



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Distribución y conservación de *Tillandsia imperialis* E.
Morren ex Roesl (Bromeliaceae), epífita restringida a los
bosques templados del este de México

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A:

Julio Cesar Ramírez Martínez



DIRECTORA DE TESIS:
DRA. MERCEDES ISOLDA LUNA VEGA

Ciudad Universitaria, CDMX, 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

1. Datos del alumno

Apellido paterno
Apellido materno
Nombre(s)

Carrera
Número de cuenta

Ramírez
Martínez
Julio Cesar
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
30269885-9

2. Datos del tutor

Grado
Nombres
Apellido paterno
Apellido materno

Dra.
Mercedes Isolda
Luna
Vega

3. Datos del sinodal

Grado
Nombres
Apellido paterno
Apellido materno

Dr.
David Nahum
Espinosa
Organista

4. Datos del sinodal

Grado
Nombre
Apellido paterno
Apellido materno

M. en C.
Ramiro
Cruz
Durán

5. Datos del sinodal

Grado
Nombres
Apellido paterno
Apellido materno

Dr.
César Antonio
Ríos
Muñoz

6. Datos del sinodal

Grado
Nombre
Apellido paterno
Apellido materno

Dr.
Raúl
Contreras
Medina

7. Datos del trabajo escrito

Título

Número de páginas
Año

Distribución y conservación de *Tillandsia imperialis* E. Morren ex Roezl (Bromeliaceae), epífita restringida a los bosques templados del este de México
93 pp.
2019



Tillandsia imperialis (Bromeliaceae). Ejemplar: Reko 4013 (Smithsonian Institution, US) en parte, México, Veracruz.

Artista: Downs, Robert Jack —1970

Ref. Smith, L. B. & Downs, R. J. (1977). Tillandsioideae (Bromeliaceae). *Flora Neotropica Monograph* 14: 659–1492.

II



Agradecimientos:

Primero que nada, quiero agradecer a mi prometida Rosalinda Rocha Muñoz que me ha acompañado durante la realización de este trabajo.

A mis amigos de carrera los que me acompañaron durante mi formación como biólogo para poder realizar este trabajo, entre ellos principalmente a Oscar Sánchez Gutiérrez, Gloria Sárraga Rojas, Ángel Franco Torres, Nihuib Flores Galicia y Erick Eduardo Gutiérrez Estrada.

A mis compañeros y amigos que contribuyeron en la realización de este trabajo: Mauricio Santiago Hernández, Andrés González Murillo, Paulina Heredia Guzmán, Mónica Mildrette Vázquez Medrano, Erika Galicia Mora, Darinka Morales García, Nidia Mendoza Díaz, María Márquez, Gerardo Pantoja, Francisco Yberri, Celia Sangines y Ernesto Chanes Rodríguez Ramírez entre otros.

A mis maestros de carrera que contribuyeron en mi formación biogeográfica y botánica para la realización de esta tesis, principalmente: Othón Alcántara Ayala, Raúl Contreras Medina, Cesar Andrés Torres Miranda, Rogelio Aguilar Aguilar, Carlos Alberto Ruíz Jiménez, María Elena García Granados, Zenón Cano Santana, Jorge Escutia entre otros.

Al proyecto DGAPA-PAPIIT "Biogeografía de comunidades templadas mexicanas: composición, filogenética, neoendemismos y paleoendemismos" con clave IN209108 por financiar este trabajo.

A mis compañeros del laboratorio de Biogeografía y Sistemática: Hernán Alvarado Sizzo, Sandra Castro Santiuste, Auda García Rodríguez, Rubén Alí Farfán Beltrán, Marisol Castro Torreblanca, Astrid González Ávila y Luis Tonatiuh Jiménez Zamora.

En especial a la Dra. Isolda Luna Vega por su paciencia y apoyo a lo largo de la realización de este trabajo, por sus sabios consejos y enseñanzas, así como por abrirme las puertas de su laboratorio.

A mis sinodales: David Nahum Espinosa Organista por compartir su amplio conocimiento de biogeografía de México, a Ramiro Cruz Durán ya que su vasto conocimiento sobre las plantas mexicanas me ha ayudado a mejorar constantemente, a Raúl Contreras Medina por todas las enseñanzas que me dejó a lo largo del tiempo que compartimos juntos y a César Antonio Ríos Muñoz ya que, sin su minuciosa revisión de este trabajo, no se hubiera llegado a su conclusión.





Tabla de contenido

1.	Introducción	1
2.	Marco teórico	3
2.1.	Taxonomía y distribución de <i>Tillandsia imperialis</i>	3
2.2.	Áreas de distribución y modelado de la distribución geográfica	4
2.2.1.	Diagrama BAM	5
2.2.2.	MaxEnt (máxima entropía)	8
2.3.	Método de evaluación del riesgo de extinción de plantas en México (MER).....	10
2.4.	Programas de Áreas Naturales protegidas (ANP's) y Regiones terrestres prioritarias (RTP's).....	12
2.4.1.	Áreas Naturales protegidas (ANP's)	12
2.4.2.	Regiones Terrestres Prioritarias (RTP's).....	13
3.	Justificación	13
4.	Objetivos	14
4.1.	Objetivo general.....	14
4.2.	Objetivos particulares	14
5.	Materiales y Métodos.....	14
5.1.	Recopilación de los datos de <i>T. imperialis</i>	14
5.2.	Generación de base de datos y georreferenciación	15
5.3.	Visitas al campo.....	16
5.4.	Ejecución del MER.....	16
5.4.1.	Criterio A. Características de la distribución geográfica.	17
5.4.2.	Criterio B. Características del hábitat.....	19
5.4.3.	Criterio C. Vulnerabilidad biológica intrínseca	19
5.4.4.	Criterio D Impacto de la actividad antropogénica	20
5.5.	Modelado de la distribución geográfica	21
5.5.1.	Georreferenciación de datos	21
5.5.2.	Modelado de la distribución con MaxEnt.....	21
5.5.3.	Evaluación del modelo	25
5.5.4.	Corroboración del modelo en campo.....	26
5.6.	Área de distribución de <i>T. imperialis</i>	27
5.7.	Representatividad de <i>T. imperialis</i> en los programas de Áreas Naturales protegidas (ANP's) y de Regiones terrestres prioritarias (RTP's).....	27



6.	Resultados	28
6.1.	Descripción taxonómica	28
6.2.	Distribución.....	35
6.3.	Fenología.....	37
6.4.	Hábitat.....	38
6.5.	Interacciones.....	38
6.6.	Usos y nombres comunes.....	39
6.7.	Registros de <i>T. imperialis</i>	40
6.8.	Resultados del MER	45
6.8.1.	Criterio A. Características de la distribución geográfica	45
6.8.1.1.	Extensión de la distribución.....	45
6.8.1.1.1.	Modelado de la distribución con MaxEnt	45
6.8.1.1.2.	Evaluación del modelo	46
6.8.1.1.3.	Corroboración del modelo en campo.....	47
6.8.1.1.4.	Área de distribución de <i>T. imperialis</i>	50
6.8.2.	Criterio B. Características del hábitat.	53
6.8.2.1.	Tipos de vegetación en los que se encuentra <i>T. imperialis</i>	53
6.8.3.	Criterios C y D del MER	53
6.9.	Representatividad de <i>T. imperialis</i> en los programas de Áreas Naturales Protegidas (ANP's) y de Regiones terrestres Prioritarias (RTP's)	56
7.	Discusión.....	58
7.1.	Recopilación de datos, taxonomía y distribución	58
7.2.	Modelado de distribución como herramienta para detectar nuevas poblaciones	62
7.3.	MER.....	63
7.3.1.	Características de la distribución geográfica	63
7.3.2.	Características del hábitat	65
7.3.3.	Vulnerabilidad biológica intrínseca	66
7.3.4.	Impacto de la actividad humana	68
7.4.	Representatividad de <i>T. imperialis</i> en las ANP's y RTP's.....	69
8.	Conclusiones	71
	Literatura citada.....	73



Tabla de Figuras

Figura 1. Diagrama BAM (Tomado de Soberón & Peterson, 2005) que representa los tres factores de particular importancia en el área de distribución de una especie	6
Figura 2. Ejemplo (Modelo digital de elevación MDE) del mosaico utilizado de todas las variables climáticas y topográficas formado de áreas con reportes de <i>Tillandsia imperialis</i> para representar el concepto de M de acuerdo con Soberón y Peterson (2005)	25
Figura 3. Hábito terrestre de <i>Tillandsia imperialis</i> en Huayacocotla, Veracruz (Fotografía J.C. Ramírez-Martínez).....	30
Figura 4. Años de colecta de los ejemplares encontrados en los herbarios consultados.....	41
Figura 5. Relación de datos georeferenciables de las etiquetas de colecta de los registros de herbario de <i>Tillandsia imperialis</i>	42
Figura 6. Relación de coordenadas de ejemplares de herbario que no correspondían con la descripción de la localidad de colecta de los registros de <i>Tillandsia imperialis</i> . 43	
Figura 7. Categorías de registros de colecta para las localidades de los ejemplares de herbario de <i>Tillandsia imperialis</i> , para su uso en el modelado de la distribución.	45
Figura 8. Valores de probabilidad de ocurrencia de <i>Tillandsia imperialis</i> obtenidos de la modelación con MaxEnt	46
Figura 9. Diagrama del valor de la ROCparcial, modelo nulo (distribución en rojo), la distribución esperada generada con 50% de los puntos para generar el modelo (distribución en azul). Valor del AUC ratio es igual a 1.947597 y un <i>p</i> -value = 0	47
Figura 10. Áreas de discontinuidad en la distribución puntual con respecto al modelado de la distribución de <i>Tillandsia imperialis</i>	49
Figura 11. Mapa de distribución de <i>Tillandsia imperialis</i> , resultado del modelado de la distribución verificado en campo y descartando aquellas áreas que de acuerdo con la capa de uso de suelo y vegetación INEGI serie IV (INEGI, 2009) no contienen vegetación apta para el desarrollo de la especie	50
Figura 12. 31 conjuntos de localidades conocidas de la especie de acuerdo con los registros de colectas de <i>Tillandsia imperialis</i>	51
Figura 13. Provincias biogeográficas (CONABIO, 1997) en los que existen registros de <i>Tillandsia imperialis</i>	52
Figura 14. Tipos de vegetación en los que se encuentra <i>Tillandsia imperialis</i> de acuerdo la vegetación potencial de CONABIO (2008b)	54
Figura 15. Representatividad de <i>Tillandsia imperialis</i> en las Áreas Naturales Protegidas (ANP's) con 331 Ha de área	56
Figura 16. Representatividad de <i>Tillandsia imperialis</i> en las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP's) con 2812 Ha de área.	57





1. Introducción

La familia Bromeliaceae Juss. tiene una distribución casi exclusiva al continente americano (Smith & Downs, 1974), a excepción de *Pitcairnia feliciana* (A. Chev.) Harms & Mildbr. que es el único miembro de la familia que se distribuye fuera de América, en un macizo montañoso situado en el centro-norte de la República de Guinea, en África Occidental (Porembski & Barthlott, 1999). La mayor cantidad de especies de la familia se encuentra en las regiones tropicales, principalmente en el centro y sur del continente americano (Espejo-Serna & López, 1998, Granados, 2005). A nivel mundial la familia está compuesta por más de 50 géneros y cerca de 3,500 especies (Luther, 2006; Butcher & Gouda, 2016). Desde los trabajos de Smith y Downs (1974, 1977, 1979), la familia se ha dividido tradicionalmente en tres subfamilias, Pitcairnioideae Harms, Bromelioideae Burnett y Tillandsioideae Burnett. La monofilia de la familia ha sido corroborada por distintos estudios tanto morfológicos (Dahlgren et al., 1985) como moleculares (basados en ADN de cloroplasto principalmente con el gen *rbcL*) (Stevens, 2001 onwards). Sin embargo, la filogenia obtenida a través de datos moleculares a nivel intrafamiliar difiere mucho de la clasificación tradicional, Givnish et al. (2007) reconocen la monofilia de las subfamilias Bromelioideae y Tillandsioideae, pero en el estudio de estos autores Pitcairnioideae resultó ser un grupo parafilético. Debido a la clasificación obtenida, fue necesario la recircunscripción de Pitcairnioideae y Navioideae Harms, así como la descripción de las nuevas subfamilias Hechtioideae Givnish, Puyoideae Givnish, Lindmanioideae Givnish y Brocchinioideae Givnish, las dos últimas endémicas de las Guyanas, mientras que en México se presentan cuatro de ellas, Bromelioideae, Pitcairnioideae, Hechtioideae y Tillandsioideae.

Se considera que existen tres centros de diversificación para la familia según Smith y Downs (1974); estos autores proponen que uno de ellos recorre la cordillera de Los Andes



hasta México donde habitan especies de las subfamilias Pitcairnoideae y Tillandsioideae. Dentro de este centro, México es reconocido como un centro de diversificación secundario, por presentar en su mayoría especies pertenecientes a géneros correspondientes a Tillandsioideae, en comparación con el resto de América del Sur que presenta mayor diversidad de Pitcairnoideae (A. Espejo-Serna, com. pers.) lo cual concuerda con la diversificación adaptativa propuesta por Givnish et al. (2014). Otros autores señalan al centro y sur de México como zonas de diversidad importante Gardner (1982).

De las subfamilias reconocidas por Givnish et al. (2007) para México, se encuentran representados ocho géneros de Bromelioideae (*Aechmea*, *Androlepis*, *Billbergia*, *Bromelia*, *Greigia*, *Hohenbergiopsis*, *Ursulaea* y *Wittmackia*), ocho de Tillandsioideae (*Catopsis*, *Guzmania*, *Pseudalcantarea*, *Racinaea*, *Tillandsia*, *Viridantha*, *Vriesea* y *Werauhia*), dos géneros de Pitcairnoideae (*Fosterella* y *Pitcairnia*) y un sólo género de Hechtioideae (*Hechtia*), representando 422 especies en 19 géneros (Espejo-Serna & López-Ferrari, 2018).

El género *Tillandsia* L. perteneciente a Tillandsioideae es el que cuenta con mayor cantidad de especies en México. Se estima que está representado por aproximadamente 230 especies, de las cuales más del 75% son endémicas al país (Espejo-Serna & López-Ferrari, 2018). Las especies de este género representan una de las principales familias de plantas epífitas habitantes de diferentes tipos de vegetación mexicanos como encinares, pinares, bosques mixtos, bosques tropicales y bosques mesófilos de montaña (Espejo-Serna & López-Ferrari, 1998, 2018). Rzedowski (1996) reconoció a *Tillandsia* como un taxón característico del bosque mesófilo de montaña, ya que posee un número importante de especies exclusivas o preferentes a este tipo de vegetación.



Actualmente se reconoce a *Tillandsia imperialis* dentro de la Norma Oficial Mexicana 059 (SEMARNAT, 2010) en la categoría de Amenazada. Dicha norma no indica a la especie como endémica de México. Este documento gubernamental describe en la categoría de Amenazada a aquellas especies o poblaciones que podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazo, de seguir operando los factores que inciden negativamente en su viabilidad, que provocan el deterioro o modificación de su hábitat o la disminución directa del tamaño de sus poblaciones (Luna-Vega et al., 2006).

2. Marco teórico

2.1. Taxonomía y distribución de *Tillandsia imperialis*

Clasificación (Stevens, 2001 onwards; Gouda & Butcher, 2016 onwards)

Familia: Bromeliaceae

Subfamilia: Tillandsioideae

Género: *Tillandsia*

Especie: *Tillandsia imperialis* E. Morren ex Roetzl

En el año 1866 el botánico francés Eugène Bourgeau, cuyas colectas se restringieron en México al centro de Veracruz, Morelos y el centro del Valle de México (Rzedowski et al., 2009), colectó en las cercanías del Orizaba el ejemplar *Bourgeau 2389* que posteriormente se nombró como el holotipo de *T. imperialis*. Dicho ejemplar fue depositado en el herbario del Real Jardín Botánico de Kew en Londres, Inglaterra.



El epíteto “*imperialis*” se debe a la exuberante apariencia de su inflorescencia, reconocida así por el botánico belga Edouard Morren y posteriormente validada por Benedict Roezl en 1881 (Cházaro & Mostul, 1997).

Tal como lo indican Smith y Downs (1977), *T. imperialis* fue descrita como una especie epífita y saxícola distribuida en el centro de México entre los 1,300 y 2,700 m de altitud, en los estados de Oaxaca, Puebla, Veracruz, Hidalgo y Jalisco, México y en América Central en el Salvador para el Departamento de Santa Ana. Posteriormente McVaugh (1989) en su revisión de la Flora Novo-Galiciana la registró para El Salvador y en México para los estados de Oaxaca, Puebla, Veracruz, Hidalgo y Jalisco. Por otro lado, Espejo-Serna et al. (2005) consideraron que era una especie endémica de México con distribución en los estados de Hidalgo, Oaxaca, Puebla, Querétaro y Veracruz. No obstante lo anterior, Veliz (2010) reportó a la especie en diversas provincias de Guatemala.

De manera general se puede decir que la distribución conocida de *T. imperialis* incluye preferentemente bosques templados, entre ellos bosque mesófilo de montaña, bosque de pino, bosque de encino y bosque de pino-encino (Granados, 2005; Espejo-Serna et al., 2005, 2010; Vite-Posadas, 2005; Haeckel, 2008, 2009; Palacios-Vargas et al., 2012; Hornug-Leoni et al., 2013).

2.2. Áreas de distribución y modelado de la distribución geográfica

En toda investigación biogeográfica, la etapa inicial consiste en transcribir y analizar en un mapa las localidades donde se distribuyen las especies. Se reconoce como el área de distribución de una especie la superficie que encierra el conjunto de las localidades donde



la especie ha sido recolectada (Espinosa et al., 2003). Así la distribución geográfica de una especie se reconoce como el conjunto de localidades donde ésta ha sido registrada, ya sea mediante la recolecta de especímenes o la revisión de museos o herbarios. A la disciplina encargada del estudio de las áreas de distribución se le conoce como areografía o corología (Rapoport, 1975; Rapoport & Monjeau, 2001).

Generalmente, los análisis para obtener la distribución geográfica se basan en los registros puntuales de las especies. Sin embargo, esto limita el conocimiento de la distribución de los taxones, pues la mayoría de las especies carecen de un número suficiente de especímenes recolectados, por lo que su conocimiento es incompleto y fragmentario (Peterson et al., 2000; Navarro et al., 2003). De esta forma, el modelado de la distribución consiste en predecir las distribuciones con base en los requerimientos ecológicos de las especies, extrapolando los puntos de recolecta conocidos a áreas donde se desconocen sus ocurrencias, utilizando en algunos métodos coberturas geográficas de condiciones ecológicas. Dichas coberturas pueden corresponder a temperatura media anual, precipitación media anual y altitud, entre muchas otras (Contreras-Medina, 2006).

2.2.1. Diagrama BAM

Soberón y Peterson (2005) representaron a través del Diagrama BAM (Figura 1), los tres factores que tiene particular importancia en las áreas de distribución el cual es una representación abstracta del espacio geográfico denominado **G**. Por su parte: **B** muestra la porción geográfica donde las condiciones bióticas son las óptimas para el desarrollo de la especie (competencia, depredación, patogenicidad o simbiosis entre otras); **A** representa la porción geográfica donde las condiciones ambientales permiten la viabilidad de la



especie, denominadas también variables scenopoéticas por Hutchinson (1973) ya que establecen las condiciones (el escenario) en el que una especie puede existir. Dichas variables scenopoéticas se pueden medir con condiciones climática, topográficas entre otras; mientras que **M** es el conjunto de sitios a donde la especie ha tenido acceso a través del tiempo

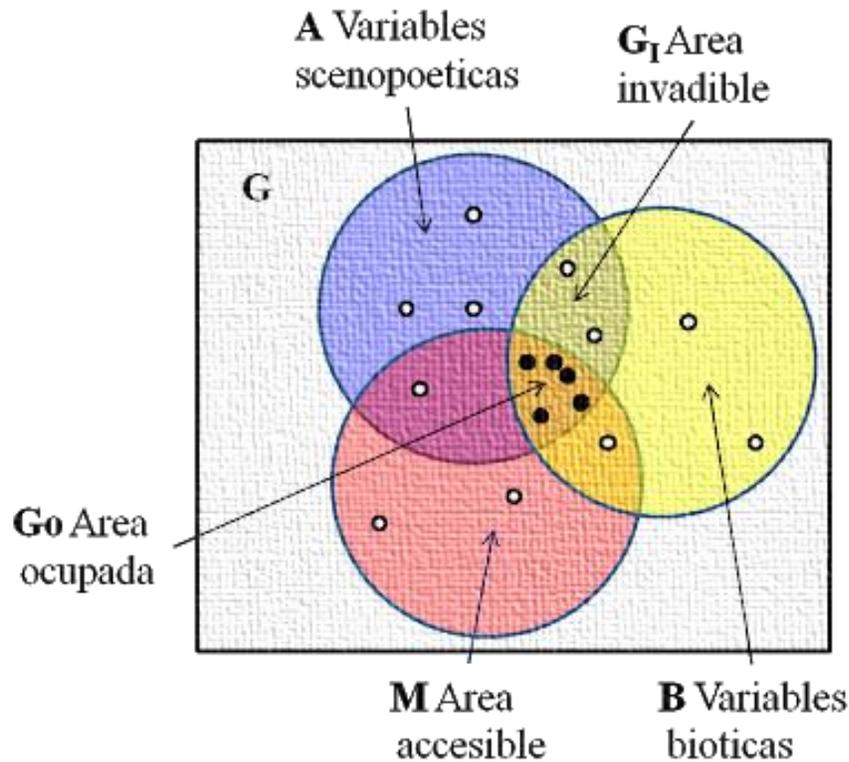


Figura 1. Diagrama BAM (Tomado de Soberón & Peterson, 2005) que representa los tres factores de particular importancia en el área de distribución de una especie

Bajo los conceptos del diagrama BAM es posible definir tanto G_o (el área ocupada) así como G_i (el área invadible por la especie). Siendo la diferencia entre estas dos últimas la accesibilidad de la especie a dichas áreas.



El debate al hablar de la diferencia entre modelado de la distribución MD y modelado de nicho ecológico MNE ha sido abordado por diversos autores (Peterson & Soberón, 2012), dejando en claro la diferencia entre estos conceptos desde el momento de su aplicación hasta las características de ambos, de manera general se puede decir que cuando se intenta determinar el área ocupada (G_o) por una especie, lo correcto es hablar de MD, mientras que si lo que se busca es determinar las áreas de distribución potencial entonces lo correcto sería utilizar MNE. Dentro de las principales diferencias entre ambos se encuentra que MNE parte de una amplia extensión biogeográfica, donde el nicho está influenciado por la geografía física del área principalmente por la accesibilidad de la especie a las áreas, mientras que los MD se enfocan en una escala más fina, por lo que, no presenta tanta influencia la accesibilidad de la especie a las áreas (Peterson, 2006). La forma en que se incrementó el uso de los MD y MNE, es a partir de acelerado desarrollo de herramientas estadísticas, así como los Sistemas de Información Geográfica (SIG's) (Guisan & Zimmermann, 2000).

Estos métodos utilizan las condiciones ambientales donde la especie se ha encontrado para construir un modelo que permite localizar otras áreas donde la especie puede estar distribuida, y otras áreas potencialmente convenientes para que la especie pueda desarrollarse (Jarvis et al., 2005). Por esta razón, se optó el modelado de la distribución geográfica como base para esta investigación.

El modelado de la distribución con su posterior validación en campo puede ayudar a discernir entre la distribución potencial y real (Peterson et al., 2000), de forma tal que se pueden orientar los esfuerzos, ahorrando tiempo y dinero, al momento de realizar colectas que permitan de manera más conveniente aumentar el conocimiento de las especies.



2.2.2. MaxEnt (máxima entropía)

De acuerdo con Shannon (1948) es posible darle un significado matemático a los términos coloquiales “incertidumbre” e “información” con base en un modelo probabilístico y en términos de una cantidad medible numéricamente a la que él denominó entropía y la cual forma parte de un área de la estadística conocida como Teoría de la Información (Pardo, 1993). Esta medida cuantitativa, propuesta por Shannon, acerca de la cantidad de información proporcionada por un experimento aleatorio está basada en la entropía clásica de Boltzmann (1896 en Pardo, 1993) de la física estadística, quien observó que la entropía de un sistema físico se puede considerar como una medida del desorden de este mismo.

En 1957, el físico Edwin Thompson Jaynes, propuso una manera de asignar probabilidades *a priori*, a la que llamó principio de máxima entropía, o MaxEnt, la cual según Jaynes proporciona la estimación menos sesgada posible sobre la información dada (Luque, 2017); es decir, la menos comprometida con respecto a la información que falta. MaxEnt no parte de las leyes de la termodinámica, sino de la noción de entropía que aparece en la teoría de la información y de nuestra capacidad para hacer inferencias a partir de los datos disponibles (Luque, 2017).

El principio de máxima entropía tiene su aplicabilidad en aquellas situaciones en las que se necesita una distribución de probabilidad e inicialmente sólo se dispone de una cierta información parcial acerca de ella, cuantificada en términos de valores esperados o restricciones sobre la o las variables. Un nuevo problema se presenta cuando además de esta información se dispone de una estimación previa de la distribución de interés. En



resumen, los modelos de máxima entropía son empleados para determinar la distribución de una variable frente a condiciones de información limitada.

MaxEnt (Phillips et al., 2006) es un programa que se utiliza para el modelado de la distribución, que como otros programas de este tipo se basan en la premisa de que el conjunto de registros individuales de las especies se relaciona con las variables presentes en las localidades de colecta.

Posteriormente es importante tener en cuenta aquellas áreas (Concepto de M, según Soberón & Peterson, 2005) a las que la especie ha tenido acceso a través del tiempo para reconocer aquellas áreas que están sobreestimadas (Barve et al., 2011),

MaxEnt se ubica dentro de los programas que estiman la probabilidad de distribución, por medio de la suposición de máxima entropía, busca una distribución uniforme tomando los datos de las variables ambientales como restricciones, tomando en cuenta los puntos de registros como datos positivos para encontrar la distribución probable de la entropía máxima, de tal forma que al aplicar este modelo los pixeles de la zona de estudio son el espacio en el que la distribución de probabilidades de MaxEnt está definida. Los pixeles con presencia de la especie registrada constituyen los puntos de muestra y las características son las variables climáticas (Phillips et al., 2006). El mapa de distribución resultante ofrece para cada píxel valores de probabilidad entre 0 y 1, siendo el valor 1 la mayor probabilidad de ocurrencia, lo que indicaría que éste presenta condiciones muy favorables para la presencia de la especie. Este programa proporciona las curvas de respuesta de la especie ante las distintas variables ambientales y estima la importancia de cada variable en la distribución de la especie (Phillips et al., 2006).



2.3. Método de evaluación del riesgo de extinción de plantas en México (MER)

La legislación mexicana por medio de la Norma Oficial Mexicana NOM-059 Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres (SEMARNAT, 2010), tiene por objeto identificar las especies o poblaciones de flora y fauna silvestres en riesgo en la República Mexicana, mediante la integración de las listas correspondientes, así como establecer los criterios de inclusión, exclusión o cambio de categoría de riesgo para las especies o poblaciones, mediante un método de evaluación de su riesgo de extinción (MER). Así mismo indica que entre las especies y poblaciones en riesgo estarán comprendidas las que se identifiquen como: a) en peligro de extinción, b) amenazadas, c) sujetas a protección especial, y d) probablemente extintas en el medio silvestre. El MER (método de evaluación del riesgo de extinción de plantas en México “Anexo Normativo II”) contempla cuatro criterios de evaluación dividido en dos índices y cuatro criterios:

- I) Índice de rareza
 - A. Criterio A. Características de la distribución geográfica,
 - B. Criterio B. Características del hábitat y
 - C. Criterio C. Vulnerabilidad biológica intrínseca;
- II) Índice de impacto antropogénico
 - D. Criterio D. Impacto de la actividad humana.

Los cuatro criterios del MER de plantas equivalente ponderación, siendo el valor máximo para cada uno de ellos = 1, la sumatoria de los puntos en cada criterio debe ser normalizada con el puntaje máximo para ese criterio, de tal forma que el valor máximo sea 1.



Dentro de las categorías de riesgo que el MER asigna, existen vías directas por las cuales las especies pueden ser adscritas en cada categoría o de acuerdo con el puntaje obtenido en la evaluación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Categorías de riesgo del MER, así como las vías por las cuales las especies pueden ser adscritas en cada categoría

Categoría de riesgo	Puntaje obtenido
En Peligro de Extinción (P).	<p>a) Mayor o igual que 2</p> <p>b) Vías directas:</p> <p>I. Cuando en las características de la distribución geográfica, el área de distribución sea menor o igual a 1 km²;</p> <p>II. Cuando demográficamente, el número total de individuos sea igual o menor que 500;</p> <p>III. Cuando el nivel de impacto de las actividades humanas sobre el hábitat del taxón, el hábitat remanente no permite la viabilidad de las poblaciones existentes; IV. Cuando la especie tenga poblaciones hiperdispersas con una densidad de población de 1 individuo cada 5 ha o menor; y que además la sumatoria del criterio D sea mayor que 0.4</p>
Amenazada (A)	<p>a) Mayor que 1.7 y menor que 2</p> <p>b) Vía directa: Cuando la especie tenga poblaciones hiperdispersas con una densidad de población de 1 individuo cada 5 ha o menor, y que la sumatoria del criterio D sea mayor que 0.3 y menor que 0.4</p>
Sujetas a Protección Especial (Pr)	<p>a) Mayor o igual que 1.5 y menor que 1.7</p> <p>b) Vía directa: Mayor o igual que 1 y menor que 1.5 y que la sumatoria del criterio D sea igual o mayor que 0.3</p>



2.4. Programas de Áreas Naturales protegidas (ANP's) y Regiones terrestres prioritarias (RTP's)

2.4.1. Áreas Naturales protegidas (ANP's)

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) (SEDUE, 1988) es la máxima ley de derecho ambiental en México teniendo como objetivo garantizar la preservación y restauración del equilibrio ecológico así como protección al ambiente, definiendo los principios de la política ambiental nacional y los instrumentos para su aplicación, preservación, protección a la biodiversidad mexicana, aprovechamiento sustentable y restauración de los recursos naturales en la prevención y control de la contaminación del aire, agua y suelo estableciendo medidas de control y seguridad para garantizar el cumplimiento y aplicación de esta ley dentro del territorio Mexicano.

De acuerdo con la LGEEPA (SEDUE, 1988), un Área Natural Protegida ANP (CONANP, 2017) se refiere a aquella zona del territorio mexicano sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción en donde los ambientes naturales no han sido sustancialmente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas y restauradas y que proveen una serie de beneficios y servicios ambientales necesarios para el bienestar y desarrollo económico de la población, en un inicio el propósito de las ANP fue asegurar la provisión de estos servicios, como el agua, para uso doméstico y agropecuario (CONANP, 2017). En México se encuentran decretadas 182 ANP's, de las cuales 145 son terrestres y 37 corresponden a superficie marina y costera, protegiendo más de 90 millones de hectáreas (CONANP, 2017).



2.4.2. Regiones Terrestres Prioritarias (RTP's)

Por su parte la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) cuenta con el Programa de Regiones Prioritarias para la Conservación de la Biodiversidad desarrollado por Arriaga et al. (2000), el cual con base en la acelerada pérdida y modificación de los sistemas naturales que ha presentado México durante las últimas décadas, pretende la detección de áreas, cuyas características físicas y bióticas favorezcan condiciones particularmente importantes desde el punto de vista de la biodiversidad.

El Proyecto Regiones Terrestres Prioritarias RTP (Arriaga et al., 2000), tiene como objetivo general la determinación de unidades estables desde el punto de vista ambiental en la parte continental del territorio nacional, que destaquen la presencia de una riqueza ecosistémica y específica comparativamente mayor que en el resto del país, así como una integridad ecológica funcional significativa y donde, además, se tenga una oportunidad real de conservación. En México se cuenta con 152 regiones prioritarias terrestres para la conservación de la biodiversidad, que cubren una superficie de 515,558 km², correspondiente a más de la cuarta parte del territorio nacional.

3. Justificación

El presente estudio es una contribución al conocimiento del área de distribución de una especie del género *Tillandsia* en México. Con esto se pretende ahondar en el conocimiento de la distribución de las especies nativas de México, validando estatus de *T. imperialis* en la Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT-2001, así como la determinación de áreas de mayor prioridad para su conservación.



4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Hacer una revisión del estado taxonómico, biogeográfico y de conservación de *T. imperialis*

4.2. Objetivos particulares

- Realizar una revisión bibliográfica del estado taxonómico de *Tillandsia imperialis*.
- Realizar una revisión bibliográfica acerca de las interacciones ecológicas que presenta *T. imperialis* con otras especies de animales y plantas.
- Modelar el área de distribución de *T. imperialis*.
- Evaluar la representatividad de *T. imperialis* dentro de los ANP's y RTP's.
- Utilizar el MER para actualizar o revalidar el estatus de *T. imperialis* en la Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT-2001.

5. Materiales y Métodos

5.1. Recopilación de los datos de *T. imperialis*

Con el fin de determinar la distribución geográfica de *Tillandsia imperialis*, se recopilaron todos los datos tanto taxonómicos como de distribución geográfica provenientes de las etiquetas de especímenes, ya sea directamente del ejemplar físico o de ejemplares digitales, de los siguientes herbarios: Herbario Nacional de México, Instituto de Biología, UNAM (MEXU), Herbario de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN (ENCB), Herbarios del Instituto de Ecología A.C. en Xalapa (XAL) y en Pátzcuaro (IEB), Herbario de



la Facultad de Ciencias, UNAM (FCME), Herbario de la Universidad Veracruzana (XALU), Herbario de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMIZ), Herbario Serbo, Oaxaca (SERO), Herbario de la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL (UNL), Herbario de la Unidad de Investigación de Plantas Medicinales, IMSS (IMSSM), Herbario del Departamento de Biología Experimental, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala (IZTA), Herbario del Departamento de Biología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, UAM (UAMX), Herbario Centro de Investigaciones Biológicas, UAEH, Hidalgo (HGMO), Herbario del CIIDIR-IPN, Oaxaca (OAX), Jardín Botánico Universitario, Puebla (HUAP), Herbario del Real Jardín Botánico, Madrid (MA), Museo Nacional de Historia Natural, Paris (P), Herbario del Real Jardín Botánico de Kew (K), Instituto Botánico Komarov, San Petesburgo (LE), Herbario de la Universidad del Sur de Florida (USF), Herbario del Jardín Botánico de Missouri (MO) y la Colección del Instituto de Biología, Estación de Biología Los Tuxtlas.

5.2. Generación de base de datos y georreferenciación

Con la información obtenida se conformó una base de datos organizada por medio de Microsoft Access (2016), en la cual se vaciaron los datos de distribución e información biológica incluidos en las etiquetas de los ejemplares de colecta, por medio de formularios de captura de información. En la misma base se incluyó la georreferenciación de las localidades obtenidas de cada ejemplar.

De los registros obtenidos de herbario, aquellos que incluían en la etiqueta de colecta datos de georreferencia, se proyectaron en ArcMap 10.3 (ESRI, 2014), una revisión minuciosa de cada uno de ellos mostró si las georreferencias correspondían la localización



descrita en la etiqueta de colecta, en cuanto a la localidad, municipio y estado, de esta forma se pueden detectar los casos en donde existieran errores de georreferenciación. En el caso de aquellas localidades que no incluyeran datos de georreferencia, se buscaron las localidades por medio del nomenclátor de INEGI (2010) o Google Earth Pro-Desktop.

Posteriormente se realizó una selección al azar del 15% de los datos obtenidos de la georreferenciación de las colectas para su corroboración en campo. Por otro lado, también se incluyó en la corroboración de campo de aquellos datos sensibles, cuya localización pudiera no reflejar la distribución actual de la especie debido a los cambios antrópicos a través del tiempo.

5.3. Visitas al campo

Con la finalidad de generar datos que complementarían los registros de herbario, se realizaron siete visitas al campo entre 2015 y 2017 a los estados de Hidalgo, Puebla, Oaxaca y Veracruz. Posteriormente a la generación del modelo, se realizaron 10 visitas al campo entre 2017 y 2019 a los estados de Hidalgo, Puebla, San Luis Potosí, Oaxaca y Veracruz para la corroboración del modelo de distribución. Los ejemplares colectados fueron depositados en el Herbario de la Facultad de Ciencias, UNAM (FCME).

5.4. Ejecución del MER

De acuerdo con el MER (Método de Evaluación del Riesgo de Extinción de Plantas en México “Anexo Normativo II”) existen cuatro criterios a considerar:



- A. Características de la distribución geográfica
- B. Características del hábitat
- C. Vulnerabilidad biológica intrínseca
- D. Impacto de la actividad antropogénica

5.4.1. Criterio A. Características de la distribución geográfica.

5.4.1.1. Extensión de la distribución

Con la finalidad de obtener el área de distribución en km² para ser considerado dentro del criterio de extensión de la distribución del MER, se generó el área de distribución a partir del modelado de la distribución de la especie ya validado en campo, utilizando la capa de uso de suelo y vegetación INEGI serie IV (INEGI, 2009) ya que esta es la que cuenta con mayor número de puntos de verificación en campo y tiene la característica de estar agrupada en un nivel superior por afinidad ecológica y afinidad florística, a diferencia de otras capas más recientes. De esta agrupación se utilizó el nivel jerárquico más alto denominado “tipos ecológicos”, seleccionando las áreas catalogadas como “no aplicable” debido a que estas no se reconocen como áreas con vegetación primaria ni secundaria, siendo estas áreas deforestadas, áreas urbanas, de cultivo y cuerpos de agua, entre otros, de tal forma que a partir del modelado de la distribución se pudiera generar un mapa al descartar las áreas en las que por actividades humanas no fueran aptas para el desarrollo de la especie, donde la vegetación ha sido removida: zonas urbanas, agrícolas, pecuarias, cuerpos de agua y pastizales inducidos (Ríos-Muñoz & Navarro-Sigüenza, 2009).



5.4.1.2. Número de poblaciones o localidades conocidas existentes

Para determinar la cantidad de poblaciones conocidas de la especie, se siguió la metodología del MER, tomando como criterio, un grupo de localidades agrupadas en un mapa escala 1: 4,000,000 a una distancia de 3 mm tal como lo indica el MER (SEMARNAT, 2010). Por medio de ArcMap 10.3 (ESRI, 2014) se agruparon las localidades registradas de la especie dentro de un diámetro de 12 km para obtener el número de poblaciones con fines de este criterio.

5.4.1.3. Número de provincias biogeográficas en las que se encuentra el taxón

Para determinar las provincias biogeográficas donde se presenta un taxón se utilizó el metadato de "Provincias biogeográficas de México", de la CONABIO (1997), donde se sobrepusieron los datos de distribución conocida de la especie.

5.4.1.4. Representatividad de la distribución del taxón en el territorio mexicano

La representatividad del taxón se refiere a la importancia que pueden tener las poblaciones mexicanas dentro de la distribución geográfica de la especie de forma global, ya sea que se encuentre una pequeña parte en el territorio nacional y el resto en el extranjero, con fines de este criterio se determina que si la mayor parte de la distribución de una especie se encuentra fuera del país, y aun cuando esta no corre riesgo de manera general, si la porción de distribución existente en el territorio mexicano es muy escasa, se considera como "extralimital". Se tomó en cuenta este criterio sobreponiendo los datos de distribución conocida de la especie.



5.4.2. Criterio B. Características del hábitat

Siguiendo la metodología del MER, se deben determinar los tipos de vegetación (*sensu* Rzedowski, 1978) en los que la especie se encuentra presente, tomando en cuenta el mapa Vegetación Potencial de Rzedowski (1990). Para ello se utilizó la distribución conocida de la especie y el mapa de "Vegetación Potencial" (CONABIO, 2008b) para determinar el o los tipos de vegetación donde se presenta la especie. Así mismo se indagó en literatura especializada si la especie tiene un hábitat especializado, así como si la permanencia de la población es dependiente de un hábitat primario y/o requiere de regímenes de perturbación particulares o está asociada a etapas transitorias en la sucesión. Por último, a partir de las localidades de los ejemplares de herbario revisados se determinó el intervalo altitudinal en el que se desarrolla la especie.

5.4.3. Criterio C. Vulnerabilidad biológica intrínseca

El primer apartado trata de la demografía de la especie, para lo cual se requieren datos de sus poblaciones, así como número total de individuos, el reclutamiento existente en las poblaciones y otros atributos demográficos acerca de la especie: clonalidad, evidencia de decrecimiento de las poblaciones de la especie, varianza de la fecundidad, datos de la reproducción sexual de la especie y de la formación de propágulos, así como datos acerca de su floración, para todo lo anterior se realizó búsqueda exhaustiva en la literatura para encontrar datos de la especie o de sus taxones hermanos.



El segundo apartado se refiere a datos genéticos, en caso de contar con datos de estudios genéticos para la especie se utilizan datos de la estructura genética de las poblaciones, así como su variabilidad genética (heterocigosis). En caso de que los datos con estudios genéticos no fueran suficientes se utilizan estimaciones indirectas de la variación genética, así como de la diferenciación genética entre poblaciones.

El último apartado se refiere a datos acerca de las interacciones bióticas de la especie, si la especie requiere una “nodriza” en su etapa juvenil, algún hospedero o forofito específico, polinizadores, dispersores o alguna simbiosis vital para su desarrollo, así como alguna afectación importante por depredadores o patógenos específicos.

5.4.4. Criterio D Impacto de la actividad antropogénica

Finalmente, en el criterio D se evalúa del impacto de la actividad antropogénica, siendo los principales atributos detectar cómo afecta a la especie la alteración antrópica de su hábitat; para ello se buscaron evaluaciones del nivel de impacto de las actividades humanas sobre ésta, así como modelos, mediciones o predicciones para el cambio en sus poblaciones. También se indagaron datos del impacto no solo en su hábitat sino directamente en el uso de la especie y como afecta sus poblaciones. Por último, se utiliza información existente acerca de su propagación *ex situ* o *in situ*.

De acuerdo con la información obtenida en cada apartado, para los cuatro criterios del MER se asignan valores. La sumatoria de valores en cada criterio debe ser normalizada con el puntaje máximo para ese criterio de tal forma que el valor máximo sea 1. De esta forma se asigna el puntaje para la asignación a la categoría pertinente.



5.5. Modelado de la distribución geográfica

5.5.1. Georreferenciación de datos

A partir de los datos de localización obtenidos de las etiquetas de herbario de ejemplares de *Tillandsia imperialis* y por medio ArcMap 10.3 (ESRI, 2014), se utilizó la georreferencia de las localidades de colecta de cada ejemplar, para la realización de los modelos. A partir de estos datos se generó el mapa de distribución conocida de la especie. Además, se realizó una revisión aleatoria de los datos para detectar aquellos cuya descripción de localidad no ofrece referencias suficientes para su mapeo y uso para el análisis.

5.5.2. Modelado de la distribución con MaxEnt

Para el modelado de la distribución, se utilizó el software MaxEnt utilizando las coordenadas geográficas de los puntos de registro de la especie en cuestión y las 19 variables climáticas obtenidas de WorldClim2 (Fick & Hijmans, 2017) y 4 topográficas de la USGS Earth Resources Observation and Science (<https://earthexplorer.usgs.gov>) (Cuadro 2).

WorldClim2 y USGS son bases de datos de variables climáticas y topográficas que se presenta en formato raster. Cada celda está asociada al valor de un atributo, como por ejemplo una altitud, que corresponde al promedio del valor de este atributo sobre toda la superficie de la celda considerada. Así, el tamaño del píxel define la resolución del raster.

En este estudio se utilizó una resolución de 1 km (cada celda corresponde en la realidad a un cuadrado de 1 km por 1 km de lado). Los datos de WorldClim2 son generados



por interpolación de datos promedios mensuales provenientes de entre 9,000 y 60,000 estaciones meteorológicas entre los años 1970 y 2000 (Fick & Hijmans, 2017).

Cuadro 2. Listado de las 23 capas de variables ambientales utilizadas para la modelación de la distribución (19 provenientes de WorldClim2 y 4 de USGS)

<i>N°</i>	<i>Descripción de la variable de cada capa</i>
1	Temperatura promedio anual (°C)
2	Oscilación diurna de la temperatura (°C)
3	Isotermalidad (°C) (cociente entre parámetros 2 y 7)
4	Estacionalidad de la temperatura (coeficiente de variación, en %)
5	Temperatura máxima promedio del periodo más cálido (°C)
6	Temperatura mínima promedio del periodo más frío (°C)
7	Oscilación anual de la temperatura (°C) (cociente entre variables 5 y 6)
8	Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso (°C)
9	Temperatura promedio del cuatrimestre más seco (°C)
10	Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido (°C)
11	Temperatura promedio del cuatrimestre más frío (°C)
12	Precipitación anual (mm)
13	Precipitación del periodo más lluvioso (mm)
14	Precipitación del periodo más seco (mm)
15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación, en %)
16	Precipitación del cuatrimestre más lluvioso (mm)
17	Precipitación del cuatrimestre más seco (mm)
18	Precipitación del cuatrimestre más cálido (mm)
19	Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)
20	Modelo digital de elevación (MDE) (m s. n. m.)
21	Pendiente (%)
22	Orientación de la pendiente (°azm)
23	Índice Topográfico compuesto (ITC) (coeficiente de acumulación del flujo de agua entre la tangente de la pendiente)



En el caso de las variables climáticas, éstas se derivan de los valores promedios mensuales de la temperatura y de la precipitación, para generar variables biológicamente más significativas. Las variables climáticas representan: las tendencias anuales (ejemplo: promedio de temperatura anual, precipitación anual), la estacionalidad (ejemplo: intervalo anual de temperatura y precipitación) y los factores ambientales limitantes (ejemplo, temperatura del mes más frío y el más caliente, y precipitación de los tres meses más húmedos o secos, etc.) (Fick & Hijmans, 2017). A partir de dichas variables climáticas y de los registros obtenidos en los distintos herbarios, así como de la literatura, se obtuvo el modelado de la distribución de la especie en cuestión a partir de los datos de las localidades conocidas.

Para el modelado de la distribución se utilizó MaxEnt (Phillips et al., 2006), se utilizaron los valores adecuados para garantizar la convergencia del algoritmo; se introdujo 1000 como número máximo de iteraciones, estableciendo el límite de convergencia en 0.00001, el valor de regularización en 0.0001 y en tipo de salida logística. Finalmente, el modelo obtenido con MaxEnt se presenta como una probabilidad de distribución con valores entre 0 y 1, dado que parte del objetivo de este trabajo es evaluar a la especie mediante el MER (SEMARNAT, 2010), es necesario presentar un mapa final que muestre una distribución binaria para calcular su distribución en Km², por lo que se utilizó como presencia efectiva del modelado de la distribución de acuerdo con la probabilidad de ocurrencia de la especie.

De esta forma y con ayuda de la herramienta de modelado se puede obtener el área de distribución de la especie (G_0 de acuerdo con Peterson et al. (2011)). La posterior



verificación del modelo y corroboración en campo dará como resultado una diferenciación entre las áreas G_o y G_i . Después de obtenido el modelo con MaxEnt, se hicieron salidas al campo para corroborar las áreas que el modelo predijo, donde no existen datos de colecta u observaciones.

Para determinar la distribución geográfica, así como asignar un valor MER para la especie, se reunieron las localidades únicas a partir de los registros obtenidos de colecciones. Siguiendo a Peterson et al. (2011), dicho conjunto de localidades sirvió para formar el concepto de M (set de celdas geográficas a las que la especie puede tener acceso en cierto espacio-tiempo). Para diferenciarlo de M^c (Complemento de M dentro del diagrama BAM) se tomaron en cuenta todos los registros y reportes de la especie (en México y Centroamérica); dichas áreas junto con el área obtenida de la distribución conocida fueron las seleccionadas para el análisis, el cual se realizó recortando dichas áreas de todas las capas raster climáticas y topográficas, y con ello minimizar el área de análisis y evitar que una gran superficie de área analizada (G según Peterson et al. (2011) pueda tener influencia en la predicción del modelo, tal como lo señala Hirzel et al. (2002), Así mismo una menor área de M ayudara a mejorar la evaluación del modelo ya que esta se puede ver influenciada por una extensión geográfica muy amplia que este fuera de ambiente de presencia de la especie (Lobo et al., 2008). Para ello se realizó un mosaico solo con dichas áreas a partir de las capas raster de tanto para las capas de variables climáticas BIOCLIM, así como las topográficas de USGS (Figura 2).



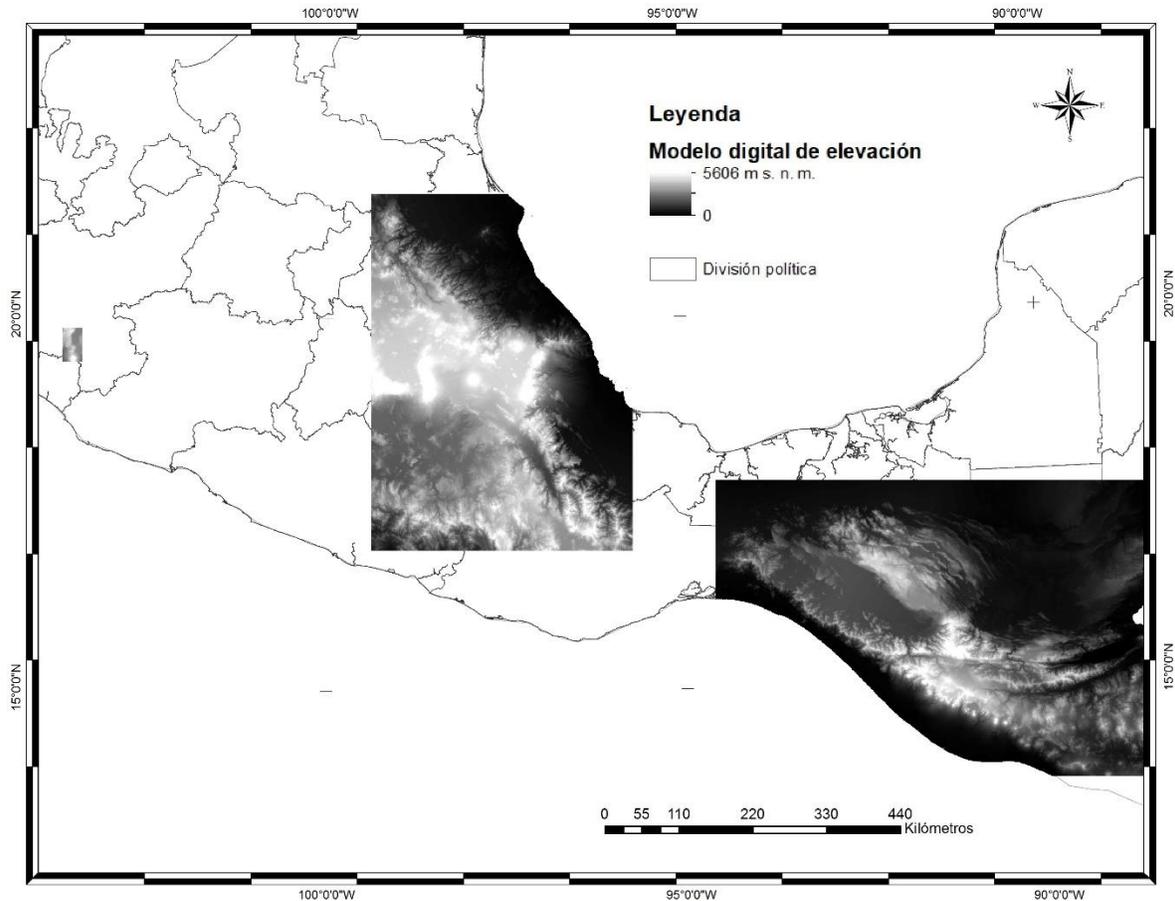


Figura 2. Ejemplo (Modelo digital de elevación MDE) del mosaico utilizado de todas las variables climáticas y topográficas formado de áreas con reportes de *Tillandsia imperialis* para representar el concepto de M de acuerdo con Soberón y Peterson (2005)

5.5.3. Evaluación del modelo

El modelo se evaluó mediante una prueba estadística para saber cómo está funcionando en relación con la predicción. Generalmente se utiliza como herramienta de evaluación el área bajo la curva (AUC, Area Under the Curve) de la función (ROC, Receiver Operating Characteristic) (Hanley & McNeil, 1982) para comparar la capacidad de discriminación del modelo. La curva ROC es una técnica procedente del procesamiento de señales de radar, que ha sido aplicada con éxito a la evaluación de modelos de distribución basados en



algoritmos de solo presencia (Phillips et al., 2006). Un diagrama ROC se obtiene trazando la fracción de casos clasificados correctos en el eje de las Y vs. la fracción de los casos clasificados como incorrectos para todas las probabilidades posibles en el eje de las X, indicando así la probabilidad de que el valor ideal previsto por el modelo para el punto de presencia sea mayor que el previsto para el punto aleatorio, el diagrama ROC es una medida directa de la capacidad de discriminación del modelo, que toma valores próximos a 1 cuando existe un buen ajuste con los datos de evaluación, y cercanos a 0.5 cuando el ajuste no es mejor que el obtenido por azar (Fielding & Bell, 1997). Sin embargo, AUC sopesa por igual los valores de comisión y los de omisión y con respecto a la evaluación del modelo por medio de la AUC las áreas de extrema derecha y la parte izquierda de la AUC representan las altas tasas de falsos positivos y de falsos negativos respectivamente, de tal forma que, si se está interesado en maximizar las predicciones correctas y restar valor a los errores de comisión, entonces las partes importantes serían la parte central y derecha de la AUC (Lobo et al., 2008), es por ello que para evaluar el modelo se utilizó la ROC parcial y se evaluó con la (AUC ratio) proporción de la AUC y el (p -value) valor de p , siguiendo a Peterson et al. (2008). Utilizar la ROC parcial no elimina del todo los problemas antes mencionados, pero si los disminuye considerablemente.

5.5.4. Corroboración del modelo en campo

Una vez obtenido el modelado de la distribución, se seleccionaron aquellas áreas donde de acuerdo con el modelo potencialmente se encuentran las especies, realizando visitas al campo para detectar nuevas poblaciones o en su caso descartar dichas áreas del modelo al generar el área de distribución de *Tillandsia imperialis*.



5.6. Área de distribución de *T. imperialis*

El área de distribución final se obtuvo a partir de la corroboración en campo del modelado de la distribución y la corrección de las áreas no aptas para la especie de acuerdo a capa de uso de suelo y vegetación, donde a partir del nivel jerárquico más alto denominado “tipos ecológicos”, se seleccionaron las áreas catalogadas como “no aplicable” con el fin de obtener aquellas áreas donde la vegetación ha sido removida tales como zonas urbanas, agrícolas, pecuarias, cuerpos de agua y pastizales inducidos entre otros, de tal forma que se pudiera generar un mapa al descartar las áreas en las que por actividades humanas no fueran aptas para el desarrollo de la especie INEGI serie IV (INEGI, 2009)

5.7. Representatividad de *T. imperialis* en los programas ANP’s y RTP’s

Con la finalidad de evaluar la representatividad de *T. imperialis* en los programas de Áreas Naturales protegidas (ANP’s) y de las Regiones terrestres prioritarias (RTP’s), se utilizó el área de distribución obtenida mediante el modelado de la distribución verificado en campo descartadas aquellas áreas no aptas para el desarrollo de la especie, y por medio de ArcMap 10.3 (ESRI, 2014) se sobrepusieron con los datos de las ANP’s, Metadato: “182ANP_Geo_ITRF08_Noviembre_2017” (SEMARNAT-CONANP, 2017) así como de las RTP’s Metadato: “Regiones Terrestres Prioritarias” (CONABIO, 2008a). En ambos casos se calculó el área de distribución en km² abarcados para así determinar la porción de distribución que se encuentra bajo protección en el caso de las ANP’s y el área ocupada dentro de las RTP’s.



6. Resultados

6.1. Descripción taxonómica

Especie: *Tillandsia imperialis* E. Morren ex Roehl Deutsche Gärt.-Zeitung 118, 1881.

Tipo: México, Veracruz, region d'Orizaba, *E. Bourgeau* 2389. (Holotipo: K(FOTO!);

isotipos: K(FOTO!), LE(FOTO!), P(FOTO!)).

Tillandsia strobilantha Baker, Jour. Bot. London. 26: 168. 1888.

Tillandsia imperialis E. Morren ex André, Bromel. Andr. 100.1889.

Guzmania imperialis Hortus ex André, Bromel. Andr. 100. 1889.

Tillandsia imperialis E. Morren ex Baker, Handb. Bromel. 180. 1889.

Guzmania imperialis Roehl ex Baker, Handb. Bromel. 180. 1889.

Tillandsia imperialis E. Morren ex Mez, Pflanzenreich IV. Fa. 32: 482. 1935.

Sinonimias y homonimias recopiladas de Smith & Downs (1977) y Granados (2005)).

Descripción taxonómica:

Forma de vida hierba de hábito epífita o terrestre, de 22–65 cm en floración con forma de tanque, acaulescente, solitarias. **Raíz** aérea, fibrosa. **Hojas** 12.5–65 cm de largo, 3.5–10 cm de ancho de color cian en la base a verde en la parte media-apical, a veces rojas en la parte apical, densamente arrestadas, ovadas, lepidotas, tricomas rojizos; **láminas** liguladas, acuminadas-atenuadas, lepidotas, tricomas rojizos, de rojo a verde en la parte apical, de amarillo a cian en la parte basal. **Inflorescencia** terminal de 13–45 cm de largo, 4.7–12.5 de ancho, erecta, compuesta, bipinnada, polística, con 12–18 espigas, **pedúnculo** de 9.8–18 cm de largo, cilíndrico, erecto, glabro; raquis no visible totalmente cubierto por las brácteas; **brácteas del pedúnculo** de 9.8–26.5 cm de largo densamente imbricadas, foliáceas, acuminado-atenuadas, lepidotas, parte apical color rojo, parte media de rosa a rojo, y amarillo en la parte basal, tricomas rojizos; **brácteas primarias** de 5.3–12 cm de largo, foliáceas, de ampliamente ovadas a ovadas, cubriendo totalmente a las espigas,



imbricadas, acuminadas; **brácteas florales** de 3.5–10 cm de largo, 1.0–1.9 cm de ancho dísticas, elípticas, agudas, carinadas, glabras, de verde a rosa claro, más largas que los entrenudos. **Flores** de 3–3.5 cm de largo, 0.5–0.8 cm de ancho, dísticas, erectas, 3–5 por espiga, actinomorfas, tubulares, sésiles; **sépalos** verdes, libres, elípticos, glabros, densamente punctulado-lepidotas internamente, agudos a acuminados en el ápice, connados en la base; **pétalos** de 5–6.8 cm de largo, 5.1–7 cm de ancho, libres, lineares, de blancos en la parte basal a violetas en la parte apical, redondeados en el ápice; **estambres** exsertos, más largos que los pétalos; **filamentos** de 5.1–6.8 cm de largo blancos, filiformes; **anteras** de 8–13 mm de largo, 11 mm de ancho, amarillas, lineares, sub-basifijas; **estigma** de violeta a blanquecino, exserto; **ovario** verde, oblongo, con el **estilo** más largo que los estambres 7.1–9 cm de largo, de violeta a blanquecino. **Fruto** una cápsula negra-verdosa, de 2.5–3.8 cm de largo, hasta 8 mm de diámetro, fusiforme. **Semillas** de 1.5–3 mm de largo, de pardas claras a rojizas, con un apéndice plumoso blanquecino a amarillo claro, hasta 3 cm de largo (Figura 3).

De acuerdo con la guía de color de Kornerup & Wanscher (1963) y modificado del trabajo de Vite-Posadas (2005), el color de la pigmentación foliar (Cuadro 3) comprende la pigmentación del haz y envés tanto de las brácteas como de las hojas. Debido a que el color no es uniforme a lo largo de la lámina, ésta se divide en tres secciones: basal, media y apical.





Figura 3. Hábito terrestre de *Tillandsia imperialis* en Huayacocotla, Veracruz (Fotografía J. C. Ramírez-Martínez)

Material examinado:

MÉXICO. HIDALGO: Mpio. **Agua Blanca de Iturbide:** Cerro de las Cruces, Agua Blanca, 22 de febrero 1964, *L. González Quintero 390a* (MEXU); **San Agustín Metzquitlán:** Predio Casas Viejas, 7 de febrero 2009, *J. Ceja et al. 1969* (UAMIZ); Mpio. **San Bartolo Tutotepec:** Camino a San Bartolo Tutotepec 8 de diciembre 2011 *C. T. Hornung-Leoni 1256* (HGOM); Mpio. **Tenango de Doria:** 20-21 km al noreste de Metepec, 2220 msnm, 24 de marzo 1984, *S. Koch 842* (MEXU); km 18 carretera Metepec-Tenango de Doria, 2200 msnm, 9 de febrero 1985, *P. Vera 10* (ENCB); Mpio. **Tianguistengo:** 1 km sobre el camino a Tianguistengo, 17 de noviembre 2001, *A. Mendoza R. & J. Ceja 607* (UAMIZ); Mpio. **Tlanchinol:** Apantlazol, 8 km al O de Tlanchinol, 19 de abril 2004, *Diana Castillo-Gutiérrez 175* (MEXU); Rancho Cuatempa, 9 de abril 2008, *Israel Garrido Jiménez 18, 19* (HGOM); Tlanchinol, 5 km al N, 8 de noviembre 2008, *J. C. Ramírez-Martínez 52* (FCME); 2 km al N



de Tlanchinol, por la carretera a Huejutla, terrenos al E, en cañada, 14 de Julio 2009, *J. C. Ramírez-Martínez* 69 (FCME); Mpio. **Xochicoatlán**: Coachula, 25 de octubre 2008, *A. G. Pintado-Peña* 40 (HGOM); Mpio. **Zacualtipán de Ángeles**: 3.5 km después de Tlahuelompa, rumbo al "El Reparó", cruce con la Carretera Zacualtipán-Mezquititlán, 9 de septiembre 2003, *A. Espejo-Serna et al.* 6661 (UAMIZ); "El Reparó", aproximadamente a 3.5 km al SO de Tlahuelompa, 15 de noviembre 2008, *J. C. Ramírez-Martínez* 55 (FCME); carretera a ca. 1 km después de Zacualtipán sobre la desviación a Tianguistengo, 20 de abril 2001, *J. Ceja et al.* 1841 (UAMIZ); El Reparó, Camino a Tizapán, 25 de septiembre 2008, *A. G. Pintado-Peña* 335 (HGOM); El Reparó, Camino a Tizapán, 25 de septiembre 2008, *I. Garrido Jiménez* 20, 21, 22 (HGOM); Zacatlamaya 1480 msnm, 26 de mayo 1944, *F. Miranda* 3252 (MEXU); **OAXACA**: Mpio. **Capulálpam de Méndez**: "El Embudo", cerca de los límites con Xiacuí, 30 de enero 2007, *Gonzalo Juárez García et al.* 3076 (MEXU); sureste del Río Natividad, 2 de octubre 2002, *Sandra Figueroa Brito & Flora Yadira Guzmán Rivera* 307 (MEXU); sureste del Río Natividad, 4 de octubre 2002, *Sandra Figueroa Brito & Flora Yadira Guzmán Rivera* 336 (FCME); Mpio. **Ixtlán de Juárez**: 21.3 km al N de Ixtlán, sobre la carretera Ixtlán-Tuxtepec, 12 de abril 2004, *Carolina Granados M.* 258 (MEXU); Distrito de Ixtlán, Sierra de Juárez; camino que va a Llano Verde, a 16 km al NE de Calpulalpan de Méndez, 15 de abril 1982, *David H. Lorence et al.* 4022 (MEXU); Mpio. **Mazatlán Villa de Flores**: San Pedro de los Encinos, 22 de noviembre 2001, *Xóchitl Munn-Estrada & F. Mendoza* 1657 (MEXU); Mpio. **San Andrés Yaá**: Distrito de Mixe, 10 km al O de Totontepec, carr. Villa Alta, 25 de mayo 1986, *Rafael Torres C. & E. Martínez* 8549 (IEB); Mpio. **San Felipe Usila**: Cuenca del Río Perfume (ladera O), 6.9 km, en línea recta al sur de Santa Cruz Tepetotutla, 18 de mayo 1994, *C. Gallardo et al.* 1077 (MEXU); Mpio. **San Ildefonso Villa Alta**: México, Vera Cruz B. P. *Reko* 4013 ([S. & D., 1979] en US) Mpio. **San**



Juan Tepeuxila: Distrito Cuicatlán, Arroyo La Primera Toma, (transecto 3) hacia llano Chiflido, por Arroyo Paloma, San Juan Teponaxtla, 18 de Julio 2002, *Rafael Torres Colín 16207* (MEXU); Distrito Cuicatlán, El Mirador, San Juan Teponaxtla, 16 de mayo 2002, *Rafael Torres Colín 16076* (MEXU); Mpio. **San Miguel Santa Flor:** El Sabino, 12 de abril 2014, *Bravo-Avilez D. et al. 403* (MEXU, UAMIZ); Mpio. **San Lucas Zoquiápam:** Cerro de San Martín, 20 de febrero 2013, *Bravo-Avilez D. et al. 65* (MEXU, UAMIZ); Mpio. **Santiago Comaltepec:** 11 km después de la desviación a San Pedro Yólox, rumbo a “La Esperanza”, carretera Oaxaca-Tuxtepec, 20 de noviembre 2003, *A. Espejo-Serna et al. 6680* (UAMIZ); entrada a San Isidro Yólox, 58 km al N de Ixtlán, o 10 km al S de “La Esperanza”, 9 de diciembre 1993, *Álvaro Campos-Villanueva et al. 5139* (MEXU); Ruta 175, Tuxtepec a Oaxaca, c. a. 9.2 km al N de la desviación a Yólox, 7 de abril 1981, *R. Cedillo T. et al. 665* (MEXU); Mpio. **Teotitlán de Flores Magón:** about 15.7 miles east of Teotitlán del Camino along road to Sta. María Chichotla and Huautla de Jiménez, 8 de agosto 1987, *John & Kathy Utley 8059* (USF); Mpio. **Totontepec Villa de Morelos:** Distrito Mixe, Totontepec, 17 de abril 1990, *José Rivera Reyes & Gary J. Martin 1454* (MEXU); 8 km al N de la desviación a San Juan Andrés Yaá, la desviación está a 3.7 km al N de San Miguel Metepec, 8 de abril 1984, *Rafael Torres C. & Cipriano Martínez 4983* (MEXU); Distrito Mixe, 3 km al SO de Totontepec, carretera a Mitla, 6 de septiembre 1986, *Rafael Torres C. & Cipriano Martínez 9068* (MEXU); Distrito Mixe, Totontepec, 17 de julio 1994, *José Rivera Reyes 3158* (MEXU, SERBO); 4 km sobre la terracería Totontepec-Villa Alta, Distrito Mixe, 18 de enero 1986, *Abisaí García Mendoza & R. Torres 2028* (MEXU); Distrito de Mixe, near summit of hill just W of road between Ayutla and Totontepec, on trail starting ca. 1 km N of turn off to Villa Alta, 5 de mayo 1986, *Roy E. Gereau et al. 2088* (MEXU); Mpio. **San Miguel Yotao:** Por el camino real de Yotao a Cacalotepec, pasando el "Llano Machín", 18 de junio 1997, *Xóchitl*



Munn-Estrada et al. 343 (OAX); **PUEBLA**: Mpio. **Atzitzintla**: Xuchi, Base de l'Orizaba enero 1908, *Arséne 1922*, (MO); Mpio. **Coxcatlán**: above Teotitlán del Camino road to Huautla, 3 de agosto 1961, *C. E. Smith, Jr. et al. 4198* (MEXU); aproximadamente 30 km al NE de Coxcatlán, rumbo a Coyomeapa, a partir del camino Tehuacán-Teotitlán del camino, 22 de noviembre 1992, *J. Santana C. et al. 455* (UAMIZ); comprada en el mercado, colectada en el Cerro Coy, 7 de enero 2001, *E. Martínez S. & V. Torres H. 33498* (MEXU); 2 km delante de Pala, 5 de marzo 2014, *Medina Lemos, Rosalinda et al. 5842*, (MEXU); Mpio. **Coyomeapan**: Mototepec, a 4.5 km al SW de Coyomeapan, 30 de diciembre 1988, *Pedro Tenorio L. 15400* (MEXU, UAMIZ); Mpio. **Huauhinango**: cultivada, procedente de Huachinango, Puebla, 5 de enero 1953, *E. Matuda 28089* (MEXU); Mpio. **Izúcar de Matamoros**: Mercado de Ayutla, Procedente de Ayutla, 24 de octubre 1987, *Gary J. Martin 212* (MEXU); Mpio. **Teziutlán**: 2 km al NO de Aire Libre, carretera a Hueyapan, 8 de julio 1988, *J. L. Contreras J. 5341* (HUAP); Rancho "La Hoja", aproximadamente a 8 km de Teziutlán Carretera a Tlapacoyan, 25 de febrero 1995, *L. Tonácatl M. S.N.* (UAMIZ); Mpio. **Vicente Guerrero**: Municipio Vicente Guerrero. 5 km delante de Tepezintla, 0.5 km después de la desviación a San José Cuatotolapan, 4 de diciembre 2012, *M. Miguel-Vázquez et al. 196*, (MEXU, UAMIZ); Mpio. **Zoquitlán**: iglesia de San Francisco en Tehuacán, proviene de las montañas de Zoquitlán, 13 de diciembre de 2014, *A. García-Mendoza et al. 10561*, (MEXU); **SAN LUIS POTOSÍ**: Mpio. **Xilitla**: A 3.5 km del camino de La Trinidad a Miramar Viejo, 29 de abril 2018, *J. C. Ramírez-Martínez 79* (FCME); **QUERÉTARO**: Mpio. **Jalpan de Serra**: 4-5 km al poniente de "La Parada", 5 de julio 1990, *Benito Servín 326* (IEB); Mpio. **Landa de Matamoros**: El Banco, 1-5 km al SE de la Yesca, 17 de abril 1989, *Hiram Rubio 576* (IEB); El Banco, 1-5 km al SE de la Yesca, 26 de enero 1992, *Hiram Rubio 2176* (IEB); Joya del Hielo y alrededores, 17 de agosto 1996, *S. Zamudio & E. Pérez C. 9912* (IEB,



UAMIZ); Llano Chiquito, 1-2 de abril 1997, *S. Zamudio & E Carranza 10222* (IEB, UAMIZ);

VERACRUZ: Mpio. **Acajete:** Al N de “La Joya”, 9 de diciembre 1969, *F. Ventura A. 196* (ENCB); Al N de “La Joya”, 9 de diciembre 1969, *F. Ventura A. 197* (IEB, ENBC); Mpio. **Acatlán:** Cerro Acatlán, between Acatlán and Naolinco, 15 km N of Jalapa on N slope, 5 de enero 1993, *P. Hietz y U. Seifert 1007* (XAL); Mpio. **Acultzingo:** “Aculcingo”, 3 de noviembre 1955, *E. Matuda 32622* (MEXU); vicinity of Puerto del Aire on MEX 105 libre W of Acultzingo, 26 de diciembre 1987, *John & Kathy Utley 8138* (USF); alrededores de Puerto del Aire, por la brecha al Sumidero, 26 de abril 2004, *A. Espejo-Serna et al. 6748* (UAMIZ); km 28 de carretera Tehuacán-Orizaba, Puerto del Aire, 15 de abril 1989, *Luis Fdo. Gallardo C. 31* (UAMIZ); km 28 de carretera Tehuacán-Orizaba, Puerto del Aire, 15 de Abril 1989, *Eréndira Moya Moya 40* (UAMIZ); km 28 de carretera Tehuacán-Orizaba, Puerto del Aire, 15 de mayo 1992, *A. Espejo-Serna & A. R. López Ferrari 4792* (UAMIZ, XAL); km 27 de la carretera Tehuacán-Orizaba, Puerto del Aire, 11 de diciembre 2005, *N. Martínez C. et al. 19* (UAMIZ); Km 28 de carretera Tehuacán-Orizaba, Puerto del Aire, 10 de diciembre 2005, *N. Martínez C. et al. 19* (UAMIZ); Mpio. **Alto Lucero de Gutiérrez Barrios:** En el cerro de la cima entre Plan de las Hayas y Tierra Blanca, 19 de agosto 1981, *G. Castillo C. & H. Narave 2156* (XAL); Mpio. **Coatepec:** 5 km al NW de 5 Palos, 4 de diciembre 1993, *V. E. Luna M. 841* (XAL); Debajo de Mesa de los Laureles rumbo a Tierra Prieta, 30 de agosto 1986, *M. Cházaro B. y P. Hernández de Cházaro 3990* (XAL); Loma Alta, 11 de diciembre 1993, *ND 1007* (XAL); Mpio. **Chiconquiaco:** 6 km al NE de Chiconquiaco, camino a Vaquerías, 17 de junio 1988, *I. Pérez G. & L. Orea 398* (XAL); Buena Vista, 17 de enero 1989, *C. Gutiérrez B. 3462* (XAL); Buena Vista, 11 de noviembre 2001, *Luz del Carmen Navarro-Pérez 380* (XAL); Ejido La Guacamaya al SW de Chocoyul, 29 de septiembre 1989, *G. Castillo-Campos 5465*, (MEXU, XAL); Mpio. **Huayacocotla:** Along Huayacocotla-Zontecomatlán



road, vic. Cerro Corcovado, 4 km (by air) N of Huayacocotla, 27 de abril 1983, *M. Nee y K. Taylor* 26904 (XAL); Camino a Rancho Nuevo, 08 de marzo 1972, *Rafael Hernández Magaña* 1564 (MEXU); Cañada del Rio Helechales, 10 de febrero 1980, *F. Ramírez R.* 569 (XAL); cerca de Huayacocotla, 20 de febrero 1971, *R. Hernández & R. C. Trigos* 1034 (MEXU); rumbo a la Capilla de la Virgen de las Bromelias, aprox. 2 km al ENE de Huayacocotla, 23 de febrero 2005, *Dafne Saavedra-Millán et al.* 68 (FCME); Mpio. **Juchique de Ferrer**: Cerro de Villa Rica ca. de Nuevo Mundo, 7 de mayo 1981, *G. Castillo C. et al.* 1881 (MEXU, XAL); Mpio. **Landero y Coss**: carretera a Misantla, 17 de Julio 1976, *P. E. Valdivia Q.* 2218 (ENCB, XAL); Mpio. **Las Minas**: north of Perote-Xalapa highway along to Las Minas, 20 de abril 1984, *John & Kathy Utley* 7449 (USF); Mpio. **Tonayan**: Entre Monte Real y Pocitos, noviembre 1979, *M. Cházaro B.* 1247 (XAL); Mpio. **Xico**: Pequeña cañada entre Tonalco y Coxmatla, 8 de octubre 1986, *M Cházaro B. & P. Hernández de Cházaro* 4040 (USF); Barranca del Caracol, Ingenio del Rosario, 19 de febrero 1998, *A. Flores-Palacios s/n* (XAL); camino de Herradura, Ingenio del Rosario a Xico, 21 de enero 1989, *Pedro Tenorio L.* 15503 (MEXU); Ingenio El Rosario, 12 de abril 1983, *H. Narave F.* 297 (XAL); La Pandura, camino del Ingenio El Rosario a Xico, 12 de abril 1983, *H. Narave F.* 325 (MEXU, XAL); Mpio. **Yecuatla**: Paz de Enríquez, 26 de junio 1990, *C. Gutiérrez B.* 4040 (XAL); **Sin Municipio**: Region d'Orizaba, 15 de mayo 1866, *Bourgeau, M.* 2389 (K(2), LE, P); **Sin Localidad**: México, Puebla, Córdoba, 10 de abril 1912, *Nicolas* 10023 (P); "México", s/f, *Sessé & Mociño* 909 (MA).

6.2. Distribución

Distribución: **MÉXICO. Hidalgo**, Municipios: Acaxochitlán, Agua Blanca de Iturbide, Eloxochitlán, Juárez Hidalgo, Lolotla, Molango de Escamilla, San Agustín Metzquitlán, San



Bartolo Tutotepec, Tenango de Doria, Tepehuacán de Guerrero, Tianguistengo, Tlanchinol, Tlahuiltepa, Xochicoatlán, Zacualtipán de Ángeles; **Oaxaca**, Municipios: Capulálpam de Méndez, Ixtlán de Juárez, Huautla de Jiménez, Mazatlán Villa de Flores, Mixistlán de la Reforma, Natividad, San Andrés Yaá, San Felipe Usila, San Francisco Chapula, San Ildefonso Villa Alta, San Juan Tepeuxila, San Juan Quiotepec, San Jeronimo Teceatl, San Miguel Santa Flor, San Lucas Zoquiápan, San Martín Toxpalan, San Juan Juquila Vijanos, San Jerónimo Tecóatl, San Miguel Yotao, San Pablo Macuiltianguis, San Pedro Yaneri, San Pedro Yólox, Santa María Teopoxco, Santiago Comaltepec, Santiago Texcalcingo, Teotitlán de Flores Magón, Totontepec Villa de Morelos; **Puebla**, Municipios: Ahuacatlán, Atzitzintla, Ajalpan, Chichiquila, Chiconcuatla, Coxcatlán, Coyomeapan, Cuautempan, Huitzilán de Serdán, Honey, Huauchinango, Hueyapan, Hueytamalco, Naupan, Tetela de Ocampo, Pahuatlán, Quimixtlán, Tepetzintla, Teziutlán, Tlatlauquitepec, Vicente Guerrero, Xochitlán de Vicente Suárez, Xiutetelco, Xochiapulco, Yaonáhuac, Zacatlán, Zacapoaxtla, Zongozotla, Zoquitlán; **Querétaro**, Municipios: Jalpan de Serra, Landa de Matamoros; **San Luis Potosí**, Municipio: Xilitla; **Veracruz**, Municipios: Acajete, Acatlán, Acultzingo, Alto Lucero de Gutiérrez Barrios, Altotonga, Astacinga, Atlahuilco, Atzalan, Banderilla, Chiconquiaco, Coatepec, Coscomatepec, Huayacocotla, Ixhuacán de los Reyes, Jalacingo, Juchique de Ferrer, Landero y Coss, Las Minas, Las Vigas de Ramírez, Miahuatlán, Naolinco, Orizaba, Nogales, Tatatila, Tlacolulan, Tlaquilpa, Tehuipango, Tepetlán, Texcatepec, Tlalnelhuayocan, Tlacolulan, Tonayán, Xico, Yecuatla, Zacualpan.

Intervalo altitudinal: 1350-2820 m s. n. m.

Tipos de vegetación: Bosque de pino, Bosque de encino; bosque de pino-encino, bosque de encino-pino y bosque mesófilo de montaña.



6.3. Fenología

Si bien algunos autores mencionan una estacionalidad marcada, como es el caso de Gardner (1982), que afirma que la floración se lleva a cabo únicamente entre los meses de diciembre a febrero, otros como Hiertz (1994) señalan una época de floración desde agosto hasta enero y durante mayo. Por otro lado, Padilla (1986) indica la presencia de flores sólo en primavera y otoño, mientras que Cházaro (1997) la reporta de diciembre a marzo y a veces en abril. Otros trabajos regionales como el de Granados (2005) para la Sierra de Oaxaca registran individuos en floración entre los meses de abril y junio. La revisión de ejemplares realizada para este trabajo determinó que florecen y fructifican casi todo el año y más marcadamente durante el invierno.

Gardner (1986a, b) menciona que las flores abren desde las primeras horas de la mañana al mediodía, secretando néctar de la base del estilo y exudando un líquido viscoso entre las flores.

Cuadro 3. Pigmentación de las estructuras de la lámina de la hoja y brácteas de *Tillandsia imperialis* de acuerdo con la guía de color de Kornerup y Wanscher (1963) modificado de Vite-Posadas (2005)

Estructura	Sección	Coloración según Kornerup y Wanscher (1963)	
Hojas		Haz	Envés
	Apical	Rojo 11E08, 11E07	
	Media	Verde 30D07, 30D08	
	Basal	Transición entre Amarillo 1A02, 2A02 a Cian 10D08, 12E08, 14F05 y 15F05	
Brácteas		Haz	Envés
	Apical	Rojo 9A08, 9C08	
	Media	Rojo 9A08, 9C08 a Rosa 8A03	
	Basal	Amarillo 1A02	



6.4. Hábitat

Diversos autores concuerdan en que *Tillandsia imperialis* es una especie de ambiente “mesófilo” (Espejo-Serna et al., 2004; Vite-Posadas, 2005), aunque también se distribuye en bosque de encino, bosque de pino y combinaciones de los anteriores (Haeckel 2008, 2009). Se puede encontrar la especie como epífita de diversas especies de árboles, entre las que destacan especies de *Pinus* y *Quercus*. López et al. (2014) la señalan como epífita en los manchones remanentes de bosque de *Fagus grandifolia* Ehrh. subsp. *mexicana* (Martínez) A. E. Murray de igual forma es señalado por F. Miranda en sus colectas. Los límites altitudinales de la especie de acuerdo con Espejo-Serna et al. (2004) son de los 800 a los 2600 msnm, presentándose más frecuentemente a los 2000 msnm. Otros autores difieren en la cota altitudinal superior, como Rauh (1979) quien la registra los 2400 msnm, Véliz (2010) a los 2700 msnm, Granados (2005) a los 2780 msnm y Hietz & Hietz-Seifert (1994) a los 3000 msnm. De acuerdo con la revisión de ejemplares de herbario para este trabajo se determinó que el intervalo altitudinal corresponde entre 1350 m s. n. m. (*Benito Servín* 326 (IEB) en Jalpan de Serra, Querétaro, 4-5 km al poniente de "La Parada") y 2820 m s. n. m. (*A. Flores-Palacios* s/n (XAL) en Xico, Veracruz, Barranca del Caracol, Ingenio del Rosario).

6.5. Interacciones

De forma general muchas de las especies de la familia Bromeliaceae tienen importancia ecológica, ya que son los principales elementos epífitos dentro de varios tipos de vegetación. Así mismo las adaptaciones que poseen les permiten ser hábitats únicos para diversas especies animales, así como otros microorganismos (Espejo-Serna et al. 2007).



Son capaces de albergar una biota muy rica principalmente artrópodos, crustáceos e insectos, aunque también pueden encontrarse anélidos y hasta anfibios (Kitching, 2001). Las bromelias como *Tillandsia imperialis* son capaces de albergar agua, característica compartida con muchas de las especies de la subfamilia Tillandsioideae. La presencia de escamas en la epidermis (tricomos peltados absorbentes) tanto en las hojas como en las brácteas florales les permite una captura eficaz de humedad ambiental (Benzing, 2000) lo que les permite tener una gran capacidad de almacenamiento de agua.

Existen estudios en México que recopilan la fuerte asociación de las bromelias con otros organismos como los de Palacios-Vargas (1981), Murillo et al. (1983) y Cruz-García et al. (2010). Entre los estudios sobre la relación insectos-plantas destacan los realizados con macro-artrópodos para varias especies del género *Tillandsia* de Oaxaca por Franco (2008), de Veracruz por Guzmán-Jacob (2013) y de Hidalgo por Hornung-Leoni et al. (2013) sobre *T. deppeana* Steud. del municipio de La Misión; además de los trabajos de colémbolos de Palacios-Vargas et al. (2002, 2012 respectivamente) de *T. violacea* Baker en el Parque Nacional “El Chico” y *T. imperialis* para el municipio de Zacualtipán de Ángeles.

6.6. Usos y nombres comunes

Se han reportado diversos usos para *Tillandsia imperialis*. Los primeros trabajos que señalaron su uso ornamental en las festividades navideñas en México son los de Foster (1952) y Padilla (1960). En el estado de Veracruz Espejo-Serna et al. (2005) ha reportado su uso ornamental para los municipios de Landero y Coss, Tonayán y Yecuatla. El uso de la especie para la realización de arcos florales en el centro de Veracruz ha sido ampliamente estudiado por Haeckel (2008, 2009). Para el estado de Oaxaca otros autores señalan su



uso ornamental y religioso (Granados, 2005) y en silvicultura por Jiménez et al. (2014). Otros usos reportados para *T. imperialis* en el estado de Chiapas son ceremonial y religioso por Díaz et al. (2011) y en rituales por Palacios (2017a,b). También se han reportado usos comestible, al parecer se hierva y se prepara una bebida en la zona de la Huasteca Hidalguense (Villavicencio-Nieto & Perez-Escandón, 2005) y de acuerdo con Espejo-Serna et al. (2005) en Acultzingo, Veracruz las plantas se comen posiblemente como verdura, otro uso de gran importancia es el medicinal, Vite-Posadas (2005) evaluó la actividad antimicrobiana de los extractos crudos obtenidos de las inflorescencias y hojas de *T. imperialis*, revelando actividad contra microorganismos patógenos de vías respiratorias.

Los nombres comunes reportados para *Tillandsia imperialis* en México de acuerdo con Espejo-Serna et al. (2010) son: *kets tekum*, *tonun kux* (para la región mixteca Oaxaqueña) y *súchil* y *tencho* para la zona del Bajío. Para el estado de Veracruz se le conoce como: *pitaya* y *súchil* (Espejo-Serna et al., 2005), mientras que para Querétaro en los municipios de Landa de Matamoros y Jalpan de Serra es conocida como *lirio* o *tinaja*. Otros nombres reportados en Chiapas son *niluyarilo*, *cob* o *flor del niño* de acuerdo con Palacios (2017b). En la revisión de colectas de herbario se detectaron para la región mixteca oaxaqueña el nombre de *flor de vela* y en lengua mixteca se le denomina *ita xume*. Finalmente durante las colectas de este trabajo se detectó que en el municipio de Huautla de Jimenez, Oaxaca, se le conoce como *zoluche*.

6.7. Registros de *T. imperialis*

La obtención de registros de *Tillandsia imperialis* contempló la revisión de todos los ejemplares de herbario disponibles. De esta manera se consultaron 85 ejemplares alojados



en 22 colecciones. Los registros de herbario se graficaron conforme el año en que fueron colectados los individuos (Figura 4).

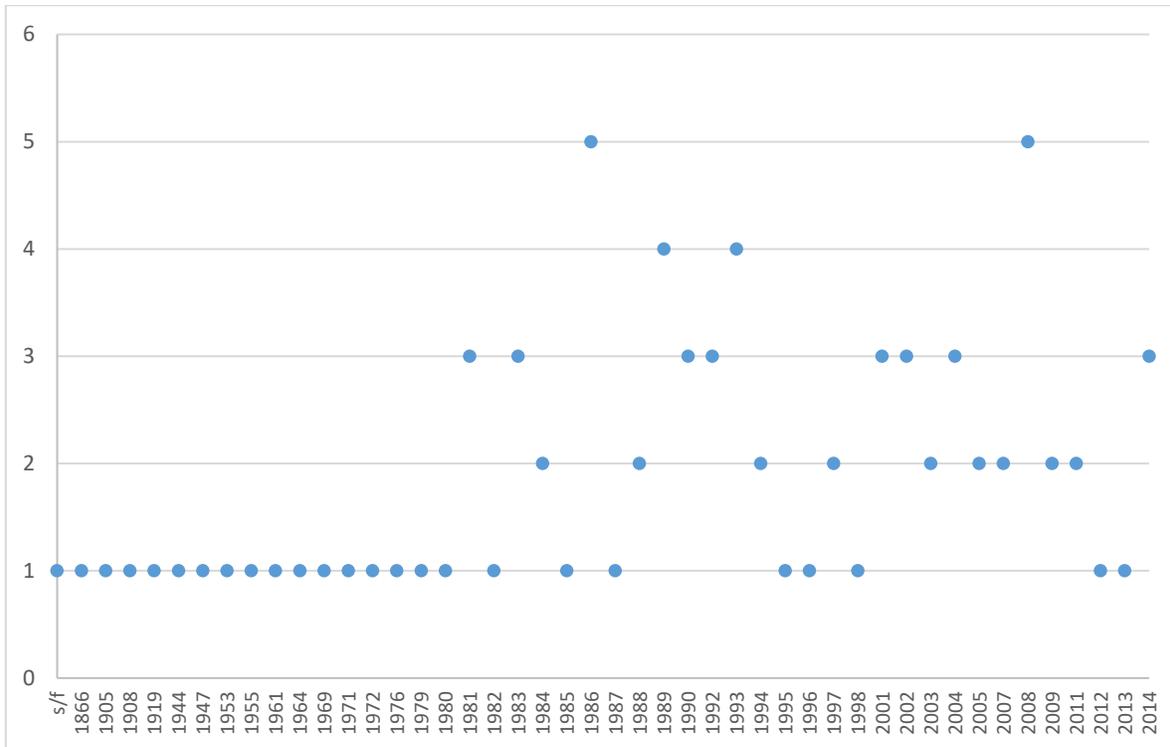


Figura 4. Años de colecta de los ejemplares encontrados en los herbarios consultados

Las localidades que incluían datos de georreferencia fueron proyectadas en ArcMap 10.3 (2010). De los 85 registros obtenidos de las etiquetas de colecta, 19 de ellos presentaron datos insuficientes para ser georreferenciados (Figura 5). De los 66 registros restantes, las coordenadas proporcionadas por el colector de 15 de ellos no corresponden con la descripción de la localidad (Figura 6), por lo que se procedió a rectificar la georreferenciación.



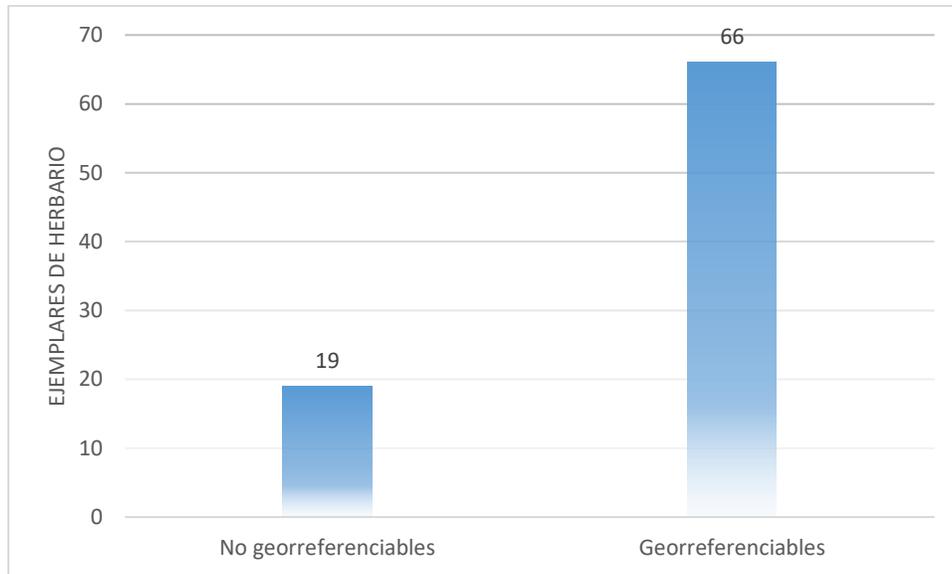


Figura 5. Relación de datos georreferenciados de las etiquetas de colecta de los registros de herbario de *Tillandsia imperialis*

Posteriormente a la selección al azar de localidades georreferenciadas (Tabla 1), se procedió a comprobar su presencia en el campo mediante búsquedas exhaustivas en las inmediaciones de las localidades descritas por el colector tomando en su caso como base las coordenadas geográficas sugeridas por el colector. El trabajo de campo arrojó la existencia de poblaciones de la especie en once de las localidades visitadas, a excepción de una localidad (Hidalgo, Municipio Huasca de Ocampo “Rancho Santa Elena” 11 de marzo del 2011 *C. T. Hornung-Leoni 1225*, HGOM), donde la revisión exhaustiva del área descrita en la localidad y siguiendo las coordenadas indicadas en la etiqueta de colecta así como revisión en las áreas aledañas no arrojó avistamiento de la especie, por lo que éste último registro no fue considerado para el análisis de datos.



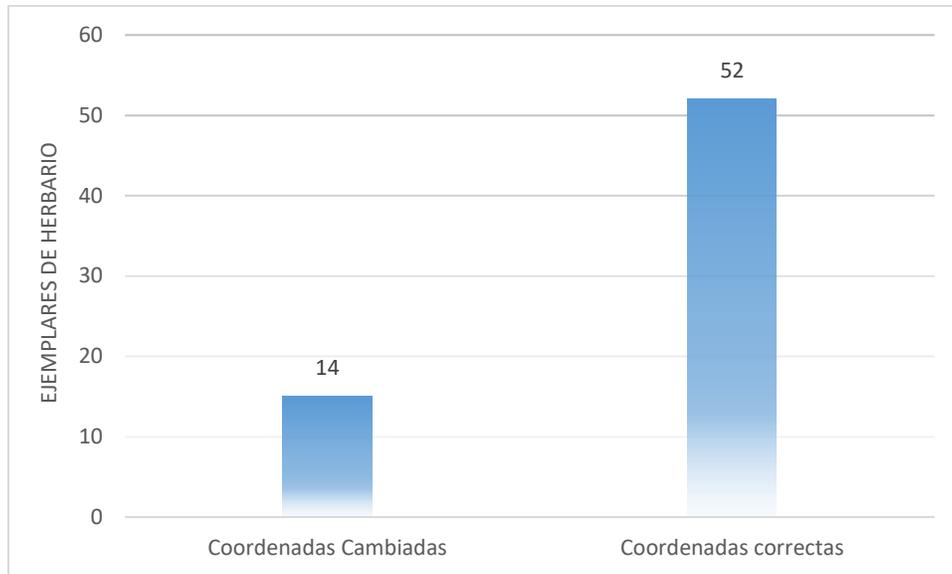


Figura 6. Relación de coordenadas de ejemplares de herbario que no correspondían con la descripción de la localidad de colecta de los registros de *Tillandsia imperialis*

Sólo los registros posteriores al año 1981 fueron informativos para obtener georreferencias confiables, lo cual indica que aproximadamente el 20% de los registros de herbario no se pudieron utilizar para generar el área de distribución conocida o para su posterior análisis.

Posteriormente se categorizaron las localidades únicas de colecta obtenidas de los registros de herbario para su georreferenciación final y adición a la base de datos utilizada para el análisis de modelado de la distribución (Figura 7). A partir de estos datos se generó una base de datos de distribución, a partir de la cual se desarrolló un mapa de distribución conocida de *Tillandsia imperialis*, que después se utilizó para la modelación de la distribución.



Tabla 1. Registros de herbario elegidos al azar para corroborar la presencia en las localidades de *Tillandsia imperialis*

Localidad	Estado	Municipio	Fecha	Colector (es)	# Colecta	Herbario
Zacatlamaya	Hidalgo	Zacualtipán de Ángeles	26/05/1944	Faustino Miranda	3252	MEXU
Camino a Rancho Nuevo	Veracruz	Huayacocotla	08/03/1972	Rafael Hernández Magaña	1564	MEXU
Kilómetro 27 de la carretera Tehuacán-Orizaba. Puerto del Aire	Veracruz	Acultzingo	11/12/2005	N. Martínez C. et al.	19	UAMIZ
1 km sobre el camino a Tianguistengo	Hidalgo	Zacualtipán de Ángeles	17/11/2001	A. Mendoza R. & J. Ceja	607	UAMIZ
Carretera ca. 1 km después de Zacualtipán sobre a desviación a Tianguistengo	Hidalgo	Zacualtipán de Ángeles	20/04/2007	J. Ceja et al.	1841	UAMIZ
Alrededores de Puerto del Aire, por la brecha al Sumidero	Veracruz	Acultzingo	26/04/2004	A. Espejo-Serna et al.	6748	UAMIZ
3.5 km después de Tlahuelompa, rumbo al Reparó, cruce con la carretera Zacualtipán-Metzquititlán	Hidalgo	Metzquititlán	09/09/2003	A. Espejo-Serna et al.	6661	UAMIZ
Rancho Cuatempa	Hidalgo	Tlanchinol	09/04/2008	Israel Garrido Jiménez	18	HGOM
El Reparó, Camino a Tizapán	Hidalgo	Zacualtipán de Ángeles	25/09/2008	A. G. Pintado-Peña	35	HGOM
Coachula	Hidalgo	Xochicoatlán	25/10/2008	A. G. Pintado-Peña	40	HGOM
Rancho Santa Elena	Hidalgo	Huasca de Ocampo	11/03/2011	C. T. Hornung-Leoni	1225	HGOM
Sureste del Río Natividad	Oaxaca	Ixtlán de Juárez	04/10/2002	Sandra Figueroa Brito & Flora Yadira Guzmán Rivera	336	FCME
Camino a San Bartolo Tutotepec	Hidalgo	Tenango de Doria	08/04/2011	C. T. Hornung-Leoni	1256	HGOM



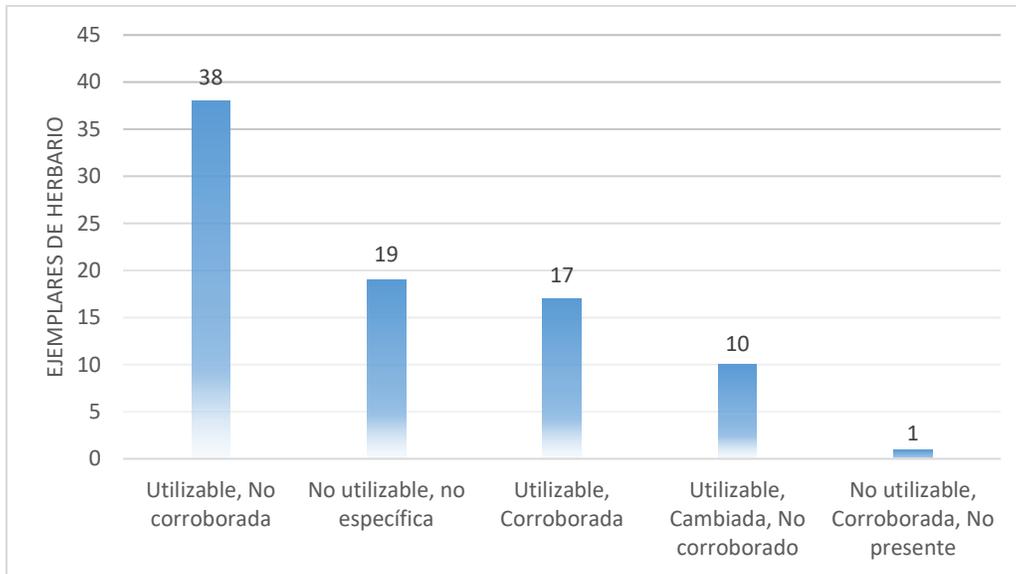


Figura 7. Categorías de registros de colecta para las localidades de los ejemplares de herbario de *Tillandsia imperialis*, para su uso en el modelado de la distribución.

6.8. Resultados del MER

6.8.1. Criterio A. Características de la distribución geográfica

6.8.1.1. Extensión de la distribución

6.8.1.1.1. Modelado de la distribución con MaxEnt

Para el modelado con MaxEnt se generó el mapa de probabilidades de ocurrencia (Figura 8). Dado que el objetivo de este trabajo es presentar un mapa final que muestre una distribución binaria, se empleó el umbral MaxTSS (0.604), Maximum training sensitivity plus specificity (Liu et al., 2013) que a su vez correspondió a un área donde se incluyen 75% de los registros de presencia para generar el modelo.



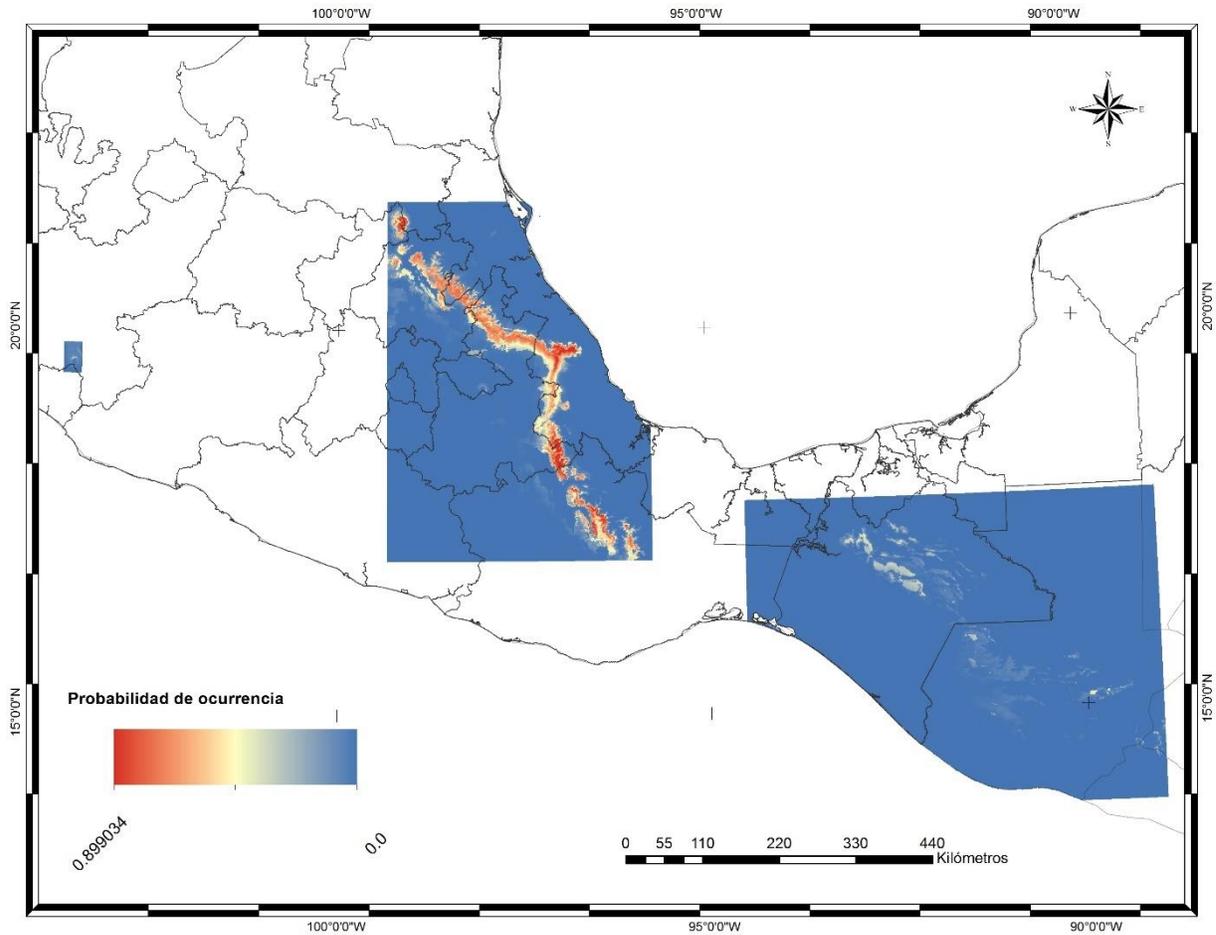


Figura 8. Valores de probabilidad de ocurrencia de *Tillandsia imperialis* obtenidos de la modelación con MaxEnt

6.8.1.1.2. Evaluación del modelo

El diagrama ROC identifica el punto en la curva en la cual la convergencia de la sensibilidad y de la especificidad se maximiza, los valores de probabilidad van de 0 a 1, indicando 0 baja probabilidad y 1 alta probabilidad. Así, en este caso, los valores indican un buen funcionamiento y la alta probabilidad de obtener positivos y negativos verdaderos de presencia/ausencia en las áreas predichas por los modelos. La evaluación dio como



resultados un valor ROCparcial (AUC) = 0.9736569 (Figura 9) donde el AUC ratio es igual a 1.947597 y un p -value = 0

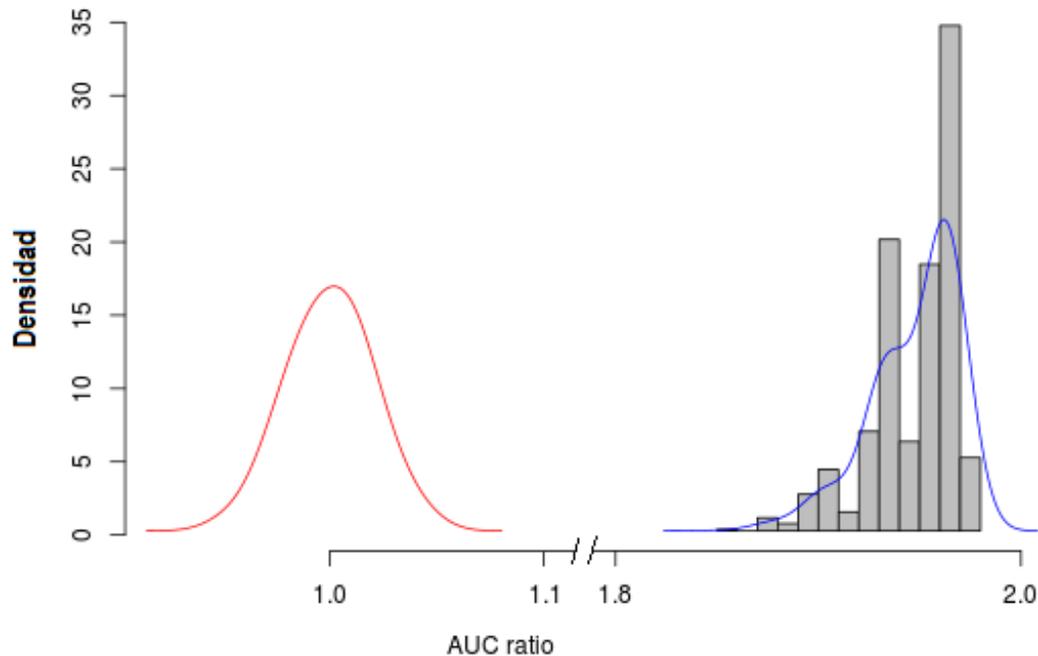


Figura 9. Diagrama del valor de la ROCparcial, modelo nulo (distribución en rojo), la distribución esperada generada con 50% de los puntos para generar el modelo (distribución en azul). Valor del AUC ratio es igual a 1.947597 y un p -value = 0

6.8.1.1.3. Corroboración del modelo en campo

Una vez obtenido el modelado de la distribución, se identificaron áreas donde la distribución puntual representa una discontinuidad con respecto al modelado de la distribución (Figura 10). Con la finalidad de descubrir nuevas poblaciones de la especie, se realizaron visitas al campo para corroborar su presencia y llevar a cabo recolectas para ser incluidas en las colecciones de herbario (Tabla 2). Con los datos georreferenciados de las localidades visitadas, se complementó la base de registros puntuales de la especie con las



observaciones realizadas en campo, así como las localidades visitadas para la corroboración del modelo.

Tabla 2. Localidades visitadas para la colecta de ejemplares, previo y posterior al modelado de la distribución de *Tillandsia imperialis*.

Localidad	Estado	Municipio	Descripción
Medio Monte	Hidalgo	San Bartolo Tutotepec	Localidad visitada previo al modelado
Tecolatzá, Carretera a Chicamole	Hidalgo	San Bartolo Tutotepec	Localidad visitada previo al modelado
5km al E de Tlanchinol, camino a Apantlazol	Hidalgo	Tlanchinol	Localidad visitada previo al modelado
1 km al Norte de El Reparó	Hidalgo	Zacualtipán de Ángeles	Localidad visitada previo al modelado
Puerto Soledad	Oaxaca	Teotitlán de Flores Magón	Localidad visitada a partir del modelado
Cerro del Colihui, Ejido Atoluca	Puebla	Hueytamalco	Localidad visitada a partir del modelado
Carreraco, Barranca del Toro	Puebla	Tetela de Ocampo	Localidad visitada a partir del modelado
Cerro Miqueco	Puebla	Tetela de Ocampo	Localidad visitada a partir del modelado
500 mts sobre el camino de Coyocala a San Jerónimo, Ladera Norte	Hidalgo	Tlahuiltepa	Localidad visitada a partir del modelado
Xochititán	Puebla	Tetela de Ocampo	Localidad visitada a partir del modelado
1 km al Este de camino a Tatahuicapan, límite municipal entre Teziutlán y Hueytamalco	Puebla	Teziutlán	Localidad visitada a partir del modelado
2.5 km al sureste de Chiconquiaco, pasando El Tejocotal sobre ladera	Veracruz	Chiconquiaco	Localidad visitada a partir del modelado
1 km sobre el sendero al Norte de La Trinidad	San Luis Potosí	Xilitla	Localidad visitada a partir del modelado
3.5 km del camino de La Trinidad a Miramar Viejo	San Luis Potosí	Xilitla	Localidad visitada a partir del modelado
Zona del Parque Nacional Los Mármoles	Hidalgo	Jacala de Ledezma	Localidad visitada a partir del modelado, especie no registrada
Rancho Santa Elena	Hidalgo	Huasca de Ocampo	Localidad visitada a partir del modelado, especie no registrada



En todas las áreas que fueron visitadas para corroborar el modelo, se lograron detectar poblaciones de la especie en cuestión, a excepción de la zona del Parque Nacional Los Mármoles, áreas de bosque pertenecientes al municipio de Jacala de Ledezma en Hidalgo y en los bosques del Rancho Santa Elena en Huasca de Ocampo, Hidalgo, donde después de una revisión exhaustiva de las áreas circundantes a las localidades no se encontraron ejemplares en campo.

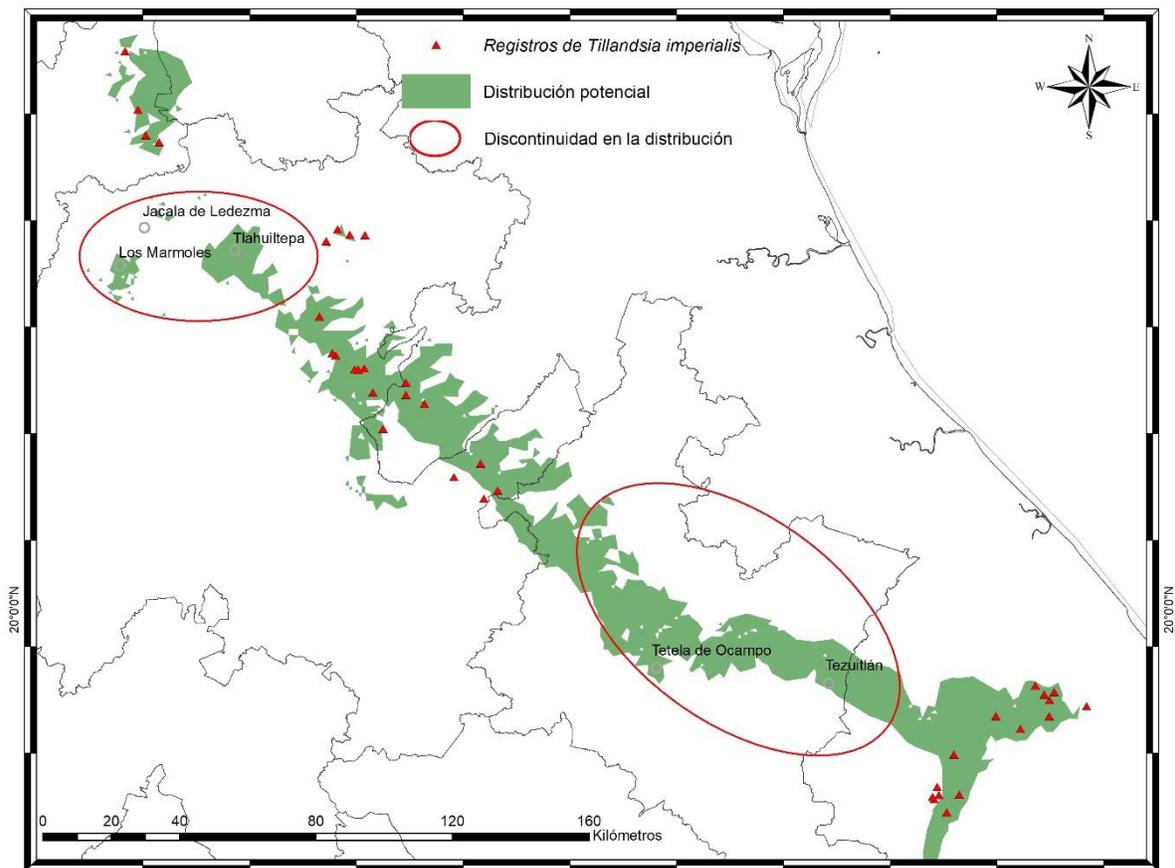


Figura 10. Áreas de discontinuidad en la distribución puntual con respecto al modelado de la distribución de *Tillandsia imperialis*.



6.8.1.1.4. Área de distribución de *T. imperialis*

A partir del modelado de la distribución y la corroboración en campo se generó el área de distribución de *Tillandsia imperialis* (Figura 11), descartando aquellas áreas que de acuerdo a la capa de uso de suelo y vegetación INEGI serie IV (INEGI, 2009) que por actividades humanas no son aptas para el desarrollo de la especie, donde la vegetación ha sido removida, zonas urbanas, agrícolas, pecuarias, cuerpos de agua y pastizales inducidos. El área obtenida corresponde a 4641 km², representando menos del 1% del territorio mexicano, por lo que en el criterio de extensión de la distribución se le asigna valor de 3.

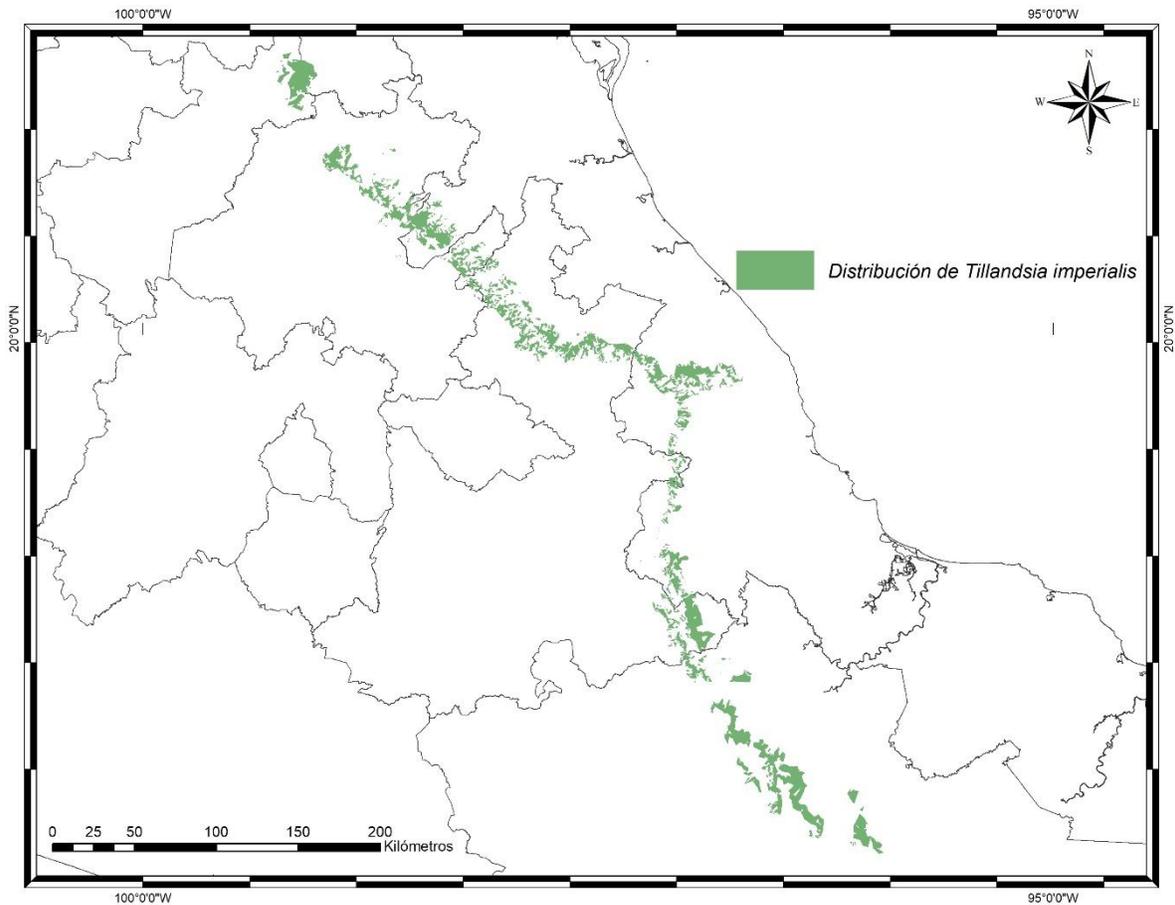


Figura 11. Mapa de distribución de *Tillandsia imperialis*, resultado del modelado de la distribución verificado en campo y descartando aquellas áreas que de acuerdo con la capa de uso de suelo y vegetación INEGI serie IV (INEGI, 2009) no contienen vegetación apta para el desarrollo de la especie



6.8.1.2. Número de poblaciones o localidades conocidas existentes de *Tillandsia imperialis*

La selección de las localidades conocidas existentes, siguiendo la metodología del MER, se realizó agrupando las poblaciones de estudio en un diámetro de 12 km. Se obtuvieron más de 25 conjuntos de localidades (Figura 12), por lo que el valor asignado es de 0.

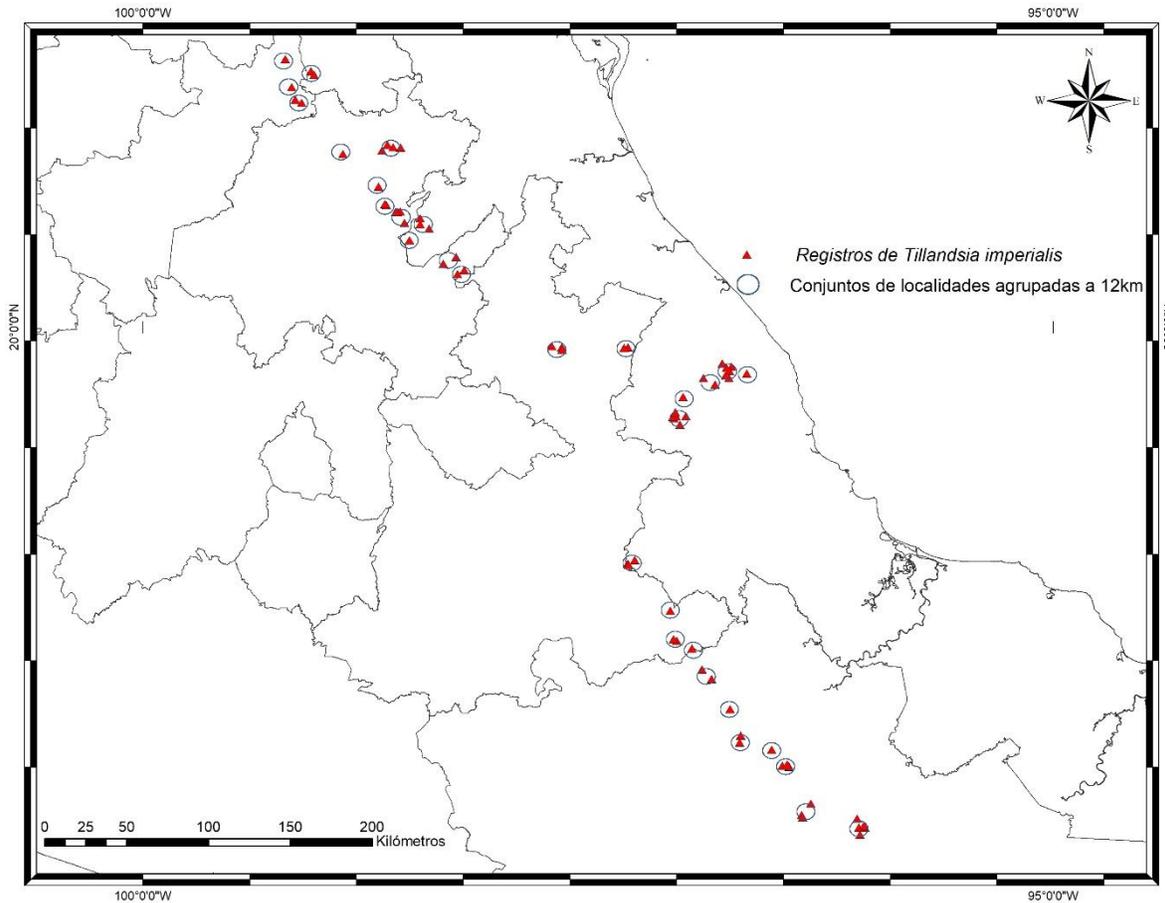


Figura 12. 31 conjuntos de localidades conocidas de la especie de acuerdo con los registros de colectas de *Tillandsia imperialis*.



6.8.1.3. Número de provincias biogeográficas en las que se encuentra *Tillandsia imperialis*

La regionalización de provincias biogeográficas de México de la CONABIO (1997) representa una aproximación muy burda cuando se estudia todo el país, esto es que los límites existentes para algunas provincias no representan agrupaciones de áreas correspondientes con la identidad biogeográfica que supuestamente representan. Por lo anterior, siguiendo este criterio se determinó que el taxón solo se encontraba en tres provincias: Sierra Madre Oriental, Sierra Madre de Oaxaca y Sierra Madre del Sur (Figura 13) por lo que el valor para este criterio es de 2.

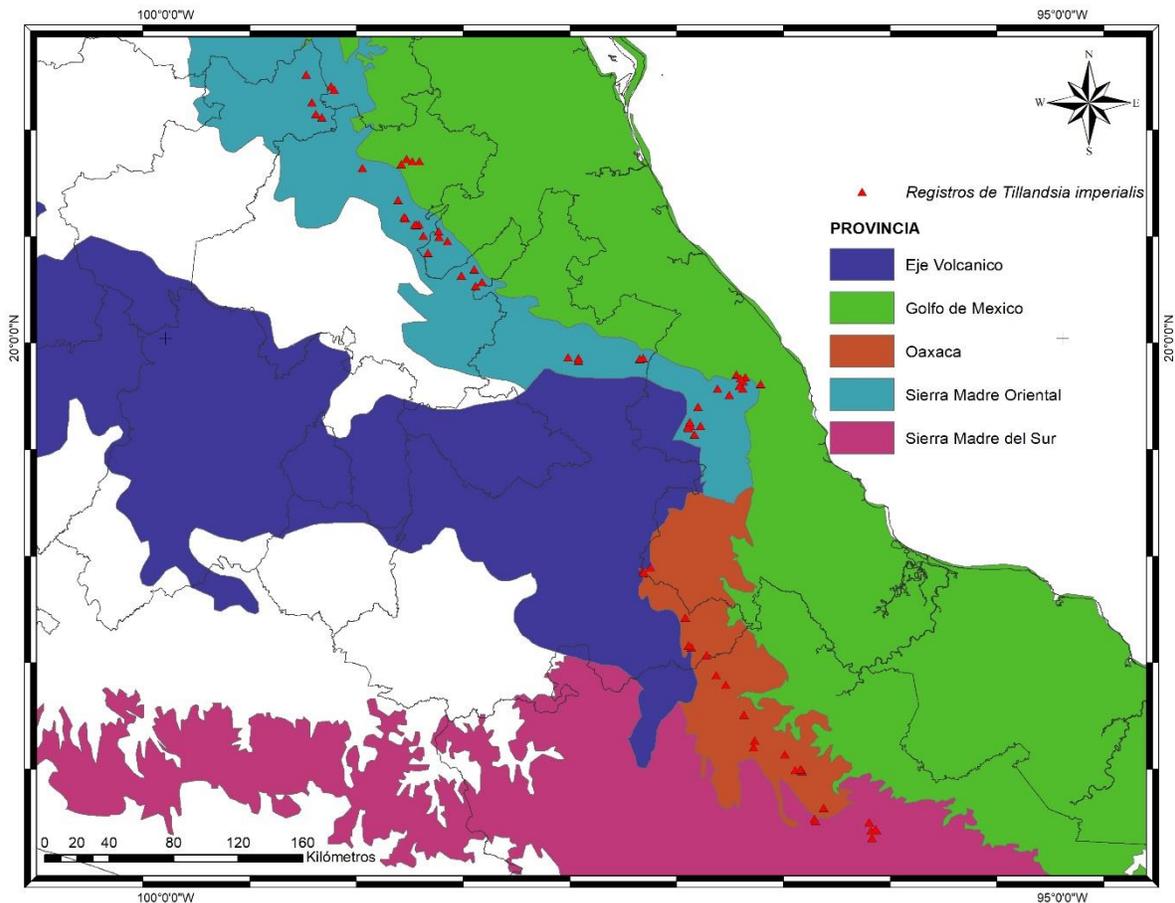


Figura 13. Provincias biogeográficas (CONABIO, 1997) en los que existen registros de *Tillandsia imperialis*



6.8.1.4. Representatividad de la distribución de *Tillandsia imperialis* en el territorio mexicano

La revisión de ejemplares de herbario, así como el modelado de la distribución corroborado en campo, determinaron que *T. imperialis* es una especie endémica al territorio mexicano, por lo que su distribución no es periférica o extralimitante, lo que le otorga un valor de 0.

6.8.2. Criterio B. Características del hábitat.

6.8.2.1. Tipos de vegetación en los que se encuentra *T. imperialis*

La sobreposición de los puntos de presencia de *T. imperialis* sobre el mapa de vegetación potencial de CONABIO (2008b) mostró en cuales tipos de vegetación se presenta la especie (Figura 14). En este estudio se determinó que los tipos de vegetación (*sensu* Rzedowski, 1978) en los que se encuentra *T. imperialis* son: bosques de coníferas y encinos y bosque mesófilo de montaña, por lo que se le otorga un valor de 2. Los valores asignados para el resto de los subcriterios de las características del hábitat se muestran en la Tabla 3, para mayor detalle de los valores asignados referirse a la sección de discusión.

6.8.3. Criterios C y D del MER

Los valores asignados para cada criterio están resumidos en la Tabla 3. Para mayor detalle de los valores asignados dirigirse a la sección de discusión.



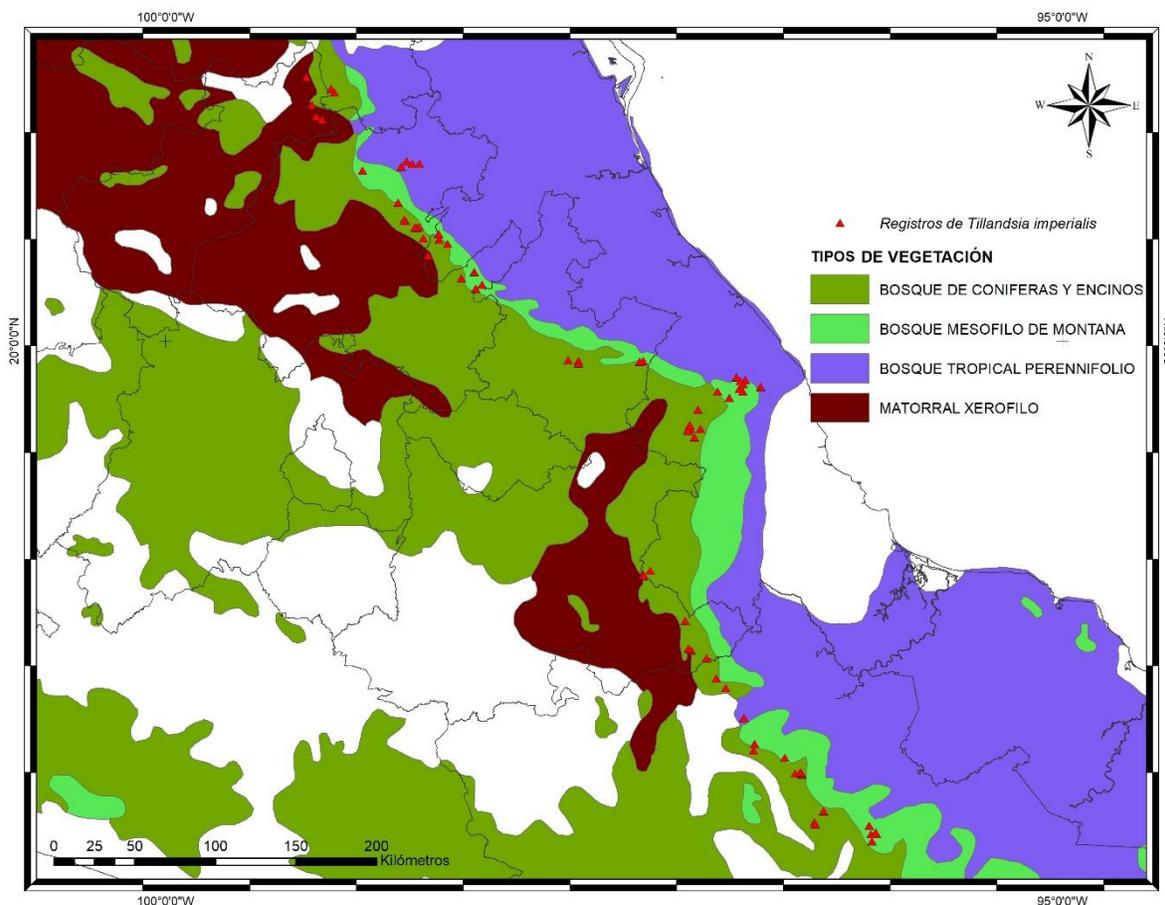


Figura 14. Tipos de vegetación en los que se encuentra *Tillandsia imperialis* de acuerdo la vegetación potencial de CONABIO (2008b)

Tabla 3. Valores asignados del MER para *Tillandsia imperialis* (método de evaluación del riesgo de extinción de plantas en México, Anexo Normativo II)

I. ÍNDICE DE RAREZA

	Valor
Criterio A	Características de la distribución geográfica
	Extensión de la distribución
	Número de poblaciones o localidades conocidas existentes
	Número de provincias biogeográficas (CONABIO, 1997) en las que se encuentra el taxón
	Representatividad de la distribución del taxón en el territorio mexicano
	Sumatorio criterio A
	0.455
Criterio B	Características del hábitat
	¿En cuántos tipos de vegetación se presenta? (<i>sensu</i> Rzedowski, 1978)
	¿El taxón tiene un hábitat especializado?



	¿La permanencia de la población es dependiente de un hábitat primario?	1	
	¿La población requiere de regímenes de perturbación particulares o a etapas transitorias en la sucesión?	0	
	Amplitud del intervalo altitudinal que ocupa el taxón	0	
	Sumatoria criterio B	0.333	
<i>Criterio C</i>	Vulnerabilidad biológica intrínseca		
	Número total de individuos	0	
	Reclutamiento	2	
	C-1. Atributos demográficos		
	¿Hay evidencia de denso-dependencia en la reproducción?	0	
	¿Hay clonalidad?	0	
	¿Hay evidencia de decrecimiento de las poblaciones en el país?	1	
	¿Hay evidencia de una varianza muy grande en la fecundidad?	0	
	¿El taxón es dioico, los individuos son dicógamos o auto-incompatibles?	0	
	¿La floración es sincrónica o gregaria?	0	
	¿El taxón produce pocos propágulos?	1	
	C-2. Genética		
	Variación molecular (heterocigosis)	0	
	Estructura genética molecular	0	
	Cantidad de variación genética	0	
	Nivel de diferenciación entre poblaciones	0	
	C-3. Interacciones bióticas especializadas		
	¿El taxón requiere una "nodriza" para su establecimiento?	1	
	¿El taxón requiere un hospedero o forofito específico?	0	
	¿El taxón requiere un polinizador específico?	0	
	¿El taxón tiene un dispersor específico?	0	
	¿El taxón presenta mirmecofilia obligada?	0	
	¿El taxón presenta dependencia estricta de la micorriza?	0	
¿El taxón sufre una afectación importante por depredadores, patógenos?	0		
	Sumatoria criterio C	0.217	

II. ÍNDICE DE IMPACTO ANTROPOGÉNICO

<i>Criterio D</i>	Impacto de la actividad humana	
	¿Cómo afecta al taxón la alteración antrópica del hábitat?	1
	¿Cuál es el nivel de impacto de las actividades humanas sobre el hábitat del taxón?	4
	¿Existe evidencia que indique un deterioro en la calidad o cambio drástico en el uso del suelo?	1
	¿Cuál es el impacto del uso sobre el taxón?	2
	¿Es cultivado o propagado ex situ?	0
		Sumatoria criterio D

Sumatoria de puntos de los criterios A, B, C y D	1.805
---	--------------



6.9. Representatividad de *T. imperialis* en los programas de Áreas Naturales Protegidas (ANP's) y de Regiones terrestres Prioritarias (RTP's)

La sobreposición de la distribución obtenida de *Tillandsia imperialis* en los programas de conservación para el territorio mexicano dio como resultado que en el caso de las ANP's (CONANP, 2017) se distribuye en un área de 331 Ha (Figura 15) y en el caso de las RTP's (Arriaga et al., 2000) en un área de 2812 Ha (Figura 16) (Tabla 4)

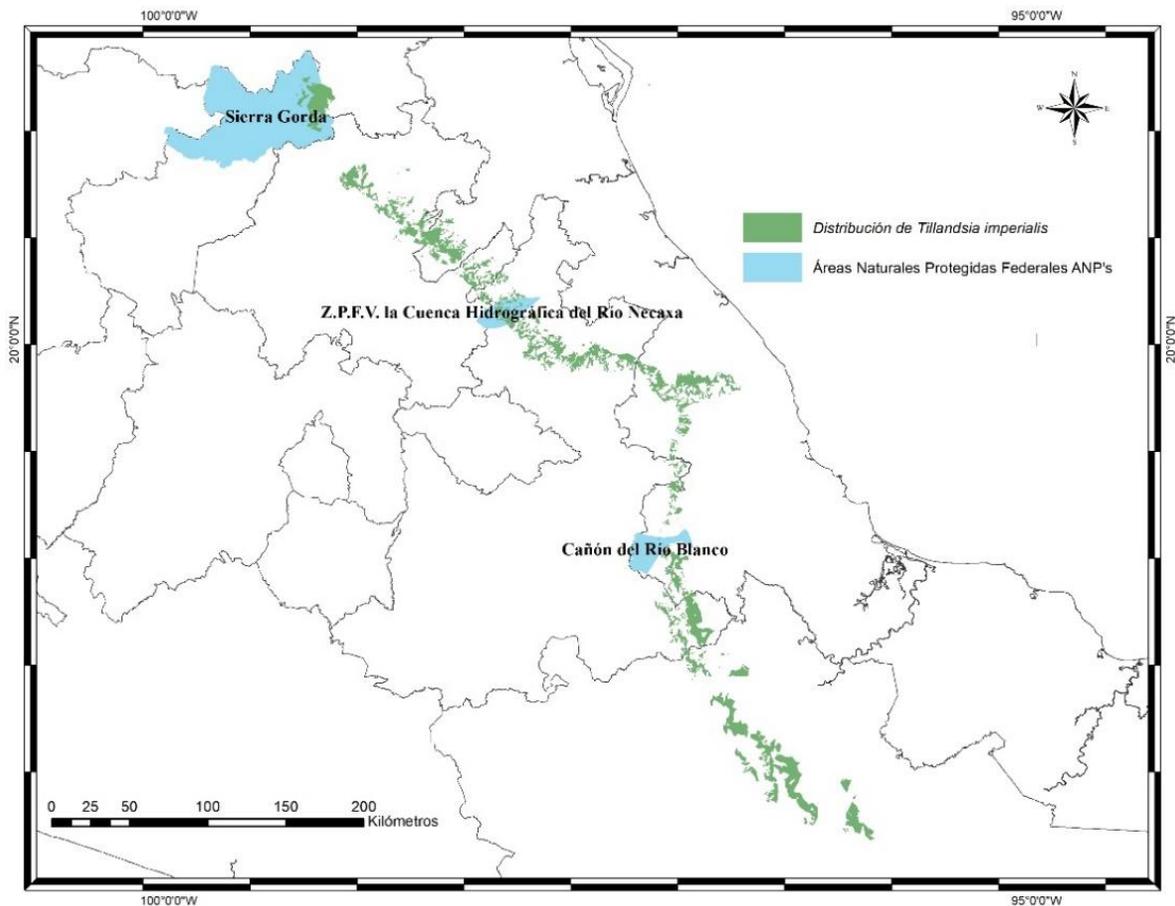


Figura 15. Representatividad de *Tillandsia imperialis* en las Áreas Naturales Protegidas (ANP's) con 331 Ha de área.



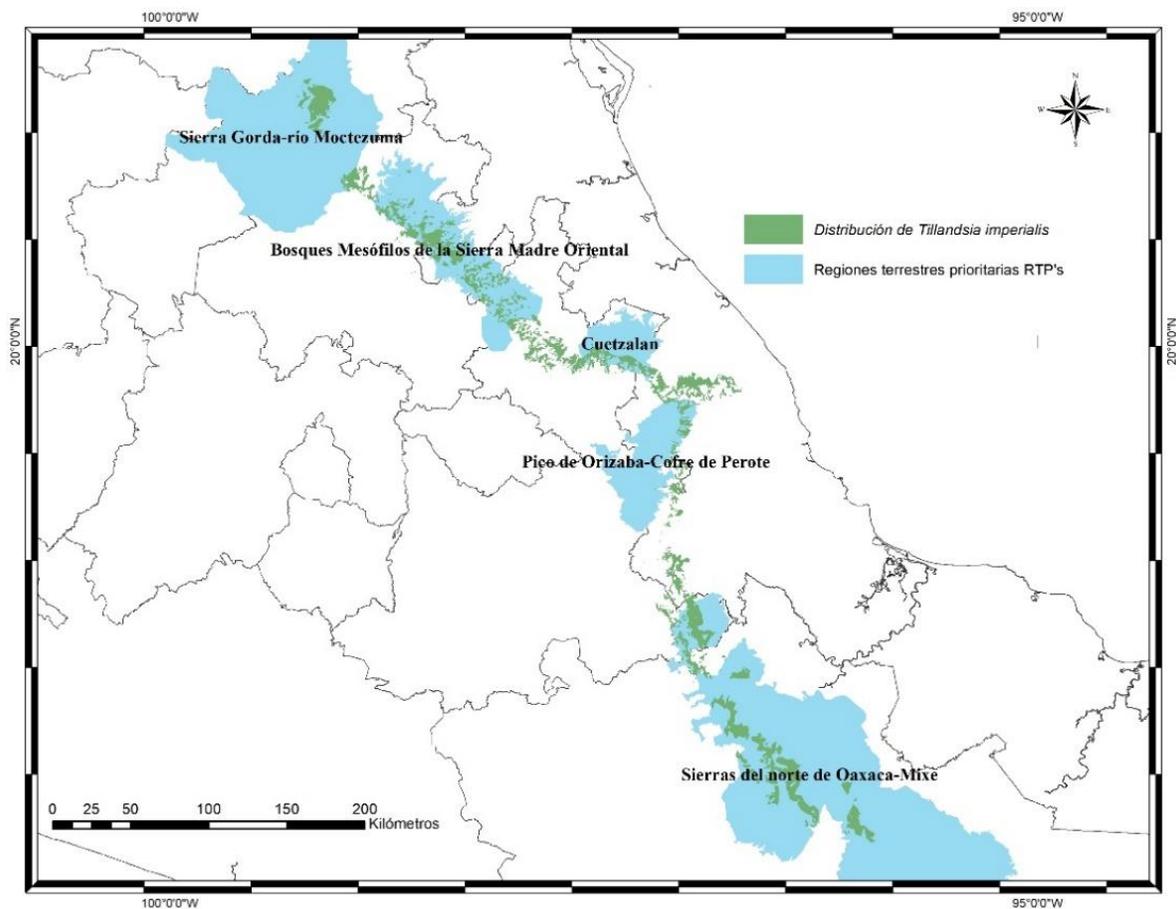


Figura 16. Representatividad de *Tillandsia imperialis* en las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP's) con 2812 Ha de área.

Tabla 4. Superficie de distribución de *Tillandsia imperialis* dentro de las ANP's y RTP's

	Estado(s)	Superficie	Área de distribución de <i>Tillandsia imperialis</i>
ANP			
Sierra Gorda	Querétaro	383,567 Ha	250 Ha
Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa	Hidalgo y Puebla	42,129 Ha	80 Ha
Cañón del Río Blanco	Veracruz	48,799 Ha	<1 Ha
RTP			
Sierra Gorda-Río Moctezuma	Hidalgo, Querétaro y San Luís Potosí	866,000 Ha	371 Ha
Bosques Mesófilos de la Sierra Madre Oriental	Hidalgo, Puebla, Veracruz	393,500 Ha	798 Ha
Cuetzalan	Puebla y Veracruz	128,400 Ha	180 Ha
Pico de Orizaba-Cofre de Perote	Veracruz	233,700 Ha	103 Ha
Sierras del norte de Oaxaca-Mixe	Puebla y Oaxaca	193,820 Ha	1,358 Ha



7. Discusión

7.1. Recopilación de datos, taxonomía y distribución

Uno de los principales problemas encontrados en la elaboración del presente trabajo fue que, durante la revisión de ejemplares de herbario, se observó que solo 10% de los ejemplares en las colecciones presentaban estructuras reproductoras completas, esto es flores íntegras para su revisión (pétalos, anteras, filamentos, estilo, entre otras). Solo dos ejemplares de herbario presentan frutos con semillas. Lo anterior puede deberse a su peculiar inflorescencia (raquis no visible por lo imbricado de sus brácteas de color rojo vistoso), por lo que las colectas se han realizado aun sin contemplar las estructuras completas. Los ejemplares registrados para el estado de Chiapas no cuentan con estructuras reproductoras completas, por lo que no fue posible diferenciar a *Tillandsia imperialis* de otras especies muy similares, como *T. yunckeri* L.B. Sm. o *T. ponderosa* L.B. Sm.

Dado que el ejemplar de herbario *Bourgeau 2389* es el holotipo de *T. imperialis*, validado por B. Roetzl en 1881, todas aquellas descripciones de nuevas especies basadas en el material de *Bourgeau 2389* (K) deben ser consideradas como sinonimias debido al principio taxonómico de prioridad de publicación (Turland, 2013). Tal es el caso de *T. strobilantha* Baker descrita en 1888, o *T. imperialis* E. Morren ex Mez descrita en 1935, representa un nombre ilegítimo y han sido utilizado incorrectamente por algunos autores como nombre válido, de acuerdo con el Código Internacional de Nomenclatura Botánica, Artículo 53 (Turland, 2013). Siguiendo a Luther y Sieff, (1994), el taxón válido es *T. imperialis* E. Morren ex Roetzl y no debe reconocerse el nombre *T. imperialis* E. Morren ex Mez.



Dentro del estudio taxonómico de Smith y Downs (1977), el ejemplar *Carison 929* (SEL) proveniente de El Salvador de *T. candelifera* es considerado como sinonimia de *T. imperialis*. Autores como P. Koide y W. Till han reconocido que los ejemplares corresponden a diferentes linajes tal como lo indica Kiff (1991). Esta misma situación fue sugerida por H. Luther (Cházaro y Mostul, 1997), lo cual llevaría al reconocimiento de *T. candelifera* Rohweder como nombre válido. Lo anterior refleja que se requieren más estudios taxonómicos para esclarecer la identidad de los ejemplares de América Central.

En cuanto al territorio mexicano, Padilla (1960) reconoció a *T. imperialis* como una especie epífita de los estados de Oaxaca, Puebla y Veracruz, creciendo entre los 1500 y 2500 m de altitud. Smith y Downs (1977) y McVaugh (1989) la describieron en sus tratamientos taxonómicos de Oaxaca, Puebla, Veracruz, Hidalgo y Jalisco. Dentro de los trabajos preliminares para la familia Bromeliaceae en México, Espejo-Serna y López-Ferrari (1998) no incluyeron a *T. imperialis* dentro de su listado de plantas endémicas al territorio mexicano.

Con respecto al único registro proveniente del estado de Jalisco (*Goldsmith 26* “Volcano Colima 6700 ft, E side”, 13 julio 1905 (US)), Rzedowski et al. (2009) hizo la observación que las colectas de Goldsmith se limitaron al estado de Nayarit y al volcán de Colima, lo cual hace poco probable que exista una confusión en las etiquetas de herbario con otros ejemplares provenientes de otras partes del país, como el este de México donde la especie se desarrolla actualmente. Otros autores como Cházaro y Mostul (1997) expusieron que este registro posiblemente se deba a una confusión en las etiquetas de herbario al momento de identificar los ejemplares, y que la especie nunca ha sido observada por estos autores durante sus visitas al Volcán de Colima. A más de 100 años de la colecta



citada, no se ha vuelto a coleccionar u observar la especie en esa zona, así mismo el modelado de la distribución se realizó en el caso de las variables de temperatura y precipitación con datos provenientes de estaciones meteorológicas entre los años 1970 y 2000 (Fick & Hijmans, 2017), y dada la antigüedad del registro esto podría indicar que las variables climáticas difieren de manera importante del tiempo transcurrido de la fecha de colecta a la fecha de los datos climático, razón por la cual no se reflejó alta probabilidad de ocurrencia de la especie en dicha zona.

García-Franco (1987) y Villaseñor (2016) incluyeron dentro de sus listados a la especie para Nuevo León; sin embargo, no señalan ejemplares de herbario que corroboren su presencia en el estado. Villaseñor (2016) incluyó a la especie como el sinónimo *T. imperialis* E. Morren ex Mez dentro de su listado.

Véliz (2010) incluyó al sinónimo *T. imperialis* E. Morren ex Mez para Guatemala en su guía de reconocimiento del género *Tillandsia* para los departamentos de Baja Verapaz, Zacapa y Quetzaltenango, además de que citó erróneamente a la especie en Honduras y El Salvador. Este autor realizó una descripción vaga de los sépalos y no incluyó detalles de los pétalos, androceo y gineceo. Dada la falta de ejemplares de herbario que corroboren la presencia de la especie en Guatemala, debe considerarse como endémica al territorio mexicano tal como lo indica Espejo-Serna et al. (2010).

La pigmentación foliar es importante para la identificación de la especie, pero hay otros caracteres morfológico-anatómicos que pueden facilitar la identificación aun cuando el ejemplar no cuente con flores tal como indicó Vite-Posadas (2005). Para este autor, el arreglo del anillo de las células de los tricomas en una configuración 4 + 8 + 32 es un carácter que permite diferenciar a la especie de otras del mismo género. Ya que es una



planta incluida en la Norma Oficial Mexicana NOM-059 (SEMARNAT, 2010) en la categoría de riesgo de amenazada, la posibilidad de identificar ejemplares aun cuando éstos no cuenten con estructuras reproductoras es importante para proponer estrategias para su conservación.

Foster (1952) y Padilla (1960) mencionaron que *T. imperialis* ha sido utilizada en México en ofrendas en altares religiosos para celebrar la Navidad por su inflorescencia colorida. En San Cristóbal de las Casas, Chiapas, Gardner (1982) mencionó que *T. ponderosa* es la especie traída de las montañas para ser utilizada en la festividad.

Estudios de tipo antropológico y etnobotánico han descrito los usos de diversas especies de bromelias en diferentes estados de la República, tales como los de Munguía-Lino et al. (2010), Hornung-Leoni (2011), Díaz et al. (2011), López-Gutiérrez et al. (2014), Jiménez et al. (2014), Molina-Luna et al. (2014, 2015), Mondragón et al. (2016) y Palacios (2017a,b). Estos estudios deben considerarse con precaución, ya que bajo el nombre de *T. imperialis* están confundidas a varias especies. Tal es el caso de Beutelspacher & Farrera (2007), quienes citan al *T. imperialis* Morren, nombre no válido, como una planta utilizada en las ceremonias religiosas en el estado de Chiapas, sin referirse a ejemplares de colecta en herbario, dificultando la verificación de la información. No obstante, estos últimos autores incluyen una fotografía de la planta utilizada en los rituales que más bien corresponde a *T. ponderosa*.

Díaz et al. (2011) llevó a cabo un estudio etnobotánico en Chiapas incluyendo al sinonimo *T. imperialis* E. Morren ex Mez identificando a la especie a partir de bibliografía, sin examinar ejemplares de colecta, llegando a conclusiones erróneas.



Aranda-Coello et al. (2012) evaluaron el efecto de la extracción de bromelias en la sobrevivencia de la herpetofauna de Chiapas. Estos autores citaron en su estudio el trabajo de Beutelspacher & Farrera (2007), donde se dice que *T. imperialis* Morren se encuentra en Chiapas; más sin embargo en su trabajo de campo sólo registraron a *T. ponderosa*.

Palacios (2017a,b) llevó a cabo un estudio antropológico del llamado “ritual de los floreros” en Chiapas. Este autor determinó que la planta utilizada era *T. imperialis* Morren sin referirse a ejemplares de herbario, basándose solo en bibliografía. Las fotografías en su publicación corresponden más bien a *T. ponderosa*.

En los estudios florísticos de Farrera et al. (2012) y Beutelspacher et al. (2017) para Chiapas no se registró a *T. imperialis*. Por otro lado, en la revisión monográfica de la familia Bromeliaceae del estado de Chiapas (Espejo-Serna et al., 2017) no registró a *T. imperialis*. En todos los trabajos anteriormente mencionados se reportó la presencia de *T. ponderosa*.

Martínez-Meléndez et al. (2009) citaron para el Triunfo, Chiapas al sinónimo *T. imperialis* E. Morren ex Mez a partir de los ejemplares depositados en MEXU (MH & AL 1155, 1231); sin embargo, no se encontraron estos ejemplares en dicho herbario.

7.2. Modelado de distribución como herramienta para detectar nuevas poblaciones

El modelado de la distribución sirvió como herramienta para descubrir nuevas poblaciones, aplicación discutida por Peterson (2006). El uso de esta herramienta ha derivado incluso en el descubrimiento de nuevas especies (Raxworthy et al., 2003). En este estudio, partiendo de la distribución puntual de la especie, se detectaron aquellas áreas que presumiblemente



representaban un discontinuo en la distribución puntual con respecto al modelado de la distribución, tal es el caso de algunas zonas que han sido poco estudiadas en los estados de Puebla e Hidalgo (Figura 10), comparado con otras zonas mejor estudiadas (como es el caso del centro de Veracruz). En el caso de Puebla fue posible encontrar nuevas poblaciones cuya existencia no se habían reportado. En dichas poblaciones, la especie es abundante principalmente en las localidades del municipio de Tetela de Ocampo. Además, se logró detectar una población en la localidad de La Trinidad, municipio de Xilitla, San Luis Potosí, que con la finalidad de completar el listado biótico de la demarcación política debe considerarse como nuevo registro para el estado (Sánchez-González, 2013) y se puede considerar la distribución más septentrional de la especie. Este hallazgo representa una de las poblaciones mejor conservadas, ya que en parte de las áreas de su distribución los lugareños han promovido su conservación.

7.3. MER

7.3.1. Características de la distribución geográfica

Los valores obtenidos de la sumatoria del índice de rareza del MER tales como las características de la extensión de la distribución geográfica, número de poblaciones existentes, así como su representatividad en México y número de provincias biogeográficas donde se encuentra la especie pueden revisarse en las Figuras 11, 12 y 13 respectivamente. En el caso del número de provincias biogeográficas en las que se encuentra la especie, el mapa solo representa una aproximación realizada con base en cuatro sistemas de clasificación biogeográficos, que son: (1) plantas vasculares, (2) herpetofauna, (3) mastofauna y (4) rasgos morfotectónicos, todos ellos formulados por



especialistas. Por lo anterior, se considera que sus límites no corresponden de forma exacta en diversas partes del país. Existen análisis más modernos y exactos provenientes de datos de fotointerpretación que se acercan más a la realidad. Esto puede ejemplificarse en zonas donde se ha colectado la especie como bosques pertenecientes al municipio de Tlanchinol, mismos que en el mapa de provincias biogeográficas de México (CONABIO, 1997), pertenecen a la provincia del Golfo de México, lo cual es un error, ya que éstos corresponden a porciones de vegetación señaladas por Luna-Vega et al. (1994) como comunidades de bosque mesófilos asociadas florística y biogeográficamente a la Sierra Madre Oriental. También es el caso de las localidades de Puerto Soledad, Oaxaca que florística y biogeográficamente corresponden mejor a la provincia de la Sierra de Oaxaca (Ruiz-Jiménez et al., 1999) que a la del Eje Neovolcánico en las que se encuentran según las provincias biogeográficas de México (CONABIO, 1997). Otro ejemplo corresponde a la zona de las Cumbres de Acultzingo, Veracruz, donde de acuerdo con mapa de provincias biogeográficas de México (CONABIO, 1997) corresponden al Eje Neovolcánico, siendo que estas cumbres representan la parte final de la transición de la Sierra Madre Oriental con el Eje Neovolcánico, por lo que por lo burda representación de las provincias biogeográficas es erróneo. Finalmente, con el registro del estado de Jalisco *Goldsmith 26* (US), la especie ocuparía cinco provincias biogeográficas siguiendo el criterio de provincias biogeográficas del MER, lo cual no refleja la distribución geográfica de la especie. Es necesario utilizar mapas más aproximados a la realidad que reflejen de manera más detallada los límites de las provincias, de tal forma que no se preste a errores de interpretación que lleven a modificar la sumatoria de los criterios del MER. Este estudio sugiere el uso del mapa de ecorregiones terrestres de México (CONABIO, 2008c), cuyo contenido es resultado de un esfuerzo conjunto de especialistas que toman como base mapas de ecorregiones de la



Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) nivel III (1997) y el de la World Wild Foundation (WWF-CONABIO-CCA, 1997), empleando datos de cartografía temática de climas, edafología, geología y topografía, así mismo el MER debería tomar como criterio la temporalidad de los registros observados, ya que la distribución histórica de la especie puede no estar reflejando el estado actual de riesgo con respecto al uso de suelo sobre el cual la especie se desarrolla.

Por lo anterior, en este estudio se consideró que *T. imperialis* solo se presenta en tres provincias biogeográficas: Sierra Madre Oriental, Sierra Madre de Oaxaca y Sierra Madre del Sur, lo que le asigna un valor de 2 puntos (Tabla 3).

7.3.2. Características del hábitat

En el caso de las características del hábitat, en la Figura 14 se muestra en cuántos tipos de vegetación está presente la especie, esto es principalmente bosque de coníferas y encinos y bosque mesófilo de montaña. El mapa que se ha venido utilizando en el MER de plantas para este criterio es el de vegetación potencial de CONABIO (2008b), el cual no representa la situación actual de las áreas en las que se encuentra un taxón, ya sea por cuestiones históricas o a la burda representación de los límites de las áreas. Tal es el caso de las localidades de la especie que se encuentran en los municipios de Landa de Matamoros y Jalpan de Serra, Querétaro, las cuales según el mapa de vegetación potencial de CONABIO (2008b) corresponden a matorral xerófilo, siendo que estudios de la vegetación de la zona Landa de Matamoros mencionan que dichas localidades están ocupadas por bosque mesófilo de montaña (Cartujano, 2000). Otro ejemplo son las localidades pertenecientes al municipio de Tlanchinol, Hidalgo que corresponden bosques mesófilos de montaña, tal



como lo indican Luna-Vega et al. (1994), mientras que en el mapa de vegetación potencial de CONABIO (2008b) corresponden a bosque tropical perennifolio. Por lo anterior, es necesario utilizar mapas que reflejen, mediante métodos rigurosos y modernos como la fotointerpretación, la distribución más aproximada a la realidad como es el caso del mapa de uso del suelo y vegetación serie IV de INEGI (2009), cuyo contenido está agrupado en dos niveles jerárquicos por sus elementos ecológicos, florísticos y fisonómicos distintivos, tomando en cuenta no sólo comunidades de plantas sino también el uso antrópico de las unidades ecológicas.

Finalmente, se determinó que la especie es dependiente de un hábitat primario debido a su forma de vida epífita, dependiente de un sustrato arbóreo. Como todas las especies del género de zonas montañosas, requiere de gran humedad ambiental, ya que sus raíces sólo sirven para el establecimiento y sujeción, y los nutrientes y agua lo toman del ambiente (Benzing, 2000). En este caso los tipos de vegetación y su dependencia de hábitat primario son los únicos que agregan valores al índice de rareza respecto a las características del hábitat.

7.3.3. Vulnerabilidad biológica intrínseca

En cuanto a la biología intrínseca de la especie, es importante reconocer el gran impacto que tiene el uso excesivo que le dan a esta planta en ciertas partes del país. Tal es el caso de Veracruz donde se utiliza para confeccionar arcos florales para diversas festividades, lo que causa un gran impacto en las poblaciones de *Tillandsia imperialis* (Haeckel, 2009). Flores-Palacios & Valencia-Díaz (2007) argumentaron que la confección de un solo arco floral puede requerir más de 2,400 inflorescencias de diversas especies del género



Tillandsia, siendo *T. imperialis* una de las más valoradas. El incremento en la explotación de estas especies para la confección de arcos florales ha ido en aumento, reportando para el año 1910 la realización de cuatro arcos florales para la región central de Veracruz, en comparación a la actualidad donde más de 80 arcos florales son confeccionados en la misma región, de tal forma que este grado de explotación ha llevado a que estudios poblacionales reporten decremento en ocho de cada nueve poblaciones de bromelias epífitas de los bosques mesófilos de montaña mexicanos, presentando tasas de crecimiento poblacional (λ) menores a la unidad (<1) (Winkler et al. 2007; Mondragón & Ticktin, 2011).

De acuerdo con el estudio de Haeckel (2009), el impacto en la extracción en *T. imperialis* en el centro de Veracruz es devastador para las poblaciones de la especie. En su trabajo se dan evidencias del bajo reclutamiento de la especie en la zona, sin embargo, no se cuenta con datos para otras poblaciones de la especie. Por lo anterior, al criterio de reclutamiento se le asignó un valor de 2, debido a que la solo se aplica para algunas de sus poblaciones, en contraste con otras áreas donde la especie no tiene problemas de supervivencia, como lo indica Espejo-Serna et al. (2010) para el estado de Querétaro, y como lo corroboró el presente estudio para las poblaciones de Tetela de Ocampo, Puebla y Xilitla, San Luis Potosí.

No obstante que otras especies del género *Tillandsia* tienen la capacidad de generar hasta 10 vástagos en la base de la planta, se sabe que *T. imperialis* genera solamente dos o tres (Padilla, 1960), lo que le da un valor de 1 en cuanto a la producción de propágulos, en comparación con otros miembros de su mismo linaje.

Los resultados del estudio etnobotánico de Mondragón et al. (2016) reportaron que 1280 ejemplares de *T. imperialis* son vendidos de forma anual en el mercado de Jamaica,



Ciudad de México, provenientes de distintos sitios de Veracruz, extraídos y vendidos de forma ilegal por ser una especie en categoría de riesgo en la NOM-059 (SEMARNAT, 2010). Por lo tanto, para el criterio de decremento de las poblaciones se asigna un valor de 1. Finalmente, en cuanto al requerimiento de una “nodriza” para el establecimiento de la especie como parte de la biología intrínseca de la especie se otorga un valor de 1, ya que aun cuando la especie es capaz de crecer sobre el suelo (Granados, 2005), esto solo ocurre en el caso de individuos desarrollados que caen al suelo, ya que para el establecimiento de las semillas se requiere de un hospedero (Benzing, 2000).

7.3.4. Impacto de la actividad humana

La parte final del MER se refiere al impacto antropogénico sobre la especie. Como primer criterio se asigna un valor de 1 en cuanto a la alteración antrópica del hábitat, ya que al ser una especie epífita requiere de un hospedero para su establecimiento, por lo que la pérdida de cobertura vegetal afecta directamente su desarrollo. Otras especies del género como *T. multicaulis* y *T. punctulata* colonizan activamente aquellos manchones con cobertura forestal aislados en los pastizales de cultivo (Flores-Palacios & García-Franco, 2004), caso diferente con *T. imperialis*, que raramente se encuentra en agroecosistemas (Haeckel, 2008), misma situación muestra que el hábitat remanente no permite la viabilidad de las poblaciones existentes, por lo que en el nivel de impacto de las actividades humanas sobre el hábitat del taxón se le asigna valor de 4.

Los resultados de este estudio arrojan que *T. imperialis* se distribuye en los bosques templados mexicanos, mismos que en los últimos tiempos han sido fuertemente afectados en cuanto a la reducción de su superficie. Tal es el caso de los bosques de niebla del centro



de Veracruz cuya superficie se ha reducido hasta en un 90% de su cobertura original (Williams-Linera et al., 2002), ya que estos bosques son uno de los tipos de vegetación más amenazados en México (Toledo & Ordóñez, 1998; Sánchez-Ramos & Dirzo, 2014; Ochoa-Ochoa et al., 2017). Los bosques templados presentan una distribución fragmentada, debida en parte a las presiones a los que se encuentran sometidos dado los diferentes usos de suelo, tales como asentamientos humanos, pastoreo, agricultura, y deforestación, entre otros (Luna-Vega & Alcántara, 2004; Luna-Vega et al., 2006). Espejo-Serna (2014) sustentó que del bosque mesófilo mexicano se conserva menos del 50% de su cobertura original. En cuanto al deterioro en la calidad o cambio drástico en el uso del suelo se le da un valor de 1.

En el caso de las especies de bromelias con inflorescencias llamativas como *T. imperialis*, su aprovechamiento implica la total remoción del individuo de la población, lo cual es un factor de riesgo que puede llevar al deterioro irreversible de sus poblaciones (Winkler et al. 2007; Haeckel, 2009; Mondragón & Ticktin, 2011). Se considera entonces que el aprovechamiento de la especie en cualquiera de sus poblaciones causa un fuerte impacto ya que implica la pérdida directa de individuos, lo que le otorga un valor de 3 en cuanto al impacto del uso sobre el taxón. La sumatoria de los criterios del MER da como resultado final un valor de 1.805, el cual ubica a la especie bajo la categoría de Amenazada.

7.4. Representatividad de *T. imperialis* en las ANP's y RTP's

Luna-Vega et al. (2006) han recalcado la falta de información referente a la presencia de especies amenazadas en los sistemas de ANP's y RTP's. Por ello se intentó mostrar la representatividad de las especies en las áreas de conservación o prioritarias mexicanas. Al



sobrelapar el área de distribución obtenida con la superficie de las ANP's, se puede ver que más del 90% del área de distribución obtenida no está incluida dentro de los límites de estas áreas (Tabla 4). La distribución de la especie se presenta en solo tres ANP's (Figura 15): Sierra Gorda en Querétaro (con 250 Ha); Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa entre Hidalgo y Puebla (con 80 Ha) y en Cañón del Río Blanco, se limita a unas pequeñas porciones de las Cumbres de Acultzingo, Veracruz (con menos de 1 Ha). Solo en estas áreas se puede suponer que la especie está bajo protección, lo cual lleva a considerar que la especie se encuentra mal representada en el sistema actual de ANP's con carácter federal. Adicionalmente se puede considerar que las poblaciones que se encuentran en áreas de conservación no tienen garantizada su protección, tal como lo ha sugerido Bruner et al. (2001). Las áreas de protección son efectivas sólo para evitar la tala masiva, pero no son efectivas para mitigar los efectos de pastoreo agrícola, incendios, extracción de flora y fauna, así como de leña.

En el caso de las RTP's la representatividad es mayor (superior al 60%) y se presenta en cinco RTP's (Figura 16): Bosques Mesófilos de la Sierra Madre Oriental (con 798 Ha), entre Hidalgo y Puebla; Cuetzalán (con 180 Ha), entre Puebla y una pequeña parte de Veracruz; Pico de Orizaba-Cofre de Perote (con 103 Ha), en Veracruz; Sierras del norte de Oaxaca-Mixe (con 1358 Ha) entre Puebla y Oaxaca; y por último Sierra Gorda-Río Moctezuma (con 371 Ha), entre Hidalgo, San Luís Potosí y Querétaro. Cabe destacar que, aunque por desgracia, estas áreas no están reguladas bajo ninguna ley de protección federal ni estatal, estos resultados concuerdan con la idea original de las RTP's que indica que estas áreas por su valor ecológico y presencia de especies endémicas deben ser estudiadas, conservadas y protegidas (Arriaga et al., 2000).



8. Conclusiones

En este estudio, se reconoce el nombre *Tillandsia imperialis* E. Morren ex RoezI 1881 como la identidad taxonómica correcta para referirse a este taxón. Se concluye que la distribución geográfica de *T. imperialis* se limita a los estados de Hidalgo, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí y Veracruz, y que es endémica al territorio mexicano, creciendo en los bosques templados mexicanos de pino, pino-encino, encino-pino y mesófilo de montaña.

En lo que respecta a cómo debe llevarse a cabo la colecta de ejemplares para las colecciones, los individuos de *T. imperialis* deben de ser seleccionados con estructuras reproductoras lo más completas posibles para con ello que las determinaciones se puedan realizar con seguridad, ya que tal como lo corroboró en el presente estudio, aquellos ejemplares que no contaban con estructuras completas no eran útiles para dar una correcta determinación taxonómica, lo que puede llegar a ocasionar que el uso de las localidades donde esos ejemplares de herbario fueran colectados pudiera llevar a una incorrecta interpretación de la distribución de la especie.

El estudio de caso de *T. imperialis* en la aplicación del MER mostró diferentes ambigüedades en algunos de sus criterios, las cuales se puede prestar a la mal interpretación de algunas de las metodologías utilizadas para la determinación de los criterios sobre su distribución geográfica, así como las características del hábitat, siendo prioritario el adecuamiento de estos criterios. Es de suma importancia mejorar la calidad de la información utilizada para evaluar las especies con el MER (tal como se menciona en este estudio), como es el caso de la utilización de regionalizaciones y clasificaciones de la vegetación más adecuadas. Además, la utilización de modelos de distribución corroborado



en el campo puede ayudar a determinar con mayor exactitud la superficie en km² en la cual se distribuye una especie, en el caso de los criterios de evaluación de la distribución geográfica puntual, deben usarse mapas derivados de estudios de fotointerpretación corroborados en campo (INEGI, 2009). También deben considerarse criterios ecológicos, florísticos y fisonómicos distintivos de los tipos de vegetación y de las regionalizaciones (CCA, 1997; WWF-CONABIO-CCA, 1997, respectivamente) para las evaluaciones.

La sumatoria de los valores de los cuatro criterios del MER, tras ser normalizada con el puntaje máximo para cada uno, da como resultado un valor de 1.805 para *T. imperialis*, lo cual corrobora su ubicación dentro de la NOM-059 (SEMARNAT, 2010) dentro de la categoría de riesgo de Amenazada.



Literatura citada

- Anderson, R.P., Lew, D. & Peterson, A.T. (2003). Evaluating predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling* 162: 211-232.
- Aranda-Coello, J.M., Ochoa-Ochoa, L.M. & Naranjo-Piñera, E.J. (2012). Evaluación de algunos efectos de la extracción tradicional de bromelias sobre la herpetofauna de los bosques de Chanal, Chiapas. *Acta Zoológica Mexicana* 28(3): 621-624.
- Arriaga, L., Espinosa, J.M., Aguilar C., Martínez, E., Gómez, L. & Loa, E. (coordinadores). (2000). *Regiones terrestres prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.
- Barve, N., Barve, V., Jiménez-Valverde, A., Lira-Noriega, A., Maher, S. P., Peterson, A. T., Soberon, J. & Villalobos, F. (2011). The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Modelling* 222(11): 1810-1819.
- Benzing, D.H. (2000). *Bromeliaceae: Profile of an Adaptive Radiation*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press. 710 pp.
- Beutelspacher, C.R. & Farrera, O. (2007). Tradición vs conservación: La “topada de la Flor”. *Lacandonia* 1: 109-115.
- Beutelspacher, C.R., Villaseñor, J.L., Gómez-lópez, A., García-Martínez, R. & Martínez-Icó, M. (2017). Flora vascular del municipio de San Cristobal de Las Casas, Chiapas, México. *Lacandonia* 11(2): 21-139.
- Bruner, A. G., Gullison, R.E., Rice, R.E. & da Fonseca, G. (2001). Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. *Science* 291(5501): 125-128.
- Butcher, D. & Gouda, E. (2016) The new Bromeliad Taxon list. [WWW document] URL <http://botu07.bio.uu.nl/bcg/taxonList.php> [accessed 12 Dec 2018]
- Cartujano, S. (2005). *Florística y distribución geográfica del bosque mesófilo de montaña del municipio de Landa de Matamoros, Querétaro, Mexico*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 72 pp.
- CCA (1997). *Regiones ecológicas de América del Norte: hacia una perspectiva común*. Montréal, Canada. Depósito legal-Bibliothèque nationale du Québec, Canada. 71 pp.
- Cházaro, M.J. & Mostul B.L. (1997). *Tillandsia imperialis*. *Journal of the Bromeliad Society* 47(5): 195-198.



- CONABIO (1997). Catálogo de metadatos geográficos. Metadato: 'Provincias biogeográficas de México'. Escala 1:4 000 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Ciudad de México, México
- CONABIO (2008a). Catálogo de metadatos geográficos. Metadato: "Regiones Terrestres Prioritarias". Publicado 05-02-2008. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.
- CONABIO (2008b). Catálogo de metadatos geográficos. Metadato: "Rzedowski, J. (1990). 'Vegetación Potencial'. IV.8.2. Atlas Nacional de México. Vol II. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México." Publicado 26-05-2008. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.
- CONABIO (2008c). Catálogo de metadatos geográficos. Metadato: 'Ecorregiones terrestres de México'. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) - Instituto Nacional de Ecología (INE). Publicado 10-12-2008. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.
- CONANP (2017). *Áreas Naturales Protegidas Federales de México*. Mayo 2017, edición 1. Comisión Nacional De Áreas Naturales Protegidas. Ciudad de México, México.
- Contreras-Medina, R. (2006). Los métodos de análisis biogeográficos y su aplicación a la distribución de las gimnospermas en México. *Interciencia* 31(3): 176-182.
- Cruz-García, S., Garrido-Jiminez, I. & Hornung-Leoni, C.T. (2010). Las bromelias como importantes fito-telmata. *Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas* 7(1): 8-10.
- Dahlgren, R.M., Clifford, H. & Yeo, P. (1985). *The families of the Monocotyledons*. Berlin: Springer Verlag. 520 pp.
- Díaz, M., Farrera, O. & Isidro, M. (2011). Estudio etnobotánico de los principales mercados de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Lacandonia* 5(2): 21-42.
- Espejo-Serna, A. (2014). Las plantas vasculares de los bosques mesófilos de montaña en México. En M. Gual-Díaz, & A. Rendón-Correa (comps.), *Bosques mesófilos de montaña de México: diversidad, ecología y manejo*. México, Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 352 pp.
- Espejo-Serna, A. & López, A.R. (1998). Current floristic and phytogeographic knowledge of Mexican Bromeliaceae. *Revista de Biología Tropical* 46: 493-513.



- Espejo-Serna, A., López, A.R. & Ramírez, I. (2005). Bromeliaceae. *Flora de Veracruz* 136: 1- 307.
- Espejo-Serna, A., López-Ferrari, A.R., Ramírez-Morillo, I., Hols, B.K., Luther, H.E. & Till, W. (2004). Checklist of Mexican Bromeliaceae with notes on species distribution by state and municipality, and levels of endemism. *Selbyana* 25: 33-86.
- Espejo-Serna, A., López-Ferrari, A.R. & Ramírez-Morillo, I. (2010). Bromeliaceae. *Flora del Bajío y regiones adyacentes* 165: 1-82.
- Espejo-Serna, A., López-Ferrari, A.R., Martínez-Correa, N. & Pulido-Esparza, V.A. (2007). Bromeliad flora of Oaxaca, Mexico: richness and distribution. *Acta Botanica Mexicana* 81: 71-147.
- Espejo-Serna, A., López-Ferrari, A.R., Martínez-Correa, N. & Pulido-Esparza, V.A. (2017). Bromeliad flora of Chiapas state, Mexico: richness and distribution. *Phytotaxa* 310(1): 1-74.
- Espejo-Serna, A. & López-Ferrari, A.R. (2018). La familia Bromeliaceae en México. *Botanical Sciences* 96(3): 533-554.
- Espinosa, D., Aguilar, C. & Escalante, T. (2003). Endemismo, áreas de endemismo y regionalización biogeográfica. En L. J. & M. J. J., *Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: Teorías, conceptos, métodos y aplicaciones* (págs. 31-37 p.). México, D. F.: Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- ESRI (2014). *Software, ArcGIS Desktop*: Release 10.3 Environmental Systems Research Institute. Redlands, California, USA.
- Farrera, O., Jonapá, J., Hernández, F. & Beutelspacher, C.R. (2012). Las epifitas vasculares del cerro Mozotal, Motozintla-Siltepec, Chiapas, México. *Lacandonia* 6(2): 27-41.
- Fick, S.E. & Hijmans, R.J. (2017).. Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37(12): 4302-4315.
- Fielding, A.H. & Bell, J.F. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/ absence models. *Environmental Conservation* 24: 38-49.
- Flores-Palacios, A. & García-Franco, J.G. (2004). Effect of isolation on the structure and nutrient budget of oak epiphyte communities. *Plant Ecology* 173: 259–269.
- Flores-Palacios, A. & Valencia-Díaz, S. (2007). Local illegal trade reveals unknown diversity and involves a high species richness of wild vascular epiphytes. *Biological Conservation* 136: 372-387.
- Foster, R. (1952). Benevolent bromeliads (Concl.). *The Bromeliad Society Bulletin* 2(6): 68-69.



- García-Franco, J.G. (1987). *Las Bromelias de Mexico, revisión bibliografica y de herbario*. Publicacion Tecnica del INIREB. Xalapa, Veracruz. 73 pp.
- Gardner, C.S. (1982). *A systematic study of Tillandsia subgenus Tillandsia*. Corpus Cristi: Ph. D. Thesis. Texas A & M. University. Texas. EUA.
- Gardner, C.S. (1986a). Preliminary classification of *Tillandsia* based on floral characters. *Selbyana* 9(1): 130-146.
- Gardner, C.S. (1986b). Inferences about pollination in *Tillandsia* (Bromeliaceae). *Selbyana* 9(1): 76-87.
- Givnish, T.J., Millam, K.C., Berry, P.E. & Sytsma, K.J. (2007). Phylogeny, adaptative radation, and historical biogeography of Bromeliaceae infered from ndfH sequence data. *Aliso* 23: 3-26.
- Givnish, T.J., Barfuss, M.H.J., Van Ee, B., Riina, R., Shulte, K., Horres, R., Gonsiska, P.A., Jabaily, R.S., Crayn, D.M., Smith, J.A.C., Winter, K., Brown, G.K., Evans, T.M., Holst, B.K., Luther, H., Till, W., Zizka, G., Berry, P.E. & Sytsma, K.J. (2014). Adaptative radiation correlated and contingent evolution, and net-species diversification in Bromeliaceae. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 71: 55-78.
- Granados, C. (2005). *Estudio taxonómico del género Tillandsia L. (Bromeliaceae) en la Sierra de Juárez (Oaxaca, México) México*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 131 pp.
- Gouda, E.J. & Butcher, D. (2016 onwards). A List of Accepted Bromeliaceae Names [<http://bromNames.florapix.nl>]. University Botanic Gardens, Utrecht [accessed 12 Dec 2018]
- Guisan, A. & Zimmermann, N. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modeling* 135: 147–186.
- Guzmán-Jacob, V. (2013). *Diversidad de macroartrópodos asociados a tres especies de Tillandsia (Bromeliaceae) en Tlalnelhuayocan, Veracruz*. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. 81 pp.
- Haeckel, I.B. (2008). The 'Arco Floral': Ethnobotany of *Tillandsia* and *Dasyilirion* spp. in a Mexican religious adornment. *Economic Botany* 62 (1): 90–95.
- Haeckel, I.B. (2009). *Ethnobotany, ecology, and harvest impacts of Tillandsia imperialis (Bromeliaceae) in Veracruz, México*. M. Sc thesis, University of Texas, USA.



- Hanley, J.A. & McNeil, B.J. (1982). The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology* 143: 29-36.
- Hietz, P. & Hietz-Seifert, U. (1994). *Epífitas de Veracruz. Guía ilustrada para las regiones de Xalapa y los Tuxtlas, Ver.* México: Instituto de Ecología. 236pp.
- Hietz, P. & Hietz-Seifert, U. (1995). Structure and ecology of epiphyte communities of a cloud forest in central Veracruz, Mexico. *Journal of Vegetation Science* 6(5): 719-728.
- Hirzel, A.H., Hausser, J., Chessel, D. & Perrin, N. (2002). Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data?. *Ecology* 83(7): 2027-2036.
- Hornung-Leoni, C.T. (2011). Bromeliads: traditional plant food in Latin America since prehispanic times. *Polibotánica* 32: 219-229.
- Hornung-Leoni, C.T., Márquez, J. & Bueno-Villegas, J. (2013). Artropods associated with *Tillandsia deppeana* (Bromeliaceae) from Hidalgo state México, with three first state records of coleoptera species. *Entomological News* 122(5): 469-476.
- INEGI, (2009). Catálogo de metadatos geográficos. Metadato: 'Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie IV (continuo nacional)', escala: 1:250000. Dirección General de Geografía. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). México, D. F.
- INEGI, (2010). Catálogo de metadatos geográficos. Metadato: 'Localidades de la República Mexicana, 2010', escala: 1:1. Obtenido de Principales resultados por localidad (ITER). Censo de Población y Vivienda 2010. Editado por Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México, D.F.
- Jarvis, A., Yeaman, S., Guarino, L. & Tohme, J. (2005). The role of geographic analysis in locating, understanding and using plant genetic diversity. *Methods in Enzymology* 395: 279-298.
- Jaynes, E.T. (1957). Information theory and statistical mechanics. *Physical Review*, 106(4): 620-630.
- Jiménez, L., Damon, A., Ochoa-Gaona, S. & Clark, R. (2014). Impact of silvicultural methods on vascular epiphytes (ferns, bromeliads and orchids) in a temperate forest in Oaxaca, México. *Forest Ecology and Management* 329: 10-20.
- Kiff, L.F. (1991). *A distributional check-list of the genus Tillandsia*. Botanical Diversions. California, USA. 93 pp.
- Kitching, R.L. (2001). Food webs in phytotelmata: “bottom-up” and “top-down” explanations for community structure. *Annual Review of Entomology* 46(1), 729-760.



- Kornerup, A. & Wansher, J.H. (1963). *Methuen handbook of colour*. London: Eyre Methuen. 224 pp.
- Lobo, J.M., Jiménez-Valverde, A., & Real, R. (2008). AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global ecology and Biogeography* 17(2): 145-151.
- López-Gutiérrez, B.N., Pérez-Escandón, B.E. & Villavicencio, M.A. (2014). Aprovechamiento sostenible y conservación de plantas medicinales en Cantarras, Huehuetla, Hidalgo, México, como un medio para mejorar la calidad de vida en la comunidad. *Botanical Sciences* 92(3): 389-404.
- Liu, C., White, M. & Newell, G. (2013). Selecting thresholds for the prediction of species occurrence with presence-only data. *Journal of biogeography* 40(4): 778-789.
- Luna-Vega, I. & Alcantara-Ayala, O. (2004). Florística del Bosque Mesófilo de Montaña de Hidalgo. 169-191 pp. in Luna-Vega, I., Morrone, J.J. y Espinosa, D. (eds). *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- Luna-Vega, I., Alcantara-Ayala, O., Contreras-Medica, R. & Ponce-Vargas, A. (2006). Biogeography, current knowledge and conservation of threatened vascular plants characteristic of Mexican temperate forests. *Biodiversity & Conservation* 15(12): 373–379.
- Luque B. (2017). El principio de máxima entropía. *Investigación y Ciencia* 484: 90-92.
- Luther, H.E. (2006). *An alphabetical list of bromeliad binomials*. Sarasota: Bromeliad Society International. 110 pp.
- Luther, H.E. & Sieff, E. (1994). De Rebus Bromeliacearum I. *Selbyana* 15(1): 9-93.
- McVaugh, R. (1989). *Flora novo-galiciana Bromeliaceae to Dioscoreaceae (Vol. 15)*. University of Michigan. University Herbarium. 398 pp.
- Martínez-Meléndez, N., Pérez-Farrera, M. & Martínez-Camilo, R. (2009). The Vascular Epiphyte Flora of El Triunfo Biosphere Reserve, Chiapas, México. *Rhodora* 111(948): 503-536.
- Molina-Luna, N., Martínez, E., Arellanes, Y., Arellanes, A., Hernández, O., Campos, G.V. & Ernríquez, J.R. (2014). Plantas silvestres y arvenses intercambiadas en mercados tradicionales de los valles centrales de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 1(2): 69-81.



- Molina-Luna, N., Arellanes, Y. & Martínez, E. (2015). El papel de la comercialización orquídeas y bromelias de mercados de los valles centrales de Oaxaca, México, en la subsistencia campesina. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*. 210 pp.
- Mondragón, D. & Ticktin, T. (2011). Demographic effects of harvesting epiphytic bromeliads and an alternative approach to collection. *Conservation Biology* 25: 797-807.
- Mondragón, D., Méndez-García, E.M. & Ramírez, I. (2016). Prioritizing the conservation of epiphytic bromeliads using ethnobotanical information from traditional Mexican market. *Economic Botany* 70(1): 29-36.
- Munguía-Lino, G., Vázquez-García, L.M. & López-Sandoval, J.A. (2010). Plantas silvestres ornamentales comercializadas en los mercados de la flor de Tenancingo y Jamaica, México. *Polibotanica* 29: 281-308.
- Murillo, R.M., Palacios, J.G., Labougle, J.M., Hentschel, E.M. & Llorente, J.E. (1983). Variación estacional de la entomofauna asociada a *Tillandsia* spp. en una zona de transición biótica. *The Southwestern Entomologist* 8: 292-298.
- Navarro, A.G., Peterson, A.T., Nakasawa, Y.J. & Liebig-Fossas, I. (2003). Colecciones biológicas, modelaje de nichos ecológicos y los estudios para la biodiversidad. En Llorente, J. & Morrone, J. J. *Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía*. México, D. F.: Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ochoa-Ochoa, L.M., Mejía-Domínguez, N.R., & Bezaury-Creel, J. (2017). Priorización para la Conservación de los Bosques de Niebla en México. *Revista Ecosistemas* 26(2): 27-37.
- Padilla, V. (1960). Tillandsias for Christmas. *The Bromeliad Society Bulletin* 10(6): 83-85.
- Padilla, V. (1986). *Bromeliads a descriptive listing of the various genera and species most often found in cultivation*. Crown Publishers. EUA. 134 pp.
- Palacios, Y. (2017a). En busca de la flor de Niluyarilo. Implicaciones antropológicas. *Cuadernos de Antropología* 27(1): 1-27.
- Palacios, Y. (2017b). The flower mountain (Namandí) in the floreros ritual landscape. *Espacio I+D, Innovación y Desarrollo* VI(14): 79-99.
- Palacios-Vargas, J.G. (1981). Collembola Associated With *Tillandsia* (Bromeliacease) in the Derrame Lavico del Chichinautzin, Morelos, Mexico. *Southwestern Entomologist* 6(2): 87-98.



- Palacios-Vargas, J.G. & Castaño-Meneses, G. (2002). Collembola associated with *Tillandsia violacea* (Bromeliaceae) in Mexican *Quercus-Abies* forests. *Pedobiologia* 46(3-4): 395-403.
- Palacios-Vargas, J., Hornung-Leoni, C.T. & Garrido, I. (2012). Collembola in epiphytic bromeliads (*Tillandsia imperialis*: Bromeliaceae) from Hidalgo, México and description of a new *Sminthurinus* (Collembola: Katiannidae). *Brenesia* 78: 58-64.
- Pardo L. (1993). Teoría de la Información estadística. *Estadística Española* 35(133): 195-268
- Peterson, A.T. (2006). Uses and requirements of ecological niche models and related distributional models. *Biodiversity Informatics* 3: 59-72
- Peterson, A.T., Egbert, S.L., Sánchez-Cordero, V., & Price, K.P. (2000). Geographic analysis of conservation priority: endemic birds and mammals in Veracruz, Mexico. *Biological conservation* 93(1): 85-94.
- Peterson, A.T., Papeş, M., & Soberón, J. (2008). Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological modelling* 213(1): 63-72.
- Peterson, A.T., Soberón, J., Pearson, R.G., Anderson, R.P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M. & Araújo, M.B. (2011). *Ecological niches and geographic distributions*. Princeton, New Jersey, USA.: Princeton University Press. 328pp.
- Peterson, A. T. & Soberón, J. (2012). Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right. *Natureza & Conservação* 10(2): 102-107.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P. & Schapire, R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231–259.
- Porembski, S. & Barthlott, W. (1999). *Pitcairnia felicianae*: the only indigenous African bromeliad. *Harvard Papers in Botany* 4: 175-184.
- Rapoport, E.H. (1975). *Areografía. Estrategias geográficas de las especies*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Rapoport, E.H. & Monjeau, A.J. (2001). Areografía. En J. Llorente, & J.J. Morrone, *Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos y aplicaciones* (págs. 23-30). México: Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rauh, W. (1979). Bromelienstudien: 1. Neue und wenig bekannte Arten aus Peru und anderen Landern (9. Mitteilung). *Abh. Akad. Wiss. Lit. Mainz Math. Naturwiss. Klasse, Trop. Subtrop. Pflanzenwelt* 31: 23-29.



- Raxworthy, C.J., Martinez-Meyer, E., Horning, N., Nussbaum, R.A., Schneider, G.E., Ortega-Huerta, M.A. & Peterson, A.T. (2003). Predicting distributions of known and unknown reptile species in Madagascar. *Nature* 426: 837–841.
- Ríos-Muñoz C. A., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2009). Efectos del cambio de uso de suelo en la disponibilidad hipotética de hábitat para los psitácidos de México. *Ornitología Neotropical* 20: 491-509.
- Ruiz-Jiménez, C.A., Meave, J., & Contreras-Jiménez, J.L. (2000). (Oaxaca), México: análisis estructural. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 65: 23-37.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Editorial limusa. México, DF.
- Rzedowski, J. (1990). 'Vegetación Potencial'. IV.8.2. Atlas Nacional de México. Vol II. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Rzedowski, J. (1996). Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mésofilos de montaña de México. *Acta Botanica Mexicana* 35: 25-44.
- Rzedowski, J., de Rzedowski, G.C. & Butanda, A. (2009). *Los principales colectores de plantas activos en México entre 1700 y 1930*. Centro Regional del Bajío. Instituto de Ecología, AC.
- Sánchez-González, L.A. (2013). Cuando un "nuevo registro" es realmente un nuevo registro: consideraciones para su publicación. *Huitzil* 14(1): 17-21.
- Sánchez-Ramos, G. & Dirzo, R. (2014). El bosque mesófilo de montaña: un ecosistema prioritario amenazado. En Gual-Díaz, M. & Rendón-Correa, A. (Comps.). *Bosques mesófilos de montaña de México: diversidad, ecología y manejo*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. CONABIO, México D.F. 352 p.
- SEDUE (1988). Secretaría de desarrollo urbano y ecología. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Publicada el 28 de enero de 1988 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 13 de mayo de 2016.
- SEMARNAT (2010). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.
- SEMARNAT-CONANP (2017). Metadato: "182ANP_Geo_ITRF08_Noviembre_2017" edición: 2017. Publicado 06-12-2017. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional De Áreas Naturales Protegidas. Ciudad de México, México.



- Shannon, C.E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal* 27(3): 379-423.
- Smith, L.B. & Downs, R.J. (1974). Pitcarnoideae (Bromeliaceae). *Flora Neotropica Monograph* 14: 1-658.
- Smith, L.B. & Downs, R.J. (1977). Tillandsioideae (Bromeliaceae). *Flora Neotropica Monograph* 14: 659-1492.
- Smith, L.B. & Downs, R.J. (1979). Bromelioideae (Bromeliaceae). *Flora Neotropica Monograph* 14: 1493-2142.
- Stevens, P.F. (2001 onwards). Angiosperm Phylogeny Website. Retrieved Nov 2009, from <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>.
- Soberón, J., & Peterson, A.T. (2005). Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2: 1-10
- Toledo, V.M. & Ordóñez, M.D.J. (1998). El panorama de la biodiversidad de México: una revisión de los hábitats terrestres. En: Ramamoorthy, T.P., Bye, R., Lot, A. & Fa, J. (eds) *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. 739-757.
- Turland, N. (2013). *The code decode. A user guide to the international code of nomenclature for algae, fungi and plants*. Koeltz Scientific Books. 169 pp
- Véliz, M. (2010). *Guía de reconocimiento del género Tillandsia de Guatemala*. Guatemala: Consejo Nacional de Áreas Protegidas-CONAMP. 113 pp.
- Villaseñor, J.L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87(3): 559-902.
- Villavicencio Nieto, M.A. & Pérez Escandón, B.E. (2005). Guía de la flora útil de la Huasteca y la zona Otomí-Tepehua, Hidalgo I. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Centro de Investigaciones Biológicas. Hidalgo, México. 171 pp.
- Vite-Posadas, J.A. (2005). *Caracterización anatómica y estudio farmacológico de Tillandsia imperialis Morren ex Roehl (Bromeliaceae)*. Ciudad de México, México: Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Williams-Linera, G., Manson, R.H. & Isunza-Vera, E. (2002). La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México. *Madera y Bosques* 8: 73–89.



Winkler, M., Hülber, K. & Hiertz, P. (2007). Population dynamics of epiphytic bromeliads: life strategies and the role of host branches. *Basic and Applied Ecology* 8: 183-196.

WWF-CONABIO-CCA (1997). Taller Nacional 'Ecological and Biogeographical Regionalization of Mexico'. Mexico, D.F.

