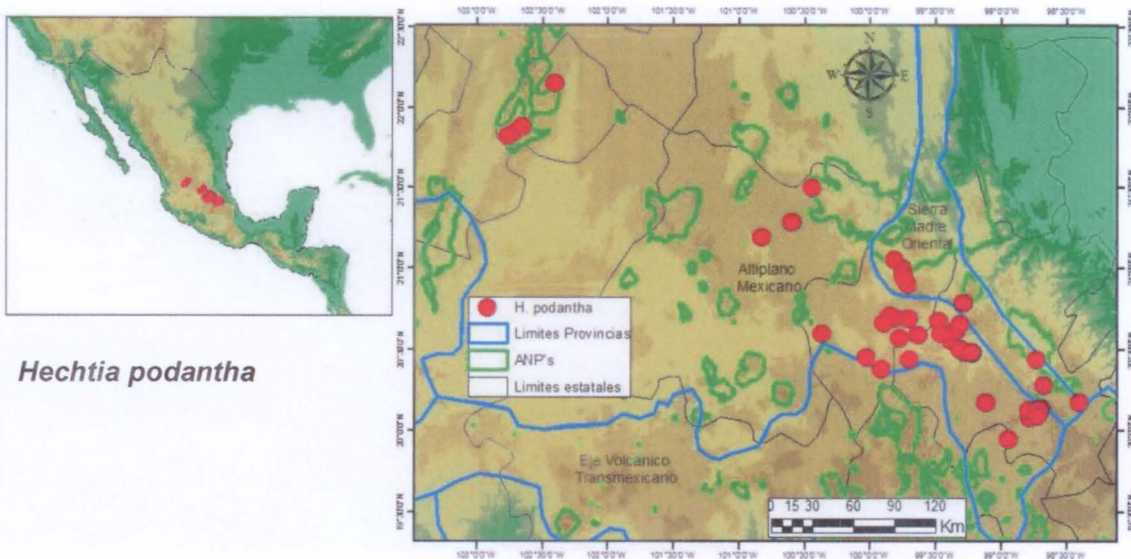


Hechtia pedicellata



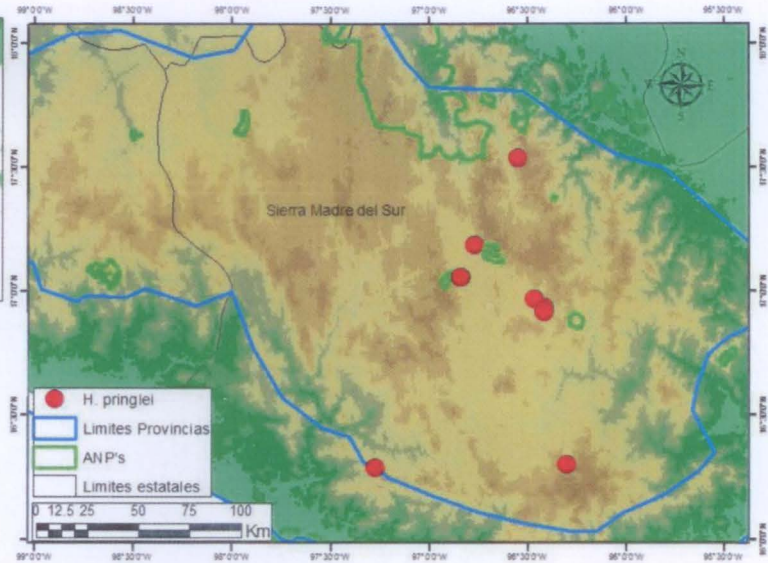
Hechtia perotensis



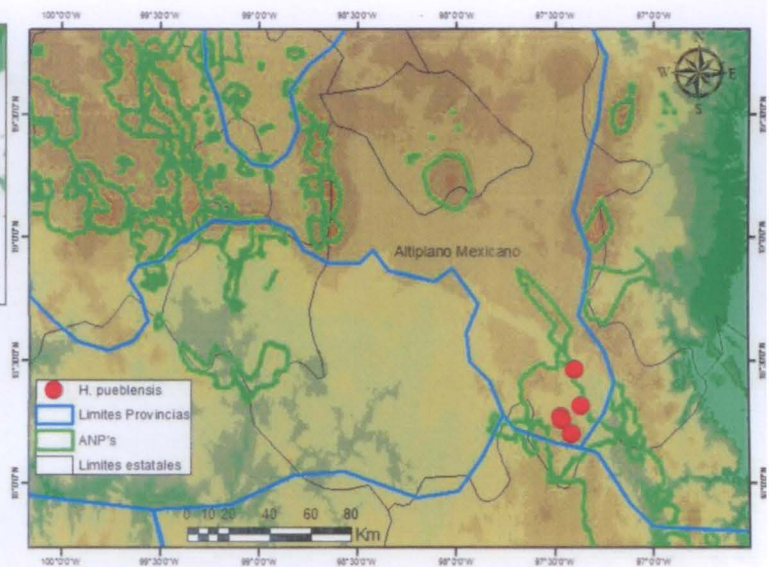




Hechtia pringlei

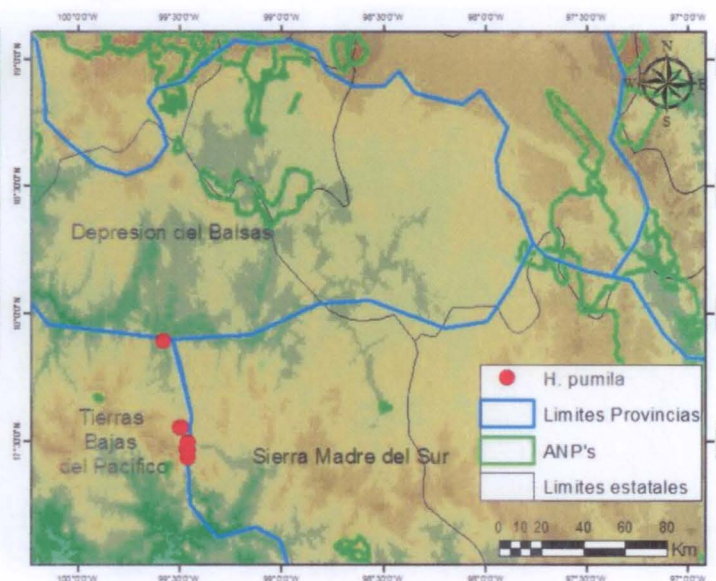


Hechtia pueblensis

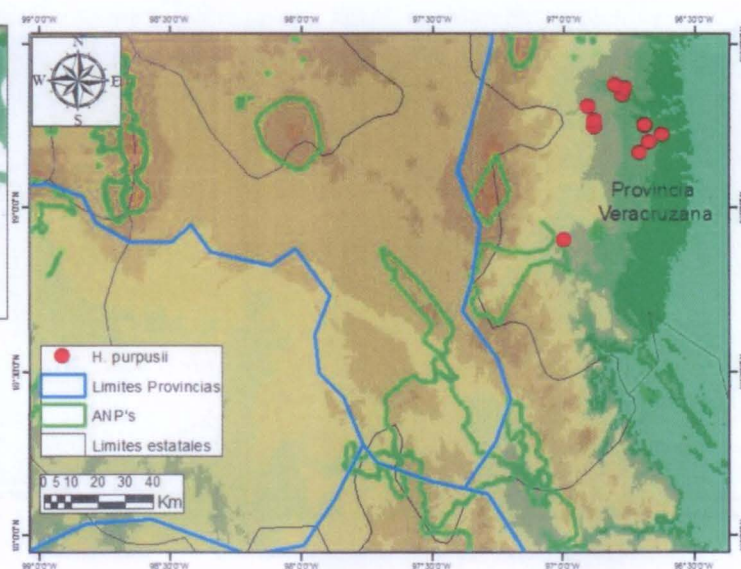


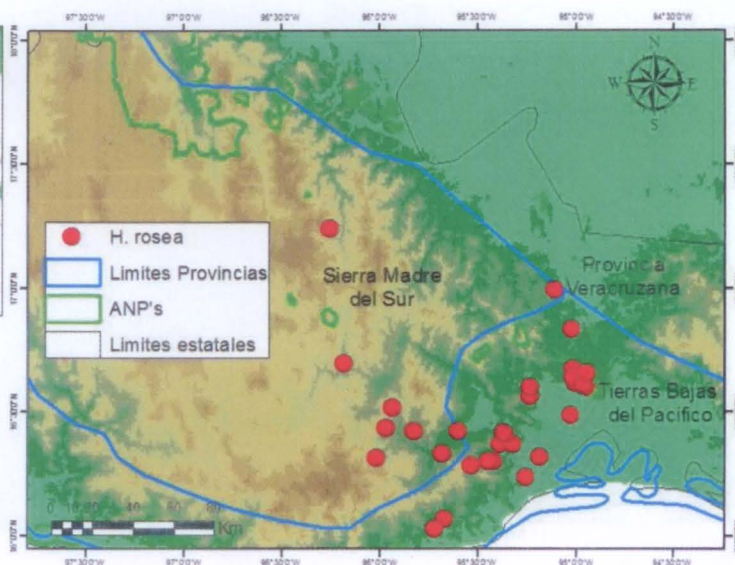
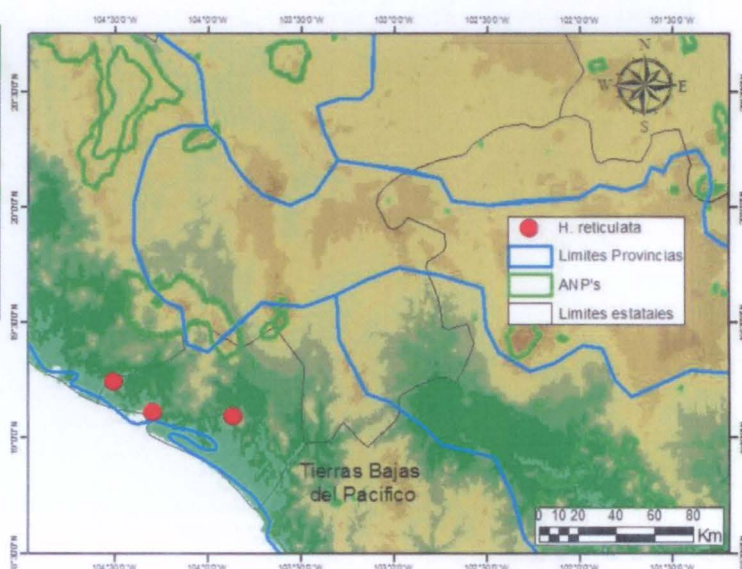


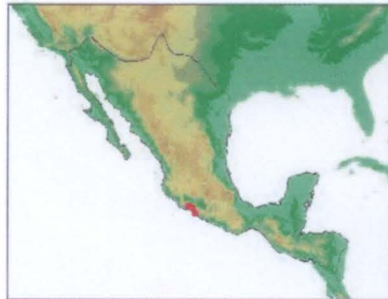
Hechtia pumila



Hechtia purpusii



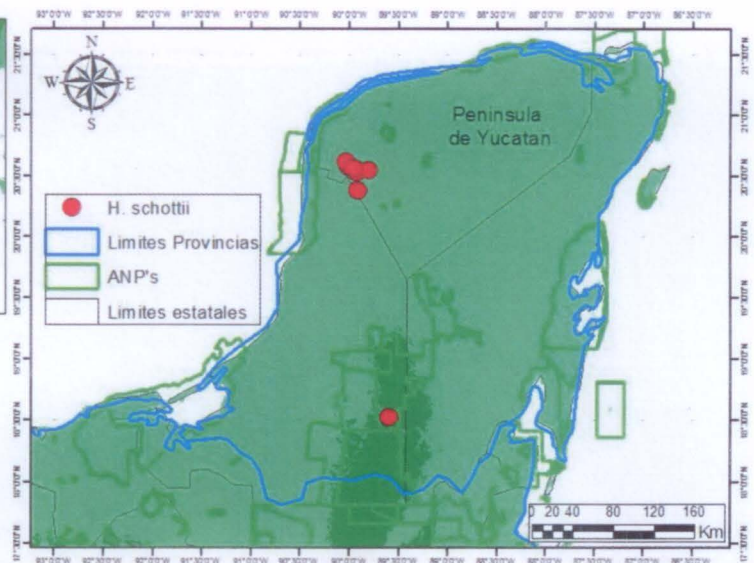
*Hechtia rosea**Hechtia reticulata*



Hechtia reflexa

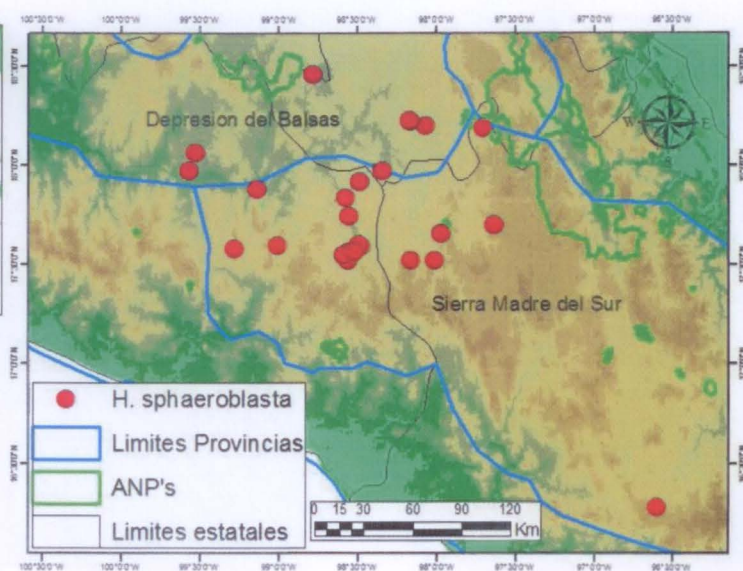


Hechtia schottii

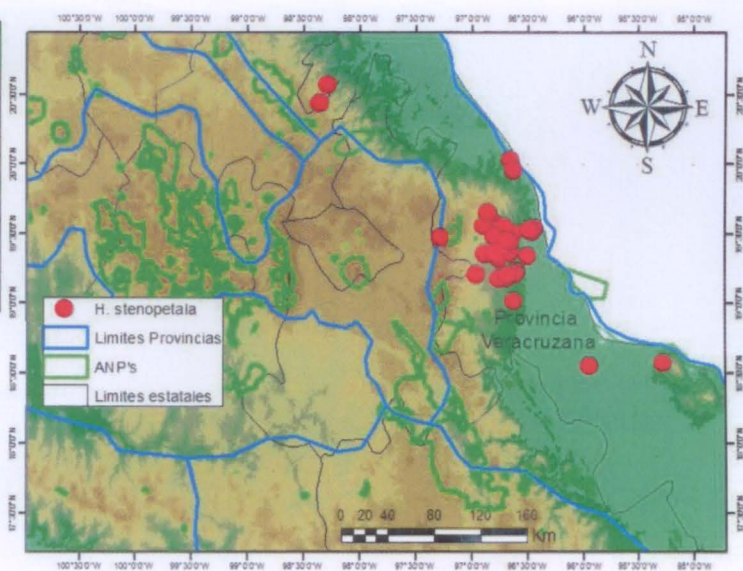




Hechtia sphaeroblata

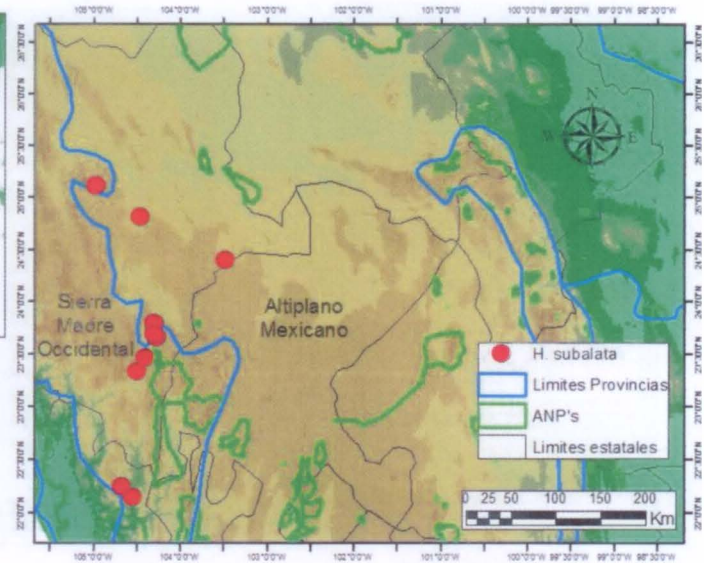


Hechtia stenopetala

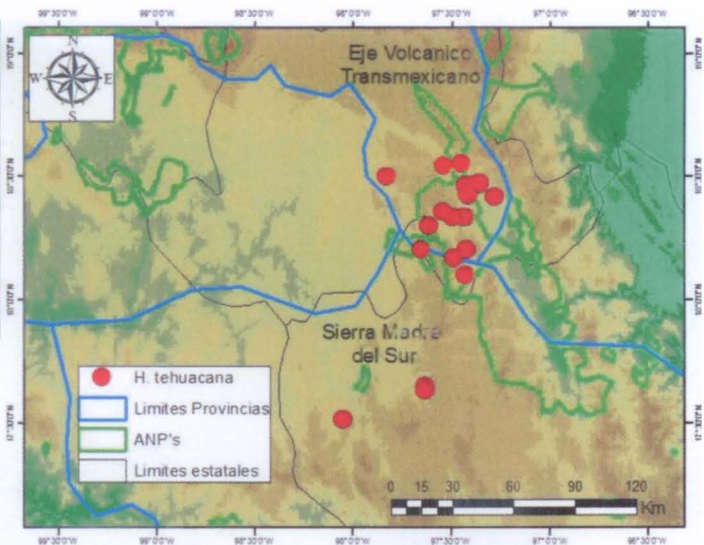


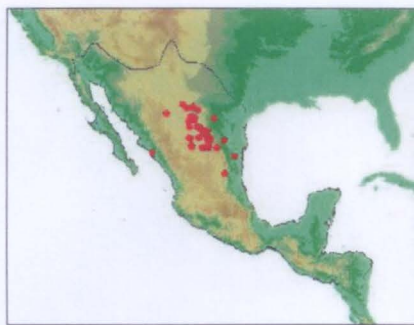


Hechtia subalata

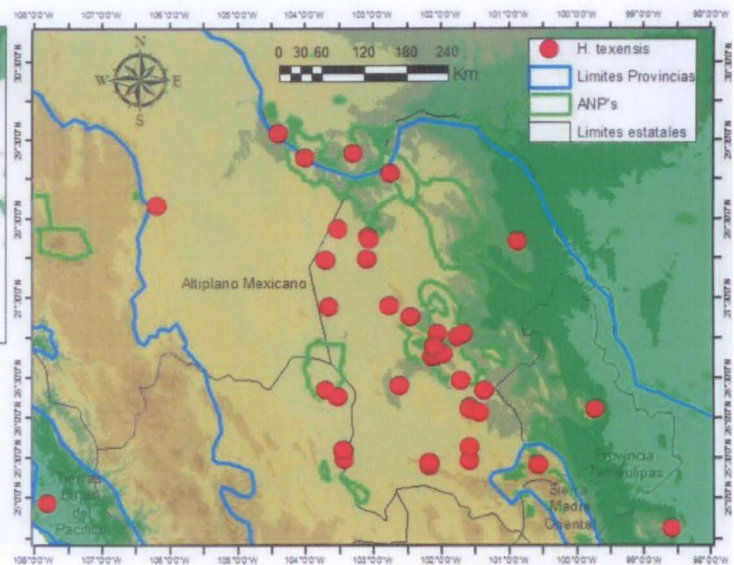


Hechtia tehuacana

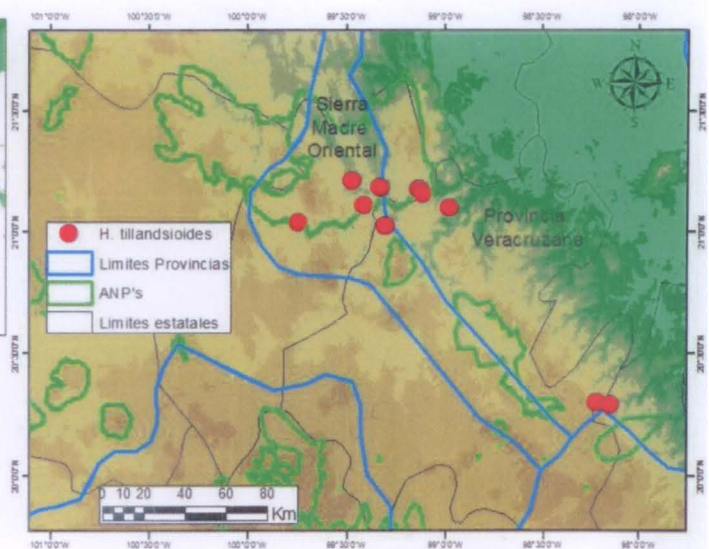


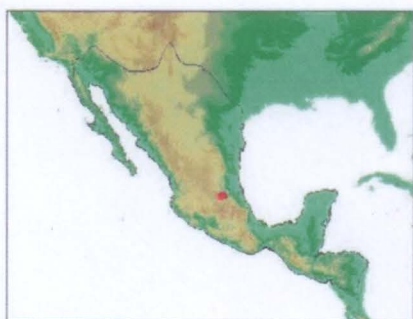


Hechtia texensis



Hechtia tillandsioides





Hechtia zamudioi

