



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN BOTÁNICA

DISTRIBUCIÓN POTENCIAL Y SITIOS DE CONSERVACIÓN DE *Tagetes* (Asteraceae) EN LA FAJA VOLCÁNICA TRANSMEXICANA

MARÍA DEL ROCIO BOLAÑOS SÁNCHEZ

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

2022



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: “**Distribución Potencial y Sitios de Conservación de *Tagetes* (Asteraceae) en la Faja Volcánica Transmexicana**” realizada por la estudiante: **María del Rocío Bolaños Sánchez** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
BOTÁNICA

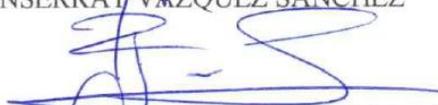
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA



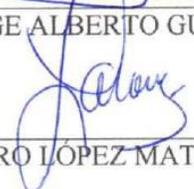
DRA. MONSERRAT VAZQUEZ SANCHEZ

ASESOR



DR. JORGE ALBERTO GUTIÉRREZ GALLEGOS

ASESOR



DR. LAURO LÓPEZ MATA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, mayo de 2022

DISTRIBUCIÓN POTENCIAL Y SITIOS DE CONSERVACIÓN DE *Tagetes* (Asteraceae) EN LA FAJA VOLCÁNICA TRANSMEXICANA

María del Rocío Bolaños Sánchez, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2022

RESUMEN

El género *Tagetes* perteneciente a la familia Asteraceae incluye 50 a 55 especies. México es considerado el centro de diversificación de este género con 27 especies, de las cuales 15 son endémicas. Estas especies son importantes por su diversidad de usos, entre estos, como plantas medicinales, ceremoniales, comestibles, entre otros. En México se distribuyen en una amplia variedad de climas, principalmente en áreas montañosas donde predominan áreas de transición climática como es la Faja Volcánica Transmexicana (FVT). Esta región natural destaca por su alta riqueza de especies, pero también por el alto número de especies endémicas. La FVT cuenta con 37 Áreas Naturales Protegidas decretadas, sin embargo, actualmente no se cuentan con estudios que muestren el estado de conservación, diversidad, y distribución real de diversos grupos de angiospermas entre estos los correspondientes a especies de *Tagetes*. En el presente estudio se planteó como objetivo analizar la distribución real y potencial de *Tagetes* en la FVT, y predecir aquellas áreas geográficas con mayor diversidad que se encuentren en áreas de conservación y con ello poder apoyar propuestas de áreas potenciales para la conservación en la Región. Los modelos de distribución potencial se generaron con registros de presencia de 14 especies de *Tagetes* en la región y con 50 variables climáticas utilizando el Software MaxEnt. Los modelos obtenidos se utilizaron en el software ConsNet para definir sitios idóneos para la conservación. Los 14 modelos de distribución realizados se categorizan como regulares con valores de 0.704 a buenos con valores de 0.905 respecto a sus valores de AUC. De acuerdo con los dos escenarios resueltos en ConsNet, el escenario MDS2-10% presenta mejor solución al tener menor número de celdas cubriendo un área de 10031.36 km², donde se encuentran 12 Áreas Naturales Protegidas (ANP) y solo, dos de estas presentan registros de *Tagetes*.

Palabras clave: Complementariedad, Conservación, ConsNet, MaxEnt, Subrogados.

**POTENTIAL DISTRIBUTION AND CONSERVATION SITES OF *Tagetes* (Asteraceae)
IN THE TRANS-MEXICAN VOLCANIC BELT**

**María del Rocio Bolaños Sánchez, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2022**

ABSTRACT

The genus *Tagetes* belongs to the Asteraceae family and has 50 to 55 species. Mexico is considered the center of diversification of this genus with 27 species, of which 15 are endemic. These species are important for their diversity in uses such as medicinal, ceremonial and edible plants, among others. In Mexico they are distributed in a wide variety of climates, mainly in mountainous areas where areas of climatic transition predominate, such as the Transmexican Volcanic Belt (FVT). This region stands out for its high species richness, but also for the high number of endemic species. The TVF has 37 Natural Protected Areas, however, there are currently no studies that show the conservation status, diversity, and actual distribution of *Tagetes* species. The objective of the present study was to analyze the actual and potential distribution of *Tagetes* in the FVT, and to predict those geographic areas with greater diversity that are in conservation areas and thus be able to support proposals for potential areas for conservation in the region. The potential distribution models were generated with records of the presence of 14 *Tagetes* species in the region and with 50 climatic variables using MaxEnt software. The models obtained were used in the ConsNet software to define suitable sites for conservation. The 14 distribution models performed are categorized as fair with values of 0.704 to good with values of 0.905 with respect to their AUC values. According to the two scenarios solved in ConsNet, the MDS2-10% scenario presents a better solution by having fewer cells covering an area of 10031.36 km², in which there are 12 Natural Protected Areas (NPA), where two NPAs have records of *Tagetes*.

Key words: Complementarity, Conservation, ConsNet, MaxEnt, Surrogates.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para poder llevar a cabo mis estudios de Maestría y realizar el presente trabajo. Así como al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo y al Posgrado de Botánica por permitirme fortalecer mi formación como profesional.

A los miembros de mi consejo particular, Dra. Monserrat Vázquez Sánchez por su asesoramiento y apoyo durante todo el proceso, al Dr. Jorge Alberto Gutiérrez Gallegos, Dr. Lauro López Mata por su apoyo y comentarios acertados para la realización del proyecto, al Dr. Mario Suárez Mota por su apoyo y guía en la metodología del presente trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres por ser mi guía de vida, así como su apoyo incondicional en mi camino.

A mis hermanos por siempre estar apoyándome y confiando en mi crecimiento.

*A todos mis amigos por ser mi segunda familia y estar presentes en todo momento asiendo más
amenas mis estancias lejos de casa.*

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTAS DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
<i>Tagetes</i> (ASTERACEAE).....	3
Importancia de las especies del género <i>Tagetes</i>	4
Morfología	5
Importancia económica de <i>Tagetes</i>	5
La Faja Volcánica Transmexicana.....	6
Modelado de distribución potencial	9
¿Cómo se genera un modelo de distribución?.....	12
¿Que se ha abordado con los modelos de distribución potencial?.....	13
¿Cómo funciona el Algoritmo Maxent?.....	14
Conservación en la Faja Volcánica Transmexicana.....	15
CAPÍTULO I. DISTRIBUCIÓN POTENCIAL Y SITIOS DE CONSERVACIÓN DE <i>Tagetes</i> (ASTERACEAE) EN LA FAJA VOLCÁNICA TRANSMEXICANA	17
1.1 RESUMEN.....	17
1.3 INTRODUCCIÓN	19
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS	23
1.4.1 Área de estudio.	23

1.4.2 Bases de datos.....	23
1.4.3 Análisis de datos	24
1.4.4 Selección a priori de variables ambientales.....	25
1.4.5 Modelo de Distribución Potencial.....	25
1.4.6 Selección de áreas de conservación	26
1.5 RESULTADOS	28
1.5.1 Selección de especies.....	28
1.5.2 Análisis de datos.....	28
1.5.3 Modelos de distribución potencial.....	30
1.5.4 Áreas de conservación	31
1.6 DISCUSIÓN	37
1.7 CONCLUSIONES.....	41
CONCLUSIONES GENERALES.....	42
LITERATURA CITADA	43
ANEXOS	54

LISTAS DE CUADROS

CAPITULO I

Cuadro 1.1 Listado de especies registradas en la FVT y valores de analisis de pruebas de validación de los MDP.....	29
Cuadro 1.2. Valores de Varianza total de los Componentes Principales	30
Cuadro 1.3. Tipos Áreas Naturales Protegidas presentes en la FVT	31
Cuadro 1.4. Registros de especies de Tagetes presentes en los escenarios MDS2- 10 % y MDS2-25%.....	34
Cuadro 1.5. Áreas Naturales Protegidas encontradas en los límites de los escenarios MDS2- 10% y MDS2- 25% y número de especies de Tagetes presentes en las ANP.....	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Regiones de la Faja Volcánica Transmexicana.	8
Figura 2. Diagrama de BAM.	11

CAPITULO I

Figura 1.1. Localización geográfica de la FVT en el territorio Nacional.	24
Figura 1.2. Áreas Naturales Protegidas en la Red de Conservacion al 10 %	32
Figura 1.3. Áreas Naturales Protegidas en la Red de Conservacion al 25 %	33

INTRODUCCIÓN

Asteraceae es una de las familias más grandes de plantas vasculares, se encuentra clasificada en 12 subfamilias que comprende 42 tribus (Del Vitto *et al.* 2009) con alrededor de 1600 géneros y 24 mil especies (Roque *et al.* 2017). Algunos países Neotropicales cuentan con la mayor diversidad de miembros de esta familia, entre ellos México, donde se reportan 26 tribus que corresponden a 417 géneros y 3113 especies, las cuales se pueden localizar a lo largo de todo el territorio mexicano, desde vegetación costera hasta vegetación de altas montañas (Villaseñor 2018). La tribu Tageteae está integrada por 23 géneros (Redonda & Villaseñor 2009) y cerca de 260 especies concentradas en las regiones más áridas de América, especialmente abundantes en México (Villarreal 2003). El género *Tagetes*, con 56 especies, es endémico del continente americano y aproximadamente 22 especies se encuentran y distribuyen en México (Kurpis *et al.* 2019), cifra que es similar a la reportada por Villaseñor (2016). Por otra parte, el uso que las etnias mesoamericanas le han dado a las especies de *Tagetes* está reportado en el Códice de la Cruz-Badiano y el Códice Florentino. En la actualidad las especies de *Tagetes* son importantes en la agricultura (Mendoza-García *et al.* 2015), además son particularmente interesantes por su diversidad y uso en México como plantas ceremoniales, comestibles, medicinales y en la industria alimenticia (García-Sánchez *et al.* 2012).

Por otra parte, debido a la gran diversidad biológica que presenta México, esta se entiende como un complejo mosaico de distribución de especies y ecosistemas, en donde se observan patrones geográficos de su riqueza. Esta complejidad biológica se relaciona con la gran heterogeneidad del medio físico, que a su vez es producto de una historia geológica y climática compleja (Espinosa-Organista 2008).

Un ejemplo de ello es la Franja Volcánica Transmexicana (FVT) que no solamente destaca por

su alta riqueza de especies de plantas, sino que también presenta un alto número de especies endémicas (Suárez-Mota *et al.* 2013). Para la FVT se han registrado un total de 748 taxones de Asteraceae que representan el 25 % de las especies registradas en el país. De las Asteraceae documentadas, 418 son endémicas de México, y 23 taxones se distribuyen de manera exclusiva o casi exclusiva en la FVT. En el género *Tagetes* se han registrado un total de 16 especies de las cuales ocho son endémicas (Villaseñor & Ortiz 2007).

En este sentido, el presente trabajo tuvo como objetivo analizar la distribución real y potencial de las especies de *Tagetes* en la FVT y con ello apoyar las estrategias de conservación de las Áreas Naturales Protegidas. Lo anterior, debido a que actualmente no se cuenta con estudios de diversidad y conservación de *Tagetes*, género que presenta un considerable porcentaje de especies endémicas, aspecto relevante de la FVT al ser considerada como centro de diversificación de *Tagetes*, además de su importancia cultural y económica.

REVISIÓN DE LITERATURA

Tagetes (ASTERACEAE)

La familia Asteraceae ha sido considerada como un grupo natural. Actualmente está dividida en 42 tribus, de las cuales 24 contienen especies nativas en México, otras dos tribus (Arctotideae y Calenduleae) registran especies introducidas (exóticas), al parecer ya naturalizadas o en proceso de naturalización (Villaseñor 2018). El género *Tagetes* fue propuesto y descrito por Linnaeus Carl Von en 1753 (*Species plantarum*); pertenece a la tribu Tageteae la cual está integrada por 23 géneros (Redonda & Villaseñor 2009) y unas 260 especies concentradas en las regiones más áridas de América, especialmente abundantes en México (Villarreal 2003).

El género *Tagetes* es considerado como género americano (Schiavinato *et al.* 2019) con una distribución desde el Suroeste de Estados Unidos de América hasta Argentina (Villarreal 2003) y se reconocen de 50 a 55 especies. México es considerado el centro de diversificación del género al contener 27 especies, 15 endémicas y dos microendémicas (Villaseñor 2018). Las especies del género son reconocidas como plantas multipropósito, se cultivan como plantas ornamentales ya que prosperan en diversos agroclimas (Vasudevan *et al.* 1997). En México las especies de *Tagetes* se distribuyen en una amplia variedad de climas y suelos, a excepción de áreas húmedas, cálidas y desérticas. Se encuentran principalmente en áreas montañosas donde prevalecen áreas de transición climática y cálidas-templadas. Los principales sistemas montañosos donde se distribuye son la Sierra de la Laguna en Baja California Sur, Sierra Madre del Sur, Sierra Madre de Chiapas, Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental y la Faja Volcánica Transmexicana (Serrato-Cruz 2014).

Importancia de las especies del género *Tagetes*

Las especies de *Tagetes* son importantes por su diversidad en México y su uso ceremonial, comestible, medicinal e industrial (García-Sánchez *et al.* 2012; Sánchez- Ruíz 2012). Una especie representativa de la cultura nacional es *Tagetes erecta* L. conocida como “Cempaxúchitl” o “flor de muertos”; esta especie es característica de una de las tradiciones más emblemáticas de la cultura mexicana en varias etnias del territorio nacional; esta tradición tiene sus inicios desde tiempos prehispánicos y sigue vigente. En la actualidad, algunas especies del género son utilizadas en la gastronomía tradicional, una de las especies más empleadas es *Tagetes lucida* Cav., conocida como “pericón” la cual es empleada para dar un sabor distinto a los “elotes”, alimento tradicional de la Cultura Mexicana. En la industria de la alimentación también son utilizadas algunas especies de *Tagetes* ya que son la base para pigmentar la yema de huevo, pastas alimenticias y como saborizante (Quintanilla-Carvajal 2015).

Textos como los códices de la Cruz-Badiano y Florentino presentan una compilación Botánica de la descripción de plantas con propiedades medicinales, así como su preparación (Turner 2007; Sánchez-Ruiz *et al.* 2012). También son utilizadas para tratar infecciones dermato-mucosas con efecto viral, antifúngicas, nematocida, padecimiento de los ojos, bacteriostático, saborizante, perfumería, ornamental entre otras; en la industria algunas especies se usan para la elaboración de pegamento y pigmentos naturales. (Del Villar-Martínez *et al.* 2007; Barrera-Roca *et al.* 2009; Barajas-Pérez *et al.* 2011; Rincón-Enríquez *et al.* 2012; Ruíz & Mejía 2020). Las propiedades de las especies están relacionadas con la presencia de metabolitos secundarios como flavonoides, terpenos, taninos, esteroides, cumarinas, glucósidos, cardiotónicos, entre otros; estos metabolitos muestran potencial tanto para medicina en humanos, como en animales (Camacho-Campos *et al.* 2019).

En México últimamente se han desarrollado trabajos sobre el conocimiento sistemático de los recursos fitogenéticos de *Tagetes*, un taxa con una distribución geográfica extensa en el país y potencialmente útil por sus aceites esenciales para controlar plagas y enfermedades (Cedillo-Díaz *et al.* 2013).

Morfología

Las especies del género *Tagetes* se caracterizan por ser plantas herbáceas o algunas veces arbustivas anuales o perennes, provistas de glándulas aromáticas, hojas opuestas o bien las superiores alternas, por lo común profundamente pinnatipartidas o pinnadas, algunas veces simples, con numerosas glándulas oleíferas translúcidas; cabezuelas solitarias sobre pedúnculos bien definidos más o menos cimoso-corimbosas, involucre cilíndrico, fusiforme o angostamente campanulado, las brácteas de tamaño subigual, unidas entre sí hasta cerca del ápice y provistas de 2 hileras de glándulas oleíferas translúcidas; receptáculo plano o convexo, desnudo; flores liguladas generalmente presentes, fértiles, sus corolas amarillas, anaranjadas, rojizas o blancas; flores del disco hermafroditas, sus corolas amarillas o anaranjadas, con la garganta infundibuliforme, anteras con las bases obtusas, ramas del estilo de las flores hermafroditas truncadas y peniciladas en el ápice, o bien, con apéndices cónicos cortos; aquenios lineares o claviformes, vilano de 3 a 10 escamas desiguales, a veces más o menos unidas entre sí, 1 ó 2 (a veces más) de ellas lineares, mucho más largas que las demás. (Rzedowski *et al.* 2005, Sánchez-Sánchez 1980).

Importancia económica de *Tagetes*

En el sector agrícola y económico algunas especies de *Tagetes* son importantes. La Subsecretaría de Agricultura en 2019 registró una siembra de cempaxúchitl de 2561 hectáreas, con una unidad

de medida en el nivel nacional de nueve mil 574 gruesas, 505 mil 865 manojos, dos millones 278 mil plantas y 21 mil 380 toneladas. El cempaxúchitl se produce principalmente en 20 municipios correspondientes a los estados de México, Puebla, Hidalgo, Guerrero, Michoacán, Tlaxcala, San Luis Potosí, Morelos, Oaxaca, Ciudad de México y Durango (SADER). Otras especies que son utilizadas en la medicina tradicional, su principal fuente de extracción es por medio de la recolección, acción que genera ingresos económicos a quienes la realizan; un punto importante a resaltar es que al ser una actividad no controlada se encuentra en riesgo de ocasionar pérdida de biodiversidad debido al desconocimiento de un buen manejo de los Recursos Naturales (Juárez-Rosete *et al.* 2013).

La Faja Volcánica Transmexicana

Diversos autores han propuesto y reconocido a la FVT como una provincia florística, zoológica y biogeográfica (Gámez *et al.* 2012) que ha sido analizada desde distintas perspectivas, entre estas, los análisis de parsimonia de endemismos, análisis cladísticos, fenéticos y panbiogeográficos (Miguez-Gutiérrez *et al.* 2013; Suárez-Mota *et al.* 2013; González-Avila *et al.* 2018). Aspectos que permiten rehacer análisis de los límites geográficos y sus relaciones bióticas, y proponer nuevas áreas para su regionalización (Suárez-Mota *et al.* 2013).

La FVT es una región geológicamente activa constituida por cerca de 8000 estructuras volcánicas (Gómez-Tuena *et al.* 2005), su formación comenzó durante el Oligoceno y concluyó en el Holoceno (Garibay-Orijel *et al.* 2013). Se localiza principalmente entre los 19° y 21° de latitud norte, entre los 1,500 y 3,000 m de altitud, con una extensión aproximada de 959 km de longitud y 50-150 km de ancho (Morrone 2005), presenta una forma transversal que se extiende de la costa del océano Pacífico hasta el Golfo de México. Se reconocen tres grandes sectores

bióticos (Figura 1): el sector occidental, central y oriental (Ferrari 2000). Es en esta última porción donde se localizan las montañas volcánicas de mayor altura del país: Pico de Orizaba (5636 m), Popocatepetl (5426 m), Iztaccíhuatl (5230 m) y La Malinche (4461 m) (Morrone 2019; García-De Jesús *et al.* 2016).

Su área cubre una superficie cercana al 9.17% del territorio mexicano, e incluye parte de 14 estados los cuales son: Ciudad de México, Colima, Estado de México, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Puebla, Querétaro, Tlaxcala y Veracruz. Los climas que se encuentran son variables, siendo templado con invierno seco y lluvias en verano (Cw) el que ocupa la mayor parte de la provincia (Ferrusquía 2007). Presenta diversos tipos de vegetación, predominando los bosques de Coníferas (31%) y Encinos (28%). La superficie contiene numerosos ríos, entre estos destacan el Lerma-Santiago, los tributarios del Balsas-Mexcala y el Tula Moctezuma (Sánchez-González *et al.* 2005).

La Faja Volcánica Transmexicana destaca y se reconoce por su alta diversidad de especies vegetales y por su alto número de especies endémicas, debido a su heterogeneidad ambiental y origen geológico complejo (Gámez *et al.* 2012). Por otra parte, esta provincia es la región del país que mayor atención ha recibido desde el punto de vista geológico y geofísico, por la actividad volcánica que se registra y por la elevada concentración de asentamientos humanos e infraestructura (Suárez-Mota *et al.* 2013).

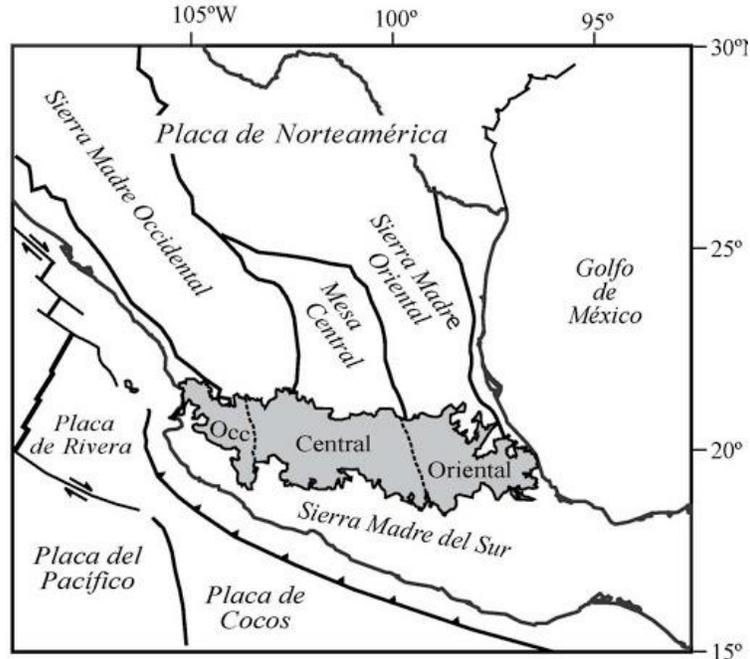


Figura 1. Regiones de la Faja Volcánica Transmexicana. Tomada de Sociedad Geológica Mexicana

De acuerdo con Castellano & Paniagua (2007) la FVT puede clasificarse a partir de una organización jerárquica del paisaje la cual permite tener mayores elementos para la conservación y manejo de los recursos naturales con respecto al tamaño de las regiones y la distribución de los paisajes. En la FVT se encuentran especies amenazadas por la cría de animales, conversión de hábitats, recolección de leña, explotación de especies silvestres y crecimiento de las zonas urbanas (Morrone 2019), lo cual representa un riesgo y amenaza su diversidad biológica.

En la FVT se reconoce una alta diversidad florística de Asteraceae, que asciende alrededor de 408 taxones endémicos de México y, la mayoría de ellos con distribución restringida a la misma (Villaseñor & Ortiz 2007).

Modelado de distribución potencial

Desde inicios del siglo XX existe una sistematización de la información concerniente a la distribución de las especies y su relación con el clima. Como consecuencia, en los últimos años el desarrollo de nuevas técnicas estadísticas, la expansión de herramientas para análisis espaciales, la amplia difusión de información geoespacial y el desarrollo de técnicas en los sistemas de información geográfica han permitido un avance significativo en la generación de los modelos de distribución potencial (MDP) (Guisan & Zimmermann 2000; Scott *et al.* 2002; Rushton *et al.* 2004; Swenson 2008).

Los modelos de distribución potencial son representaciones cartográficas de la idoneidad de un espacio para la presencia de una especie en función de las variables empleadas en su generación. La idoneidad no es más que la relación matemática o estadística entre la distribución conocida y un conjunto de variables independientes que se usan como indicadores. Estas variables suelen ser geológicas, topográficas o climáticas, y se espera que, con algunas de ellas, individualmente o en combinación, se puedan definir los factores ambientales que delimiten las condiciones favorables para la presencia de la especie (Guisan & Zimmermann 2000, Mateo *et al.* 2011).

Estos modelos predictivos se fundamentan en el concepto de nicho ecológico que, a través de premisas estadísticas, estiman el área ambientalmente idónea dentro del espacio geográfico dónde las especies pueden sobrevivir (Soberon *et al.* 2000; Soberon 2010). Dentro del nicho ecológico existen limitaciones para que las especies puedan establecerse; estas son principalmente condiciones ambientales y topográficas, que influyen de manera directa en la presencia o ausencia de las especies en una determinada región (Mateo *et al.* 2011; Peterson *et al.* 2011). Por lo tanto, el área de distribución de las especies es un espacio geográfico donde una especie está presente,

interactúa con el ecosistema y se restringe según su tolerancia ambiental resultado de procesos evolutivos que han determinado su presencia en ciertos espacios (Wiens & Graham 2005, Maciel-Mata *et al.* 2015).

El concepto de nicho utilizado por la mayoría de los biólogos tiene sus raíces en el concepto propuesto por Grinnell 1917: “El Nicho es definido como la suma de todos los factores ambientales que actúan sobre un organismo; el nicho es una región sobre un espacio multidimensional...” Esa definición lleva a distinguir 1) **nicho fundamental** definido como el conjunto de variables abióticas, bajo las cuales una especie tiene la capacidad de subsistir; 2) **nicho potencial** o nicho fundamental existente, definido como las variables abióticas específicas existentes en un tiempo y área determinada, en donde la especie puede sobrevivir y 3) **nicho efectivo** (o real) definido como el espacio geográfico que contiene las variables abióticas y bióticas necesarias donde la especie sobrevive (Soberón *et al.* 2017; Soberón & Nakamura 2009; Soberón & Peterson 2011).

Estos modelos reciben diferentes nombres como: modelos de nicho ecológico (MNE), modelos de distribución de especies (MDS), modelos de distribución potencial (MDP) o modelos de idoneidad ambiental (MSE), entre otros (Franklin & Miller 2009; Peterson *et al.* 2011). Los cuales han generado debate entre distintos autores al intentar clarificar los conceptos, aunque no con mucha claridad (Elith & Leathwick 2009; Peterson *et al.* 2006; Soberón 2010).

Una manera gráfica de representar la diferencia entre estos modelos fue propuesta por Soberón & Peterson (2005) mediante el “Diagrama BAM” (Figura 2). El diagrama es la representación de un espacio geográfico (G) donde se muestra que el área de distribución de una especie, en un tiempo dado es el resultado de una combinación de factores. En el diagrama se observan aquellas regiones que reúnen las características donde: 1) existan las condiciones ambientales que permiten

la sobrevivencia y reproducción de la especie (el Nicho Fundamental). Se expresa con la letra **A** y se mide con variables escenopoéticas; 2) el medio biótico adecuado para la especie. Esto es, los sitios donde se presentan interacciones biológicas positivas y negativas que promueven o impiden la presencia de las especies, se denota con la letra **B**. y 3) la región accesible para la dispersión se denota con la letra **M**. La región denotada **G₀** (nicho efectivo) es la intersección favorable de las condiciones abióticas, bióticas y la accesibilidad. La región **G₁** son aquellas regiones que cuenta con las condiciones favorables, pero no hay dispersión de las especies.

Con base en el diagrama, sí se decide hacer MNE, entonces se debe tomar en cuenta el nicho fundamental de la especie, es decir, la región A y B del modelo BAM. Finalmente, sí se decide hacer MDP, se debe tomar en cuenta el área **G₀** que es la interacción de A, B y M; que es aquella área accesible a la que pueda llegar a invadir la especie, sí se presentan las interacciones optimas (Peterson *et al.*, 2011).

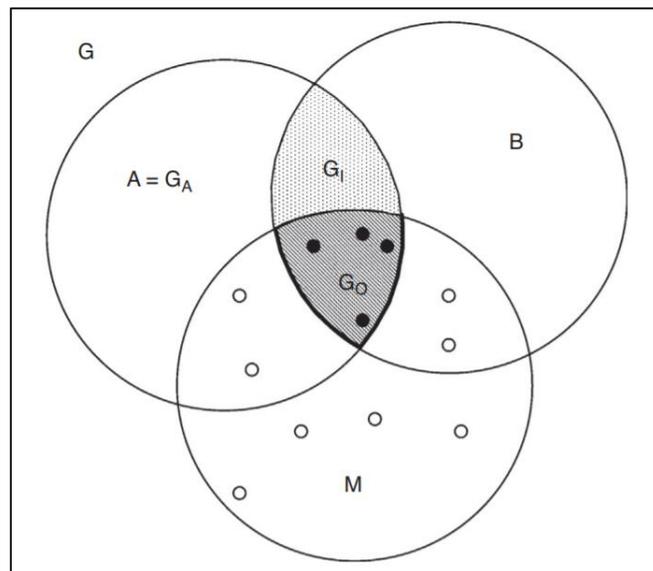


Figura 2. Diagrama de BAM. Fuente: (Soberón *et al.* 2017)

¿Cómo se genera un modelo de distribución?

Para construir modelos de distribución potencial se requieren coberturas ambientales y registros de presencia de las especies; con estos datos se proyecta la distribución potencial inferida a partir de un nicho ecológico fundamental (Montoya-Ibarra *et al.* 2010). Los modelos se diferencian en dos grupos con base en los métodos de obtención de información; 1) modelos probabilísticos, son aquellos que están basados en el re-muestro sistemático de los datos para inferir la probabilidad de ocurrencia de una especie en el espacio geográfico; 2) modelos multivariados, son aquellos basados a partir de registros eventuales de una especie (Maciel-Mata *et al.* 2015). De igual forma se pueden clasificar en tres técnicas:

Técnicas discriminantes: se construyen con datos de presencia y ausencia de las especies, utilizan algoritmos matemáticos para obtener un clasificador que presenta la idoneidad de manera directa o indirecta de la presencia de las especies en un sitio en función de la información climática de los registros obtenidos; en esta técnica se encuentran algoritmos como Classification and Regression Trees (CART) (Breiman *et al.* 1984), Canonical Correspondence Analysis (CCA) (Guisan *et al.* 1999), Artificial Neural Network (ANN) (Pearson *et al.* 2002), Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) (Friedman 1991,) y MaxEnt (Phillips *et al.* 2006) (Mateo *et al.* 2011).

Técnica descriptiva: solo requieren datos de presencia, fueron las primeras en emplearse para modelación, en estas técnicas se encuentra BIOCLIM (Busby 1986) que caracteriza el ambiente con base en datos de presencia de las especies, DOMAIN (Walker & Cocks 1991) que evalúa nuevos sitios en términos de similitud ambiental de los datos conocidos de las especies. Ambos métodos se basan en ecuaciones de distancia para buscar valores de similitud (Elith *et al.* 2006).

Técnicas mixtas: generan sus propias pseudo–ausencias empleando distintas reglas tanto descriptivas como discriminantes, para obtener modelos de consenso, realiza modelos interactivos con las técnicas Desktop-GARP (Stockwell & Peters, 1999) y OM-GARP (Elith *et al.* 2006, Mateo *et al.* 2011).

La selección de la técnica de modelación establece la relación entre los datos de presencia/ausencia y los valores del conjunto de variables donde se ubican los puntos, posterior a la selección de datos y técnicas se procede a la calibración (aplicación de análisis estadísticos asociados al ajuste del modelo proyectado en el espacio geográfico), evaluación (caracterización de la confiabilidad de los resultados de los modelos), predicción y proyección espacial (transferencia de los valores continuos de probabilidad o binarios obtenidos a un espacio geográfico) (Pliscoff & Fuentes, 2011).

¿Que se ha abordado con los modelos de distribución potencial?

Los modelos de distribución potencial (MDP) abordan distintas funciones según su interpretación, principalmente en la ecológica. Algunos autores consideran que los MDP son modelos de idoneidad que se entienden como aquellos espacios donde pueden estar presentes las especies de acuerdo con las características ambientales (Mateo *et al.* 2011) donde el clima es un factor determinante para la distribución de las especies.

Dentro de los campos que abordan la aplicación de los modelos son los relacionados con sistemas de conservación de especies como una estrategia de protección a la diversidad biológica y endemismos (Suárez-Mota 2018), ubicar y definir características ecológicas de zonas potenciales para la conservación de recursos genéticos de especies silvestres sobreexplotadas (Hernández-Ruíz *et al.* 2016), predecir respuestas de las especies por la modificación de la cobertura vegetal por el

cambio del uso de suelo durante periodos de tiempo y su influencia con la distribución de las especies (Contreras-Medina 2010), estimar patrones de riqueza florística en regiones determinadas (Villaseñor *et al.* 2013, Suárez-Mota *et al.* 2017), diseñar métodos para muestreo de especies raras o poco conocidas (Gil & Lobo 2012), predecir la distribución de especies invasoras (Palma-Ordaz & Delgadillo-Rodríguez 2014), modelar la distribución de especies bajo escenarios de Cambio Climático (Feria-Arroyo *et al.* 2013; Cruz-Cárdenas *et al.* 2016; Estrada *et al.* 2016), determinar la amplitud de distribución potencial para especies nativas y revisar hipótesis de migración (Delgadillo-Moya *et al.* 2012), estimar la diversidad de áreas naturales y establecer sitios adecuados para la propagación de especies en peligro de extinción o intereses de aprovechamiento (Villaseñor & Téllez-Valdés 2004).

¿Cómo funciona el Algoritmo Maxent?

Maxent forma parte de las técnicas discriminantes que se utilizan para generar modelos de distribución que funcionan con el algoritmo de máxima entropía (Warren & Seifert 2011). La modelación es por medio de predicciones o inferencias de información incompleta como cuando solo se cuenta con datos de presencia. Los modelos de distribución potencial estiman la relación entre registros de especies en sitios y el ambiente o características especiales de esos sitios, son ampliamente utilizados para muchos propósitos en biogeografía, conservación, biología y ecología (Elith *et al.* 2011). El método MaxEnt funciona bajo el principio de máxima entropía, que es una medida de aleatoriedad basada en la probabilidad de encontrar un objeto en un lugar determinado de forma aleatoria y uniforme, a partir de información incompleta en donde al aproximar una distribución de probabilidad desconocida, el mejor enfoque es asegurar que la aproximación satisfaga cualquier restricción sobre la distribución desconocida que conocemos y que esté sujeta

a esas restricciones, la distribución debería tener la máxima entropía (Phillips *et al.* 2006; Elith *et al.* 2011).

De manera general el programa MaxEnt sólo necesita dos conjuntos de datos para generar los MNE: 1) registros de presencias de las especies, como mínimo 5 y 2) variables (continuas o categóricas) de tipo abióticas: temperatura, precipitación, altitud, materia orgánica, pH, altitud, topografía, tipo de suelos, entre otros. (Phillips *et al.* 2006). Para obtener los registros de presencia de las especies, es necesario tener un control de calidad antes de usar los datos. Para ello se deben tomar en cuenta cuatro aspectos importantes: 1) El origen taxonómico de los datos, 2) La fuente de origen de los datos, 3) La georreferenciación de los datos y 4) La precisión de las georreferencias (Franklin & Miller, 2009; Newbold 2010; Peterson *et al.* 2011).

Conservación en la Faja Volcánica Transmexicana

La conservación es una estrategia para la protección de la diversidad biológica, con el propósito de reducir los riesgos de extinción, sin embargo, se requieren de esfuerzos en la conservación vegetal, principalmente en las zonas montañosas del país (Suárez-Mota *et al.* 2018). Los sitios con endemismos se consideran en los programas de conservación, ya que son sitios irremplazables y relevantes para estudios biogeográficos (Suárez-Mota & Villaseñor 2011).

En la última década los modelos de nicho ecológico han sido utilizados como estrategias para la determinación de patrones de distribución de especies y selección de áreas de conservación, al ser aproximaciones de idoneidad de las especies relacionadas con variables eco geográficas, las cuales nos permiten identificar cuales limitan y definen los nichos ecológicos para así determinar las áreas de distribución potencial de las especies (Suárez-Mota *et al.* 2018). Con estos modelos es posible identificar las áreas con alta diversidad y reconocer patrones de riqueza de especies y su

distribución, lo cual se analiza junto con la información ya existente para tomar decisiones sobre conservación de las áreas (Carrasco-Ortiz *et al.* 2019). Para ello los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten comparar bases de datos de periodos de tiempos diferentes para localizar los cambios ocurridos en lapsos de tiempo (Molina & Barros 2005).

En México las Áreas Naturales Protegidas cubren aproximadamente un 12% de la superficie del territorio del país (Suárez *et al.* 2018). Se estima que existe entre un 52 a 56% de flora endémica que se distribuye en diferentes regiones del país, entre ellas la Faja Volcánica Transmexicana (Suárez-Mota & Villaseñor, 2011). Dentro de esta región, la CONABIO ha propuesto 20 Regiones Terrestres Prioritarias, de las cuales 12 se encuentran con más del 50% de área dentro de la FVT, además de 37 Áreas Naturales Protegidas, a pesar de ello existen algunas zonas con mayor riqueza que no forman parte de las áreas de conservación establecidas (Suárez-Mota & Téllez-Valdés 2014).

CAPÍTULO I. DISTRIBUCIÓN POTENCIAL Y SITIOS DE CONSERVACIÓN DE *Tagetes* (ASTERACEAE) EN LA FAJA VOLCÁNICA TRANSMEXICANA

1.1 RESUMEN

Antecedentes: México es el centro de diversificación del género *Tagetes* L. al registrar 27 de entre 50 a 55 especies. Estas especies son interesantes por su diversidad de usos, presentan una distribución principalmente en áreas montañosas como la Faja Volcánica Transmexicana (FVT). Esta región destaca por su alta riqueza de especies, y endemismo. Sin embargo, actualmente no se cuenta con estudios que muestren el estado de conservación, diversidad, y distribución real de las especies de *Tagetes* dentro de la FVT.

Preguntas y / o Hipótesis: ¿Las especies de *Tagetes* son útiles para apoyar, definir y sustentar áreas potenciales de conservación en la FVT?

Especies de estudio / Descripción de datos / Modelo matemático: 14 especies del género *Tagetes* presentes en la FVT.

Sitio y años de estudio: El estudio se efectuó en la región de la FVT en 2020 y 2021.

Métodos: Se generaron modelos de distribución potencial (MDP) con el software MaxEnt usando los registros de presencia de especies de *Tagetes* junto con 50 variables, 19 climáticas, un Modelo Digital de Elevación (DEM), nueve Índices de vegetación normalizados, siete variables climáticas de estacionalidad y 14 edafológicas y topográficas. Los modelos resultantes se analizaron en el software ConsNet para definir redes de conservación.

Resultados: De acuerdo a sus valores 0.704 a 0.905 del AUC, los MDP se consideran de regulares a buenos. Se definieron dos escenarios resueltos en ConsNet, el primer escenario (MDS2-10 %) presenta mejor solución por tener menor número de celdas cubriendo un área de 10,031.36 km², que coinciden con 12 Áreas Naturales Protegidas (ANP), de las cuales dos presentan registros de *Tagetes*. A comparación del segundo escenario (MDS2-25 %) que cubre un área de 25771.19 km².

Conclusiones: Las zonas que presentan idoneidad para la distribución de las especies de *Tagetes*, se considera que son útiles para apoyar y definir áreas potenciales de conservación, dada su alta coincidencia con áreas prioritarias previamente establecidas en la FVT.

Palabras clave: Complementariedad, Conservación, ConsNet, MaxEnt, Subrogados.

1.2 ABSTRACT

Background: Mexico is the center of diversification of the *Tagetes* L., registering 27 of 50-55 species. These species are interesting for their diversity in uses, which are distributed mainly in mountainous areas such as the Transmexican Volcanic Belt (TVB). This region stands out for its high species richness and endemism. However, there are currently no studies that show the conservation status, diversity, and actual distribution of *Tagetes* species within the TVB.

Questions and / or Hypotheses: Are *Tagetes* species useful for supporting, defining and sustaining potential conservation areas in the TVB?

Studied species / data description /Mathematical model: 14 species of the genus *Tagetes* present in the TVB.

Study site and dates: The study was conducted in the TVB region.

Methods: Potential Distribution Models (PDM) were generated with MaxEnt software using *Tagetes* species occurrence records together with 50 variables; 19 climatic variables, a Digital Elevation Model (DEM), nine normalized vegetation indices, seven seasonality climatic variables and 14 edaphological and topographical variable. The resulting models were used in ConsNet software to define conservation networks.

Results: According to their AUC values of 0.704 to 0.905, the PDM are categorized fair with to good. From the two scenarios solved in ConsNet, the first scenario (MDS2-10 %) presents a better solution by having fewer cells covering an area of 10,031.36 km², in which there are 12 Natural Protected Areas (NPA), two of which have *Tagetes* records. A comparison of the second scenario (MDS2-25%) that covers an area of 25771.19 km².

Conclusions: The zones that present suitability for the distribution of *Tagetes* species, these are useful to support and define potential conservation areas, their coincidence with those previously established in the FVT region.

Keywords: Complementarity, Conservation, ConsNet, MaxEnt, Surrogates.

1.3 INTRODUCCIÓN

Asteraceae es una de las familias más grandes de plantas vasculares, integrada por 42 tribus de las cuales 24 contienen especies nativas en México (Villaseñor 2018). La tribu Tageteae está conformada por 23 géneros (Redonda *et al.* 2009) concentrados en las regiones áridas de América y especialmente abundantes en México. *Tagetes* L. es un género de esta tribu en el que se reconocen de 50 a 55 especies distribuidas desde el Suroeste de Estados Unidos de América hasta Argentina (Villareal 2003). México se considera el centro de diversificación del género al contener 27 especies, 15 de ellas endémicas y dos micro endémicas (Villaseñor 2018).

Las especies de *Tagetes* en México se distribuyen en una amplia variedad de climas y suelos, principalmente en regiones montañosas donde predominan áreas de transición climática y cálidas-templadas como ocurre en la Faja Volcánica Transmexicana (Serrato-Cruz 2014). Estas especies son importantes por su diversidad y usos agrícolas, plantas medicinales, ceremoniales, comestibles y ornato (Del Villar-Martínez *et al.* 2007, Barrera-Roca *et al.* 2009, Barajas-Pérez 2011, García-Sánchez *et al.* 2012, Rincón *et al.* 2012, Sánchez-Ruíz *et al.* 2012, Ruíz & Mejía 2020).

La diversidad biológica y la complejidad en la distribución de ecosistemas que presenta México, se explica en gran medida por la heterogeneidad del medio físico, y compleja historia biogeográfica, climática y geológica, aspectos que han favorecido la presencia de distintos patrones geográficos y riqueza (Espinosa-Organista & Ocegueda-Cruz 2008, Gámez *et al.* 2012). Un ejemplo de esta complejidad es la FVT que destaca no solo por su riqueza de especies, sino también por su número de endemismos (Suárez-Mota *et al.* 2013), que la categorizan como la cuarta región florística con mayor riqueza genérica (Villaseñor 2004). La FVT es una región geológicamente activa, su formación data del Oligoceno y el Holoceno (Garibay-Orijel *et al.* 2013). Se extiende desde la costa del Océano Pacífico hasta la costa del Golfo de México (Ferrari

2000) donde cubre una superficie aproximada del 9.17 % del territorio mexicano. El clima que predomina en la región varía de seco a húmedo y de cálido a frío e incluye treinta subtipos climáticos (Ortega-Rubio *et al.* 2015). En cuanto a vegetación, los bosques de coníferas y encinos son predominantes, pero también se encuentran zonas compuestas por pastizales, matorrales subalpinos, bosques mesófilos, matorrales xerófilos y selvas bajas caducifolias (Espinosa-Organista & Ocegueda-Cruz 2008).

La conservación es una estrategia encaminada a un manejo que minimice riesgos de extinción de la biodiversidad. Actualmente, los sitios con endemismos se consideran en estrategias de conservación al ser sitios irremplazables y relevantes para estudios biogeográficos (Suárez-Mota & Villaseñor 2011). Al respecto en México existen áreas protegidas que cubren aproximadamente 12 % de la superficie de su territorio (Suárez-Mota *et al.* 2018), la FVT cuenta con 37 Áreas Naturales Protegidas (ANP) y con 20 Regiones Terrestres Prioritarias propuestas por CONABIO (Arriaga *et al.* 1997). A pesar de ello, se encuentran algunas zonas con mayor riqueza vegetal que las áreas de conservación ya establecidas, que no se consideran aún sitios prioritarios de conservación, principalmente las zonas montañosas (Suárez-Mota & Téllez-Valdés 2014; Suárez-Mota *et al.* 2018). En este sentido se requieren más esfuerzos que consideren estudios enfocados a evaluar los modelos de distribución de especies que sirvan de base para apoyar propuestas de conservación vegetal.

Los Modelos de Distribución Potencial (MDP) son representaciones cartográficas del nicho fundamental de las especies, indican la idoneidad de un espacio para la presencia de un taxón determinado en función de factores abióticos (Soberón *et al.* 2017; Soberón 2010). Para generar estos modelos, además de variables climáticas, también se utilizan capas geológicas o topográficas con el objetivo de definir los factores que delimiten las condiciones favorables para la presencia

de las especies (Guisan & Zimmermann 2000, Mateo *et al.* 2011). Estos modelos se fundamentan en el concepto de Nicho que tiene sus raíces con el concepto propuesto por Grinnell (1917): “*El nicho es definido como la suma de todos los factores ambientales que actúan sobre un organismo*”, lo cual permite llevar a distinguir 1) el nicho fundamental como el conjunto de factores abióticos bajo los cuales una especie puede subsistir, 2) nicho potencial: conjunto de factores abióticos específicos existentes en un tiempo y área determinada donde la especie puede sobrevivir y 3) nicho efectivo: es aquella parte del nicho fundamental en la que actualmente vive una especie (Soberón 2007; Soberón & Nakamura 2009; Soberón & Peterson 2011).

En las últimas décadas los MNE y los MDP han sido utilizados para determinar patrones de distribución de especies y también para la selección de áreas de conservación (Suárez-Mota *et al.* 2018) basada en la identificación de áreas con alta diversidad, así como el reconocimiento de patrones de riqueza de especies, con lo cual se analiza la información ya existente para tomar decisiones sobre el estatus de conservación de áreas de interés (Carrasco-Ortiz *et al.* 2019).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y distintos Software como MaxEnt que funciona bajo el principio de máxima entropía (Elith *et al.* 2011) y ConsNet que utiliza un algoritmo metaheurístico (Urbina-Cardona & Flores-Villela 2010, Suárez-Mota & Téllez-Valdés 2014), permiten comparar bases de datos con diferentes periodos de tiempo y con ello localizar los cambios ocurridos en lapsos de tiempo determinados, así como ubicar y definir características ecológicas de zonas potenciales para la toma de decisiones en el diseño de redes de áreas de conservación, estimar patrones de riqueza florística y para diseñar métodos para muestreo de especies raras o poco conocidas (Molina & Barros 2005, Villaseñor & Téllez-Valdés 2004).

En este contexto y debido a que actualmente no se cuenta con estudios que muestren el estado de conservación de las especies de *Tagetes* dentro de la FVT, el presente trabajo tiene como objetivo analizar la distribución potencial de las especies de *Tagetes* en la FVT y generar información que permita sustentar las estrategias de conservación presentes en la FVT.

1.4 MATERIALES Y MÉTODOS

1.4.1 Área de estudio.

La FVT es una región que destaca por su alta diversidad florística y elevada proporción de endemismos, debido a su heterogeneidad ambiental y origen geológico complejo (Gámez et al. 2012, Miguez-Gutiérrez et al. 2013). La FVT se localiza en las coordenadas 21° 38' 24" a 18° 23' 24" latitud Norte y 96° 22' 12" a 105° 45' longitud Oeste (Figura 1.1.) (Gámez et al. 2012, Suárez-Mota et al. 2013, González-Ávila et al. 2018) y en ella se reconocen tres sectores: occidental, central y oriental (Ferrari 2000). Para el presente análisis se utilizó el polígono de la FVT delimitado por regionalización geomorfológica de México de Ferrusquía (1990).

1.4.2 Bases de datos.

Los datos de presencia de especies de *Tagetes* distribuidas en el área de estudio se obtuvieron a partir de revisiones bibliográficas (Villaseñor & Ortiz 2007, Villaseñor 2016), registros de los herbarios CHAPA del Colegio de Postgraduados, y en bases de datos digitales como el Herbario Nacional de México (MEXU 2020), la Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (REMIB 2020) y de Global Biodiversity Information Facility (GBIF-2020). Con los datos obtenidos se corroboró en The Plant List (<http://www.theplantlist.org>) la correcta escritura de los nombres científicos. También se verificó la georreferenciación de las presencias mediante la plataforma de Google Earth v. 9.157.0.0. Los datos que no contaban con información completa del lugar de colecta o con errores de georreferencia no se incluyeron para generar los modelos.

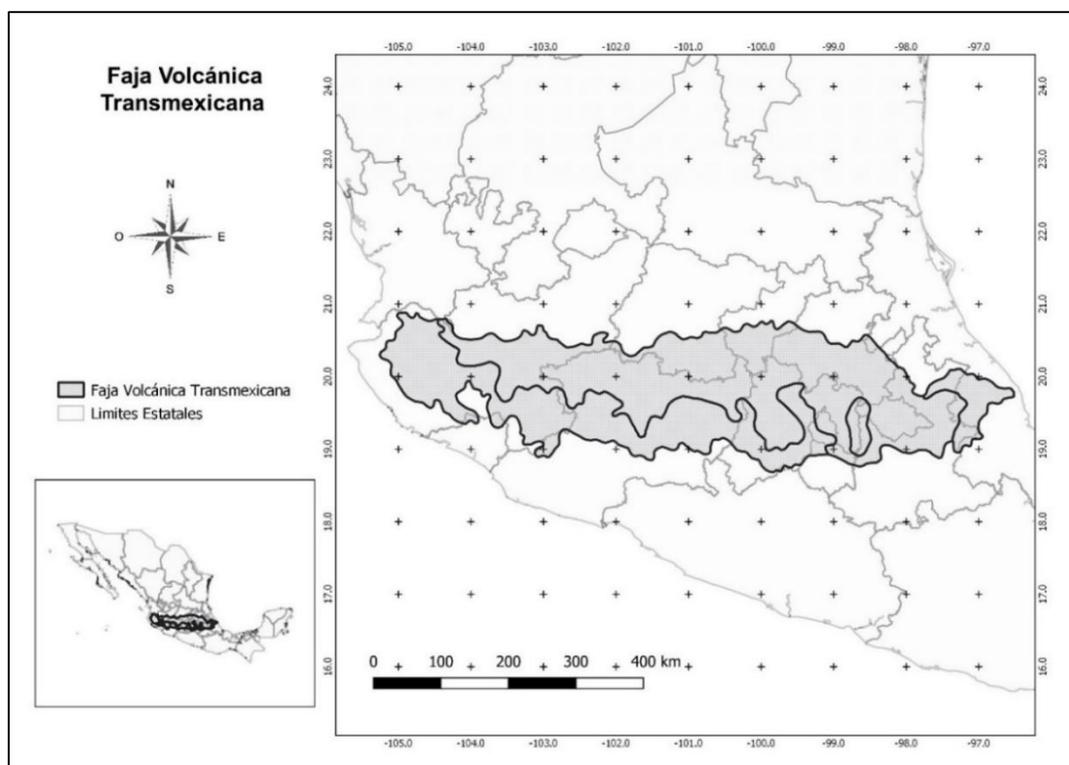


Figura 1.1. Localización geográfica de la FVT en territorio Nacional adaptada para la realización del presente trabajo.

1.4.3 Análisis de datos.

Los registros georreferenciados y verificados se proyectaron en el sistema de información geográfica (QGIS v. 3.10.8) para comprobar que al menos cinco de los registros de presencia se encontraran dentro del polígono de la FVT. Finalmente, se realizó un análisis de aleatoriedad en el paquete estadístico R 3.6.1 (R Core Team, 2019), con el objetivo de evitar la autocorrelación espacial de los datos de presencia (Soberón et al., 2000), lo cual es un requerimiento para la generación posterior del MDP.

1.4.4 Selección a priori de variables ambientales.

Las 50 variables ambientales utilizadas consistieron de 19 variables climáticas obtenidas del Centro de Ciencias de la Atmosfera (UNIATMOS, Fernández-Eguiarte *et al.* 2015), un Modelo Digital de Elevación (DEM), nueve Índices de vegetación normalizados, siete variables climáticas de estacionalidad, así como 14 edafológicas-topográficas tomadas de Cruz-Cárdenas *et al.* (2014). Se obtuvieron los datos ambientales de cada sitio de presencia utilizando QGIS v. 3.10.8., y a la base de datos resultante se le aplicó un Análisis de Componentes Principales (ACP) en el paquete estadístico R 3.6.1 (R Core Team, 2019), que permitió seleccionar aquellas variables con mayor peso y utilizarlas para la generación del MDP. Esta técnica estadística permite reducir las dimensiones de una matriz de dimensiones $n*m$ sin una pérdida considerable de información (Palacio 2020). Para corroborar que las variables seleccionadas se comporten como factores comunes (Peterson y Nakazawa, 2008), se realizó un análisis factorial que permitió evaluar la unicidad y comunalidad de las variables ambientales.

1.4.5 Modelo de Distribución Potencial.

El MDP se realizó con el Software MaxEnt (Phillips *et al.* 2006), donde se ingresaron los datos de presencia de las especies georreferenciadas y las variables ambientales más significativas para cada especie. La configuración de MaxEnt (Phillips *et al.* 2006) fue con los parámetros por defecto del Software (Phillips & Dudik 2008) excepto en las opciones “Extrapolate” y “Do clamping” las cuales fueron desactivadas, ya que generalmente son utilizadas en trabajos de transferencia de nicho (Owens *et al.* 2013). Se utilizó un formato de salida de tipo logístico. Se estableció que 75 % de los datos de presencia fueran utilizados para el entrenamiento de los modelos y el 25 % restante para la validación. En los modelos se empleó el método de Área Bajo la Curva (AUC) de

la característica operativa ROC. Además, se realizó una prueba binomial con el paquete estadístico R3.6.1 (R Core Team, 2019) para evaluar si los modelos son mejores que uno elegido al azar. Finalmente, los modelos resultantes se transformaron a mapas binarios en QGIS 3.10.8 tomando el umbral de corte el valor de *Fixe cumulative value 10* recomendado cuando se modelan áreas geográficas extensas, como el caso de esta investigación (Pearson et al. 2007, Phillips & Dudík 2008, Cruz- Cárdenas *et al.* 2014, Norris 2014).

1.4.6 Selección de áreas de conservación.

Para la selección de las áreas de conservación se utilizó el software ConsNet (Ciarleglio *et al.* 2009) que permite tomar decisiones en el diseño de áreas de conservación utilizando algoritmos metaheurísticos (Urbina-Cardona & Flores 2010, Suárez & Téllez 2014). Con la probabilidad de distribución de las especies de cada celda, ConsNet realiza una decisión binaria y ordena las celdas jerárquicamente sobre la base de su valor de biodiversidad, disminuyendo así el número de celdas seleccionadas, máxima compacidad y forma un objetivo de forma intransitiva (ITS), con este paso se pretende la búsqueda de una solución de cardinalidad mínima y simultáneamente mejorar la forma del área de conservación (Ciarleglio *et al.* 2009).

Los criterios de compactibilidad (área y perímetro) y conectividad en la configuración espacial son relevantes en el proceso de áreas de conservación (Ciarleglio *et al.* 2009). Con los modelos binarios transformados de MaxEnt, se evaluaron dos porcentajes en los escenarios de conservación, uno con 10 % y otro con 25 % de la representación total de los modelos, los cuales fueron definidos por el algoritmo MDS (selección de celdas con los substitutos de mayor déficit de representación). Los polígonos de los escenarios obtenidos se exportaron a QGIS 3.10.8 donde se realizó una sobreposición con el mapa de ANP decretadas por la Comisión Nacional de Áreas Naturales

Protegidas (CONAP) para delimitar aquellas áreas de las ANP que coinciden con los escenarios resueltos por ConsNet.

1.5 RESULTADOS

1.5.1 Selección de especies.

Dentro de la FVT se obtuvieron 1,854 registros correspondientes a 21 especies pertenecientes a *Tagetes*. Después de eliminar registros repetidos y aquellos que se encontraban fuera del polígono de la FVT, se obtuvo una lista final con 666 registros pertenecientes a 14 especies, donde cinco de estas se consideran como endémicas (Cuadro 1.1.).

1.5.2 Análisis de datos.

En la aplicación del Análisis de Componentes Principales (ACP) a las 50 variables climáticas, edafológicas, topográficas e índices de normalidad, se encontró que siete componentes explican 80 % de la varianza total de la matriz compuesta por las variables ambientales de cada presencia (Cuadro 1.2.), las variables Temperatura media anual (Bio1), Temperatura máxima del mes más cálido (Bio5), Temperatura media del trimestre más cálido (Bio10), Modelo digital de elevación (DEM) (Anexo 2) y diciembre-modis son las que tuvieron mayor contribución en los modelos. Por otro lado, pH y Mg (Anexo 1) son las variables que menos contribuyeron a los modelos.

Cuadro 1.1. Lista de especies de *Tagetes* distribuidas en la FVT empleadas en los análisis y valores de pruebas de validación de los MDP, el (* indica las especies que son endémicas)

Especies	Registros iniciales	Registros empleados	AUC	Binomial
<i>T. coronopifolia</i> Willd.*	71	42	0.905	0.92
<i>T. erecta</i> L.	334	75	0.817	0.95
<i>T. filifolia</i> Lag.	217	42	0.812	0.92
<i>T. foetidissima</i> Hort. Ex DC.	120	59	0.873	0.94
<i>T. linifolia</i> Seaton *	39	22	0.981	0.86
<i>T. lucida</i> Cav.	346	102	0.76	0.96
<i>T. lunulata</i> Ortega *	178	54	0.716	0.93
<i>T. micrantha</i> Cav.	182	76	0.765	0.95
<i>T. persicifolius</i> (Benth.) BL Turner *	23	11	0.696	0.72
<i>T. pringlei</i> S. Watson *	31	16	0.704	0.80
<i>T. remotiflora</i> Kunze	7	5	0.649	0.54
<i>T. stenophylla</i> B.L.Rob	46	15	0.833	0.81
<i>T. subulata</i> Cerv.	86	86	0.636	0.83
<i>T. tenuifolia</i> Cav.	174	61	0.871	0.94
Total	1,854	666	-	-

Cuadro 1.2. Valores de varianza total de los Componentes Principales que contribuyen en la construcción de los modelos de distribución potencial.

Especies	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
<i>Tagetes coronopifolia</i>	0.345	0.560	0.641	0.711	0.767	0.816	-
<i>Tagetes erecta</i>	0.368	0.517	0.649	0.722	0.766	0.802	-
<i>Tagetes filifolia</i>	0.327	0.511	0.657	0.718	0.777	0.814	-
<i>Tagetes foetidissima</i>	0.255	0.476	0.600	0.687	0.748	0.783	0.810
<i>Tagetes linifolia</i>	0.352	0.632	0.747	0.805	-	-	-
<i>Tagetes lucida</i>	0.264	0.499	0.601	0.691	0.734	0.771	0.801
<i>Tagetes lunulata</i>	0.327	0.511	0.657	0.718	0.777	0.814	-
<i>Tagetes micrantha</i>	0.328	0.549	0.641	0.703	0.749	0.792	0.823
<i>Tagetes persicifolius</i>	0.359	0.568	0.699	0.811	-	-	-
<i>Tagetes pringlei</i> S.	0.280	0.519	0.6531	0.759	0.825		
<i>Tagetes remotiflora</i>	0.472	0.803	-	-	-	-	-
<i>Tagetes stenophylla</i>	0.366	0.542	0.671	0.743	0.805	-	-
<i>Tagetes subulata</i>	0.295	0.534	0.639	0.736	0.798	0.841	-
<i>Tagetes tenuifolia</i>	0.340	0.540	0.645	0.718	0.765	0.806	-

1.5.3 Modelos de distribución potencial.

Los 14 MDP obtenidos fueron evaluados con los valores de Área Bajo la Curva (AUC) generados por MaxEnt (Anexo 3) de acuerdo con Mateo *et al.* (2011), Peterson *et al.* (2011), Araujo & Guisan (2006) y se clasificaron en tres categorías: valores menores a 0.60 modelos malos, valores de 0.60 a 0.70 regulares y valores mayores 0.80 a 0.90 buenos. Respecto al valor de AUC el mejor modelo es el de *T. linifolia* con un valor AUC de 0.981, seguida de *T. coronopifolia* con 0.905. Valores

bajos se presentaron en *T. subulata* con un AUC de 0.636 y *T. remotiflora* con 0.649, que los categoriza como modelos regulares. La prueba binomial aplicada a los modelos mostró que 12 modelos son significativos y por lo tanto son mejores que tomar cualquier otro modelo al azar, y dos modelos (*T. persicifolius* y *T. remotiflora*) obtuvieron valores inferiores a 0.80 (Cuadro 1.1.).

Cuadro 1.3. Tipos de Áreas Naturales Protegidas en la Faja Volcánica Transmexicana (CONABIO 2008).

Categoría	Área (km²)	APN presentes en la FVT
Reserva de la biosfera	2,918.78	3
Parque Nacional	1,915.88	30
Áreas de Protección de Recursos Naturales	25,113.9	3
Áreas de Protección de Flora y Fauna	1376.9	6
Total	31,325.46	42

1.5.4 Áreas de conservación.

En la superposición del mapa de ANP con el polígono de la FVT se identificaron 42 ANP (Anexo 4) decretadas con un manejo en cuatro categorías: Reserva de la Biosfera (RB), Parque Nacional (PN), Áreas de Protección de Recursos Naturales (APRN) y Áreas de Protección de Flora y Fauna (APFF), estas ANP cubren un área de 31,325.46 km², que representa casi el 19.21 % del territorio de la FVT (Cuadro 1.3.). Los resultados obtenidos en los dos escenarios resueltos en ConsNet mostraron que el escenario MDS2-10 % presento una mejor solución al obtener un menor número de celdas (86) que representa el 6.15 % del área de la FVT, en comparación del escenario MDS2-25 % con 221 celdas y un área de 25,771.19 km² que representa un 15.08 % del área de la FVT. Así mismo ambos escenarios presentan el mismo número de agrupamientos, esto considerando que la diferencia entre ambos es la dimensión de los mismos.

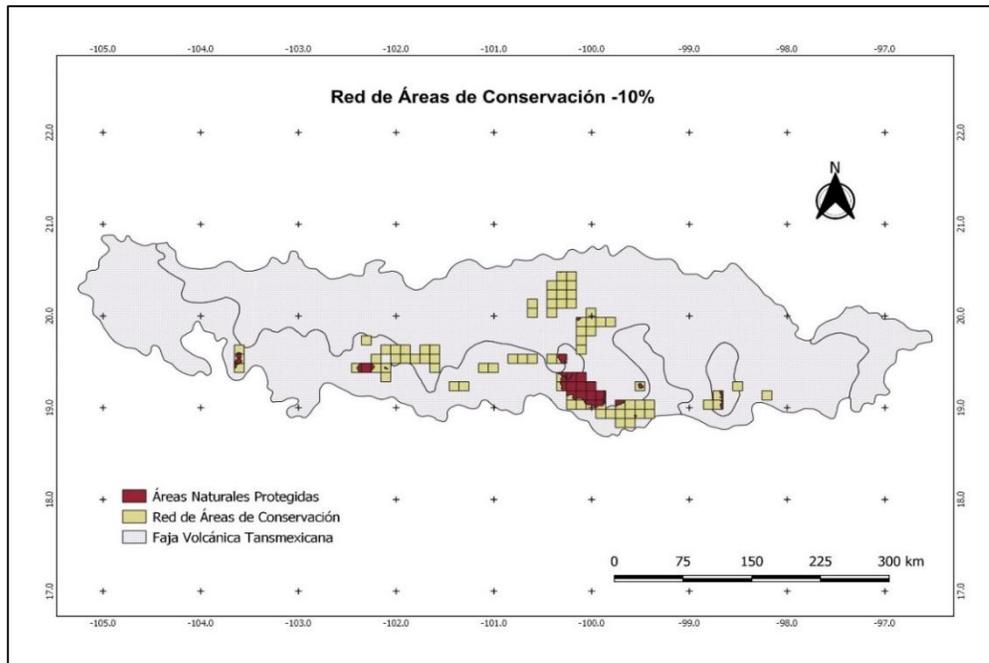


Figura 1.2. Áreas Naturales Protegidas (Rojo) dentro de los límites de la Red de Áreas de Conservación al 10 %.

La sobreposición de los escenarios resueltos con el mapa de ANP y los mapas de presencias de las especies mostraron que el escenario MDS2-10 % (Anexo 5) tuvo una presencia de 94 registros pertenecientes a 13 especies, de las cuales cuatro son endémicas. Mientras que el escenario MDS2-25 % (Anexo 6) registró una presencia de 226 registros pertenecientes a las 14 especies; donde cinco están reportadas como endémicas (Cuadro 1.4.). En ambos escenarios se mostró que las especies con más registros de presencia son *Tagetes erecta*, *Tagetes lucida* y *Tagetes micrantha*, sin embargo, *Tagetes linifolia* presento solo un registro en el escenario MDS2-25 % y se encuentra fuera de los límites de las ANP.

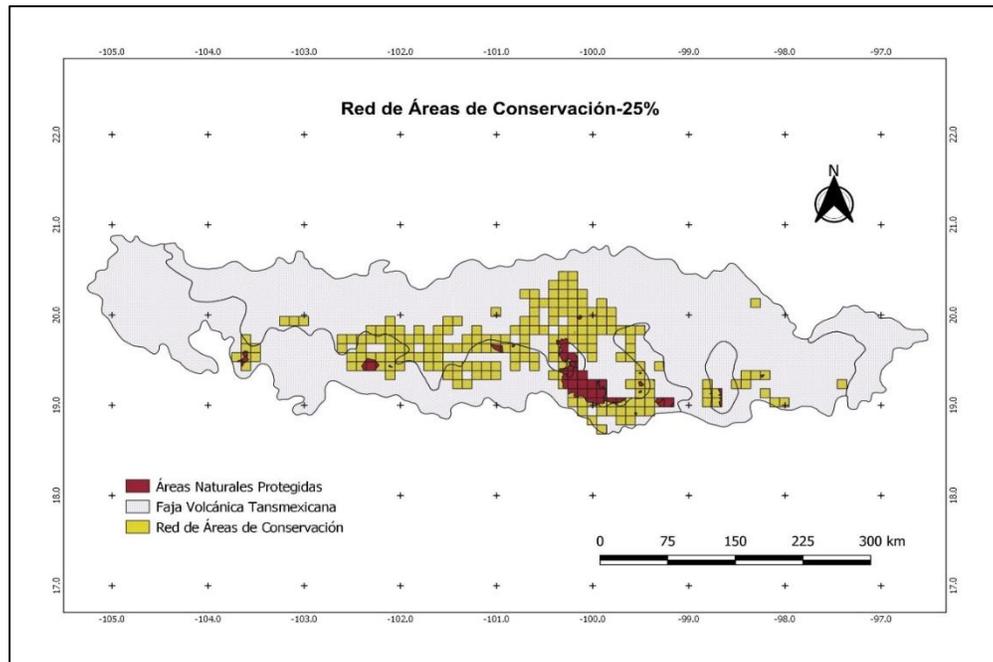


Figura 1.3. Áreas Naturales Protegidas (Rojo) dentro de los límites la Red de Áreas de Conservación al 25 %.

Respecto a las ANP dentro de las Redes de Conservación de los dos escenarios; la red MDS2-10 % registra 12 ANP (Figura 1.2.) que cubren un área de 148.05 km², donde dos de las ANP: Mariposa monarca y la Cuenca de los ríos Valle de Bravo, Malcatepec, Tilostoc y Temascaltepec; presentan registros de *Tagetes*, pero ninguna endémica. Mientras que la red MDS2-25 % registro 22 ANP (Figura 1.3.) que cubren un área de 228.493 km², de las cuales ocho ANP tienen registros de presencia de especies de *Tagetes*: Corredor Biológico Chichinautzin, Bonsecheve, Tepozteco, Insurgente José María Morelos, Lagunas de Zempoala, Xicoténcatl, Cuenca de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec y de estas solo dos ANP: Corredor Biológico Chichinautzin y Xicoténcatl presentan registros de presencia de las especies endémicas: *T. coronopifolia* y *T. linifolia* (Cuadro 1.5.).

Cuadro 1.4. Registros de especies de *Tagetes* en los escenarios MDS2-10% y MDS2-25%

Especies	Registros MDS2-10%	Registros MDS2-25%
<i>T. coronopifolia</i> *	3	7
<i>T. erecta</i>	11	35
<i>T. filifolia</i>	11	17
<i>T. foetidissima</i>	14	29
<i>T. linifolia</i> *	0	1
<i>T. lucida</i>	15	40
<i>T. lunulata</i> *	8	18
<i>T. micrantha</i>	14	33
<i>T. persicifolius</i> *	1	4
<i>T. pringlei</i> *	2	10
<i>T. remotiflora</i>	2	3
<i>T. stenophylla</i>	6	9
<i>T. subulata</i>	6	11
<i>T. tenuifolia</i>	1	9
Total	94	226

Cuadro 1.5. Áreas Naturales Protegidas que coinciden con los escenarios MDS2- 10% y MDS2-25 %, y número de especies presentes en las APN (* ANP con presencia de especies endémicas).

Área Natural Protegida	Número de especies por APN	Categoría	Área (km2) MDS2-25%	Área (km2) MDS2-10%
Barranca del Cupatitzio		PN	0.371	0.396
Cerro de Garnica		PN	0.786	-
Bosencheve	1	PN	5.174	0.046
Ciénegas del Lerma		APFF	2.587	1.782
Corredor Biológico Chichinautzin *	5	APFF	13.371	-
Desierto del Carmen o de Nixcongo		PN	0.412	0.412
El Cimatarío		PN	0.088	0.088
El Jabalí		APFF	1.611	1.098
El Tepozteco	1	PN	0.929	-
Insurgente José María Morelos	1	PN	6.167	-
Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla		PN	0.158	-
Iztaccíhuatl-Popocatepetl		PN	3.558	3.559
Lagunas de Zempoala	2	PN	3.079	-
Los Remedios		PN	0.146	-
Mariposa Monarca	5	RB	43.87	14.086
Nevado de Toluca		APFF	18.139	6.03
Pico de Tancítaro		APFF	17.172	14.622
Rayón		PN	0.011	-
Sacramonte		PN	0.032	-
Volcán Nevado de Colima		PN	5.59	5.587
Xicoténcatl*	4	PN	0.564	-

Cuenca de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec	7	APRN	104.744	100.376
Área total	-	-	228.493	148.055

1.6 DISCUSIÓN

Los modelos obtenidos mostraron que las zonas idóneas para la distribución de las especies de *Tagetes* en la FVT se concentran en los sectores del centro y el este, los cuales de igual forma han resultado idóneos para otros grupos como Amphibia, Aves, Insecta, Mammalia y Magnoliopsida (González-Avila *et al.* 2018, Escalante *et al.* 2020). Sin embargo, en estos sectores se encuentra algunas de las principales zonas urbanas, donde las actividades antropogénicas causan cambios de uso de suelo que modifican la vegetación original y dificulta el diseño de áreas de conservación (Suárez-Mota & Téllez-Valdés 2014, Suárez-Mota *et al.* 2015, Zepeda-Gómez *et al.* 2018).

Por ello, es importante que en el diseño de las áreas de conservación se excluyan las zonas urbanas (Suárez-Mota & Téllez-Valdés 2014), y considerar los cambios de uso de suelo en los procesos de construcción y selección de las áreas prioritarias de conservación para evitar así que estas regiones estén dentro de las áreas resultantes de los procesos y asegurar la adecuada protección de las especies.

En este estudio se identificaron coincidencias entre los polígonos resultantes de ConsNet y las ANP establecidas en la FVT, 12 ANP en el escenario MDS2-10% y 22 ANP en el escenario MDS2-25%; estas coincidencias permiten apoyar la propuesta de conservación de estas ANP, puesto que muchas de las ANP decretadas en México carecen de estudios biológicos que aseguren la adecuada representación de la biodiversidad y su conservación (Urquiza-Hass *et al.* 2011, Suárez-Mota & Téllez Valdés 2014, Almonte-Tlapa *et al.* 2020). Se carece también de criterios que aseguren la adecuada selección, persistencia y éxito de las áreas de conservación, es por ello, que estudios como este contribuyen con la generación de conocimiento de grupos específicos que soporten los criterios de pertinencia de una ANP. El estudio mostró también que algunas de las

áreas obtenidas en los escenarios (MDS2-10 % y MDS2-25 %) se encuentran fuera de los límites de las ANP, lo que coincide con áreas obtenidas en estudios realizados en selección de zonas de conservación para otros taxones en la FVT (Torres-Miranda & Luna-Vega 2006, Alcántara & Paniagua 2007, Suárez-Mota & Téllez Valdés 2014, Gámez *et al.* 2012), estas coincidencias sustentan y permiten una priorización para el manejo de conservación de otras áreas dentro de la FVT.

Este estudio demostró que las especies de *Tagetes* son útiles para sustentar y apoyar algunas estrategias de conservación ya decretadas dentro de la FVT, sin embargo, si se quiere usar a las especies de *Tagetes* para definir nuevas áreas de conservación de acuerdo a Escalante *et al.* (2020) se tienen que reconocer como especie sustituto y se requiere evaluar su efectividad y mostrar cierto porcentaje de similitud en los patrones de distribución, así mismo diversos autores han enfatizado que la utilización de un taxón único no logra representar la diversidad y heterogeneidad de las especies del sitio de conservación (Andelman & Fagan 2000, Loyola *et al.* 2007, Urquiza-Hass *et al.* 2011, Escalante *et al.* 2020).

Este estudio identificó que el estado de conservación de las especies de *Tagetes* dentro de la FVT, en especial de las especies endémicas se encuentra escaso, esto considerando que de las cinco especies endémicas de *Tagetes* presentes en la FVT solos dos especies : *T. coronopifolia* y *T. linifolia*, se encontraron dentro de los límites de una ANP del escenario MDS2-25 % de las 42 ANP presentes en toda la región de la FVT, por lo cual se requieren hacer mayores esfuerzos en las estrategias de conservación en esta región, tomando en consideración que la FVT es reconocida por su alta diversidad de especies y endemismos (Torres-Miranda & Luna-Vega 2006, Alcántara & Paniagua 2007, Villaseñor & Ortiz 2007, Gámez *et al.* 2012, Suárez-Mota & Téllez Valdés 2014, Escalante *et al.* 2020). Esta problemática de la falta de inclusión de especies endémicas en

las ANP se puede ver reflejada de igual forma en estudios con otros grupos de angiospermas, aves y mamíferos (Torres-Miranda & Luna-Vega 2006, Gámez et al. 2012, Ramírez-Albores 2013, González-Ávila et al. 2018, Aguilar-Ortega & Escalante 2021), la cual puede ser causa de la influencia e importancia que se le ha dado a las áreas con alta diversidad de especies y no necesariamente a las áreas de endemismos; por ello y de suma importancia considerar en la toma de decisiones para la selección de áreas de conservación, que las áreas con alta diversidad de especies y áreas con alto endemismo no siempre coinciden, reflexionar sobre este particular permitirá una mejor protección de las especies (Kerr 1997, Roos *et al.* 2004, Suárez-Mota & Téllez Valdés 2014, Noruega-Urbano 2017).

Los modelos de distribución potencial basados en variables ambientales nos muestran áreas idóneas en espacios geográficos donde las especies puedan distribuirse y abordar diversas funciones (Soberón & Peterson 2005, Mateo *et al.* 2011). Los MDP obtenidos permitieron reconocer la distribución potencial de las especies de *Tagetes* dentro de la FVT, y cuál es su estado de conservación de acuerdo a las actuales estrategias de conservación en la región. Así mismo un aspecto importante de los MDP es su validación la cual nos permite evaluar su precisión de predicción mediante el método estándar de Área bajo la curva (AUC) de la característica operativa ROC (Lobo *et al.* 2007). Respecto a esta validación Urbina-Cardona & Flores-Villela (2010) reporta en un estudio de áreas de Conservación que las especies endémicas presentaban los valores más altos de AUC en comparación con el resto de las especies y hacen referencia a que son más precisos debido a que tienen rasgos de distribución más estrechos, sin embargo, en este estudio los valores de AUC nos mostraron que solo dos de las cinco especies endémicas presentaron valores buenos > 0.90 y tres presentaban valores regulares > 0.60 . Los valores regulares que presentaron las especies endémicas están relacionados a que dichas especies cuentan con pocos registros, pero

con una amplia distribución generando que los valores de las variables de dichos registros sean más heterogéneos (Mateo *et al.* 2011). Lo anterior evidencia la limitante en la falta de registros en herbarios y bases de datos en especial de especies endémicas. Es por ello que el uso de los MDP son una oportunidad para orientar esfuerzos de colecta y exploración de nuevas áreas dentro de la FVT y con ello reducir los sesgos en los datos de colecta.

En temas de conservación la utilización de modelos de distribución potencial y algoritmos de selección de áreas de conservación han permitido establecer mejores estrategias para la identificación de zonas de conservación (Torres-Miranda & Luna-Vega 2006, Urquiza-Hass *et al.* 2011, Suárez-Mota *et al.* 2015, Jacinto-Flores *et al.* 2017, Cruz-Paz *et al.* 2018). La implementación de métodos de complementariedad permite proponer diversas representaciones optimizadas de acuerdo a criterios biológicos, siendo esta una ventaja para la toma de decisiones al representar diversos escenarios de selección de áreas de conservación.

1.7 CONCLUSIONES

En este estudio los MDP obtenidos nos permiten reconocer la distribución potencial de las especies de *Tagetes* dentro de la FVT y cuál es su estado de conservación de acuerdo a las estrategias de conservación ya establecidas en la región, de igual forma los MDP obtenidos permiten reforzar una de las limitantes que presentan muchas de las especies, que es la falta de registros de presencia en especial de las especies endémicas; y con ello reducir los sesgos en los datos de colecta (Pliscoff & Fuentes-Castillo 2011, Urquiza-Hass *et al.* 2011, Maciel-Mata *et al.* 2015).

Los MDP generados con bases de datos digitales y de herbario obtuvieron valores de validación de 0.704 a 0.905 categorizándolos como regales a buenos, así mismo mostraron que la distribución potencial de las especies de *Tagetes* en la región de la FVT se concentra en los sectores Central y Este ya que estos presentan condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de las especies, principalmente climas templados y de transición, a pesar de que en estos sectores se encuentran importantes zonas urbanas, las especies de *Tagetes* se concentran en dichos sectores.

En temas de conservación la utilización de MDP y principios de complementariedad, irremplazabilidad y vulnerabilidad para la selección de áreas de conservación han permitido establecer mejores estrategias para la identificación de zonas de conservación de acuerdo con ello, en el presente trabajo se implementó un método de complementariedad con el Software ConsNet el cual permitió hacer diversas representaciones optimizadas de acuerdo a criterios biológicos, siendo esta una ventaja para la toma de decisiones al representar dos escenarios con diferentes objetivos de conservación.

CONCLUSIONES GENERALES

Los MDP generados mostraron que la distribución potencial de las especies de *Tagetes* en la región de la FVT se concentra en los sectores Central y Este ya que estos presentan condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de las especies, principalmente climas templados y de transición, a pesar de que en estos sectores se encuentran importantes zonas urbanas, las especies de *Tagetes* se concentran en dichos sectores.

El estado de conservación de las especies de *Tagetes* dentro de la FVT en especial de las especies endémicas se encuentra escaso, esto considerando que dentro de la Región de la FVT se encuentran 42 ANP, los escenarios de conservación mostraron que en el escenario MDS2-10% ninguna de las ANP tiene registros de presencia de *Tagetes* endémicas y en el escenario MDS2-25% solo dos ANP presentaron registros de especies de *Tagetes* endémicas que fueron *T. coronopifolia* y *T. linifolia*. Esta deficiencia en el estado de conservación de las especies está relacionada con la carencia y ausencia de estudios pertinentes que aseguren la adecuada conservación de especies en las ANP decretadas actualmente, puesto que en sus inicios muchas de estas fueron decretadas con fines paisajistas, culturales, históricos y recreativos, dejando a un lado la conservación de especies presentes en alguna categoría de riesgo o endemismo.

Las especies de *Tagetes* apoyan y sustentan algunas de las estrategias de conservación decretadas en la FVT, esto de acuerdo a que 22 ANP se localizan en algunos de los dos escenarios de Conservación (MDS2-10% y MDS2-25%) y presentan registros de especies de *Tagetes*. Lo cual nos permite apuntar a que estudios como este permiten generar conocimiento que soporten los criterios adecuados para el establecimiento y permanencia de las ANP.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Ortega KY, Escalante T. 2021. Estructura y efectos del cambio de uso de suelo en especies endémicas de la Faja Volcánica Transmexicana. *Dugesiana* **28**: 305-316. DOI: 10.32870/dugesiana.v28i2.7164
- Alcántara O, Paniagua M. 2007. Patrones de distribución y conservación de plantas endémicas. In: Luna I, Morrone JJ, Espinosa D, eds. *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, pp. 421-438.
- Almonte-Tlapa M, Bustamante-González A, Vargas-López S, Ramírez-Valverde B, Cervantes-Gutiérrez V, Cruz-Bello G. 2020. Factores del deterioro de las Áreas Naturales Protegidas periurbanas del Valle de Puebla, México. *Estudios Demográficos y Urbanos* **65**: 51-82. DOI: <http://dx.doi.org/10.24201/edu.v35i1.1828>
- Andelman SJ, Fagan WF. 2000. Umbrellas and Flagships: Efficient Conservation Surrogates or Expensive Mistakes? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **97**: 5954-5959. DOI: 10.1073/pnas.100126797
- Araújo MB, Guisan A. 2006. Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography* **33**: 1677-1688. DOI: 10.1111/j.1365-2699.2006.01584.x
- Arriaga L, Aguilar C, Espinosa-Organista D. 1997. Regionalización ecológica y biogeográfica de México. Taller de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- Barajas-Pérez JS, Montes-Belmont R, Castrejón-Ayala F, Flores-Moctezuma HE, Serrato-Cruz MA. 2011. Propiedades antifúngicas en especies del Género *Tagetes*. *Revista Mexicana de Micología* **34**: 85-91.
- Barrera-Roca L, Hung-Guzmán B, Botta-Gómez AM, Hernández-Sosa E, González-Pérez M, Aguilar-Navarro B. 2009. Caracterización física y tamizaje fitoquímico de la especie *Tagetes erecta* L. *Revista Cubana de química* **11**: 10-15.
- Breiman L, Friedman F, Olshen R, Stone C. 1984. Classification and regression trees. Wadsworth and Brooks, Pacific Grove, CA.
- Busby JR. 1986. Bioclimste prediction System (BIOCLIM). User's manual version 2.0. Australian Biological Resources, Study Leaflet, Canberra, Australia.
- Camacho-Campos C, Pérez-Hernández Y, Valdivia-Ávila A, Ramírez-Pérez H, Gómez-Brisuela L. 2019. Propiedades fitoquímicas antibacterianas de extractos de *Tagetes erecta* L. (Asteraceae). *Revista Cubana de Química* **31**: 53-64.
- Carrasco-Ortiz M, Munguía-Munguía G, Castro-Castro A, Vargas-Amado G, Harker M, Rodríguez A. 2019. Riqueza, distribución geográfica y estado de conservación del género *Dahlia* (Asteraceae) en México. *Acta Botánica Mexicana* **126**: 1-24. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1354>

- Castellano E, Paniagua 2007. Reconocimiento espacial de los paisajes. *In*: Luna I, Morrone JJ, Espinosa D, eds. *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, pp. 39-56.
- Cedillo-Díaz F, Serrato-Cruz MA, de la Cruz-Marcial J, Sánchez-Alonso MG, López- Morales V. 2013. Compuestos mayoritarios del aceite esencial en órganos de una población de *Tagetes coronopifolia* Willd. *Revista Fitotecnia Mexicana* **36**: 405-411. DOI: 10.35196/rfm.2013.4.405
- Ciarlegio M, Barnes J, Sarkar S. 2009. ConsNet: New software for the Selection of conservation area networks with spatial and multi-criteria analyses. *Ecography* **32**: 205-204. DOI: 10.1111/j.1600-0587.2008.05721.x
- Contreras-Medina R, Luna-Vega I, Ríos-Muñoz CA. 2010. Distribución de *Taxus globosa* (taxaceae) en México: Modelos ecológicos de nicho, efectos del cambio del uso de suelo y conservación. *Revista Chilena de Historia Natural* **83**: 421-433. DOI: 10.4067/S0716-078X2010000300009
- Cruz-Cárdenas G, López-Mata L, Villaseñor JL, 2014. Potential species distribution modeling and the use of principal component analysis as predictor variables. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **85**: 189-199. DOI: <https://doi.org/10.7550/rmb.36723>
- Cruz-Paz G, Castillo MM, Espinoza-Tenorio A, Bravo-Peña LC, Barrera EM, Mesa-Jurado MA. 2018. Áreas prioritarias de conservación en la cuenca Usumacinta. La aplicación de un enfoque multicriterio. *Investigaciones Geográficas* **97**: 2448- 7279. DOI: [dx.doi.org/10.14350/rig.59482](https://doi.org/10.14350/rig.59482)
- Delgadillo-Moya C, Villaseñor JL, Ortiz E. 2012. The potential distribution of *Grimmia* (Grimmiaceae) in México. *The Bryologist* **115**: 12-22. DOI: 10.2307/41486737
- Del Villar-Martínez AA, Serrato-Cruz MA, Solano-Navarro A, Arenas-Campo ML, Quintero-Gutiérrez AG, Sánchez-Millán JL, Lozano SE, Jiménez-Aparicio A, García-Jiménez FA, Venegas-Espinoza PE. 2007. Carotenoides en *Tagetes erecta* L. la modificación genética como alternativa. *Revista Fitotecnia Mexicana* **30**: 109- 118.
- Del Vitto LA, Petenatti EM. 2009. Asteráceas de importancia económica y ambiental. Primera parte. Sinopsis morfológica y taxonómica, importancia ecológica y plantas de interés industrial. *Multequina* **18**: 87-115.
- Elith J, Graham C, Anderson R, Dudik M, Ferrier S, Guisan A, Hijmans R, Huettmann F, Leathwick J, Lehmann A, Li J, Lohmann L, LoiselleBA, Manion G, Mortiz C, Nakamura M, Nakazawa Y, Overton JM, Peterson AT, Phillips S, Richardson K, Scachetti-Pereira R, Schapire R, Soberon J, Williams S, Wisz M, Zimmermann N. 2006. Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data. *Ecography* **29**: 129- 151. DOI: 10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x
- Elith J, Leathwick J. 2009. Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* **40**: 677-697. DOI: 10.1146/ANNUREV.ECOLSYS.110308.120159

- Elith J, Phillips SJ, Hastie T, Dudick M, En-Chee Y, Yates CJ. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* **17**: 43-57. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- Escalante T, Valera-Anaya AM, Noguera-Urbano EA, Elguea-Manrique LM, Ochoa-Ochoa LM, Gutiérrez-Velázquez AL, Reyes-Castillo P, Hernández HM, Gómez-Hinostrosa C, Navarro-Sigüenza AG, Téllez Valdés O, Rodríguez-Soto C. 2020. Evaluation of five taxa as surrogates for conservation prioritization in the Transmexican Volcanic Belt, Mexico. *Journal for Nature Conservation* **54**: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125800>
- Espinosa-Organista D, Ocegueda-Cruz S. 2008. El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural. In: Soberón J, Halffter G, Loorente- Bousquets J, eds. *Capital Natural de México, 1: Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO pp. 33-65. ISBN 978-607-7607-03-8
- Estrada AS, Ortiz E, Villaseñor JL, Espinosa-García FJ. 2016. The distribution of cultivated species of *Porophyllum* (Asteraceae) and their wild relatives under climate change. *Systematics and Biodiversity* **14**: 572-582. DOI: <https://doi.org/10.1080/14772000.2016.1205678>
- Fernández-Eguiarte A, Zavala-Hidalgo J, Romero-Centeno R. 2015. *Atlas Climático Digital de México*. Unidad de informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (UNIATMOS)
- Feria-Arroyo TP, Sánchez-Rojas G, Ortiz-Pulido R, Bravo-Cadena J, Calixto-Pérez E, Dale JM, Duberstein JN, Illoldi-Rangel P, Lara C, Valencia-Herverth J. 2013. Estudio de cambio climático y su efecto en las aves de México: enfoques actuales y perspectivas futuras. *Revista Mexicana de Ornitología* **14**: 47-55.
- Ferrari L. 2000. Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* **53**: 84-92. DOI: [10.18268/BSGM2000v53n1a5](https://doi.org/10.18268/BSGM2000v53n1a5)
- Ferrusquía-Villafranca I. 1990. *Regionalización biogeográfica*. Instituto de Geografía Ed. Atlas Nacional de México Tomo II, IV.8.10, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Ferrusquía-Villafranca I. 2007. Ensayo sobre la caracterización y significación biológica. In: Luna I, Morrone JJ, Espinosa D, eds. *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, pp. 5-24.
- Franklin J, Miller JA. 2009. Mapping species distributions. Spatial inference and prediction. Cambridge University Press. Nueva York, Estados Unidos de América. Pp 320.
- Friedman JH. 1991. Multivariate adaptive regression splines. *Annals of Statistics* **19**: 1-141

- Gómez N, Escalante T, Rodríguez G, Linaje M, Morrone. 2012. Caracterización biogeográfica de la Faja Volcánica Transmexicana y análisis de los patrones de distribuciones de su mastofauna. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **83**: 258- 272. DOI: 10.22201/ib.20078706e.2012.1.786
- García-De Jesús S, Moreno CE, Morón MA, Castellanos-Sturemark I, Pavón N. 2016. Integrando la estructura Taxonómica en el análisis de la diversidad alfa y beta de los escarabajos Melolonthidae en la Faja Volcánica Transmexicana. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **87**: 033-1044. DOI: 10.1016/j.rmb.2016.06.003
- García-Sánchez F, López-Villafranco ME, Aguilar-Rodríguez S, Aguilar-Contreras A. 2012. Etnobotánica y Morfo-anatomía comparada de tres especies de *Tagetes* que se utilizan en Nicolás Romero, Estado de México *Botánica Science* **90**: 221-232. DOI: 10.17129/botsoci.388
- Garibay-Orijel R, Morales-Marañón E, Domínguez-Gutiérrez M, Flores-García A. 2013. Caracterización morfológica y genética de las ectomicorrizas formadas entre *Pinus montezumae* y los hongos presentes en los bancos de esporas en la Faja Volcánica Transmexicana. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **84**: 153-169. DOI: <https://doi.org/10.7550/rmb.29839>
- GBIF. 2020. Global Biodiversity Information Facility. <https://doi.org/10.15468/dl.568n5q> (consultado octubre de 2020).
- Gil GE, Lobo JM. 2012. El uso de modelos predictivos de distribución para el diseño de muestreos de especies poco conocidas. *Mastozoología Neotropical* **19**: 47-62.
- Gómez-Tuena A, Orozco-Esquivel MT, Ferrari L. 2005. Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* **3**: 227-283. DOI: 10.18268/BSGM2005v57n3a2
- González-Avila A, Villegas-Ríos M., Pérez-Trejo JA, Contreras-Medina R, Luna-Vega I. 2018. Riqueza y endemismo de las especies de *Clavariadelphus* (Clavariadelphaceae: Gomphales) en la Faja Volcánica Transmexicana. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **89**: 117-119. DOI:10.22201/ib.20078706e.2018.4.2444
- Grinnell J. 1917. The Niche-Relationships of the California Trasher. *The Auk* **34**: 427-433. DOI: <https://doi.org/10.2307/4072271>
- Guisan A, Weiss SB, Weiss AD. 1999. GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution. *Plant Ecology* **143**: 107-122. DOI: 10.1023/A:1009841519580
- Guisan A, Zimmermann NE. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* **135**: 147-186. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00354-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9)
- Hernández-Ruíz J, Herrera-Cabrera BE, Delgado-Alvarado A, Salazar-Rojas VM, Bustamante-González A, Campos-Contreras JE, Ramírez-Juárez J. 2016. Distribución potencial y características geográficas de poblaciones silvestres de

- Vanilla planifolia* (Orchidaceae) en Oaxaca, México. *Revista de Biología Tropical* **64**: 251-262.
- Juárez-Rosete CR, Aguilar-Castillo JÁ, Juárez Rosete ME, Bugarín-Montoya R, Juárez-López P, Cruz-Crespo E. 2013. Hierbas aromáticas y medicinales en México: Tradición e innovación. *Revista Biociencias* **2**: 119-129.
- Jacinto-Flores NE, Sánchez-González LA, Almazán-Núñez RC. 2017. Patrones de distribución y zonas prioritarias para la conservación de la avifauna de la costa del Pacífico de Guerrero, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **88**: 960-977. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.038>
- Kerr JT. 1997. Species richness, endemism, and the choice of areas for conservation. *Conservation Biology* **11**: 1094-1100.
- Kurpis J, Serrato-Cruz MA, Feria-Arroyo TP. 2019. Modeling the effects of climate change on the distribution of *Tagetes lucida* Cav. (Asteraceae). *Global Ecology and Conservation* **20**: 3-11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00747>
- Lobo JM, Jiménez-Valverde A, Real R. 2007. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography* **17**: 145-151. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00358.x>
- Loyola RD, Kubota U, Lewinsohn TM. 2007. Endemic vertebrates are the most effective surrogates for identifying conservation priorities among Brazilian ecoregions. *Diversity and Distributions* **13**: 389-396. DOI: [10.1111/j.1472-4642.2007.00345.x](https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00345.x)
- Maciel-Mata C, Manríquez-Morán N, Octavio-Aguilar P, Sánchez-Rojas G. 2015. El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta Universitaria* **25**: 3-19. DOI: <https://doi.org/10.15174/au.2015.690>
- Mateo RG, Felicísimo AM, Muñoz J. 2011. Modelos de distribución de una especie: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural* **84**: 217- 240. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2011000200008>.
- Mendoza-García EE, Ortega L, Serrato M, Díaz F, Villanueva-Jimenez JA, López-Arroyo JI, Pérez-Pacheco R. 2015. Biological effect *Tagetes coronopifolia* (Asteraceae) oil *Diaphorina critri* (Hemiptera:Liviidae). *Revista Colombiana de Entomología* **42**:157-162.
- MEXU. 2020. Especies del género *Tagetes*. Herbario Nacional. <https://datosabiertos.unam.mx/>. (consultado octubre de 2020).
- Miguez-Gutiérrez A. Castillo J, Márquez J, Goyenechea I. 2013. Biogeografía de la zona de transición mexicana con base en un análisis de árboles reconciliados. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **84**: 215-224. DOI: [10.7550/rmb.32119](https://doi.org/10.7550/rmb.32119)
- Molina AM, Barros JF. 2005. Aplicación de los SIG para la evaluación del estado de conservación del Hábitat del Paujil de Pico Azul Crax Alberti (Aves: CRACIDAE). *El Nororiente de Antioquia, Colombia* **35**: 95-105.

- Montoya-Ibarra JL, Rangel-Peraza G, González-Farías FA, De Anda J, Zamudio-Reséndiz ME, Martínez-Meyer E, Macias-Cuellar H. 2010. Modelo de nicho ecológico para predecir la distribución potencial de fitoplancton en la presa Hidroeléctrica Aguamilpa, Nayarit. *Revista Ambiente & Agua* **5**: 60-75. DOI: doi:10.4136/ambiente.154
- Morrone JJ. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **76**: 207-252.
- Morrone JJ. 2019. Regionalización biogeográfica y evolución biótica de México: encrucijada de la biodiversidad del Nuevo Mundo. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **90**:1-68. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2980>
- Newbold T. 2010. Applications and limitations of museum data for conservation and ecology with particular attention to species distribution models. *Progress in Physical Geography* **34**: 13-22. DOI: <https://doi.org/10.1177/0309133309355630>
- Norris D. 2014. Model Thresholds are More Important than Presence Location Type: Understanding the Distribution of Lowland tapir (*Tapirus terrestris*) in a Continuous Atlantic Forest of Southeast Brazil. *Tropical Conservation Science* **7**: 529-547. DOI: 10.1177/194008291400700311
- Noruega-Urbano EA. 2017. El endemismo: diferenciación del término, métodos y aplicaciones. *Acta Zoológica Mexicana* **31**: 89-107. DOI: 10.21829/azm.2017.3311016
- Ortega-Rubio A, Pinkus-Redón M, Espitia-Moreno I. 2015. *Las Áreas Naturales Protegidas y la investigación científica en México*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, Universidad Autónoma de Yucatán, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. ISBN: 978-607-424-558-5
- Owens HL, Campbell L, Dornak LR, Saupe E, Barve N, Soberón J, Ingenloff K, Lira-Noriega A, Hensz CM, Myers CE, Peterson AT. 2013. Constraints on interpretation of ecological niche models by limited environmental ranges on calibration areas. *Ecological Modelling* **263**: 10-18. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2013.04.011
- Palacio FX, Apodaca MJ, Crisci JV. 2020. *Análisis multivariado para datos biológicos. Teoría y su aplicación utilizando el lenguaje R*. Fundación de Historia Natural Félix de Azara. pp. 265
- Palma-Ordaz S, Delgadillo-Rodríguez J. 2014. Distribución potencial de ocho especies exóticas de carácter invasor en el estado de Baja California, México. *Botanical Sciences* **92**: 587-597.
- Pearson RG, Dawson TP, Berry PM, Harrison PA. 2002. Species: A spatial evaluation of climate impact on the envelope of species. *Ecological Modelling* **154**: 289-300. DOI: 10.1016/S0304-3800(02)00056-X
- Peterson AT, Sánchez-Cordero V, Martínez-Meyer E, Navarro-Sigüenza AG. 2006. Tracking population extirpations via melding ecological niche modeling with land-

- cover information. *Ecological Modelling* **195**: 229-236. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2005.11.020
- Pearson RG, Raxworthy CJ, Nakamura M, Peterson AT. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography* **34**: 102-117. DOI: 10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x
- Peterson AT, Soberón J, Pearson RG, Anderson RP, Martínez-Meyer E, Nakamura M, Araújo MB. 2011. Ecological Niches and geographic distributions. *Monographs in Population Biology*: **49**. DOI: 10.1515/9781400840670
- Peterson A, Nakazawa Y. 2008. Environmental data sets in Ecological Niche Modelling: An example with *Solenopsis invicta* and *Solenopsis richteri*. *Global Ecology and Biogeography* **17**: 135-144. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2007.00347.x
- Phillips SJ, Anderson R, Schapire R. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* **190**: 231-259. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Phillips SJ, Dudík M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* **31**: 161-175. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>
- Pliscoff P, Fuentes-Castillo T. 2011. Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de geografía Norte Grande* **48**: 61-79. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022011000100005>
- Quintanilla-Carvajal M, Arenas-Ocampo ML, Campos-Mendiola R, Camacho-Díaz BH, Jiménez-Aparicio AR. 2015. Caracterización morfométrica de estructuras florales de *Tagetes erecta* L. y *Tagetes patula* L. (Asteraceae) utilizando análisis digital de imágenes y dimensión fractal. *Gayana Bot.* **27**: 137-144. DOI: 10.4067/S0717-66432015000100016
- Ramírez-Albores JL. 2013. Riqueza y diversidad de aves de un área de la Faja Volcánica Transmexicana, Tlaxcala, México. *Acta Zoológica Mexicana* **29**: 486-512. DOI: <https://doi.org/10.21829/azm.2013.2931593>
- Redonda MR, Villaseñor JL. 2009. El género *Chrysactinia* (Asteraceae, tribu Tageteae) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **80**: 29-37. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2009.001.580>
- REMIB. 2020. Especies del género *Tagetes*. Red Mundial de Información sobre Biodiversidad. <http://www.conabio.gob.mx/remib> . (consultado octubre de 2020).
- Rincón G, Quiñones E, Serrato M, Quiz J. 2012. Efectividad biológica de extractos de *Tagetes spp* sobre bacterias fitopatógenas. SNICS-SINAREFI, CIATEJ, Mexico.

- Rincón-Enríquez G, Quiñones-Aguilar EE, Serrato-cruz MA, Qui-Zapata JA. 2012. *Efectividad biológica de extractos de Tagetes spp sobre bacterias fitopatógenas*. México, SNICS-SINAREFI, CIATEJ, Mexico.
- Roque N, Magalhaes-Teles A, Nakajima JN. 2017. A familia Asteraceae no Brasil: classificação e diversidade. EDUFBA Salvador, pp. 17-19. DOI: <https://doi.org/10.7476/9788523219994>
- Roos MC, Kessler PJ, Gradstein SR, Bass P. 2004. Species diversity and endemism of five major Malesian: Diversity-area relationships. *Journal of Biogeography* **31**: 1893-1908. DOI: 10.1111/j.1365-2699.2004.01154.x
- Ruíz M, Mejía FR. 2020. Plantas utilizadas en medicina tradicional para afecciones respiratorias virales. *Revista de Investigación Científica (REBIOL)* **40**: 109-130. DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2020.40.01.12>
- Rushton SP, Ormerod SJ, Kerby GK. 2004. New paradigms for modelling species distributions. *Journal of Applied Ecology* **41**: 193-200. DOI: 10.1111/j.0021-8901.2004.00903.x
- Rzedowski GC, Rzedowski J. 2005. *Flora Fanerogámica del Valle de México*. Pátzcuaro, Michoacán, Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro, Michoacán. ISBN 978-607-7607-36-6
- Sánchez-González A, López-Mata L, Granados-Sánchez D. 2005. Semejanza florística entre los bosques de *Abies religiosa* (H.B.K.) Cham. & Schltdl. De la Faja Volcánica Transmexicana. *Investigaciones Geográficas* **56**: 62-76.
- Sánchez-Ruiz JF, Tejeda-Rosales ME, Sánchez-Tejeda JF, Sánchez-Tejeda MG. 2012. La farmacia, la medicina y la herbolaria en el código florentino. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas* **43**: 55-66.
- Sánchez-Sánchez O. 1980. *Flora del Valle de México*. Edición de Herrero. México, ISBN 9684200862
- Schiavinato D, Bartoli A. 2019. Clarificación y epitipificación de *Tagetes iltisiana* (Asteraceae, Tageteae). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* **54**: 589-598. DOI: 10.31055/1851.2372.v54.n4.24954
- Scott JM, Heglund PJ, Morrison ML, Haufler J, Wall WA. 2002. *Predicting species occurrences: Issues of accuracy and scale*. Island Press, Washington, EE.UU. ISBN: 1-55963-787-0
- Serrato-Cruz MA. 2014. *El recurso genético Cempoalxochitl (Tagetes spp.) de México (diagnostico)*. Texcoco, México: SINAREFI-UACH. ISBN: 978-607-12-0373-1
- Soberón J, Llorente J, Oñate L. 2000. The use of specimen-label databases for conservation purposes: An example using Mexican Papilionid and Pierid butterflies. *Biodiversity and Conservation* **9**: 1441-1466. DOI: 10.1023/A:1008987010383

- Soberón J, Peterson AT. 2005. Interpretation of models of Fundamental Ecological Niches and Species distribution areas. *Biodiversity Informatics* **2**: 1-10. DOI: <https://doi.org/10.17161/bi.v2i0.4>
- Soberón J, Osorio-Olvera L, Peterson TA. 2017. Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **88**: 437-441. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2017.03.011>
- Soberón J, Peterson AT. 2011. Ecological niche shifts and environmental space anisotropy: a cautionary note. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **82**: 1348-1355.
- Soberón J. 2010. Niche and area of distribution modeling: A population ecology perspective. *Ecography* **33**: 159-167. DOI: [10.1111/j.1600-0587.2009.06074.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.06074.x)
- Soberón J, Nakamura M. 2009. Niches and distribution areas: Concepts, methods, and assumptions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **2**: 19644-19650. DOI: [10.1073/pnas.0901637106](https://doi.org/10.1073/pnas.0901637106)
- Soberón J. 2007. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters* **10**: 1115-1123. DOI: [10.1111/j.1461-0248.2007.01107.x](https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01107.x)
- Stockwell D, Peters D. 1999. The GARP modelling system: Problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Science* **13**: 143-158
- Suárez-Mota, M. E., Villaseñor J, Ramírez-Aguirre M. 2018. Sitios prioritarios para la conservación de la riqueza florística y el endemismo de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Acta Botánica mexicana* **124**: DOI: [10.21829/abm124.2018.1296](https://doi.org/10.21829/abm124.2018.1296)
- Suárez-Mota ME, Villaseñor JL, López-Mata L. 2015. La región del Bajío, México y la conservación de su diversidad florística. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **86**: 799-808. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2015.06.001>
- Suárez-Mota ME, Téllez-Valdés O. 2014. Red de áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad del Eje Volcánico Transmexicano analizando su riqueza florística y climática. *Polibotánica* **33**: 67-93.
- Suárez-Mota ME, Téllez-Valdés O, Lira-Saade LR, Villaseñor JL. 2013. Regionalización de la Faja Volcánica Transmexicana con base en su riqueza florística. *Botanical Sciences* **93**: 93-105. DOI: [10.17129/botsci.405](https://doi.org/10.17129/botsci.405)
- Suárez-Mota ME, Villaseñor JL. 2011. Las compuestas endémicas de Oaxaca, México: diversidad y distribución. *Bol. Soc. Bot. Méx.* **88**: 55-66. DOI: [10.17129/botsci.308](https://doi.org/10.17129/botsci.308)
- Suárez-Mota ME, Villaseñor JL, López-Mata L. 2017. Dominios climáticos de la Sierra Madre Oriental y su relación con la diversidad Florística. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **88**: 224-233. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2017.01.020>

- Swenson NG. 2008. The past and future influence of geographic information systems on hybrid zone, phylogeographic and speciation research. *Journal of Evolutionary Biology* **21**: 421-434. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2007.01487.x>
- Torres-Miranda A, Luna-Vega I. 2006. Análisis de trazos para establecer áreas de conservación en la Faja Volcánica Transmexicana. *Interciencia* **31**: 849-855.
- Turner G. 2007. El Códice de la Cruz-Badiano y su extensa familia herbaria. *Historias* **89**: 109-122.
- Urbina-Cardona JN, Flores-Villela O. 2010. Ecological-Niche Modeling and Prioritization of Conservation Area Networks for Mexican Herpetofauna. *Conservation Biology* **24**: 1031-1041. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01432.x>
- Urquiza-Hass T, Koleff P, Lira-Noriega A, Kolb M, Alarcón J. 2011. Selección de áreas prioritarias para la conservación de los vertebrados terrestres: ¿es posible usar un grupo como indicador? In: Koleff P, Urquiza-Hass T, eds. *Planeación para la conservación de la biodiversidad terrestre en México: retos en un país megadiverso*. Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México, pp. 151-172. ISBN 978-607-7607-58-8
- Villarreal J. 2003. Familia Compositae, Fascículo 113. En Flora del Bajío y de regiones adyacentes 1-89
- Vasudevan P, Kashyap, S, Sharma S. 1997. *Tagetes*: a multipurpose plant. *Bioresource Technology* **62**: 29-35. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(97\)00101-6](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(97)00101-6)
- Villaseñor JL, Ortiz E, Cadena-Rodríguez YJ, Estrada-Márquez AS. 2013. Patrones de riqueza florística en el estado de Jalisco. La tribu Senecioneae (Asteraceae) como estudio de caso. Ibugana: *Boletín del Instituto de Botánica* **4**: 63-78.
- Villaseñor JL. 2018. Diversidad y distribución de la familia Asteraceae en México. *Botanical Sciences* **96**: 332-358. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1872>
- Villaseñor JL. 2016. Checklist of the native vascular plants of México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **87**: 559-902. DOI: [10.1016/j.rmb.2016.06.017](https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017)
- Villaseñor JL, Ortiz E. 2007. La familia Asteraceae. In: Luna I, Morrone JJ, Espinosa D, eds. *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, pp. 289-310.
- Villaseñor JL, Téllez-Valdés O. 2004. Distribución potencial de las especies del género *Jefea* (Asteraceae) en México. *Serie Botánica* **72**: 205-220.
- Wiens JJ, Graham CH. 2005. Niche conservatism: Integrating evolution, ecology, and Conservation Biology. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* **36**: 519-539. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.36.102803.095431>

- Walker PA, Cocks KD. 1991. Habitat: A procedure for modelling a disjoint environmental envelope for a plant or animal species. *Global Ecology and Biogeography Letters* **1**: 108-118.
- Warren DL, Seifert SN. 2011. Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecological Applications* **21**: 335-342. DOI: <https://doi.org/10.1890/10-1171.1>
- Zepeda-Gómez C, Burrola-Aguilar C, Estrada-Zuñiga ME, White-Olascoaga L. 2018. Riqueza y afinidades geográficas de la flora de un bosque de *Abies religiosa* en la Faja Volcánica Transmexicana. *Caldasia* **40**: 54-70. DOI: [10.15446/caldasia.v40n1.68658](https://doi.org/10.15446/caldasia.v40n1.68658)

ANEXOS

Anexo1. Variables significativas para la construcción de cada modelo de distribución

Especies	Variables PCA
<i>Tagetes coronopifolia</i>	Co, Bio1, Bio10, Bio12, Bio13, Bio15, Bio16, Bio5, Bio6, Bio8, Bio9, Dem, Diciembremodis, evapo-anual, evapo-hume, marzomodis, MO, Na, Noviembremodis, pp-humedos, RAS, seco-modis, t-humedos
<i>Tagetes erecta</i>	Bio1, Bio10, Bio11, Bio12, Bio14, Bio15, Bio17, Bio19, Bio2, Bio5, Bio6, Bio8, Bio9, CE, Dem, Diciembremodis, evapo-seco, hum-modis, Mg, noviembremodis, octubremodis, pp-secos, seco-modis, septiembremodis, t-humedos
<i>Tagetes filifolia</i>	Bio1, Bio10, Bio11, Bio12, Bio13, Bio14, Bio16, Bio17, Bio18, Bio19, Bio5, Bio6, Bio8, Bio9, Co, Dem, diciembremodis, evapo-anual, evapo-seco, hum-modis, juliomodis, Mo, noviembremodis, octubremodis, pp-humedos, pp-secos, seco-modis, septiembremodis, t-humedos
<i>Tagetes foetidissima</i>	Bio1, Bio10, Bio11, Bio12, Bio13, Bio14, Bio15, Bio16, Bio17, Bio19, Bio5, Bio6, Bio8, Bio9, Ca, Dem, diciembremodis, evapo-seco-hum-modis, juliomodis, marzomodis, noviembre modis, pp-humedos, pp-secos, RAS, seco-modis, t-humedos
<i>Tagetes linifolia</i>	Bio1, Bio10, Bio11, Bio12, Bio13, Bio14, Bio16, Bio17, Bio18, Bio2, Bio5, Bio6, Bio7, Bio8, Bio9, Co, Dem, diciembremodis, evapo-anual, avapo-humedo, hum-modis, juliomodis, K, marzomodis, mayomodis, MO, noviembremodis, octubremodis, pp-humedos, seco-modis, septiembremodis, t-humedos
<i>Tagetes lucida</i>	Bio1, Bio10, Bio11, Bio14, Bio17, Bio19, Bio4, Bio5, Bio6, Bio9, Ce, Dem, diciembremodis, evapo-hume, evapo-seco, hum-modis, juliomodis, marzomodis, mayomodis, Na, noviembremodis, octubremodis, pp-secos, RAS, seco-modis, septiembremodis, t-humdos
<i>Tagetes lunulata</i>	Bio1, Bio10, Bio11, Bio3, Bio5, Bio6, Bio8, Bio9, Ce, Co, Dem, diciembremodis, evapo-seco, hum-modis, juliomodis, K, marzomodis, noviembremodis, octubremodis, pp-secos, seco-modis, septiembre modis, t-humedos
<i>Tagetes micrantha</i>	Bio1, Bio10, Bio11, Bio14, Bio17, Bio19, Bio5, Bio6, Bio8, Bio9, Ca, Dem, diciembremodis, evapo-seco, hum-modis, juliomodis, marzomodis, mayomodis, noviembremodis, octubremodis, pp-secos, seco-modis, septiembremodis, t-humedos
<i>Tagetes persicifolius</i>	Bio1, Bio10, Bio11, Bio12, Bio13, Bio15, Bio17, Bio5, Bio8, Bio9, Co, Dem, evapo-seco, hummodis, Mg, noviembremodis,

	octubremodis, pH, pp-humedos, pp-secos, septiembremodis, t-humedos
<i>Tagetes pringlei</i>	Bio1, Bio10, Bio11, Bio13, Bio14, Bio16, Bio5, Bio8, Bio9, Dem, diciembremodis, evapo-hume, evapo-seco, marzomodis, Na, noviembremodis, pp-secos, pp-humedos, seco-modis, t-humedos
<i>Tagetes remotiflora</i>	Bio10, Bio1, Bio13, Bio15, Bio16, Bio18, Bio2 Bio4, Bio7, Co, diciembremodis, evapo-anual, evapo-hume, evapo-seco, hum-modis, juliomodis, marzomodis, MO, Na, noviembremodis, octubre modis, pH, pp-humedos, pp-secos, septiembremodis
<i>Tagetes stenophylla</i>	Bio1, Bio10, Bio11, Bio12, Bio13, Bio16, Bio2, Bio5, Bio6, Bio7, Bio8, Bio9, Ce, Dem, evapo-anual, evapo-humedo, evapo-seco, noviembremodis, pp-secos, t-humedos
<i>Tagetes subulata</i>	Bio10, Bio1, Bio11, Bio13, Bio8, Bio7, Bio2 Bio5, Bio6, Bio9, Co, Dem, diciembremodis, evapo-seco, hum-modis, juliomodis, marzomodis, mayomodis, MO, noviembremodis, octubremodis, pp-secos, RAS, seco-modis, septiembremodis, t-humedos
<i>Tagetes tenuifolia</i>	Bio1, Bio10, Bio11, Bio12, Bio14, Bio16, Bio17, Bio19, Bio5, Bio6, Bio8, Bio9, Dem, diciembremodis, evapo-annual, evapo-seco, hum-modis, juliomodis, Na, noviembremodis, octubremodis, pp-humedos, pp-secos, septiembre, t-humedos

Anexo 2. Variables Ambientales, Topográficas y Edafológicas usadas para la modelación.

Variabes ambientales	
<i>Variable climática</i>	
Bio1 = Temperatura media anual	Mg = Magnesio
Bio2 = Rango diurno medio	RAS = Relación de absorción de sodio
Bio3 = Isotermalidad	<i>Atributos topográficos</i>
Bio4 = Estacionalidad de la temperatura	Aspect = Aspecto
Bio5 = Temperatura máxima del mes más cálido	Converg index = Índice de convergencia
Bio6 = Temperatura mínima del mes más frío	Vrm = Medición de rugosidad vectorial
Bio7 = Rango de temperatura anual	Tri = Índice de rugosidad del terreno
Bio8 = Temperatura media del trimestre más húmedo	Slope = Pendiente
Bio9 = Temperatura media del trimestre más seco	<i>Variables climáticas de estacionalidad</i>
Bio10 = Temperatura media del trimestre más cálido	Evapo anual = evapotranspiración anual real
Bio11 = Temperatura media del trimestre más frío	Evapo húmedo = evapotranspiración real de los meses húmedos
Bio12 = Precipitación anual	Evapo seco = evapotranspiración real de los mese secos
Bio13 = Precipitación del mes más húmedo	Thúmedos = temperatura media de los meses húmedos
Bio14 = Precipitación del mes más seco	Tsecos = temperatura media de los meses secos
Bio15 = Estacionalidad de la precipitación	pp-húmedos = precipitación de los mese secos
Bio16 = Precipitación del trimestre más húmedo	pp-secos = precipitación de los meses secos
Bio17 = Precipitación del trimestre más seco	<i>Índices de vegetación normalizados</i>
Bio18 = Precipitación del trimestre más cálido	Marmodis = Índice normalizado de marzo
Bio19 = Precipitación del trimestre más frío	Maymodis = Índice normalizado de mayo
	Julmodis = Índice normalizado de julio

Propiedades de suelo

Ca = Calcio

Na = Sodio

pH = Potencial de hidrogeno

Ce = Conductividad eléctrica

Co = Carbón orgánico

K = Potasio

Mo = Materia orgánica

Sepmodis = Índice normalizado de
septiembre

Octmodis = Índice normalizado de
octubre

Novmodis = Índice normalizado de
noviembre

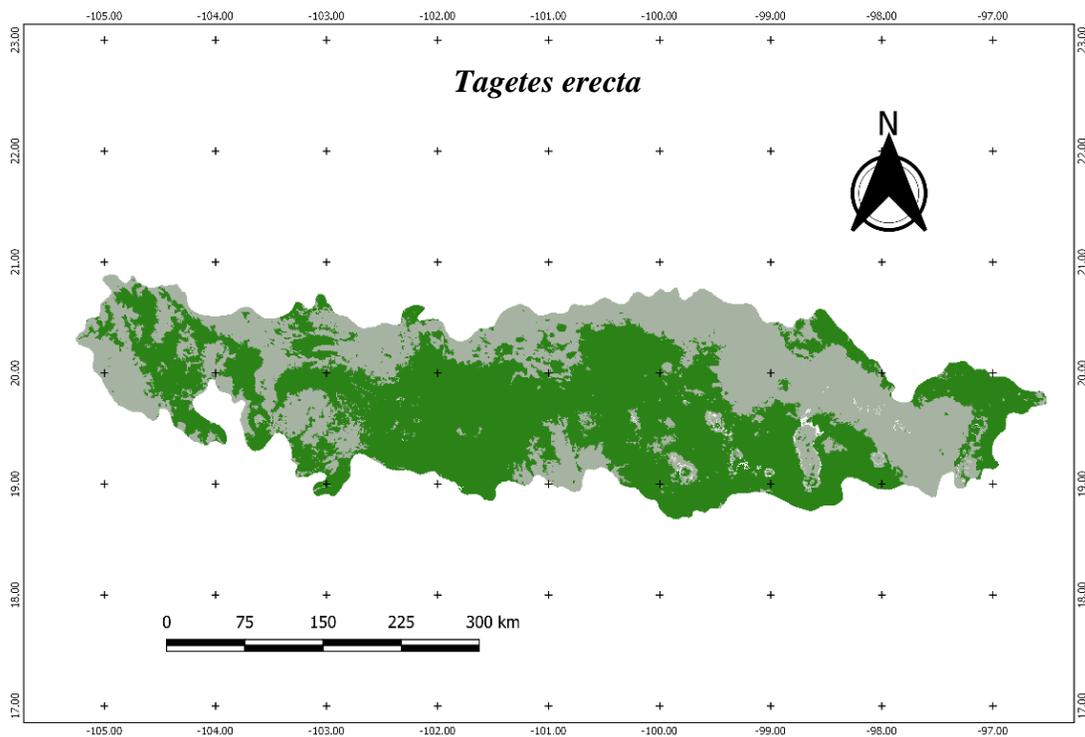
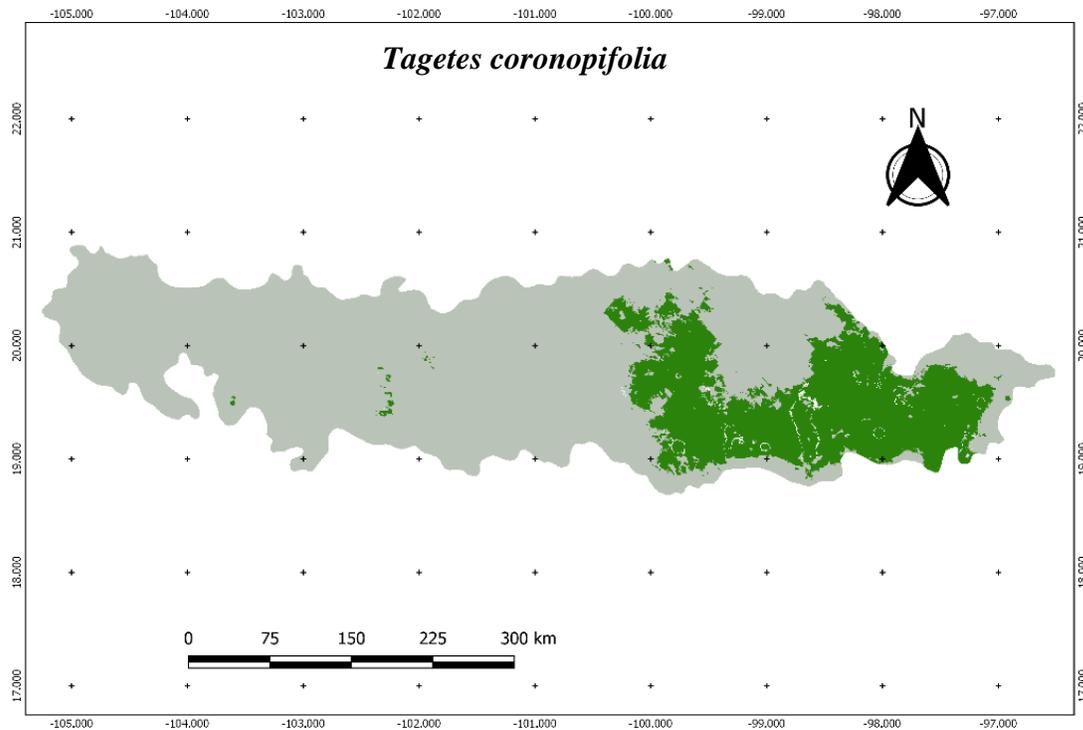
Dicmodis = Índice normalizado de
diciembre

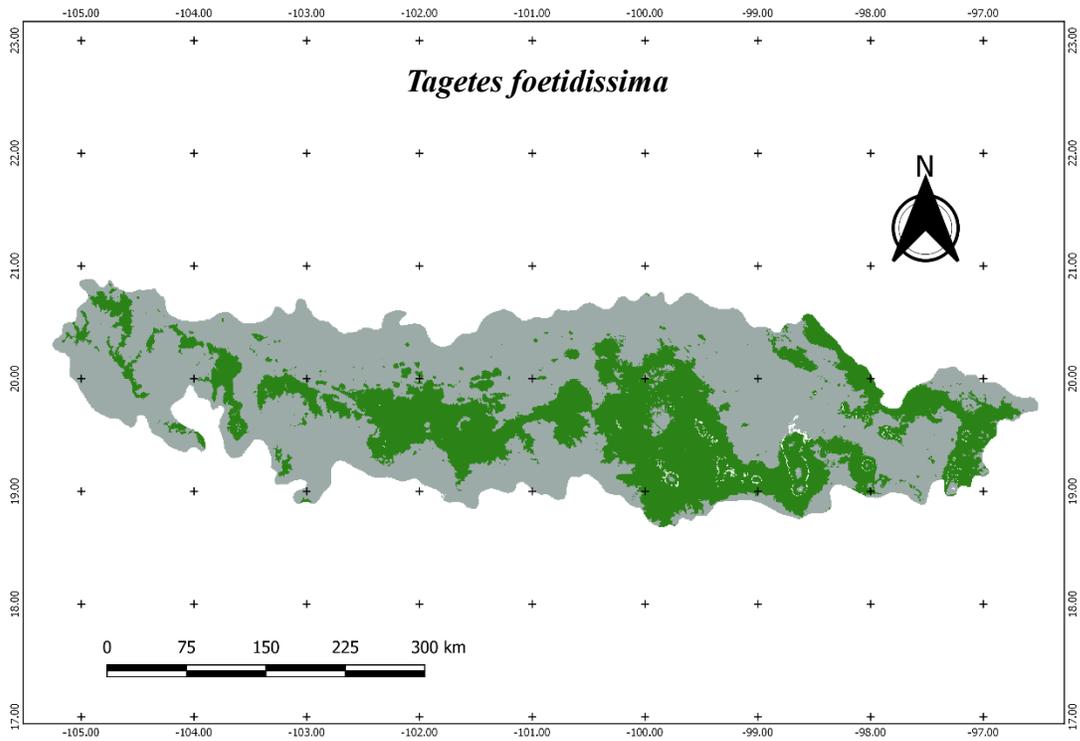
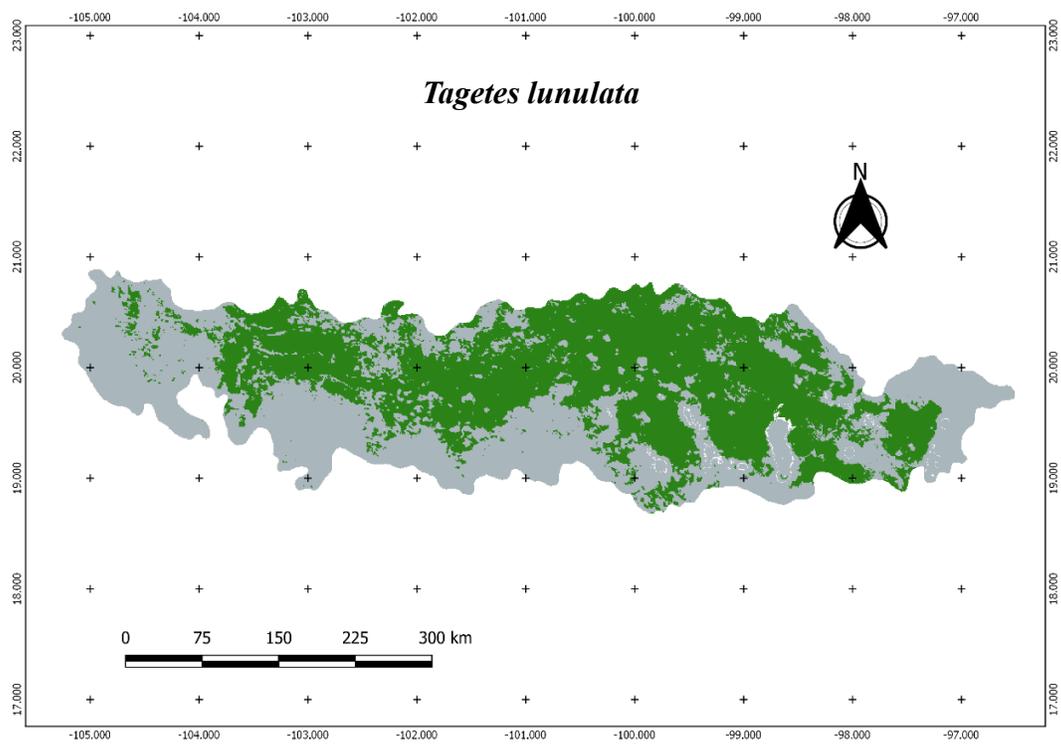
Secmodis = Índice normalizado de meses
secos del año

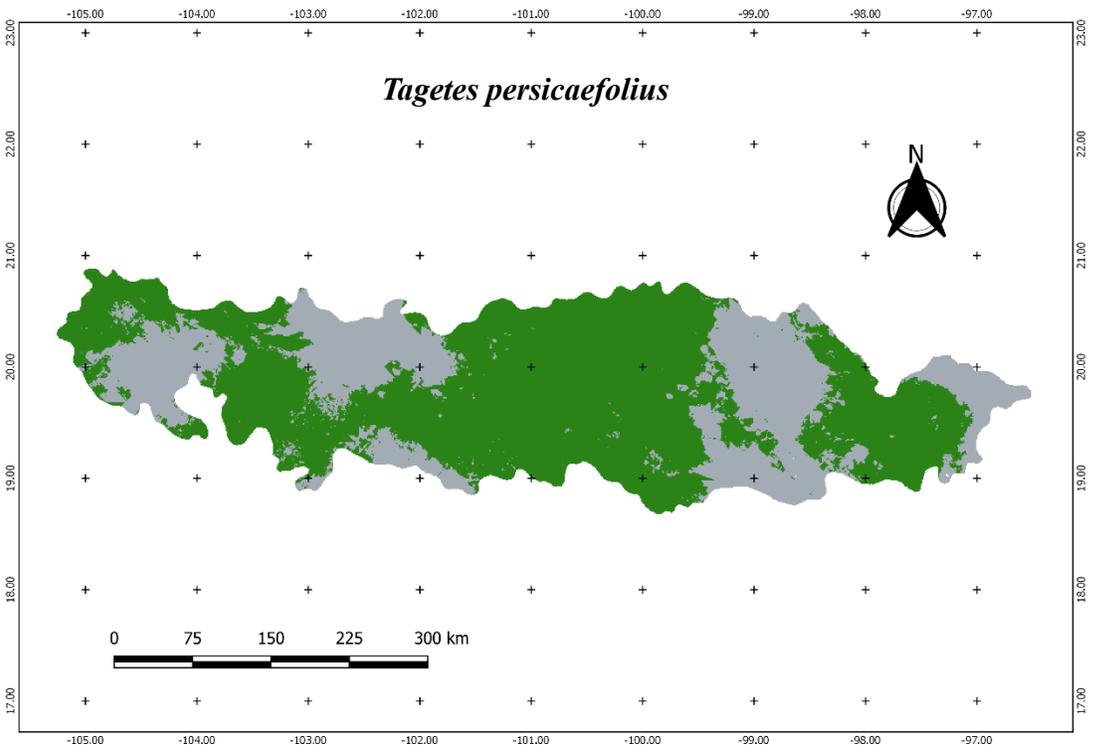
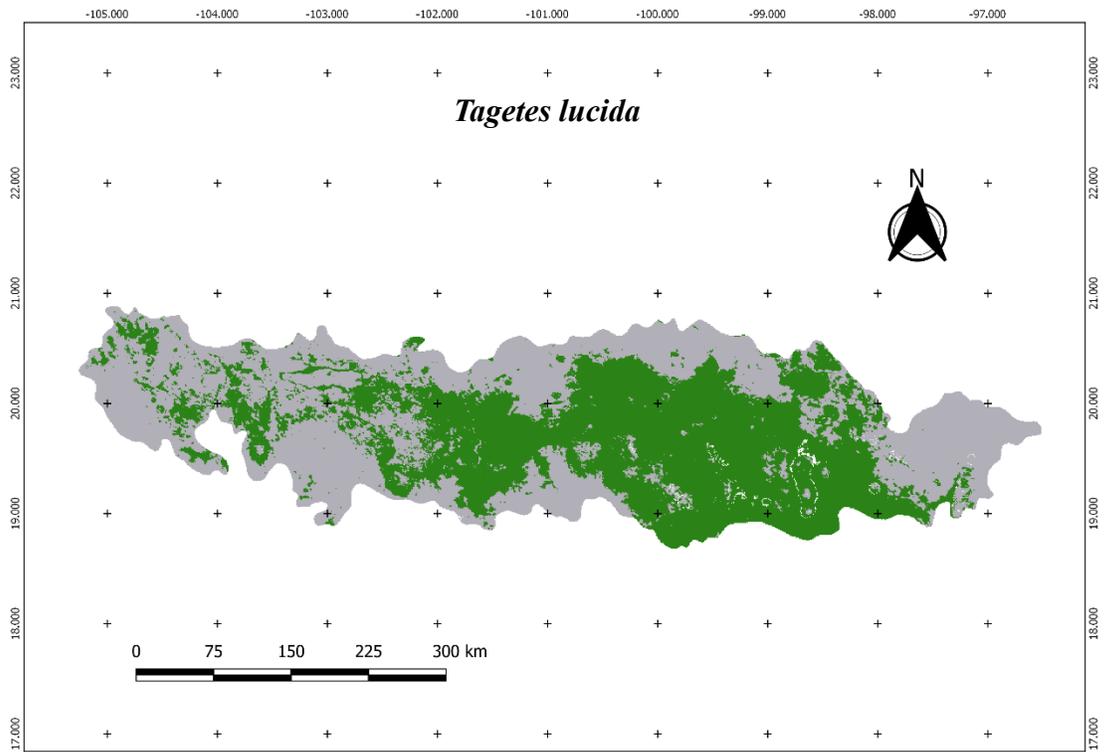
Hummodis = Índice normalizado de meses
húmedos del año

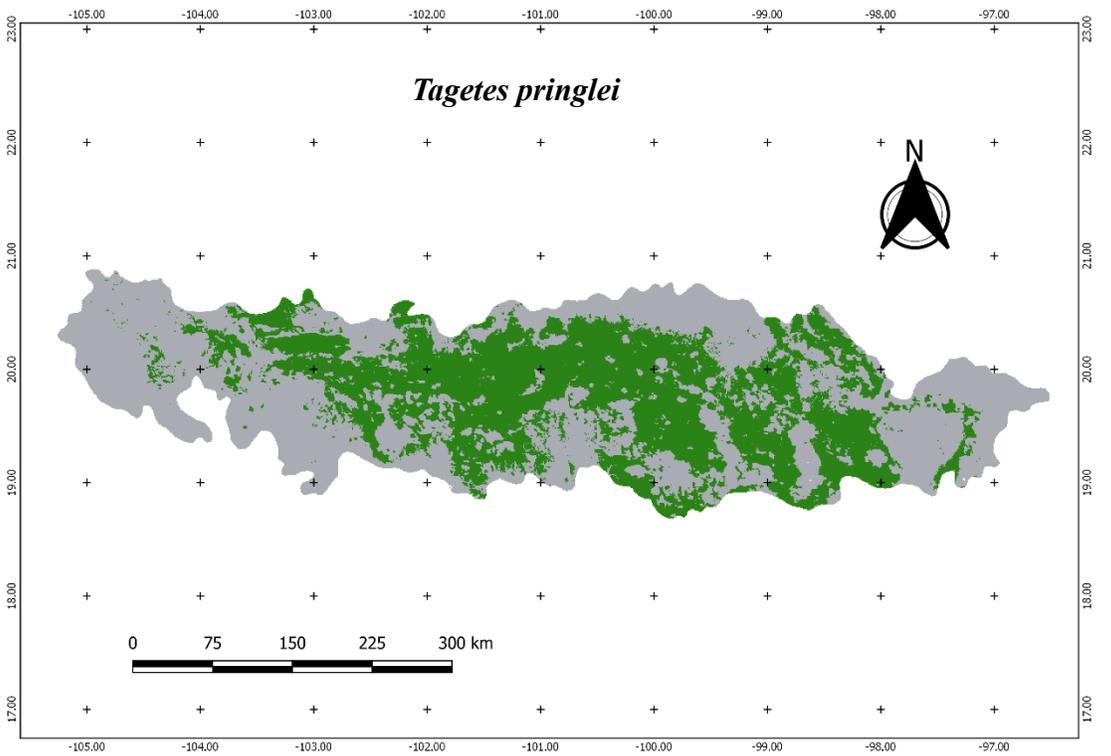
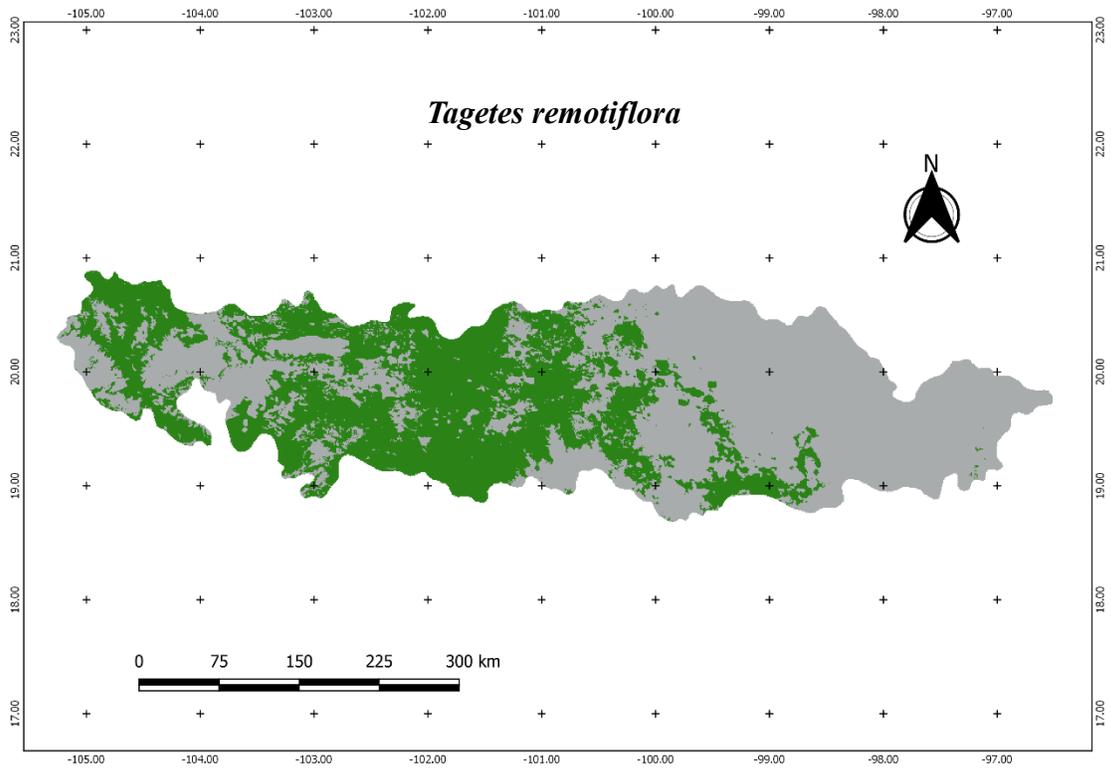
Dem= Modelo Digital de Elevación

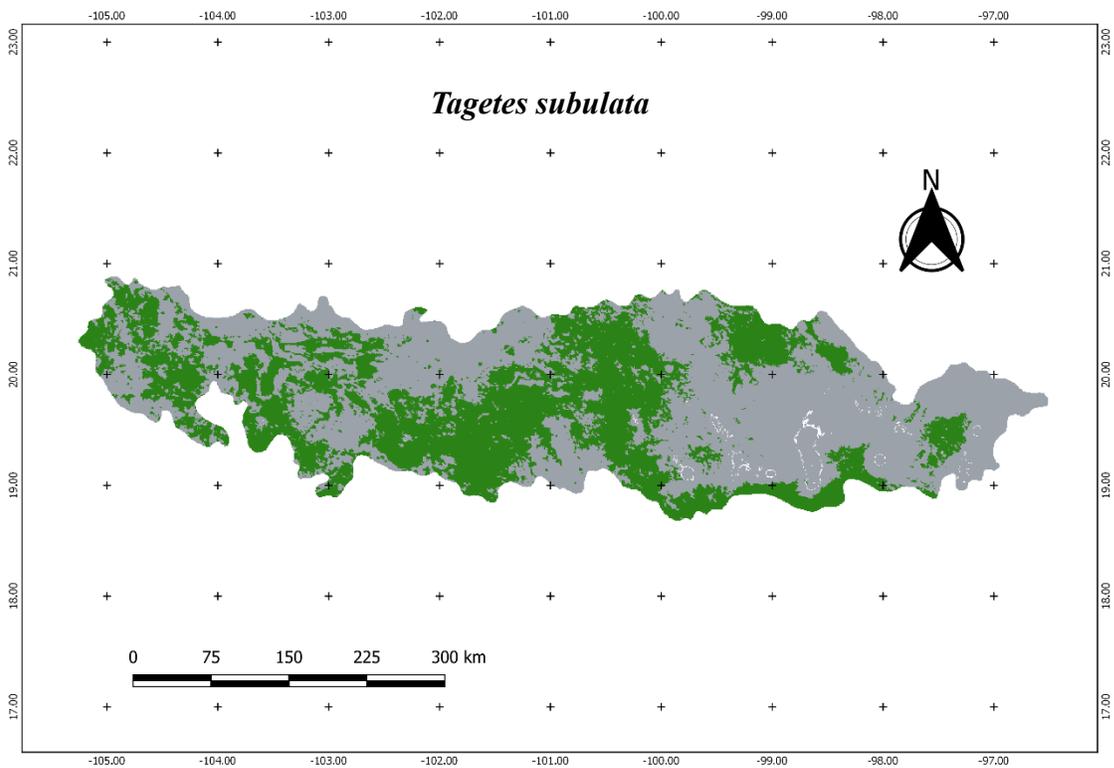
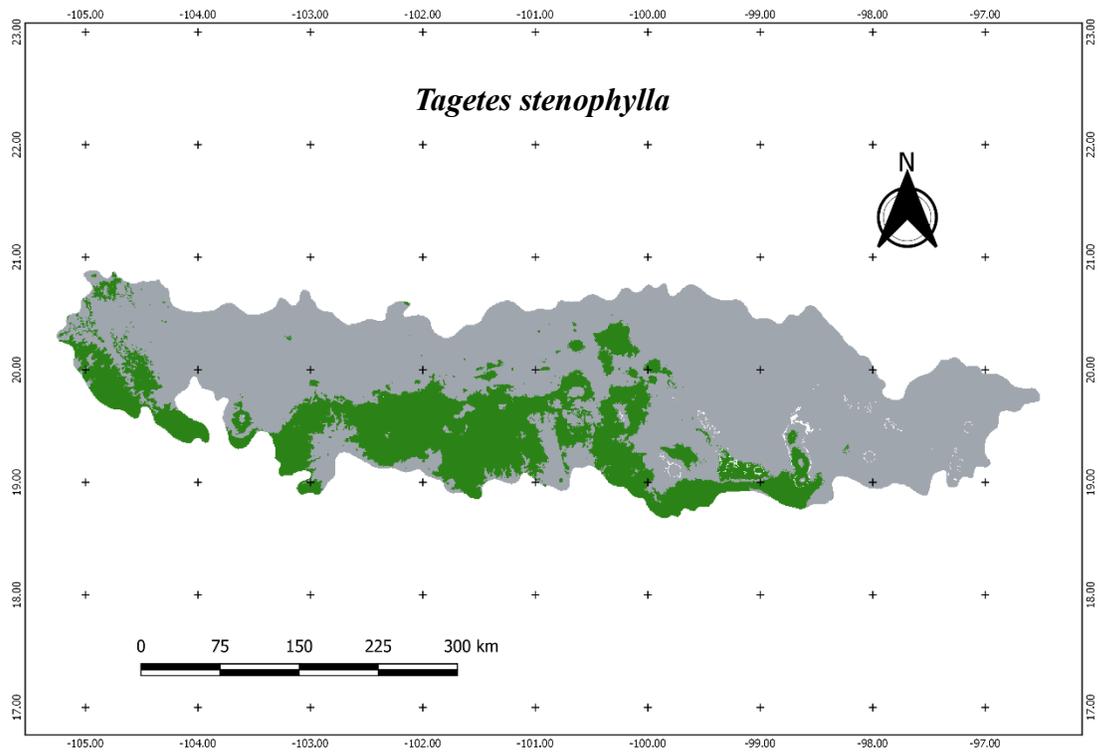
Anexo 3. distribución potencial de las especies de *Tagetes* presentes en la Faja Volcánica Transmexicana, el área de verde son las zonas donde se puedan encontrar potencialmente la especie.

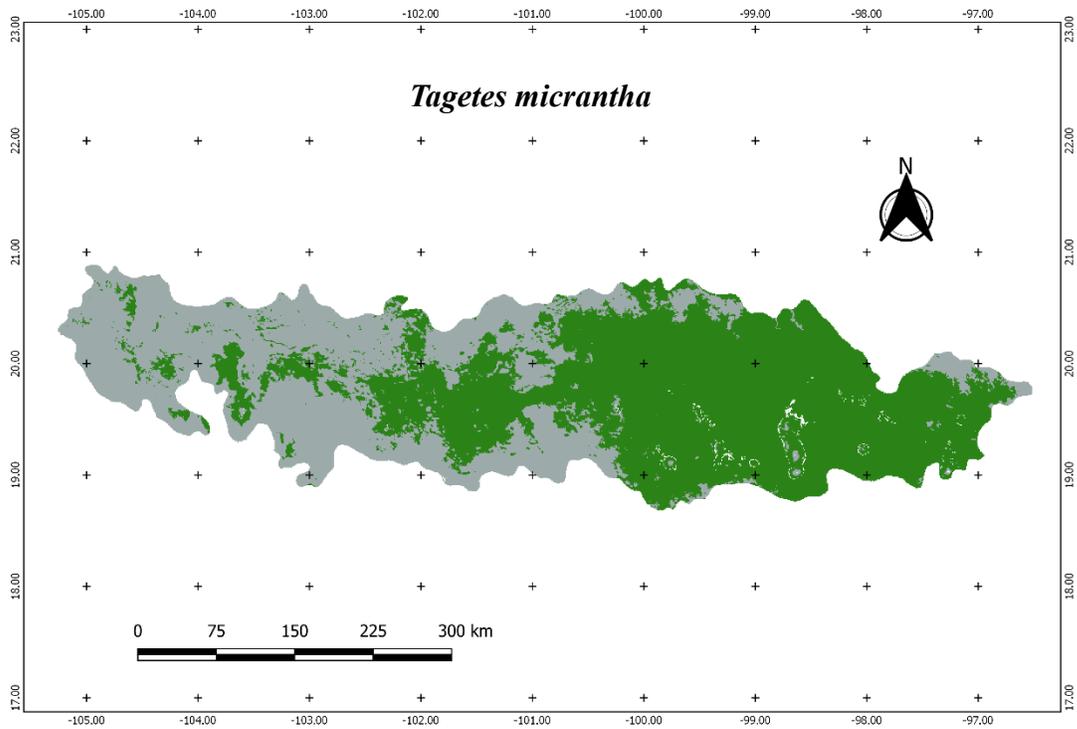
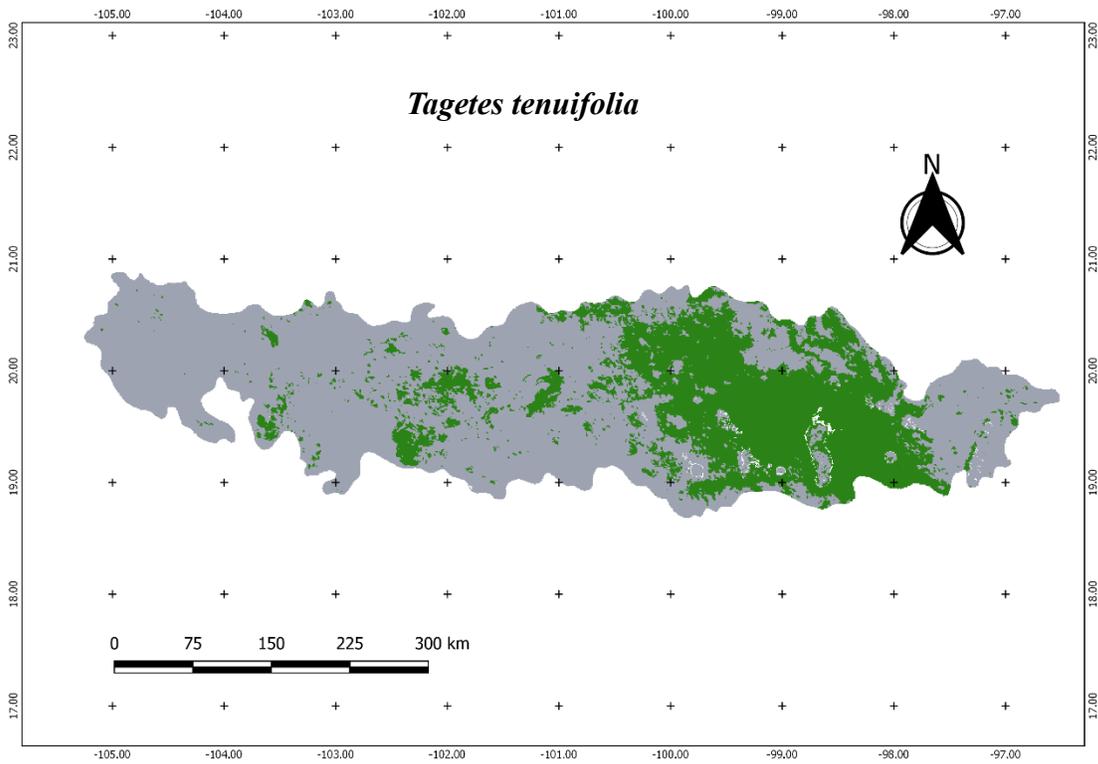




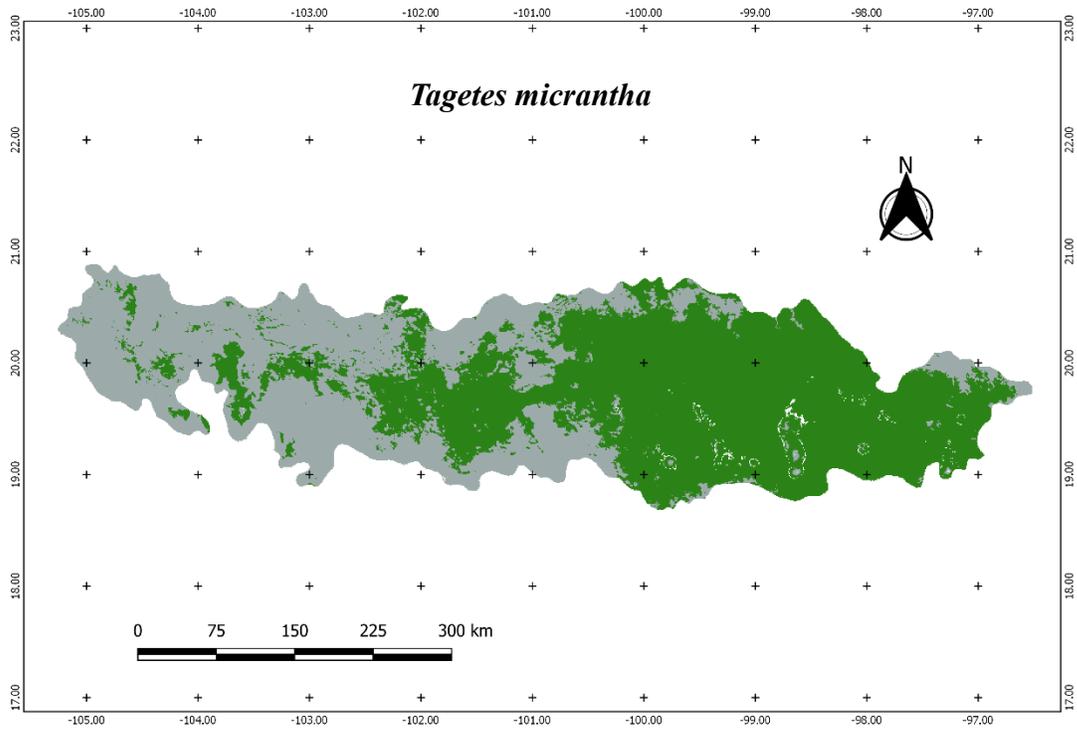
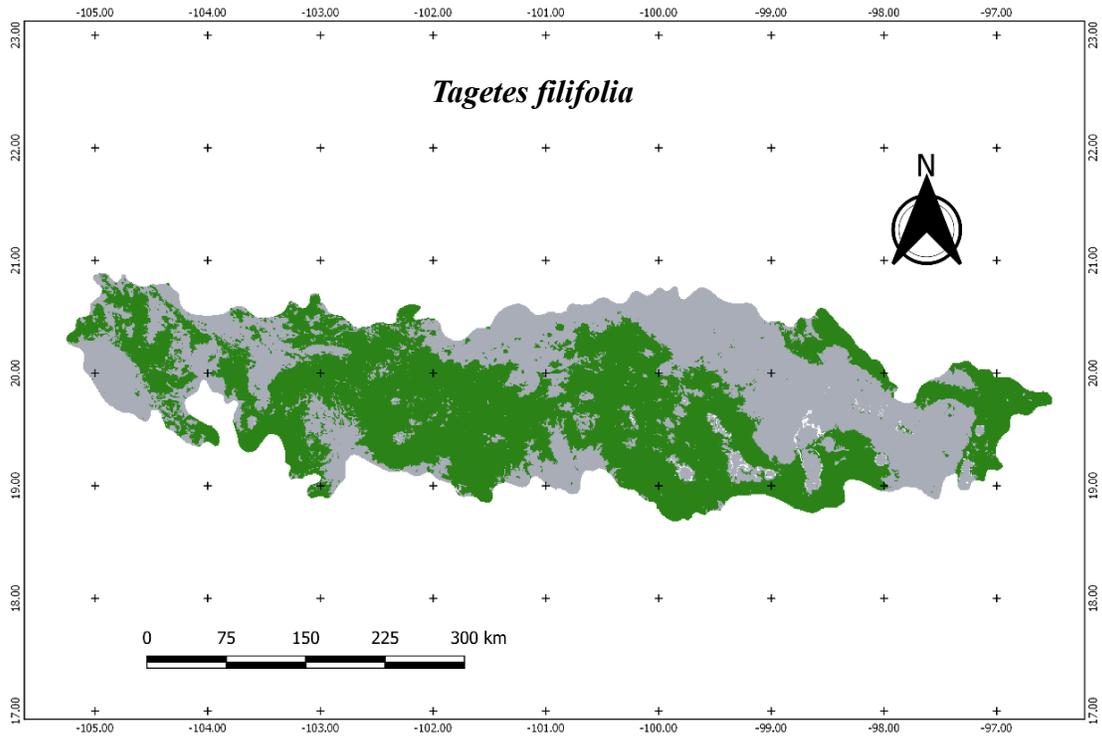


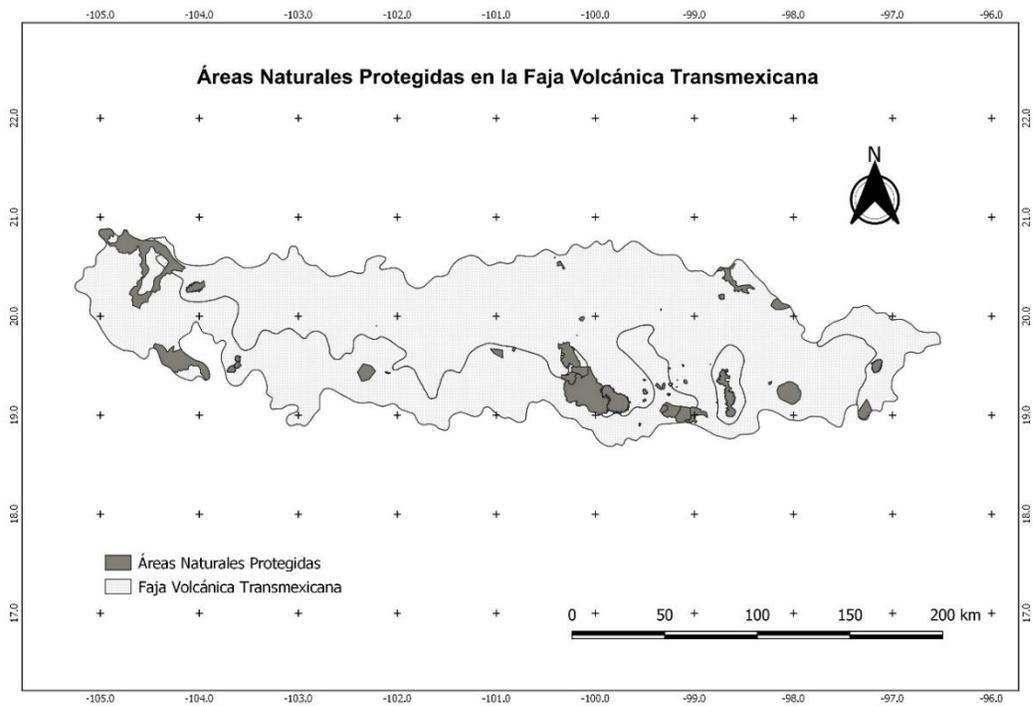




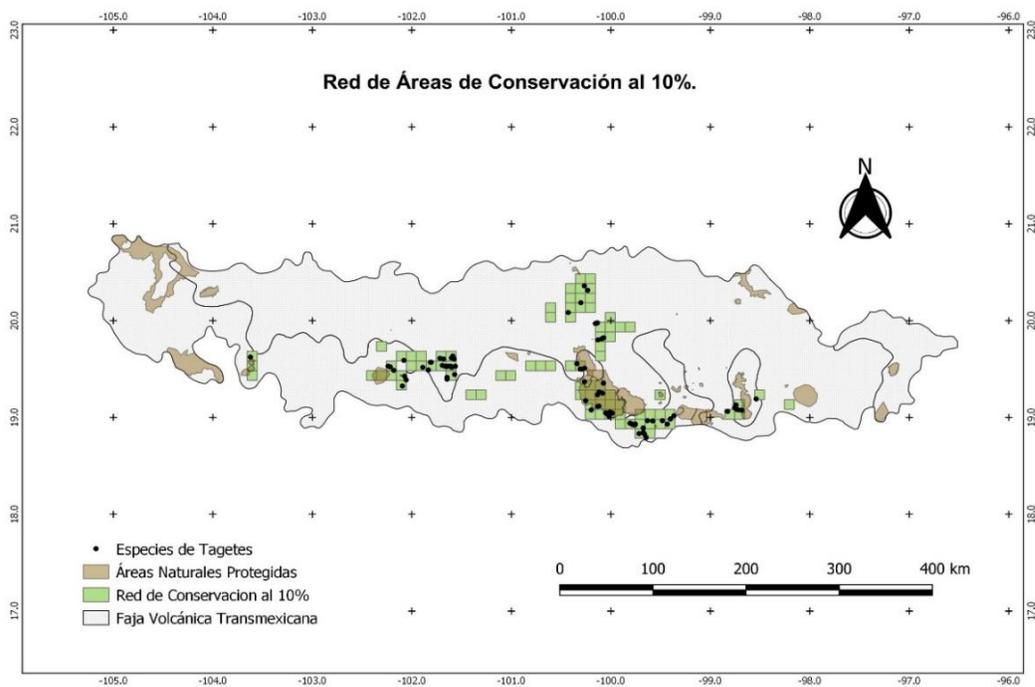


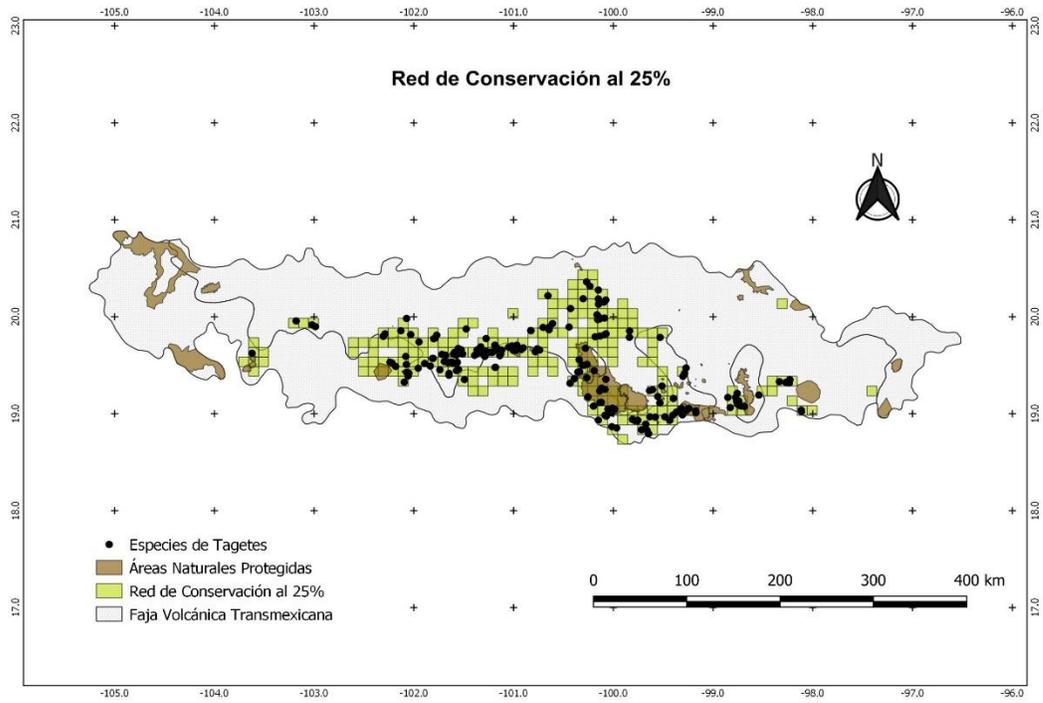
4





Anexo 5. Distribución de especies de *Tagetes* en la Red de Áreas de Conservación al 10 %.





Anexo 6. Distribución de especies de *Tagetes* en la Red de Áreas de Conservación al 25 %.