



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales

**“Regionalización de la provincia del Desierto Chihuahuense
con base en la distribución de las especies del género *Dalea*
(Fabaceae)”**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de:
Maestra en Ciencias Biológicas

Presenta

Tecoatlayopeuh Nelly Sandoval Mata

Dirigida por:

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval

Co-Directora:

Dra. Guadalupe Munguía Lino

Querétaro, Qro., agosto del 2022



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Maestría en Ciencias Biológicas

“Regionalización de la provincia del Desierto Chihuahuense con base en la distribución de las especies del género *Dalea* (Fabaceae)”.

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de:

Maestra en Ciencias Biológicas

Presenta

Tecoatlapeuh Nelly Sandoval Mata

Dirigido por:

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval

Co-dirigido por:

Dra. Guadalupe Munguía Lino

Sinodales

Firma

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval
Director

Dra. Guadalupe Munguía Lino
Co-directora

Dra. Mahinda Martínez y Díaz de Salas
Vocal

Dr. Victor W. Steinmann
Vocal

Dr. Alfonso Octavio Delgado Salinas
Vocal

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
agosto 2022
México

Dedico esta tesis a **Columbita y Adonai**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindarme la oportunidad de ser becaria durante el periodo agosto 2020 – julio 2022. A la Universidad Autónoma de Querétaro y a la Facultad de Ciencias Naturales por permitirme ser alumna del programa de Maestría en Ciencias Biológicas.

A mi director de tesis el Dr. Luis Hernández Sandoval por creer en mí, motivarme y guiarme antes y durante mis estudios, por su flexibilidad y comprensión durante una etapa personal complicada. A la Dra. Guadalupe Munguía Lino por compartir sus amplios conocimientos sobre biogeografía, por recibirme durante mi estancia académica y su eterna paciencia. Lupis, tu presencia fue fundamental para mi desarrollo. Gracias al Dr. Victor Steinmann por su inagotable motivación y su ayuda en la redacción de textos en inglés para la aplicación a diversas convocatorias internacionales. Al Dr. Alfonso Delgado por aclarar mis dudas sobre la sistemática de *Dalea* y guiarme cuando se lo pedía. A la Dra. Mahinda Martínez por sus acertados comentarios durante el desarrollo de este trabajo. Gracias a cada uno de ustedes, los admiro mucho.

Mis agradecimientos a los Curadores y Técnicos de herbario por permitirme revisar ejemplares y proporcionarme la base de datos de ejemplares de *Dalea* que resguardan. A la Mtra. Yolanda Pantoja y Natalia Fourrey del QMEX, al Mtro. José Viccon del herbario WLM, al Dr. Eduardo Estrada e Ing. Forestal Amelia Cuéllar de la FCF de la UANL, al Dr. J. A. Villarreal Quintanilla del ANSM, al Dr. Gilberto Ocampo y Biol. Julio Hernández del HUAA, al Dr. Arturo De-Nova y Dr. Eleazar Carranza del SLPM, al Biol. Emmeth Rodríguez de Zacatecas, a los Maestros Leticia y Rafael Torres Colín y a la Biol. Gilda Ortiz de MEXU, al Dr. Pablo Carrillo del IBUG y la Dra. Socorro González del CIIDIR.

Mi gratitud para el Mtro. Hugo Luna por enseñarme y rescatarme siempre que tenía problemas con mis capas vectoriales en Qgis. A la Coordinadora del Posgrado la Dra. Mónica Queijeiros, por aclarar mis dudas sobre diversos trámites. A las Técnicas del QMEX, por compartirme un espacio en el herbario, Yolis gracias por

ayudarme a solucionar los problemas y dudas con ciertas capas vectoriales, Bety por ayudarme en RStudio, Nat, Fati, Pau, Mané, Hugo, Rosy y Nayeli porque de alguna manera me acompañaron y ayudaron en estos años de estudio.

A mis amigos y familia que me recibieron en sus casas: Diana en Querétaro, Leonardo en Monterrey, Julio en Saltillo, Enrique en Aguascalientes, Emmeth y Mónica en Zacatecas, Paulina en San Luis Potosí y Juvenal en Guadalajara.

A Lourdes, por su apoyo profesional para que nunca deje de perseguir mis sueños. Gracias a los que siempre están: mi familia. Por su cariño, comprensión y apoyo para cumplir mis metas profesionales y personales. Los amo demasiado.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
Regionalización biótica	3
Provincia del Desierto Chihuahuense.....	5
Regionalización de la provincia del Desierto Chihuahuense	5
El género <i>Dalea</i>	7
Justificación	8
III. HIPÓTESIS	8
IV. OBJETIVOS	9
Objetivo general	9
Objetivos particulares	9
V. MATERIALES Y MÉTODOS	9
Área de estudio	9
Recopilación de datos de distribución	10
Lista de especies.....	11
Análisis de riqueza.....	11
Centros de endemismo.....	11
Regionalización	12
Caracterización de los componentes bióticos.....	12
VI. RESULTADOS	16
Lista de especies.....	16
Análisis de riqueza.....	16

Centros de endemismo.....	29
Regionalización	29
Caracterización de los componentes bióticos.....	34
Subprovincia Chihuahuense.....	34
Subprovincia Altiplano Mexicano.....	36
VI. DISCUSIÓN	45
Lista de especies.....	45
Análisis de riqueza.....	46
Centro de endemismo	48
Regionalización	49
Caracterización de los componentes bióticos.....	50
VII. CONCLUSIÓN	50
VIII. REFERENCIAS.....	52

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Lista y distribución geográfica de especies de <i>Dalea</i> en la provincia del Desierto Chihuahuense.....	18
2. Especies por celda en el análisis de riqueza de especies.....	28
3. Especies por celda en el análisis de riqueza de especies endémicas.....	31
4. Especies por celda en el análisis de endemismo ponderado.....	31
5. Especies por celda en el análisis de endemismo ponderado corregido	31
6. Especies presentes en cada Distrito.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Delimitaciones de la provincia del Desierto Chihuahuense de acuerdo a diversos autores.....	13
2. Polígono empleado en este estudio, con los límites máximos de cada propuesta de la provincia del Desierto Chihuahuense.....	14
3. Propuesta de regionalización de la provincia del Desierto Chihuahuense de acuerdo a Arriaga <i>et al.</i> (1997).	15
4. Propuesta de regionalización de la provincia del Desierto Chihuahuense de acuerdo con Morrone <i>et al.</i> (2022).....	15
5. Especies de <i>Dalea</i> en la provincia del DC.....	26
6. Riqueza de especies basada en una cuadrícula con celdas de 1° x 1°.....	27
7. Riqueza de especies endémicas.	30
8. Endemismo ponderado.....	31
9. Endemismo ponderado corregido.	33
10. Análisis de conglomerados (coeficiente de disimilitud de β -Simpson).....	38
11. Grupos obtenidos mediante el análisis de disimilitud de especies de <i>Dalea</i> en la provincia del Desierto Chihuahuense	39
13. Subprovincias y distritos definidos por disimilitud de las especies de <i>Dalea</i> en la provincia del Desierto Chihuahuense	41
14. Comparación de la regionalización con <i>Dalea</i> y las ecorregiones de Olson <i>et al.</i> (2001).	44

ABREVIATURAS Y SIGLAS

- **ANSM:** Herbario de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- **CFNL:** Herbario de la Facultad de Ciencias Forestales Universidad Autónoma de Nuevo León.
- **CIIDIR:** Herbario del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango.
- **CWE:** Corrected Weighted Endemism = Endemismo Ponderado Corregido.
- **DC:** Desierto Chihuahuense.
- **GBIF:** Global Biodiversity Information Facility
- **HUAA:** Herbario de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- **IBUG:** Herbario Luz María Villareal de Puga.
- **IEB:** Herbario del Instituto de Ecología, A. C., Centro Regional del Bajío.
- **LL:** The Lundell Herbarium.
- **MEXU:** Herbario Nacional de México.
- **NY:** Herbarium of the New York Botanical Garden.
- **QMEX:** Herbario Jerzy Rzedowski.
- **RDC:** Región del desierto Chihuahuense.
- **SEINet:** Herbarium Data Portal Network
- **SLPM:** Herbario Isidro Palacios.
- **SNIB-REMIB:** Sistema Nacional de Información sobre la Biodiversidad de México - Red Mundial de Información sobre Biodiversidad.
- **TEX:** Herbario de la Universidad de Texas.
- **UPGMA:** Método de grupos de pares no ponderados con media aritmética.
- **USON:** Herbario de la Universidad de Sonora.
- **WE:** Weighted Endemism = Endemismo Ponderado.
- **WLM:** Herbario Walter L. Meagher.

RESUMEN

El género *Dalea* agrupa 175 especies, 146 habitan en México y 102 son endémicas. Sus especies se asocian principalmente al matorral xerófilo, bosque de encino y bosque de coníferas, especialmente en áreas con suelos calcáreos. Por tanto, se considera que *Dalea* podría ser un subrogado para la regionalización de la provincia del Desierto Chihuahuense (DC). Este trabajo tiene como finalidad reconocer la riqueza taxonómica de *Dalea* en la provincia del DC, identificar los sitios con mayor riqueza, centros de endemismo y proponer una regionalización biogeográfica con base en la distribución de las especies, así como caracterizar con factores ambientales los componentes bióticos encontrados. Se generó un polígono tomando en cuenta los límites máximos de tres propuestas del área de estudio. Se elaboró una base de datos a partir de ejemplares de herbario, bases de datos electrónicas y publicaciones científicas. El análisis de riqueza se obtuvo utilizando una cuadrícula de 1° x 1°. Se estimó el endemismo ponderado y endemismo ponderado corregido. Se empleó el índice Simpson beta (β_{sim}) y los grupos fueron establecidos por el método de grupos de pares no ponderados con media aritmética (UPGMA). Los resultados de la regionalización, se cotejaron con las ecorregiones de Olson *et al.* (2001) para determinar la caracterización ambiental de los componentes bióticos. Se obtuvieron 3,061 registros, correspondientes a 77 especies, de las cuales 33 son endémicas al área de estudio. Las dos celdas con mayor número de especies se encontraron al noroeste y sureste de la provincia del DC; mientras que la riqueza de endemismos arrojó seis celdas localizadas en la parte centro y norte de la provincia. El análisis de endemismo ponderado mostró tres celdas ubicadas en el centro del área de estudio; a diferencia del endemismo ponderado corregido con tres celdas al sur de la provincia. Se reconocen dos grandes grupos principales (subprovincias), cada uno anidando otros grupos más pequeños (distrito). Los distritos corresponden en su gran mayoría a las ecorregiones del Desierto Chihuahuense, Matorral de la Meseta Central, bosques secos del Bajío y pequeñas porciones de ecorregiones adyacentes a estas.

Palabras clave: Desierto Chihuahuense, riqueza, endemismo, subprovincia, distrito.

ABSTRACT

The genus *Dalea* contains 175 species, of which 146 inhabit Mexico and 102 are endemic. Its species are mainly associated with xeric scrub, oak forest, and coniferous forest, especially in areas with calcareous soils. Therefore, *Dalea* is considered appropriate for the regionalization of the province of the Chihuahuan Desert (DC). The purpose of this work is to recognize the taxonomic richness of *Dalea* in the province of DC, to identify the most diverse sites and centers of endemism, and to propose a biogeographical regionalization based on the distribution of the species, as well as how to characterize the biotic components found with environmental factors. A polygon was generated taking into account the maximum limits of three proposals of the study area. A database was developed from herbarium specimens, electronic databases, and scientific publications. Richness analysis was obtained using a 1° × 1° grid. Weighted endemism and corrected weighted endemism were estimated. The Simpson beta index (β_{sim}) was used and the groups were established by the method of groups of unweighted pairs with arithmetic mean (UPGMA). The results of the regionalization were compared with the ecoregions of Olson *et al.* (2001) to determine the environmental characterization of the biotic components. 3,061 records were obtained, corresponding to 77 species, of which 33 are endemic to the study area. The two cells with the highest number of species were found in the northwest and southeast of the DC province, whereas endemic richness showed six cells located in the central and northern part of the province. The weighted endemism analysis showed three cells located in the center of the study area, as opposed to the weighted endemism corrected with three cells to the south of the province. Two large main groups (subprovinces) are recognized, each nesting other smaller groups (districts). The vast majority of the districts correspond to the ecoregions of the Chihuahuan Desert, Central Plateau Scrub, dry forests of the Bajío, and small portions of ecoregions adjacent to these.

Keywords: Chihuahuan Desert, richness, endemism, subprovince, district.

I. INTRODUCCIÓN

La biogeografía es la ciencia que estudia la distribución de los seres vivos en el espacio y tiempo (Contreras-Medina *et al.*, 2001). Analiza y describe los patrones y procesos que han originado la distribución de los seres vivos (Lomolino *et al.*, 2010). La fitogeografía, a su vez, se encarga de la distribución vegetal con base en sus áreas presentes y pasadas (Luna-Vega, 2008). El área de distribución de las especies se refiere al espacio geográfico que ocupa un taxón, la cual puede ser continua, discontinúa o disyunta (Zunino y Zullini, 2003). Esta área se construye a partir de las localidades donde se ha registrado una especie y es el elemento básico de todo análisis biogeográfico (Lomolino *et al.*, 2010). Además, se deben incorporar variables climáticas, en las cuales se consideran las características para que cierto taxón ocurra.

Una regionalización biogeográfica es un sistema jerárquico para categorizar áreas geográficas en términos de su biota (Escalante, 2009). Es decir, es el proceso de agrupar u ordenar la información de un número determinado de unidades territoriales, con el propósito de evaluar sus similitudes y relaciones (Suárez-Mota *et al.*, 2013). Lo anterior, permite la definición de regiones homogéneas generadas a partir de conjuntos de especies y la identificación de factores que potencialmente influyen en su distribución (Rodrigues *et al.*, 2015).

Aunado a lo anterior, la riqueza y diversidad de especies son propiedades emergentes de las comunidades biológicas y comúnmente son utilizadas para determinar su distribución y presencia, así como para evaluar su respuesta a las perturbaciones ambientales y establecer planes de conservación (Gaston, 1996). El endemismo, es la restricción del rango natural de un taxón a un área definida, por lo que, es dependiente de la escala geográfica del área en la que se distribuya el taxón (Cracraft, 1985). Por su parte, los centros de endemismo están definidos como aquellos sitios dónde las áreas de distribución de los taxones restringidos se superponen unas sobre otras en la naturaleza (Crisp *et al.*, 2021). Estos términos,

proveen información sobre la relación compleja entre los ambientes físicos y los atributos biológicos de los organismos (Noguera-Urbano, 2017). Por tanto, el endemismo toma un valor ecológico e histórico, si se considera que define zonas geográficas donde hay taxones integrados espacio-temporalmente (Nelson y Platnick, 1981; Morrone 2009). Además, representa un patrón biogeográfico y, al identificar estos sitios nos ayuda a reconocer y priorizar áreas para la conservación y manejo sustentable de las plantas (Ruíz-Sánchez *et al.*, 2020; Villaseñor *et al.*, 2007).

Este trabajo tiene como finalidad reconocer sitios con mayor riqueza de especies, centros de endemismo y proponer una regionalización biogeográfica de la provincia del Desierto Chihuahuense (en adelante provincia del DC) con base en la distribución de especies del género *Dalea* L. (Fabaceae). Para ello se analizó la distribución geográfica de las especies y se construyeron mapas que reflejan estos patrones biogeográficos, asimismo, se espera encontrar una disimilitud de áreas y obtener una regionalización de la provincia del DC, la cual apoye las regionalizaciones propuestas en otros estudios.

II. ANTECEDENTES

Regionalización biótica

De acuerdo con Salthe (1985), es necesario que los niveles jerárquicos de una regionalización tengan algunos de los siguientes principios: 1) criterios mínimos y explícitos para encontrar un nivel que contenga entidades reales y concretas; 2) principio de individualidad, se refiere a que las entidades en cada nivel tengan la capacidad de ser vistas como individuos; 3) principio de anidamiento, cuando las entidades del siguiente nivel inferior están contenidas dentro del nivel superior contiguo; 4) principio de capacidad de limitación, se refiere a que las interacciones entre las entidades en niveles contiguos deben ser capaces de establecer condiciones iniciales o de imponer condiciones limítrofes; 5) principio de inconmensurabilidad, donde las entidades funcionales a los diferentes niveles deben ser de clases diferentes, y 6) principio de robustez, el cual indica que en cualquier nivel de la jerarquía que se inicie un estudio, se podrá llegar inevitablemente a otro nivel. Las áreas obtenidas de una regionalización biótica suelen estar limitadas por barreras geográficas, rangos altitudinales o un tipo de vegetación (Morrone, 2018).

Como ya se mencionó, una regionalización biogeográfica es un sistema jerárquico, que incluye reinos, seguidos de las regiones, los dominios, las provincias y los distritos, así, cada uno de los niveles de la jerarquía biogeográfica agrupa los siguientes niveles, con base en características que comparten (Escalante, 2009). Una región se refiere a grandes extensiones con flora y fauna particular debido a su aislamiento durante la deriva continental (CONABIO, 2020), mientras que una provincia biogeográfica es un área donde se superpone la distribución de dos o más especies endémicas y que tiene identidad fisiográfica y ecológica (Espinosa *et al.*, 2008). Tomando en cuenta la biota, en México existen varias propuestas de regionalización del territorio. En 1990 se publicaron propuestas de regionalización biogeográfica para México, basadas en la distribución de plantas (Rzedowski y Reyna-Trujillo, 1990), anfibios y reptiles (Casas-Andreu y Reyna-Trujillo, 1990),

mamíferos (Ramírez-Pulido y Castro-Campillo, 1990) y otra propuesta basada en la flora, vegetación y rasgos morfotectónicos (Ferrusquía-Villafranca, 1990). En 1997, la CONABIO organizó un taller de regionalización biogeográfica, donde diferentes autores y expertos integran las propuestas anteriormente descritas con el fin de obtener un análisis consenso de la regionalización biótica del país (Arriaga *et al.*, 1997). Más tarde, Morrone (2005 y 2017), reconoció 14 provincias biogeográficas que pertenecen a dos regiones: Neártica y Neotropical, así como a la Zona de Transición Mexicana. Entre las provincias biogeográficas que comprende la región Neártica se encuentra la provincia del DC, reconocida como Altiplanicie en la clasificación florística de Rzedowski y Reyna-Trujillo (1990).

Desde el punto de vista ecológico, Olson *et al.* (2001) definen una ecorregión como un territorio que contiene un conjunto de comunidades naturales, que comparten a la mayoría de sus especies y poseen la misma dinámica bajo las mismas condiciones ambientales. Posteriormente, Challenger y Soberón (2008) reconocen a las ecorregiones como subdivisiones de las provincias, utilizando criterios ambientales dados por tipo de vegetación con estructura y composición de especies de flora y fauna similares, por rasgos fisiográficos como sierras, mesetas, planicies y cuencas, asimismo toma en cuenta elementos del clima como humedad y temperatura. La identificación de estas áreas naturales tiene que ver con la identificación de un origen biótico común u homología biogeográfica (Morrone, 2005). Esta última incorpora el supuesto de áreas con una historia biótica común, incluso con taxones con diferente vagilidad y no relacionados filogenéticamente (Escalante, 2009). Sin embargo, la similitud no implica necesariamente naturalidad, por lo que se requieren métodos que permitan el reconocimiento de unidades naturales o patrones de homología espacial. En este trabajo, se emplea el nombre de provincia del DC (Escalante *et al.*, 2021; Morrone *et al.*, 2022), dado que incluye la provincia con sus límites naturales y no sólo la parte correspondiente a México.

Provincia del Desierto Chihuahuense

La provincia del DC está situada entre la Sierra Madre Occidental, la Sierra Madre Oriental y la Faja Volcánica Transmexicana. Extiende su extremo septentrional hasta el sur de Arizona, New Mexico y Texas en los Estados Unidos de América (Henrickson y Johnston, 2004; Rzedowski y Reyna-Trujillo, 1990; Morrone *et al.*, 2017; Escalante *et al.*, 2021). En las extensas planicies de la provincia del DC se encuentran montañas más o menos aisladas, que poseen elevaciones altas y están sometidas a la influencia del desierto (Hernández *et al.*, 2008). Históricamente, la aridez de esta provincia se debe a la desertificación que se registró durante el Holoceno (Morain, 1984). Es considerado un desierto zonal por encontrarse ligado a la presencia de altas presiones tropicales, así como por ubicarse en una vasta región alejada de las masas de aire marítimo (Villarreal-Quintanilla *et al.*, 2017). Su riqueza florística con 3,382 especies de plantas, (Henrickson y Johnston, 2004) y endémica con 826 especies (Villarreal *et al.*, 2017) engrandece la diversidad vegetal de México, es una de las regiones áridas biológicamente más ricas del planeta (Balleza y Villaseñor, 2011). Henrickson y Johnston (2004), en su obra de “*A Flora of the Chihuahuan Desert Region*” reconocen una variedad de tipos de vegetación que van desde el matorral propiamente desértico hasta bosque de chaparral, roble, pino y abeto en elevaciones progresivamente más altas en áreas montañosas. Estos y otros autores (*i.e.* Rzedowski, 1978; Villarreal y Valdés, 1993; Villarreal, 1994; Villareal-Quintanilla y Encina-Domínguez, 2005; Granados-Sánchez *et al.*, 2011) reconocen como vegetación dominante al matorral xerófilo. Los elementos que conforman su fisonomía son principalmente arbustos de 1 a 4 m de altura, también es frecuente encontrar herbáceas y rara vez árboles (Villaseñor y Ortiz, 2014) e incluye una flora en la cual predominan los géneros de afinidad Neártica (Morrone, 2019).

Regionalización de la provincia del Desierto Chihuahuense

Estudios con distintos enfoques biogeográficos reconocen áreas anidadas dentro de una provincia. Para la provincia del DC existen ocho regionalizaciones

biogeográficas, las cuales difieren en los criterios utilizados, los nombres y las categorías dadas a las distintas unidades bióticas reconocidas (Morrone *et al.*, 2022). Por ejemplo, Smith (1941), reconoce dos provincias distintas según la distribución geográfica de las lagartijas del género *Sceloporus*: Chihuahuense y Austro-central. Cabrera y Willink (1973) tomaron en cuenta la distribución de animales y plantas y subdividen la provincia xerófila mexicana en tres distritos: el Sonoriano, el Chihuahuense y el Árido Sur. Morafka (1977), llevó a cabo análisis biogeográficos de la herpetofauna en la Región del Desierto Chihuahuense (RDC) y reconoce tres regiones: 1) región Trans-Pecos, la región más norteña, 2) región Mapimiense, extendiéndose por el este de Chihuahua y Coahuila y 3) región Saladense, ubicada en el Altiplano Mexicano; regiones que más tarde Henrickson y Johnston (2004), toman en cuenta para analizar la flora de la RDC. En el análisis consensado de la CONABIO, se propone la subdivisión del Altiplano en dos provincias: Provincia Norte y Provincia Sur (Arriaga *et al.*, 1997). Hernández *et al.* (2008) con base a la distribución de cactáceas, proponen la existencia de tres subregiones para la provincia del DC: la subregión principal está constituida por extensas planicies áridas y semiáridas entremezcladas con montañas aisladas; la segunda subregión incluye varias depresiones y valles secos aislados; la tercera subregión, está constituida por valles y cañones intermontanos localizados en la parte centro-oriente del cuerpo principal de la provincia del DC. La segunda subregión ha sido denominada como la zona árida Queretana-Hidalguense, sitio donde los estudios florísticos circunscritos a esta región indican que el área sustenta una considerable diversidad y un endemismo alto (Zamudio, 1984; Hernández y Godínez, 1994; Fernández y Colmenero, 1997). Morrone (2019), tras considerar las dimensiones: fisiográfica, morfotectónica, climática y de vegetación del país, reconoce dos distritos que conforman la provincia del DC: Coahuilense y Zacatecano. Recientemente, Morrone *et al.* (2022) comparan las áreas previamente reconocidas para esta provincia, registraron los taxones endémicos de plantas y animales que las diagnostican y propone los nombres de estas unidades de acuerdo con el Código Internacional de Nomenclatura de Áreas, los autores presentan un esquema de dos

subprovincias y cinco distritos: Subprovincia Chihuahuense, incluye los distritos Trans-Pecos y Mapimiense; y la Subprovincia del Altiplano Mexicano, incluye los distritos Saladense, Sudmexicano Árido y del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Este último es el primer estudio que regionaliza la provincia del DC con sus límites naturales y no políticos entre México y Estados Unidos; además, extiende la provincia hacia el sur al incluir el Valle de Tehuacán-Cuicatlán.

Dependiendo del objetivo del estudio, debe seleccionarse *a priori* el área de estudio apropiada. Este paso debe abordarse adecuadamente, porque afecta a los pasos siguientes (Kreft y Jetz, 2010). Si el objetivo es revisar una regionalización biogeográfica previa, se debe incluir en el área de estudio todas las áreas que previamente se han considerado relacionadas con las que se están analizando (Morrone, 2018).

El género *Dalea*

México es reconocido como un lugar con alta biodiversidad. Villaseñor (2016) reconoce 23,314 especies de plantas vasculares nativas, de las cuales 22,126 son angiospermas. En primer lugar, encontramos las Asteráceas con 3,057 especies y la familia Fabaceae destaca en segundo lugar con 1,903. Esta familia tiene distribución cosmopolita y en el territorio mexicano se distribuye ampliamente. La riqueza de Fabaceae aumenta con el ascenso de la temperatura (Rzedowski, 1991a) y alrededor del 52% de sus especies son endémicas al país (Rzedowski y Calderón de Rzedowski, 2013). De acuerdo con análisis filogenéticos, las leguminosas se dividen en seis subfamilias: Caesalpinioideae, Cercidoideae, Detarioideae, Dialioideae, Duparquetioideae y Papilionoideae (LPWG, 2017). Dentro de esta última, el género *Dalea* es ubicado y forma parte de la tribu Amorphae Boriss. (McMahon, 2005), la cual está conformada por los géneros: *Amorpha* L., *Apoplanesia* C. Presl, *Dalea*, *Errazurizia* Phil., *Eysenhardtia* Kunth, *Marina* Liebm., *Parryella* Torr. & A. Gray y *Psorothamnus* Rydb. (Cuevas-Ríos, 2020).

Dalea es americano e incluye aproximadamente 175 especies (Barneby, 1977; Lewis *et al.*, 2005; Estrada-Castillón *et al.*, 2014). La distribución geográfica de *Dalea* se extiende desde el sur de los Estados Unidos hasta Chile y Argentina (Piñeros y González, 2020), aunque la mayor cantidad de especies está en México con 146 especies, de las cuales 102 son endémicas, aunque estas cantidades varían debido a la descripción de especies nuevas. Estas cifras posicionan a *Dalea* en el décimo género más diverso en el país (Villaseñor, 2016), *Dalea* agrupa hierbas anuales, sufrútices o arbustivas. Se caracteriza por tener glándulas punteadas en tallos, raquis, folíolo, sépalos y algunas veces en pétalos. Sus hojas son compuestas pero sus foliolos son pequeños, de ahí que se distribuyen principalmente en regiones con características micrófilas de zonas áridas y semiáridas (McVaugh, 1987; Rzedowski *et al.*, 2016). Las especies de este género se asocian principalmente con matorral xerófilo, bosque de encino y bosque de coníferas, especialmente en áreas con suelos calcáreos (Sousa y Delgado, 1993; Estrada *et al.*, 2014). Por lo anterior, *Dalea* podría considerarse un subrogado de la flora para regionalizar la provincia del DC.

Justificación

La regionalización biogeográfica es fundamental para comprender la distribución espacial de la biodiversidad, así como para identificar áreas de conservación. No obstante, es necesario emplear métodos cuantitativos que ayuden a probar las propuestas previas, que por lo general están basadas en enfoques cualitativos. El presente trabajo es un aporte a la regionalización biogeográfica de México, especialmente de la provincia del DC a partir de los patrones de distribución de especies de *Dalea*.

III. HIPÓTESIS

Dalea es un género americano de amplia distribución en la provincia del DC, por lo que se espera que las especies de este género funcionen como un subrogado y permitan reforzar las propuestas de regionalización para dicha provincia.

IV. OBJETIVOS

Objetivo general

Proponer una regionalización de la provincia del DC con base a la distribución de las especies de *Dalea*.

Objetivos particulares

- Elaborar una lista de las especies de *Dalea* presentes en la provincia del DC.
- Determinar la distribución de la riqueza y centros de endemismo de *Dalea* en la provincia DC.
- Regionalizar la provincia del DC empleando las especies de *Dalea* presentes
- Caracterizar los componentes bióticos de la provincia del DC con factores ambientales.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La provincia del DC está situada entre la Sierra Madre Occidental, la Sierra Madre Oriental y la Faja Volcánica Transmexicana, en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Sonora, Nuevo León, Tamaulipas, Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Jalisco, México y Michoacán. Extendiéndose, en su extremo septentrional, hasta el Sur de Arizona, New Mexico y Texas en los Estados Unidos de América (Henrickson y Johnston, 2004; Rzedowski y Reyna-Trujillo, 1990; Morrone *et al.*, 2017; Escalante *et al.*, 2021). Para este trabajo se generó un polígono basado en las propuestas de Rzedowski y Reyna-Trujillo (1990) que incluye solamente la porción mexicana (Figura 1A), Henrickson y Johnston (2004) (Figura 1B), y Escalante *et al.* (2021) (Figura 1C), tomando los límites máximos de cada propuesta (Figura 2). De acuerdo con este último, la provincia del DC tiene un área de 874,360.89 km² y está ubicada entre 19° 11' 2.76" y 34° 21' 23.4" de latitud N y 111° 42' 11.3" y 96° 56' 49.2" de longitud O. En el norte de la provincia del DC se encuentran elevaciones de 1,000 a 1,500

m, mientras que en el sur alcanzan hasta los 3050 m (Villarreal *et al.*, 2017). Los tipos de climas que predominan son de tipo B, que corresponde a climas secos de acuerdo al sistema de Köeppen (1948), con inviernos fríos y secos, así como veranos calurosos. La mayor parte de su superficie se encuentra formada por suelos calcáreos derivados de camas de piedra caliza (Villarreal *et al.*, 2017). El rango de la temperatura anual varía de acuerdo a la latitud y elevación entre 16-22°C y la precipitación anual oscila entre 75 y 400 mm (Morafka, 1977). La vegetación de esta provincia consiste en pastizal, matorral xerófilo y bosque de coníferas y encino (Henrickson y Johnston, 2004) pero predomina el matorral xerófilo (Villaseñor y Ortiz, 2014).

Recopilación de datos de distribución

Se elaboró una base de datos en EXCEL que compiló las especies de *Dalea* distribuidas en la provincia del DC, los campos son: 1) datos taxonómicos: familia, género, epíteto específico y autor; 2) datos geográficos: país, estado, municipio, localidad, coordenadas geográficas y elevación; 3) datos ecológicos: tipo de vegetación, fecha de colecta y observaciones; y 4) datos curatoriales: nombre del colector, número de colecta y siglas del herbario que resguarda el ejemplar. Para ello, se recopiló la información disponible en las etiquetas de los ejemplares depositados en los siguientes herbarios: ANSM, CFNL, CIIDIR, HUAA, IBUG, IEB, MEXU, QMEX, WLM, SLPM, USON y un herbario privado en Zacatecas, sin acrónimo oficial. Se consultaron bases de datos contenidas en GBIF (<https://www.gbif.org/>), Portal de Datos Abiertos de la Universidad Nacional Autónoma de México (<https://datosabiertos.unam.mx/>), SNIB-REMIB (<http://www.conabio.gob.mx/>), SEINet (<https://swbiodiversity.org/seinet/>), así como los herbarios virtuales del NYBG (<http://sweetgum.nybg.org/science/vh/>) y TEX, LL (<https://prc-symbiota.tacc.utexas.edu/collections/index.php>). Asimismo, el listado de plantas vasculares de México (Villaseñor, 2016), artículos, floras y monografías referentes al área de estudio fueron consultados. Para corroborar las identidades taxonómicas se revisaron físicamente siete colecciones y se incorporaron aquellos

registros que tenían fotografía o fueron referidos en un tratamiento taxonómico para el género. Los duplicados o determinaciones dudosas fueron eliminados. Dicha base fue corregida taxonómicamente, los nombres científicos fueron corroborados en Tropicos (<https://www.tropicos.org/home>) y World Flora Online (www.worldfloraonline.org), y corregida geográficamente. Para aquellos ejemplares que carecían de coordenadas geográficas, se calcularon con ayuda de Google Earth (www.earth.google.com) siguiendo las recomendaciones de Garcia-Milagros & Funk (2010), en algunos casos, la base de datos de localidades de México (INEGI, 2010).

Lista de especies

Para obtener la lista de especies, el polígono del área de estudio se cargó en Qgis versión 3.4.10 (QGIS Development Team, 2018) y la capa de puntos de las coordenadas geográficas de las especies se sobrepuso, aquellos puntos fuera del polígono fueron eliminados, obteniendo así las especies de *Dalea* con distribución en la provincia del DC.

Análisis de riqueza

A partir de los datos de ocurrencia, se generó una cuadrícula en el programa Biodiverse (Laffan *et al.*, 2010). El tamaño de celda fue de 1° de longitud por 1° de latitud, ya que un tamaño de celda más fino (*i.e.* empleando el método de máxima distancia (Willis *et al.*, 2003, modificado por Suárez-Mota y Villaseñor, 2011) obtenía celdas vacías que interferían en los resultados. Dicha cuadrícula se exportó a Qgis versión 3.4.10, misma que se categorizó para obtener una mejor visualización de las celdas con mayor riqueza de especies. Además, se generó una lista de especies endémicas a la provincia del DC con base en la lista previamente descrita, Villaseñor (2016) y Tropicos (<https://www.tropicos.org/home>). El análisis de riqueza de endemismos se realizó con los mismos criterios del análisis de riqueza.

Centros de endemismo

Los centros de endemismo se identificaron calculando el endemismo ponderado (WE) y el endemismo ponderado corregido (CWE) en Biodiverse versión

2.00. El WE se estimó en función de las especies que se encuentran en cada celda, mientras que el CWE fue calculado en función de la proporción de endémicas de la celda en relación con la riqueza de especies (Laffan y Crisp, 2003). El tamaño de celda empleado fue el mismo que se utilizó en los análisis de riqueza. La cuadrícula obtenida se exportó a Qgis 3.4.10, donde el valor de las celdas se graduó en intervalos iguales para una mejor visualización de los centros de endemismo.

Regionalización

Las regiones biogeográficas dentro de la provincia del DC se establecieron en el programa Biodiverse 2.0. Para ello, se importó una base de datos que incluía coordenadas geográficas y las especies, incluidas en un conjunto de celdas de 1° x 1°. Se empleó el índice Simpson beta (β_{sim}) (Tuomisto, 2010). Los grupos fueron establecidos por el método de grupos de pares no ponderados con media aritmética (UPGMA), éste evalúa las contribuciones de los grupos por el número de nodos terminales que contienen, asegurando que cada celda contribuya por igual a cada grupo fusionado del que forma parte (González-Orozco *et al.*, 2014). Las celdas únicas o con distribución aislada se reasignaron a los grupos con mayor representación de acuerdo con la afinidad de especies y con las ecorregiones de Olson *et al.* (2001). La regionalización obtenida se comparó con las propuestas de subdivisión de Arriaga *et al.* (1997) y Morrone *et al.* (2022), Figura 3 y 4 respectivamente.

Caracterización de los componentes bióticos

Los resultados de la regionalización, se cotejaron con las ecorregiones de Olson *et al.* (2001), las cuales incluyen México y Estados Unidos, así como factores ambientales tales como: topografía, vegetación, suelo, precipitación, temperatura y geología. Dichas capas se sobrepusieron en Qgis 3.4.10 para determinar la caracterización ambiental de los componentes bióticos.

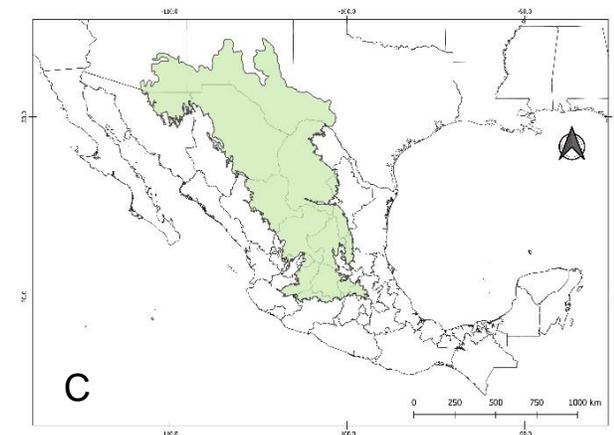
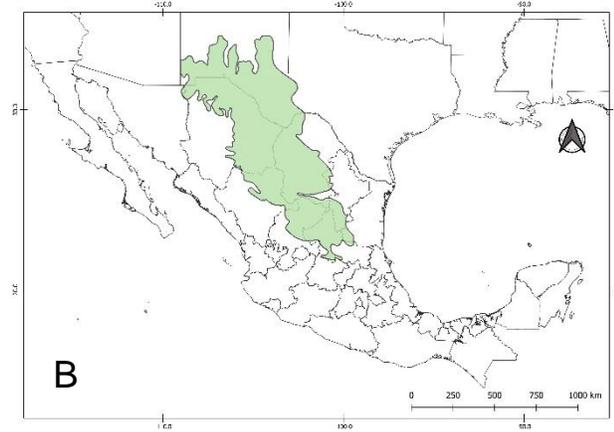
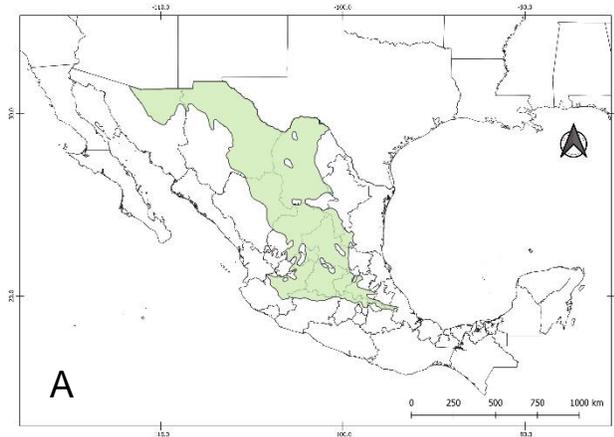


Figura 1. Delimitaciones de la provincia del DC de acuerdo a diversos autores: **A.** Rzedowski y Reyna-Trujillo (1990), **B.** Henrickson y Johnston (2004), **C.** Escalante *et al.* (2021).

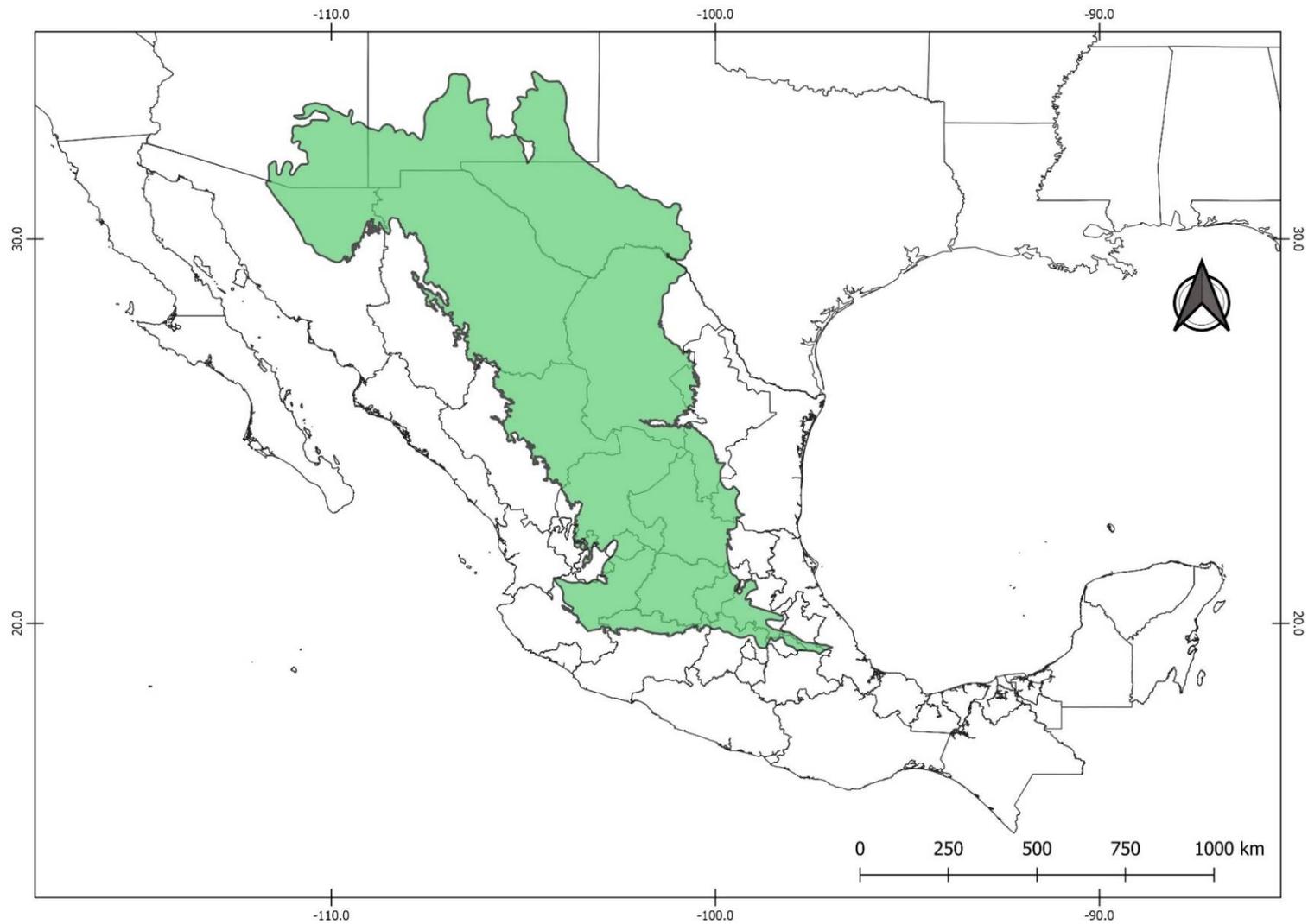


Figura 2. Polígono empleado en este estudio, con los límites máximos de cada propuesta de la provincia del Desierto Chihuahuense. Obtenido de la unión de las figuras 1 A, B y C.

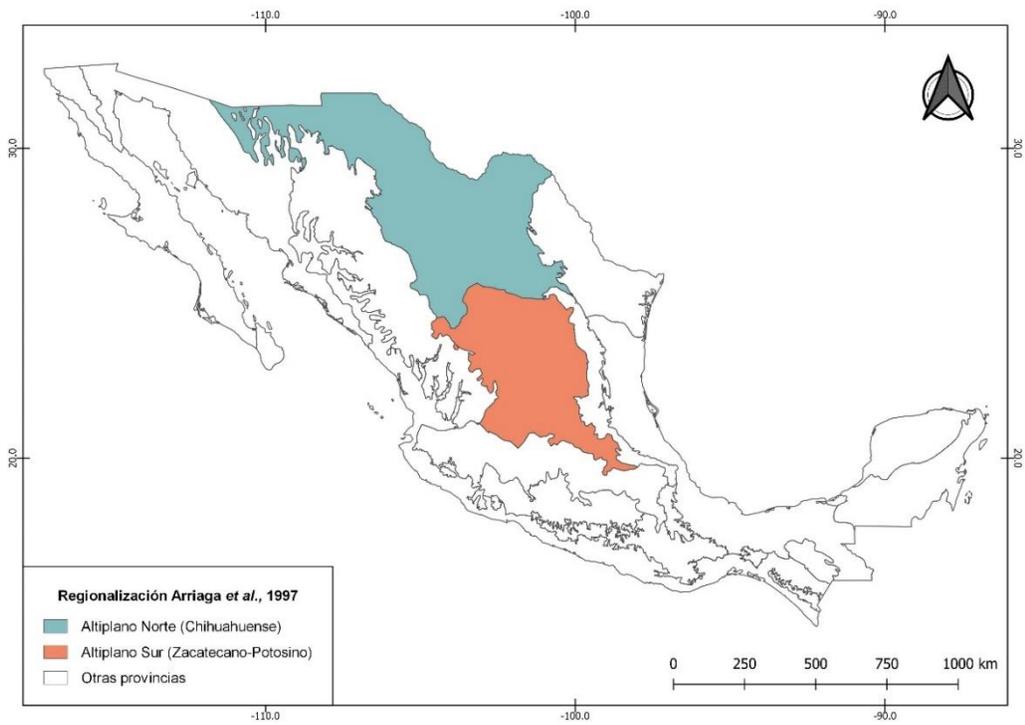


Figura 3. Propuesta de regionalización de la parte mexicana de la provincia del DC de acuerdo a Arriaga et al. (1997).

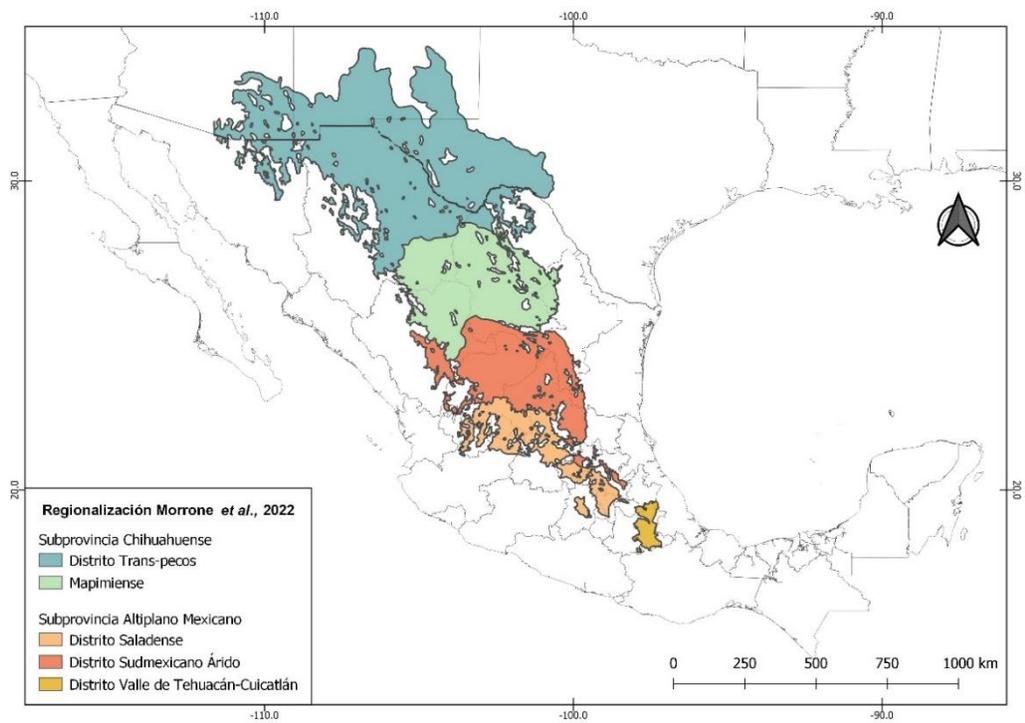


Figura 4. Propuesta de regionalización de la provincia del DC de acuerdo con Morrone et al. (2022).

VI. RESULTADOS

Lista de especies

Se obtuvieron 3,061 registros únicos, correspondientes a 77 especies de *Dalea* con distribución en la provincia del DC., de los cuales, 262 no tenían coordenadas geográficas y fueron georreferenciados. El aporte taxonómico en las colecciones revisadas físicamente consistió en la corrección y determinación de ejemplares, 129 y 249 respectivamente. Las especies con mayor número de registros fueron *D. bicolor* Humb. & Bonpl. ex Willd. 391, *D. foliolosa* (Aiton) Barneby 142, *D. formosa* Torr. 163, *D. lutea* (Cav.) Willd. 173, *D. pogonathera* A. Gray 171 y *D. prostrata* Ortega 120. Se encontraron nuevos registros de *D. aurea* para Texas, *D. brachystachys*, *D. cliffortiana* y *D. luisana*, en Guanajuato y *D. rubriflora* en Aguascalientes. De las 77 especies encontradas en la provincia del DC, 33 especies son endémicas al área de estudio. La lista se puede consultar en el Cuadro 1 y Figura 5.

Análisis de riqueza

El análisis de riqueza por cuadrícula dividió el área de estudio en 115 celdas y *Dalea* está presente en 104, lo que representa el 90.4% del área. El número de especies por celda varió de 1 a 19 especies (Figura 6). En el Cuadro 2 se detallan las especies que se encuentran en las celdas con mayor riqueza. Las dos celdas más ricas (19 especies), se encontraron al noroeste y sureste de la provincia del DC, la primera se ubica en el estado de Chihuahua y la segunda se comparte entre los estados de Querétaro e Hidalgo, México (Figura 6).

La primera celda, ubicada en Chihuahua, incluyó de mayor a menor proporción, los municipios de General Trías, Gran Morelos, centro de Chihuahua, centro-sur de Riva Palacio, centro-este de Cusiuarachi, este de Cuauhtémoc, oeste de Aldama, norte de Doctor Belisario Domínguez, sur de Satevo y San Francisco de Borja, pequeñas porciones del oeste de Rosales y sureste de Carichi. Mientras que, la segunda celda, del estado de Querétaro los municipios incluidos

fueron Cadereyta de Montes, Tolimán, Ezequiel Montes, centro-sur de San Joaquín, centro-sur de Tequisquiapan, este de San Juan del Río, este de Colón, sureste de Amealco de Bonfil, sur de Peñamiller y sur de Pinal de Amoles. En Hidalgo, están incluidos los municipios de Tecozautla, Tasquillo, Huichapan, Alfajayucan, Chilcuautila, Progreso de Obregón, Chapantongo, Mixquiahuala de Juárez, Nopala de Villagrán, Francisco I. Madero, Tepetitlán, Tezontepec de Aldama, Tlahuelilpan, Tetepango, Tlaxcoapan, Atitalaquia, la mayor parte de la superficie de los municipios de Zimapán, Nicolás Flores, Ixmiquilpan, San Salvador, Ajacuba, Tula de Allende, el centro-sur de Jacala de Ledezma, centro-norte de Atotonilco de Tula, noreste Tlahuiltepa, oeste de Santiago de Anaya, este de San Agustín, suroeste del Cadonal, y pequeñas porciones del sur de La Misión, sur de Pacula, y norte de Tepejil del Rio Ocampo. Del Estado de México, incluyó los municipios de Polotitlán, Aculco, Soyaniquilpan de Juárez, centro-norte de Jilotepec, y el sur de los municipios de Acambay, Apaxco y Hueypoxtlá.

El análisis de riqueza de endemismos por cuadrícula recuperó 85 celdas con al menos un registro. En general, el número de especies por celda osciló entre 1 y 9 especies (Figura 7). En el Cuadro 3 se detalla la composición de especies de las seis celdas con más riqueza. Las de mayor riqueza se encontraron en la parte centro y norte de la provincia de DC; la celda con nueve especies se ubicó al sureste de Coahuila, de las tres celdas con ocho especies, la primera se localizó al norte de Coahuila, la segunda al suroeste y comparte una pequeña porción del norte de Zacatecas y la tercera se localiza al este de Zacatecas límites con el sureste de Durango. Finalmente, de las celdas con siete especies, la primera se ubica en los estados de Sonora y Arizona y la segunda en los estados de Durango y Chihuahua (Figura 7).

Cuadro 1. Lista y distribución geográfica de especies de *Dalea* en la provincia del DC. Para cada país se señalan los estados y el número de registros por estado. El asterisco indica las especies endémicas. En la columna distribución en este trabajo se marcan en *cursiva* los estados con nuevos registros.

Especie	Distribución en literatura	Distribución en este trabajo	NR
<i>*D. aenigma</i> Barneby	México (CDMX, Hgo., Mex., Pue., Tlax.)	México (Hgo. 5)	5
<i>D. albiflora</i> A. Gray	México (Chih., Coah., Dgo., Sin., Son.), Estados Unidos (AZ, NM)	México (Son. 6, Chih. 5), Estados Unidos (AZ 15, NM 6)	32
<i>*D. aurea</i> C. Fraser	México (Chih., Coah., Dgo., N.L., Tamps.)	México (Chih. 1, Coah. 25, Dgo. 1), <i>Estados Unidos (TX, 14)</i>	41
<i>*D. bartonii</i> Barneby	Estados Unidos (TX)	Estados Unidos (TX 1)	1
<i>D. bicolor</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	México (Ags., Chih., Coah., CDMX, Dgo., Gto., Hgo., Jal., Mex., Mich., N.L., Pue., Qro., S.L.P., Son., Tamps., Ver., Zac.), Estados Unidos (NM, TX)	México (Ags. 43, Chih. 15, Coah. 54, Dgo. 33, Gto. 33, Hgo. 34, Jal. 6, Mex. 6, Mich. 15, N.L. 3, Pue. 3, Qro. 25, S.L.P. 21, Son. 1, Ver. 1, Zac. 88), Estados Unidos (NM 3, TX 7)	391
<i>*D. boraginea</i> Barneby	México (Coah.)	México (Coah. 1)	1
<i>D. botterii</i> (Rydb.) Barneby	México (N.L., Pue., Tamps., Ver.)	México (N.L. 1)	1
<i>D. brachystachys</i> A. Gray	México (Ags., Chih., Coah., Dgo., Hgo., Jal., Mex., Mich., N.L., Pue., Qro., S.L.P., Son., Tamps., Ver., Zac.), Estados Unidos (AZ, NM, TX)	México (Ags. 3, Chih. 18, Coah. 6, Dgo. 10, Gto. 2, Hgo. 2, Mex. 2, N.L. 1, Qro. 12, S.L.P. 9, Son. 1, Tamps. 1, Zac. 6), Estados Unidos (AZ 2, NM 7, TX 1)	83
<i>D. candida</i> Willd.	México (Chih., Dgo., Son.), Estados Unidos (AZ, NM, TX)	México (Chih. 4, Dgo. 1, Son. 3), Estados Unidos (AZ 5, NM 5, TX 21)	39

<i>*D. capitata</i> S. Watson	México (Ags., Chih., Coah., Dgo., N.L., S.L.P., Tamps., Zac.)	México (Ags. 1, Coah. 11, Dgo. 2, N.L. 7, S.L.P. 3, Tamps. 1, Zac. 13)	38
<i>D. cliffortiana</i> Willd.	México (Chih., Dgo., Hgo., Jal., Mex., Mich., Qro., S.L.P., Son., Tamps., Ver., Zac.)	México (Gto. 1, Jal. 29, Mich. 4)	34
<i>*D. conetensis</i> A.E. Estrada & Villarreal	México (Dgo.)	México (Dgo. 2)	2
<i>*D. confusa</i> (Rydb.) Barneby	México (Ags., Chih., Jal., Mich., Zac.)	México (Ags. 1, Jal. 5)	6
<i>D. crassifolia</i> Hemsl.	México (Dgo., Jal.)	México (Jal. 2)	2
<i>D. dorycnioides</i> DC.	México (Chih., Dgo., Hgo., Mex., N.L., Pue., Qro., S.L.P., Tamps., Ver., Zac.)	México (Chih. 2, Coah. 7, Dgo. 7, Hgo. 6, N.L. 3, Qro. 30, S.L.P. 16, Tamps. 1)	72
<i>*D. eriophylla</i> S. Watson	México (Coah., Gto., Jal., N.L., S.L.P., Tamps, Zac.)	México (Coah. 6, N.L. 5, S.L.P. 3, Tamps. 3, Zac. 1)	18
<i>*D. erythrorhiza</i> Greenm.	México (Ags., Chih., Dgo., Gto., Jal., S.L.P., Zac.)	México (Ags. 7, Chih. 2, Dgo. 5, Zac. 6)	20
<i>*D. estoraxana</i> Rzed. & Calderón	México (Qro.)	México (Qro. 3)	3
<i>*D. exigua</i> Barneby	México (Ags., Chih., Jal., Son., Zac.), Estados Unidos (AZ, NM)	México (Chih. 2), Estados Unidos (AZ 3, NM 1)	6
<i>D. filiciformis</i> B.L. Rob. & Greenm.	México (Ags., CDMX, Dgo., Gto., Hgo., Jal., Mex., Mich., N.L., Pue., Qro., S.L.P., Tamps., Ver., Zac.)	México (Ags. 6, Gto. 9, Hgo. 2, Jal. 2, Mex. 6, N.L. 14, Qro. 2, S.L.P. 19)	60

<i>*D. filiformis</i> A. Gray	México (Chih., Dgo., Son.), Estados Unidos (AZ, NM)	México (Chih. 6, Son. 1), Estados Unidos (AZ 6, NM 6)	19
<i>D. foliolosa</i> (Aiton) Barneby	México (Ags., Chih., Coah., CDMX, Dgo., Gto., Hgo., Jal., Mex., Mich., Pue., Qro., S.L.P., Tamps., Tlax., Ver., Zac.)	México (Ags. 15, Chih. 5, Dgo. 7, Gto. 23, Hgo. 16, Jal. 14, Mex. 26, Mich. 1, Qro. 19, S.L.P. 2, Zac. 14)	142
<i>D. formosa</i> Torr.	México (Chih., Coah., Son.), Estados Unidos (NM, TX)	México (Chih. 19, Coah. 21, Son. 9), Estados Unidos (AZ 14, NM 26, TX 74)	163
<i>D. frutescens</i> A. Gray	México (Chih., Coah., N.L., S.L.P., Tamps., Zac.), Estados Unidos (NM, TX)	México (Chih. 4, Coah. 46), Estados Unidos (TX 34)	84
<i>D. grayi</i> (Vail) L.O. Williams	México (Chih., Dgo., Son.), Estados Unidos (AZ, NM)	México (Chih. 8, Dgo. 1, Son. 1), Estados Unidos (AZ 7, NM 2)	19
<i>D. greggii</i> A. Gray	México (Chih., Coah., Dgo., Gto., Hgo., N.L., Pue., Qro., S.L.P., Son., Tamps., Ver., Zac.), Estados Unidos (TX)	México (Chih. 1, Coah. 35, Dgo. 9, Gto. 1, N.L. 5, S.L.P. 6, Tamps. 2, Zac. 4), Estados Unidos (TX 6)	69
<i>*D. gypsophila</i> Barneby	México (N.L.)	México (N.L. 11)	11
<i>D. hegewischiana</i> Steud.	México (CDMX, Hgo., Mex., Pue., Qro., Ver.)	México (Hgo. 3, Mex. 1)	4
<i>*D. hemsleyana</i> (Rose) Bullock	México (Ags., Dgo., Gto., Jal., S.L.P., Zac.)	México (Gto. 1, Jal. 1, S.L.P. 2, Zac. 8)	12
<i>*D. hospes</i> (Rose) Bullock	México (Coah., N.L., Tamps., Zac.)	México (Coah. 11, N.L. 5, Tamps. 3, Zac. 1)	20
<i>D. humilis</i> G. Don	México (Ags., Chih., CDMX., Dgo., Gto., Hgo., Jal., Mex., Mich., Pue., Qro., S.L.P., Tamps., Tlax., Ver., Zac.)	México (Ags. 7, Chih. 2, Dgo. 4, Gto. 9, Hgo. 3, Jal. 10, Mex. 12, Mich. 3, Qro. 4, Zac. 1)	55

<i>D. jamesii</i> (Torr.) Torr. & A. Gray	México (Chih., Dgo.), Estados Unidos (AZ, NM, TX)	México (Chih. 8), Estados Unidos (AZ 2, NM 11, TX 10)	31
* <i>D. janosensis</i> A. E. Estrada & Villarreal	México (Chih.)	México (Chih. 1)	1
* <i>D. lachnostachys</i> A. Gray	México (Chih., Coah., Son.), Estados Unidos (AZ, NM, TX)	México (Chih. 20, Coah. 2, Son. 2), Estados Unidos (AZ 2, NM 2, TX 14)	42
<i>D. lanata</i> Spreng.	México (Chih., Coah., Dgo., N.L., Tamps.), Estados Unidos (AZ, NM, TX)	México (Chih. 22, Coah. 3), Estados Unidos (NM 12, TX 22)	59
* <i>D. laniceps</i> Barneby	México (Chih., Coah., Dgo., N.L., S.L.P., Zac.), Estados Unidos (TX)	México (Chih. 3, Coah. 8, Dgo. 1, Zac. 3), Estados Unidos (TX 2)	17
* <i>D. lasiathera</i> A. Gray	México (Coah., N.L., Tamps.), Estados Unidos (TX)	México (Coah. 12), Estados Unidos (TX 7)	19
<i>D. leporina</i> (Aiton) Bullock	México (Ags., Chih., Coah., CDMX, Dgo., Gto., Hgo., Jal., Mex., Mich., N.L., Pue., Qro., S.L.P., SON, Tlax., Zac.), Estados Unidos (AZ, NM, TX)	México (Ags. 20, Chih. 7, Dgo. 11, Gto. 7, Hgo. 1, Jal. 21, Mex. 14, Mich. 5, Qro. 7, S.L.P. 4, Tlax. 1, Zac. 8), Estados Unidos (AZ 4, NM 6, TX 3)	119
<i>D. leucostachya</i> A. Gray	México (Chih., Dgo., Gto., Jal., Mex., Mich., Son., Zac.)	México (Chih. 2, Dgo. 4, Jal. 4, Mich. 2, Zac. 2)	14
* <i>D. luisana</i> S. Watson	México (Ags., Coah., Dgo., N.L., Pue., Qro., S.L.P., Tamps., Zac.)	México (Coah. 2, Dgo. 4, Gto. 1, Qro. 2, S.L.P. 5, Zac. 1)	15
* <i>D. lumholtzii</i> B.L. Rob. & Fernald	México (Chih., Son.), Estados Unidos (AZ)	México (Chih. 2, Son. 4), Estados Unidos (AZ 2)	8

<i>D. lutea</i> (Cav.) Willd.	México (Ags., Chih., Coah., CDMX, Dgo., Gto., Hgo., Jal., Mex., Mich., N.L., Pue., Qro., S.L.P., Tamps., Tlax., Ver., Zac.)	México (Ags. 4, Chih. 8, Coah. 17, Dgo. 4, Gto. 30, Hgo. 11, Jal. 2, Mex. 23, Mich. 3, N.L. 4, Qro. 39, S.L.P. 15, Tamps. 1, Tlax. 1, Zac. 11)	173
<i>D. melantha</i> S. Schauer	México (Coah., Gto., Hgo., N.L., Pue., Qro., S.L.P., Tamps., Ver., Zac.)	México (Coah. 17, Gto. 2, Hgo. 3, N.L. 4, Pue. 2, Qro. 10, S.L.P. 11, Tamps. 2, Ver. 1, Zac.1)	53
<i>D. minutifolia</i> (Rydb.) Harms	México (CDMX, Hgo., Mex., Mich., Oax., Pue., Qro., S.L.P., Tlax., Ver., Zac.)	México (Hgo. 18, Mex. 18, Qro. 3, Tlax. 2)	41
<i>D. mollis</i> Benth.	México (Chih., Son.), Estados Unidos (AZ)	México (Son. 3), Estados Unidos (AZ 1)	4
<i>D. mucronata</i> DC.	México (Ags., Chih., CDMX, Gto., Hgo., Jal., Mex., Mich., Son., Zac.)	México (Ags. 1, Gto. 2, Jal. 3, Mich. 1, Zac. 1)	8
<i>D. multiflora</i> (Nutt.) Shinners	México (Coah., N.L.), Estados Unidos (TEX)	México (Coah. 1)	1
<i>D. nana</i> Torr. ex A. Gray	México (Ags., Chih., Coah., Dgo., N.L., Son., Tamps., Zac.), Estados Unidos (AZ, NM, TX)	México (Chih. 12, Coah. 19, Dgo. 1, N.L. 1, Son. 4), Estados Unidos (AZ 4, NM 14, TX 46)	101
<i>D. neomexicana</i> (A. Gray) Cory	México (Chih., Coah., Dgo., Gto., Jal., N.L., Son, Tamps.), Estados Unidos (AZ, NM, TX)	México (Chih. 13, Coah. 28, Dgo. 6, N.L. 1, Son 3), Estados Unidos (AZ 4, NM 2, TX 49)	106
<i>D. obovatifolia</i> Ortega	México (Ags., CDMX, Gto., Hgo., Jal., Mex., Mich., N.L., Pue., Qro., S.L.P., Tlax., Ver., Zac.)	México (Gto. 1, Hgo. 7, Jal. 3, Mex. 18, Mich. 6, N.L. 1, Pue. 1, Qro. 1, Tlax. 1, Zac. 1)	40
<i>D. obreniformis</i> (Rydb.) Barneby	México (Ags., CDMX, Gto., Hgo., Jal., Mex., Mich., NL, Pue., Qro., SLP., Tlax., Ver., Zac.)	México (Mich. 4, Jal. 1, Zac. 1)	6

<i>*D. parrasana</i> Brandegee	México (Coah., S.L.P.)	México (Coah. 10, S.L.P. 1)	11
<i>D. pectinata</i> Kunth	México (Ags., Dgo., Gto., Jal., Mich., S.L.P., Zac.)	México (Ags. 3, Dgo. 5, Gto. 9, Jal. 14, S.L.P. 1)	32
<i>*D. pogonathera</i> A. Gray	México (Ags., Chih., Coah., Dgo., Jal., N.L., S.L.P., Son., Tamps., Zac.), Estados Unidos (AZ, NM, TX)	México (Chih. 34, Coah. 40, Dgo. 16, N.L. 7, S.L.P. 2, Son. 6, Zac. 1), Estados Unidos (AZ 10, NM 16, TX 39)	171
<i>*D. polygonoides</i> A. Gray	México (Ags., Chih., Dgo., Son., Zac.), Estados Unidos (AZ, NM, TX)	México (Chih. 1), Estados Unidos (AZ 2, TX 1)	4
<i>D. polystachya</i> (Sessé & Moc.) Barneby	México (Ags., Dgo., Jal., Mex., Mich., Zac.)	México (Jal. 1, Mich. 1)	2
<i>D. pringlei</i> A. Gray	México (Chih., Sin., Son.), Estados Unidos (AZ)	México (Son. 18), Estados Unidos (AZ 12)	30
<i>D. prostrata</i> Ortega	México (Ags., Chih., CDMX, Dgo., Gto., Hgo., Jal., Mex., Mich., Qro., S.L.P., Tamps., Ver., Zac.)	México (Ags. 11, Chih. 2, Dgo. 7, Gto. 24, Hgo. 10, Jal. 4, Mex. 26, Mich. 3, Qro. 18, S.L.P. 3, Zac. 12)	120
<i>*D. pulchra</i> Gentry	México (Son.), Estados Unidos (AZ)	México (Son. 17), Estados Unidos (AZ 9)	26
<i>*D. radicans</i> S. Watson	México (Coah., N.L., S.L.P.)	México (Coah. 9)	9
<i>D. reclinata</i> (Cav.) Willd.	México (Ags., Chih., CDMX, Dgo., Gto., Hgo., Jal., Mex., Mich., Pue., Qro., Son., Tlax., Ver., Zac.)	México (Gto. 1, Hgo. 5, Mex. 2, Mex. 12, Mich. 3, Qro. 1)	22
<i>D. revoluta</i> S. Watson	México (Chih., Dgo., Jal., Son., Zac.)	México (Jal. 5)	6

* <i>D. rubriflora</i> A.E. Estrada, J. Martínez-Ramírez, A. Mares & Ocampo	México (Zac.)	México (Ags. 1, Zac. 1)	2
* <i>D. saffordii</i> (Rose) Bullock	México (Coah., Dgo., N.L.)	México (Coah. 5, N.L. 5)	10
<i>D. scandens</i> (Mill.) R.T. Clausen	México (Coah., Hgo., Jal., N.L., Qro., S.L.P., Son., Tamps.)	México (Hgo. 1, N.L. 1, Qro. 3, S.L.P., 1)	6
<i>D. sericea</i> Lag.	México (CDMX, Dgo., Gto., Hgo., Jal., Mex., Mich., Pue., Qro., Tlax., Ver., Zac.)	México (Dgo. 1, Gto. 3, Hgo. 7, Jal. 5, Mex. 22, Mich. 5, Qro. 4, Zac. 1)	48
* <i>D. simulatrix</i> Barneby	México (Chih., Dgo.)	México (Chih. 1, Dgo. 1)	2
* <i>D. tentaculoides</i> Gentry	México (Son.), Estados Unidos (AZ)	México (Son. 1), Estados Unidos (AZ 1)	2
<i>D. thouinii</i> Schrank	México (CDMX, Dgo., Gto., Hgo., Jal., Mex., Mich., Pue., Qro.)	México (Dgo. 1, Qro. 1)	2
<i>D. tomentosa</i> (Cav.) Willd.	México (Chih., Dgo., Gto., Jal., Mex., Mich., S.L.P., Son., Tamps., Ver., Zac.)	México (Dgo. 1, Jal. 11, Mich. 3)	15
<i>D. transiens</i> Barneby	México (Dgo.)	México (Dgo. 1)	1
<i>D. urceolata</i> Greene	México (Chih., Dgo., Jal., Mex., Mich., Son.), Estados Unidos (AZ, NM)	México (Dgo. 2)	2
* <i>D. verna</i> Barneby	México (Chih., Dgo., Zac.)	México (Chih. 1, Dgo. 1, Zac. 2)	4
<i>D. versicolor</i> Zucc.	México (Ags., Chih., CDMX, Dgo., Gto., Hgo., Jal., Mex., Mich., Pue., Qro., S.L.P., Son., Tamps., Tlax., Ver., Zac.), Estados Unidos (AZ, NM)	México (Ags. 6, Chih. 7, Dgo. 7, Gto. 8, Hgo. 10, Jal. 6, Mex. 7, Mich. 2, S.L.P. 3, Son. 15, Zac. 5), Estados Unidos (AZ 20)	96

<i>*D. viridiflora</i> S. Watson	México (Chih., Dgo., Hgo., Zac.)	México (Chih. 6, Dgo. 4, Zac. 4)	14
<i>*D. wrightii</i> A. Gray	México (Chih., Coah., NL., S.L.P., Son., Zac.), Estados Unidos (AZ, NM, TX)	México (Chih. 18, Coah. 37, Son. 5), Estados Unidos (AZ 3, NM 9, TX 25)	97
<i>D. zimapanica</i> S. Schauer	México (CDMX, Hgo., Mex., Mich., N.L., Pue., Qro., S.L.P., Tlax., Ver.)	México (Mex. 15, Tlax. 1)	16

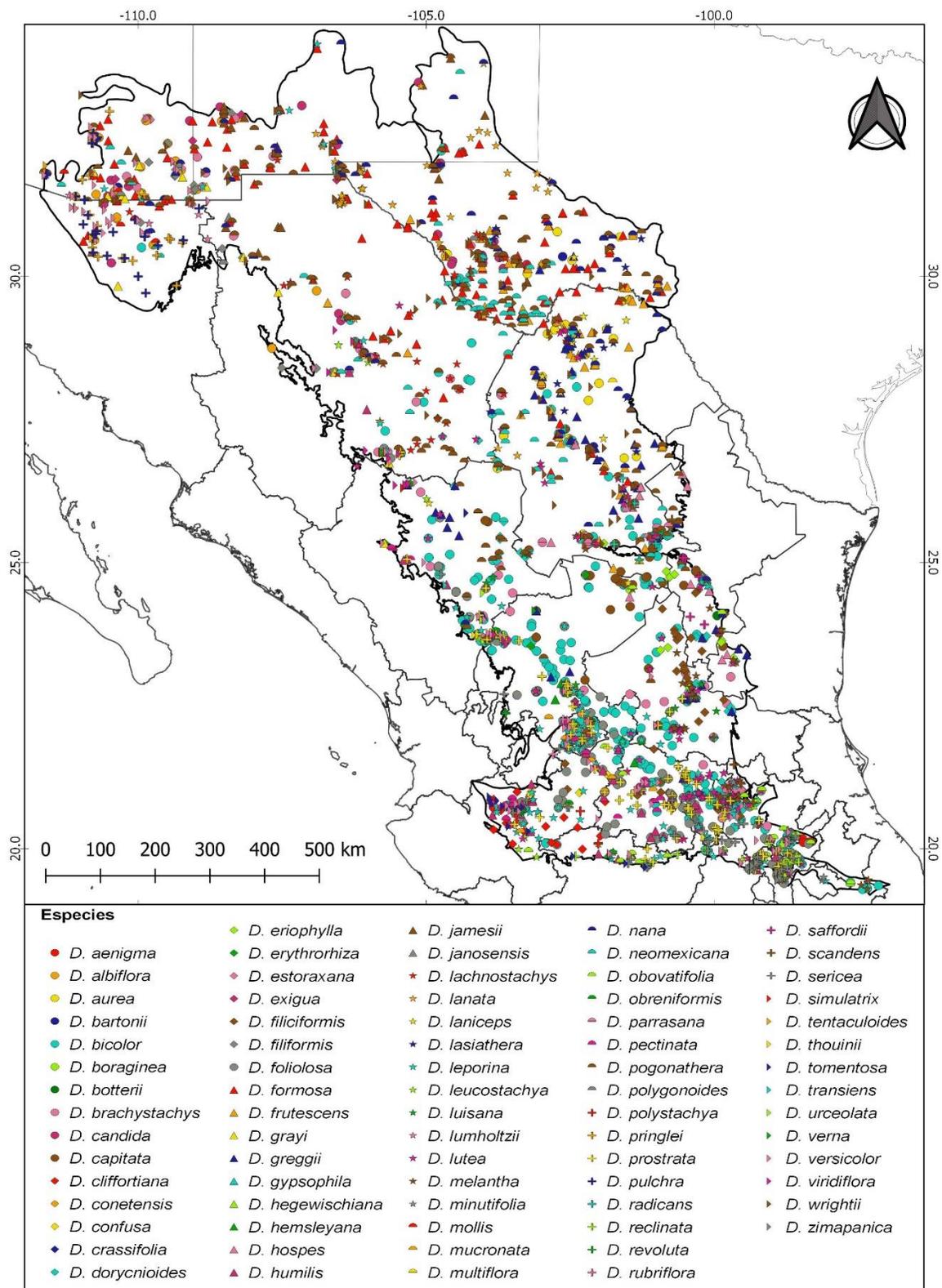


Figura 5. Especies de *Dalea* en la provincia del DC.

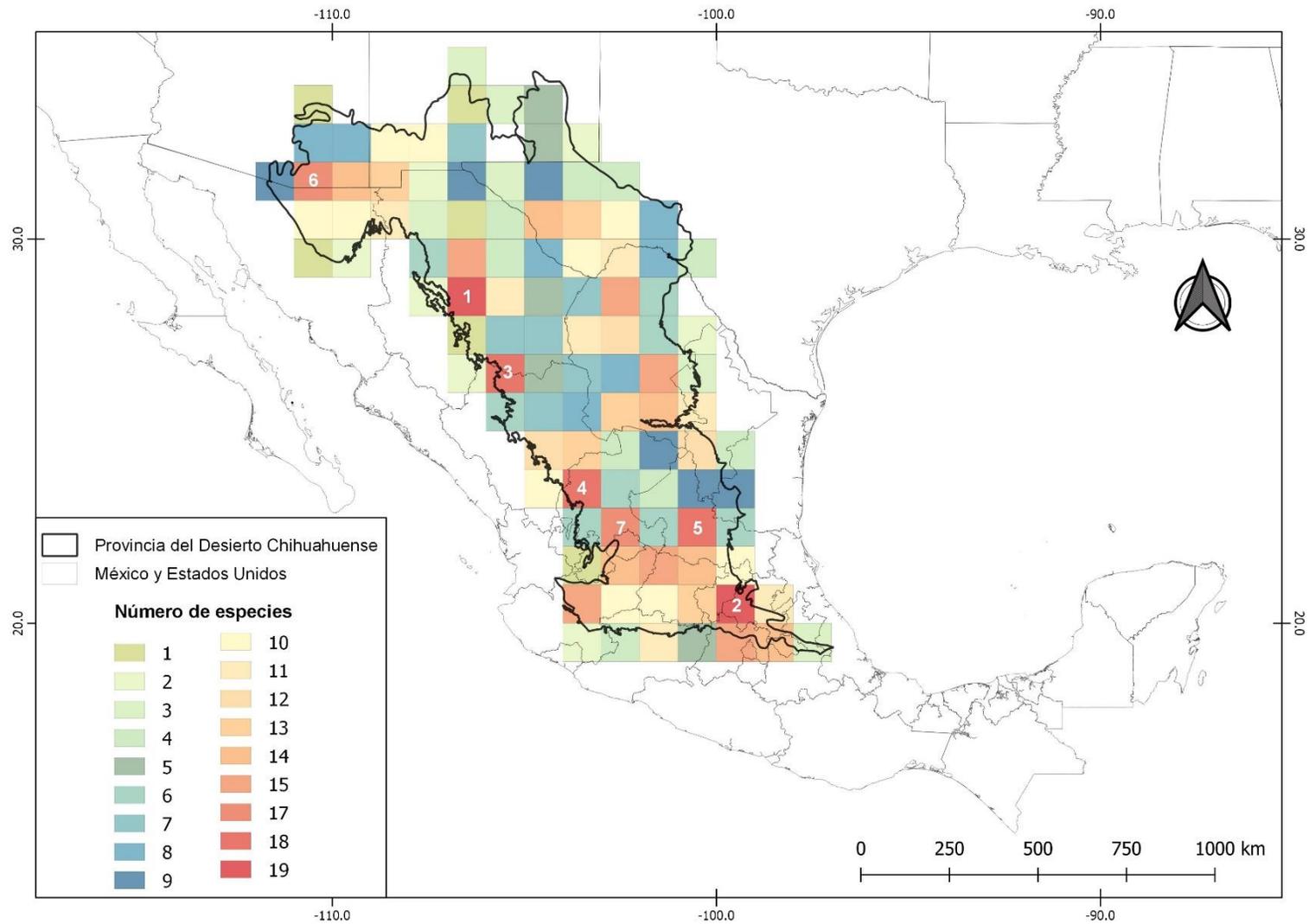


Figura 6. Riqueza por cuadrícula utilizando celdas de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$. El número sobre la celda corresponde al mayor número de especies. Las especies y el número de celda se detallan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Especies por celda en el análisis de riqueza de especies.

Celda	No. de especies	Especies
1	19	<i>D. albiflora, D. brachystachys, D. exigua, D. filiformis, D. foliolosa, D. formosa, D. grayi, D. humilis, D. jamesii, D. lachnostachys, D. leporina, D. leucostachya, D. lutea, D. nana, D. neomexicana, D. pogonathera, D. versicolor, D. viridiflora, D. wrightii</i>
2	19	<i>D. bicolor, D. brachytachys, D. dorycnioides, D. estoraxana, D. filiciformis, D. foliolosa, D. hegewischiana, D. humilis, D. leporina, D. luisana, D. lutea, D. melantha, D. minutifolia, D. obovatifolia, D. prostrata, D. reclinata, D. scandens, D. sericea, D. versicolor</i>
3	18	<i>D. bicolor, D. brachystachys, D. candida, D. erythrorhiza, D. foliolosa, D. grayi, D. greggii, D. jamesii, D. lachnostachys, D. laniceps, D. leporina, D. nana, D. pogonathera, D. prostrata, D. simulatrix, D. verna, D. versicolor, D. viridiflora</i>
4	18	<i>D. bicolor, D. brachystachys, D. capitata, D. erythrorhiza, D. foliolosa, D. greggii, D. hemsleyana, D. laniceps, D. leporina, D. leucostachya, D. luisana, D. obreniformis, D. pectinata, D. pogonathera, D. prostrata, D. verna, D. versicolor, D. viridiflora</i>
5	18	<i>D. bicolor, D. brachystachys, D. capitata, D. dorycnioides, D. eriophylla, D. filiciformis, D. foliolosa, D. greggii, D. hemsleyana, D. leporina, D. luisana, D. lutea, D. melantha, D. parrasana, D. pectinata, D. pogonathera, D. prostrata, D. versicolor</i>
6	17	<i>D. albiflora, D. brachystachys, D. candida, D. exigua, D. filiformis, D. formosa, D. grayi, D. lachnostachys, D. leporina, D. nana, D. neomexicana, D. pogonathera, D. polygonoides, D. pringlei, D. pulchra, D. versicolor, D. wrightii</i>
7	17	<i>D. bicolor, D. brachystachys, D. capitata, D. confusa, D. erythrorhiza, D. filiciformis, D. foliolosa, D. hemsleyana, D. humilis, D. leporina, D. luisana, D. lutea, D. mucronata, D. pectinata, D. prostrata, D. rubriflora, D. versicolor</i>

Centros de endemismo

El análisis de endemismos incluyó una matriz con 33 especies endémicas y dividió el área de estudio en 85 celdas. El WE recuperó tres celdas con el valor más alto (2.20 - 3.64). La celda uno se encontró al este de la provincia del DC, al sureste de Coahuila, con un valor de 3.64. La celda dos, con un valor de 2.52, se compartió entre los estados de Nuevo León, San Luis Potosí, Zacatecas y Coahuila. Mientras que, la celda tres se ubicó en la porción central entre los límites de Chihuahua y Durango, con un valor de 2.28 (Figura 8). Las especies que componen estas celdas se detallan en el Cuadro 4.

Por otro lado, el análisis de CWE generó diferentes resultados. Se identificaron tres celdas con los valores más altos (0.61 a 1.00) (Cuadro 6). Las celdas 1 y 2 tienen un valor de 1.00; la primera se localiza en San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro e Hidalgo; la segunda en el estado de Hidalgo; y la tercera con un valor de 0.61, se encuentra en los estados de Aguascalientes, Zacatecas y Jalisco (Figura 9).

Regionalización

Los análisis de disimilitud y agrupamiento identificaron seis grupos en la provincia del DC, los cuales se muestran en las figuras 10 y 11. Se reconocen dos grandes grupos principales (subprovincias), cada uno anidando otros grupos más pequeños (distritos), la provincia del DC se regionalizó en cuatro áreas de acuerdo con la distribución de las especies de *Dalea*, mostradas en las figuras 12 y 13. El límite entre la provincia norte (Chihuahuense) y sur (Altiplano Mexicano) se encuentra al norte de Durango y sur de Coahuila. En la subprovincia Chihuahuense, las especies de *Dalea* definen dos distritos; el distrito de *Dalea* 1 se comparte entre los siguientes estados: noreste de Durango, este de Nuevo León, Chihuahua, Coahuila, sur de New Mexico y suroeste de Texas; mientras que el distrito de *Dalea* 2 se comparte entre: noreste de Sonora y sureste

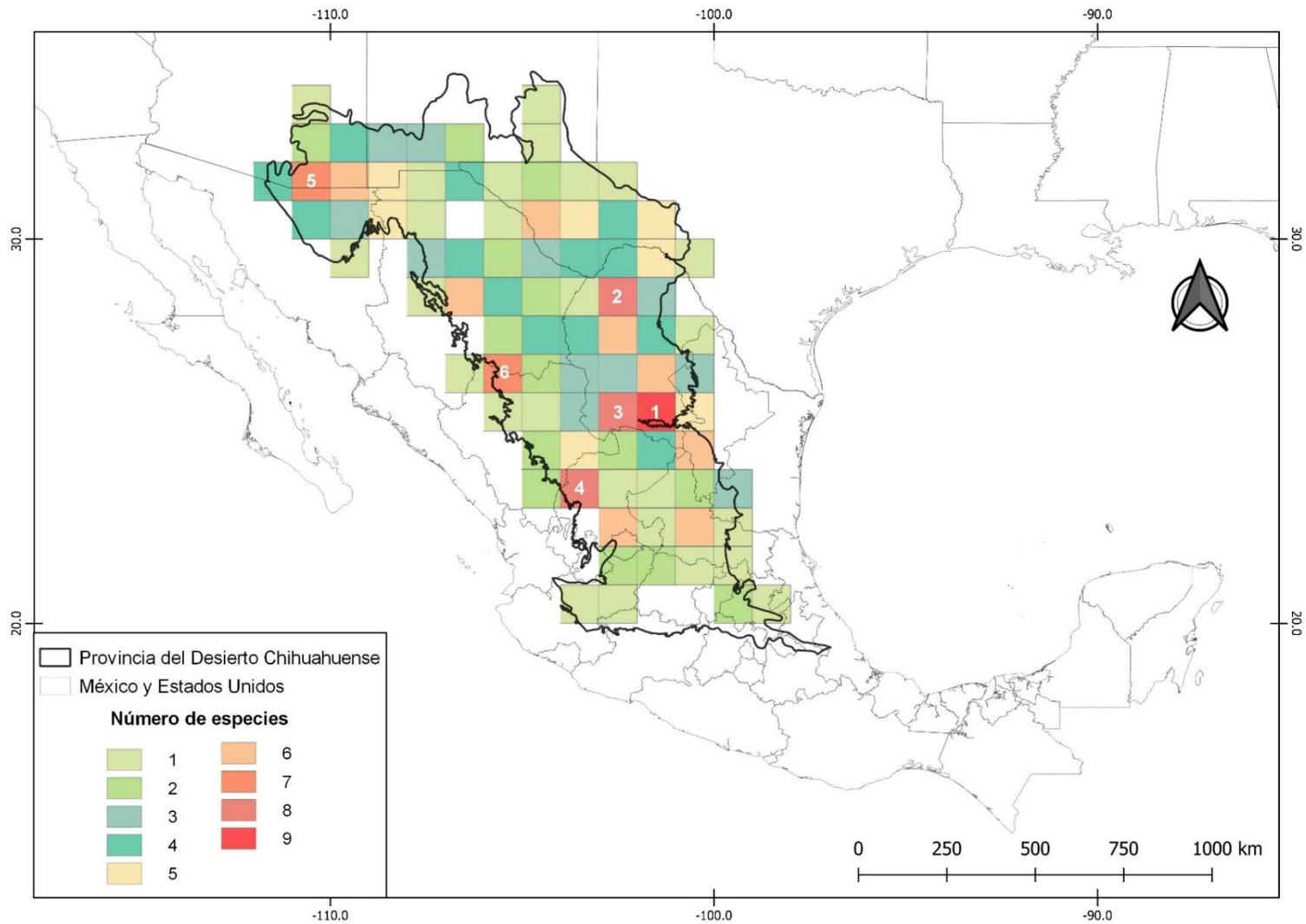


Figura 7. Riqueza de especies endémicas. El número de celda corresponde al mayor número de especies. Las especies y el número de celda se detallan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Especies por celda en el análisis de riqueza de especies endémicas.

Celda	No. de especies	Especies
1	9	<i>D. aurea, D. capitata, D. eriophylla, D. hospes, D. parrasana, D. pogonathera, D. radicans, D. saffordii, D. wrightii</i>
2	8	<i>D. aurea, D. boraginea, D. capitata, D. lachnostachys, D. laniceps, D. lasiathera, D. pogonathera, D. wrightii</i>
3	8	<i>D. aurea, D. capitata, D. eriophylla, D. hospes, D. parrasana, D. pogonathera, D. saffordii, D. wrightii</i>
4	8	<i>D. capitata, D. erythrorhiza, D. hemsleyana, D. laniceps, D. luisana, D. pogonathera, D. verna, D. viridiflora</i>
5	7	<i>D. exigua, D. filiformis, D. lachnostachys, D. pogonathera, D. polygonoides, D. pulchra, D. wrightii</i>
6	7	<i>D. erythrorhiza, D. lachostachys, D. laniceps, D. pogonathera, D. simulatrix, D. verna, D. viridiflora</i>

Cuadro 4. Especies por celda en el análisis de endemismo ponderado (WE).

Celda	Valor	Especies
1	3.64	<i>D. aurea, D. capitata, D. eriophylla, D. hospes, D. parrasana, D. pogonathera, D. radicans, D. saffordii, D. wrightii</i>
2	2.52	<i>D. capitata, D. eriophylla, D. gypsophila, D. hospes, D. pogonathera, D. saffordii</i>
3	2.28	<i>D. erythrorhiza, D. lachnostachys, D. laniceps, D. pogonathera, D. simulatrix, D. verna, D. viridiflora</i>

Cuadro 5. Especies por celda en el análisis de endemismo ponderado corregido (CWE).

Celda	Valor	Especies
1	1.00	<i>D. estoraxana</i>
2	1.00	<i>D. aenigma</i>
3	0.61	<i>D. erythrorhiza, D. rubriflora</i>

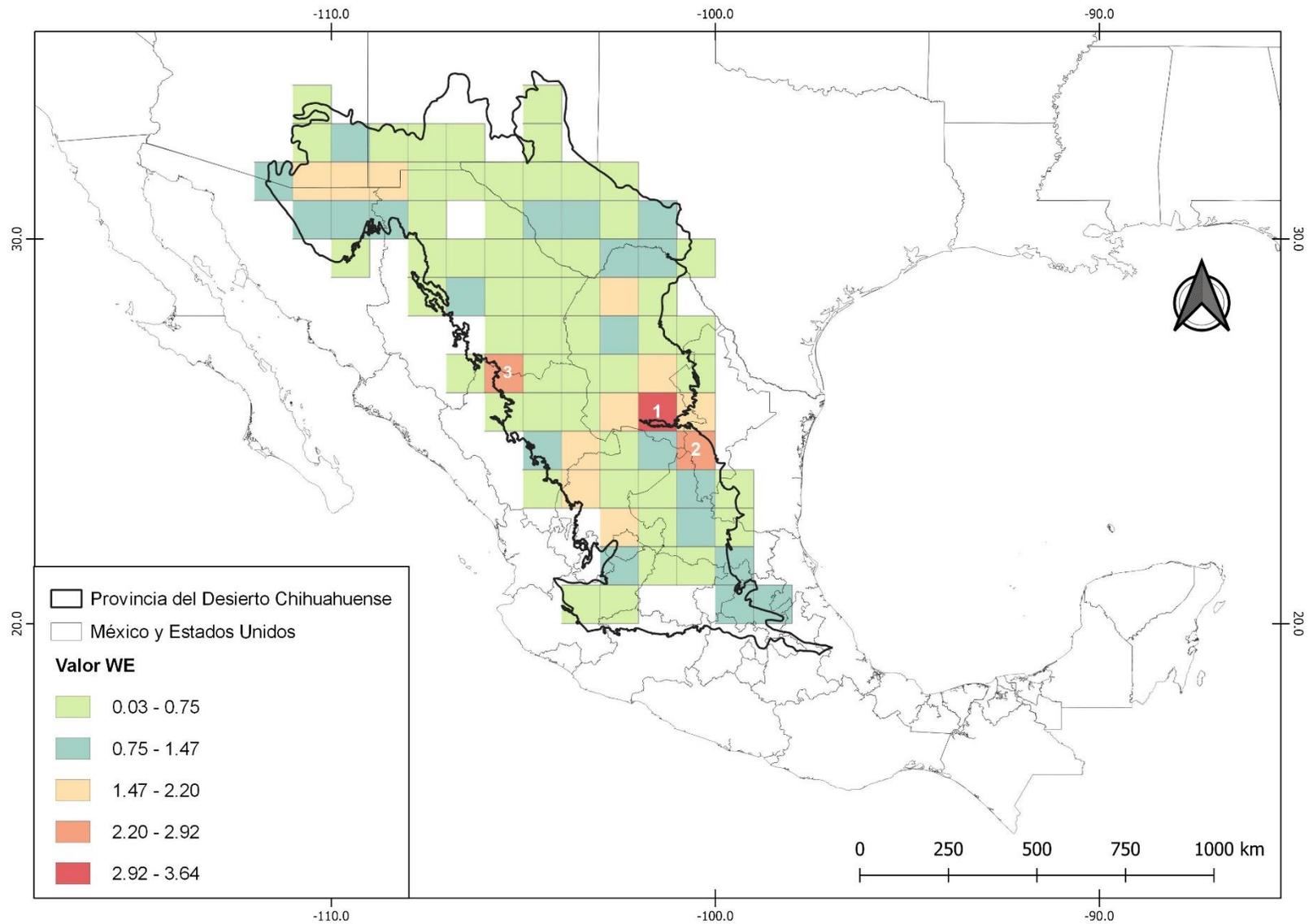


Figura 8. Endemismo ponderado. El número de celda, su valor y especies endémicas se detallan en el Cuadro 4.

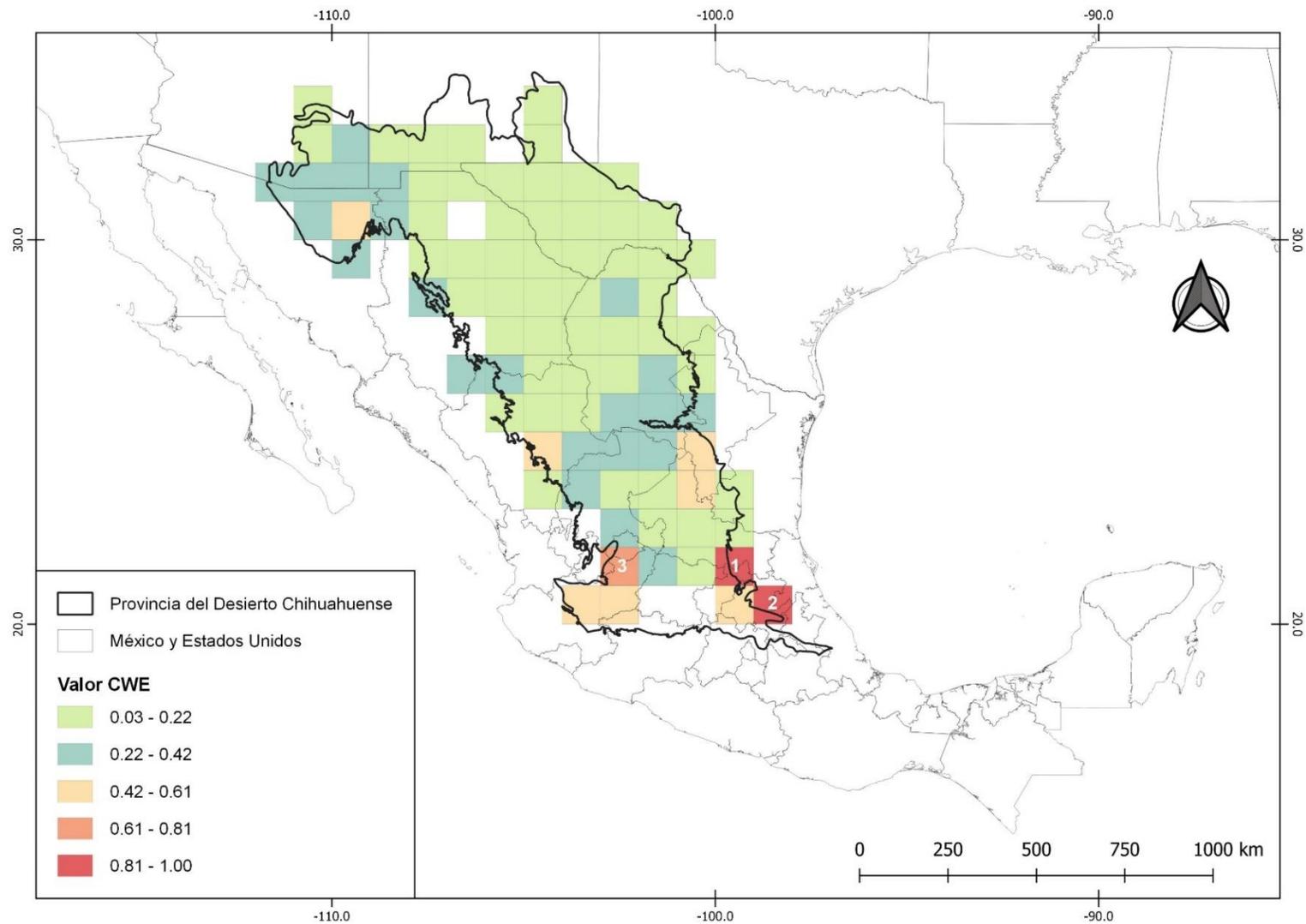


Figura 9. Endemismo ponderado corregido. El número de celda, su valor y especies endémicas se detallan en el Cuadro 5.

de Arizona. En la subprovincia del Altiplano Mexicano, el distrito de *Dalea* 3 se ubica en el centro-este de Durango, sur de Coahuila, Zacatecas, centro-oeste de San Luis Potosí, noreste de Nuevo León, noreste de Tamaulipas, centro-norte de Aguascalientes, noroeste de Guanajuato, centro de Querétaro, Hidalgo y Estado de México. El distrito de *Dalea* 4: se localiza al centro-este de Jalisco, sur de Aguascalientes, noroeste y sur de Guanajuato, este de Querétaro y norte de Michoacán. Las especies que sustentan cada distrito se pueden consultar en el Cuadro 6.

Al cotejar las propuestas de Arriaga *et al.* (1997) (Figura 3) y Morrone *et al.* (2022) (Figura 4) con los resultados obtenidos con *Dalea*, coinciden en una subdivisión de la provincia del DC, una al norte y otra al sur. Del esquema de Morrone *et al.* (2022), el distrito de *Dalea* 1 corresponde a una ampliación del distrito Mapimiense y al noroeste de la provincia se rescata una porción del distrito de Trans-Pecos, los distritos de *Dalea* 3 y 4, corresponden a los distritos Sudmexicano Árido y Saladense.

Caracterización de los componentes bióticos

La regionalización obtenida se sobrepuso a las ecorregiones de Olson *et al.* (2001), los distritos obtenidos con *Dalea* 1, 3 y 4 corresponden en su gran mayoría a las ecorregiones del Desierto Chihuahuense, Matorral de la Meseta Central y bosques secos del Bajío, respetivamente; mientras que el distrito 2 corresponde a una mezcla de las ecorregiones del Desierto Chihuahuense y bosque de pino-encino de la Sierra Madre Occidental. La figura 14 muestra estas coincidencias.

Subprovincia Chihuahuense

Altiplano Chihuahuense - Arriaga *et al.* (1997)

Chihuahuense - Morrone *et al.* (2022)

Situada en la porción septentrional de la provincia del DC e incluye los distritos de *Dalea* 1 y 2.

Distrito *Dalea* 1

Abarca en gran medida la superficie de la subprovincia Chihuahuense e incluye los distritos Trans-Pecos y Mapimiense (Morafka, 1977; Morrone *et al.*, 2022). En el distrito *Dalea* 1, se encuentran cordilleras dispersas de rocas ígneas y calizas, de 1,860 hasta 3,135 m y cuencas endorreicas de 700 hasta 1,500 m que reciben agua de ríos que se originan en la Sierra Madre Oriental y Occidental. Al norte del distrito estas cuencas drenan a través del río Bravo, Grande y Pecos. Los climas áridos y muy áridos son los dominantes y la precipitación es menor a 500 mm al año. La ecorregión dominante es la del Desierto Chihuahuense, seguida de las ecorregiones del bosque de pino-encino de la Sierra Madre Oriental y Occidental, Mezquital Tamaulipeco, pastizales bajo Occidentales, matorrales de la Meseta de Colorado, bosque de las montañas de Arizona (Figura 14). Las especies endémicas de *Dalea* que habitan en este distrito son: *D. aurea*, *D. bartonii*, *D. boraginea*, *D. capitata*, *D. erythrorhiza*, *D. exigua*, *D. filiformis*, *D. hospes*, *D. janosensis*, *D. lachnostachys*, *D. laniceps*, *D. lasiathera*, *D. lumholtzii*, *D. parrasana*, *D. pogonathera*, *D. polygonoides*, *D. pulchra*, *D. radicans*, *D. viridiflora* y *D. wrightii*. De las cuales, *D. bartonii*, *D. boraginea*, *D. janosensis* son restringidas a este distrito.

Distrito *Dalea* 2

Se ubica en la porción noroeste de la provincia del DC, en parte de la cuenca exorreica de Sonora Sur, que drena las aguas hacia el golfo de California y Mar de Cortés. El tipo de clima es similar al distrito 1. Este se caracteriza por una mezcla de ecorregiones, donde las del Desierto Chihuahuense y bosque de pino-encino de la Sierra Madre Occidental son las de mayor extensión, y en menor proporción la del desierto de Sonora y bosque seco subtropical de transición Sonorense-Sinaloense (Figura 14). Las especies endémicas de *Dalea* con distribución en este distrito son: *D. exigua*, *D. filiformis*, *D. lachnostachys*, *D. lumholtzii*, *D. pogonathera*, *D. polygonoides*, *D. pulchra*, *D. tentaculoides* y *D. wrightii*. Los datos indican que *D. pulchra* y *D. tentaculoides* son restringidas a este distrito.

Subprovincia Altiplano Mexicano

Altiplano Zacatecano-Potosino - Arriaga *et al.* (1997)

Altiplano Mexicano - Morrone *et al.* (2022)

Situada en la porción meridional de la provincia del DC e incluye los distritos de *Dalea* 3 y 4.

Distrito *Dalea* 3

Saladense - Morrone *et al.* (2022)

El distrito de *Dalea* 3 abarca la mayor superficie de la subprovincia del Altiplano Mexicano, posee cuencas endorreicas con muy pocos ríos, la mayoría ubicados al sureste, y lagos dispersos, en él podemos encontrar cordilleras de hasta 3060 m. Las rocas son principalmente ígneas, a veces calizas y es común encontrar suelos yesosos. En este distrito predominan los climas semiáridos y la precipitación anual varía de 500 a 1000 mm. La ecorregión que caracteriza este distrito es principalmente la del matorral de Meseta Central, y en menor proporción la ecorregión del matorral del centro de México, bosque de pino-encino de la Sierra Madre Oriental y Occidental bosque de pino-encino de la Faja Volcánica Transmexicana, matorral del Valle de Tehuacán, bosques húmedos y montañosos de Veracruz (Figura 14). Las especies endémicas de *Dalea* presentes son: *D. aenigma*, *D. aurea*, *D. capitata*, *D. conetensis*, *D. confusa*, *D. eriophylla*, *D. erythrorhiza*, *D. estoraxana*, *D. gypsophila*, *D. hemsleyana*, *D. hospes*, *D. laniceps*, *D. luisana*, *D. parrasana*, *D. pogonathera*, *D. radicans*, *D. rubriflora*, *D. saffordii*, *D. simulatrix*, *D. verna*, *D. viridiflora* y *D. wrightii*. De las cuales, las restringidas a este distrito son: *D. aenigma*, *D. conetensis*, *D. estoraxana*, *D. gypsophila* y *D. simulatrix*.

Distrito *Dalea* 4

Sudmexicano Árido - Morrone *et al.* (2022)

Se ubica en la parte suroeste de la subprovincia del Altiplano Mexicano. Esta la porción de la provincia del DC está situada en la gran cuenca Lerma-Santiago. Los tipos de clima dominantes son semicálido y templado, y en menor medida

encontramos el clima semiárido. Son varias las ecorregiones presentes en este distrito, la dominante es los bosques secos del Bajío, seguida por el matorral del centro de México, bosques de pino-encino de la Faja Volcánica Transmexicana y la Sierra Madre Occidental, bosques secos Sinaloenses (Figura 14). Las especies endémicas de *Dalea* que podemos encontrar aquí son: *D. rubriflora*, *D. hemsleyana*, *D. erythrorhiza* y *D. confusa*.

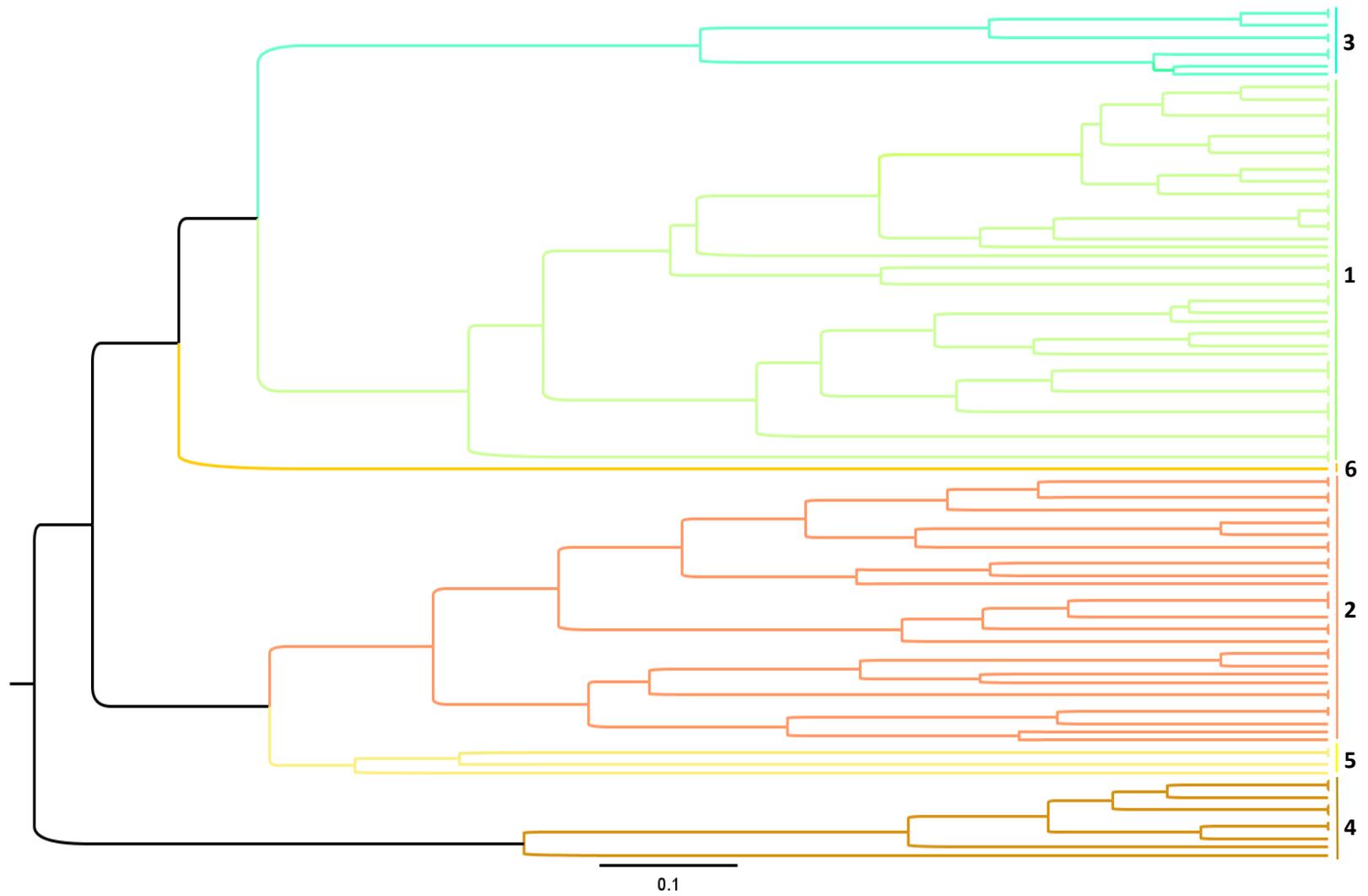


Figura 10. Análisis de conglomerados (coeficiente de disimilitud de β -Simpson). Dendrograma que muestra la disimilitud florística con las especies de *Dalea*.

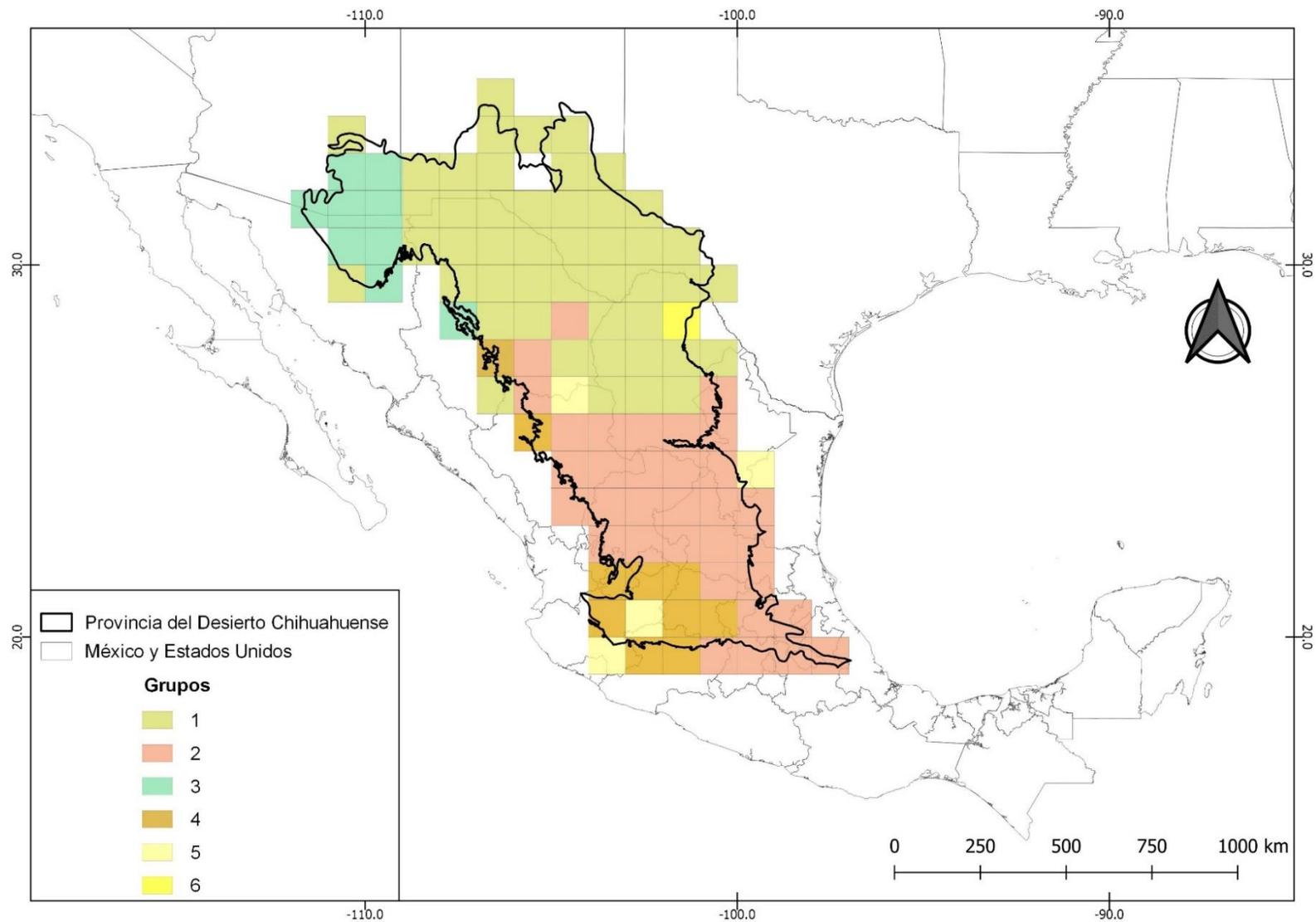


Figura 11. Grupos obtenidos mediante el análisis de disimilitud de especies de *Dalea* en la provincia del DC.

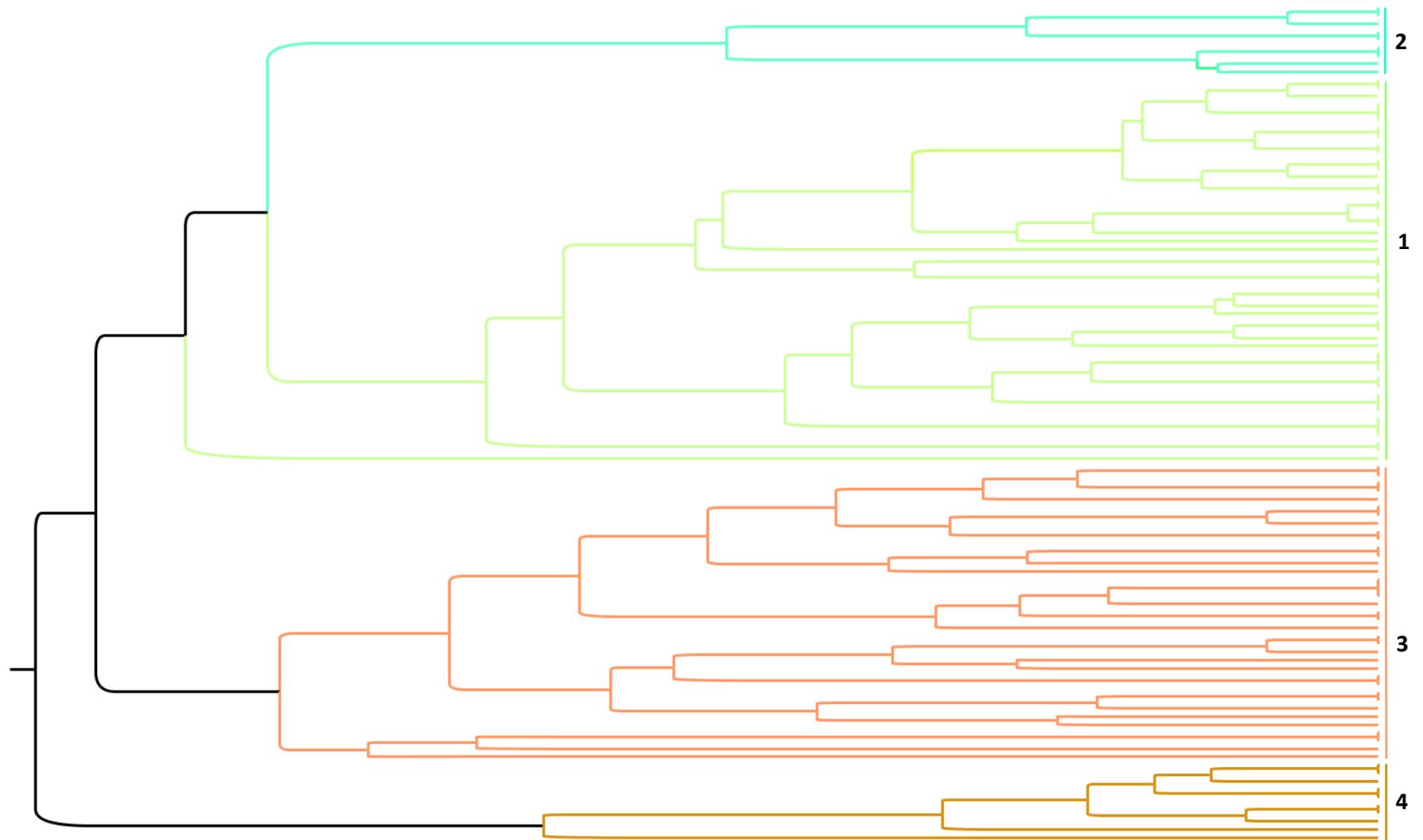


Figura 12. Dendrograma mostrando las áreas definidas por la distribución de especies de *Dalea* en la provincia de DC.

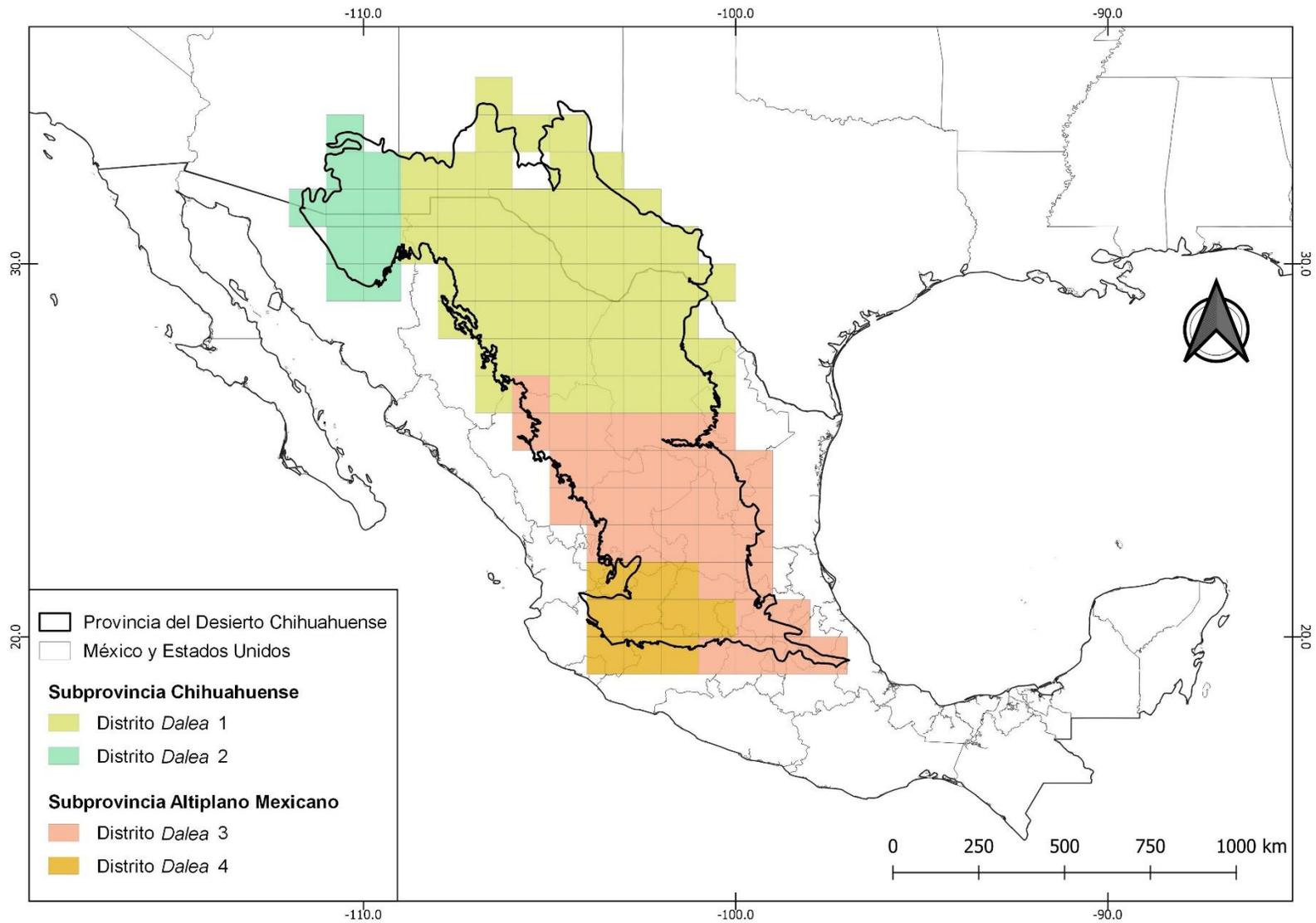


Figura 13. Subprovincias y distritos definidos por disimilitud de las especies de *Dalea* en la provincia del DC.

Cuadro 6. Especies presentes en cada Distrito.

Distrito	No. de especies	Especies
1	41	<p><i>D. albiflora, D. aurea, D. bartonii, D. bicolor, D. boraginea, D. brachystachys, D. candida, D. capitata, D. dorycnioides, D. erythrorhiza, D. exigua, D. filiformis, D. foliolosa, D. formosa, D. frutescens, D. grayi, D. greggii, D. hospes, D. humilis, D. jamesii, D. janosensis, D. lachnostachys, D. lanata, D. laniceps, D. lasiathera, D. leporina, D. leucostachya, D. lumholtzii, D. lutea, D. melantha, D. multiflora, D. nana, D. neomexicana, D. parrasana, D. pogonathera, D. polygonoides, D. pulchra, D. radicans, D. versicolor, D. viridiflora, D. wrightii</i></p>
2	22	<p><i>D. albiflora, D. bicolor, D. brachystachys, D. candida, D. exigua, D. filiformis, D. formosa, D. grayi, D. jamesii, D. lachnostachys, D. leporina, D. lumholtzii, D. mollis, D. nana, D. neomexicana, D. pogonathera, D. polygonoides, D. pringlei, D. pulchra, D. tentaculoides, D. versicolor, D. wrightii</i></p>
3	58	<p><i>D. aenigma, D. aurea, D. bicolor, D. botterii, D. brachystachys, D. candida, D. capitata, D. conetensis, D. confusa, D. dorycnioides, D. eriophylla, D. erythrorhiza, D. estoraxana, D. filiciformis, D. foliolosa, D. frutescens, D. grayi, D. greggii, D. gypsophila, D. hegewischiana, D. hemsleyana, D. hospes, D. humilis, D. jamesii, D. lachnostachys, D. laniceps, D. leporina, D. leucostachya, D. luisana, D. lutea, D. melantha, D. minutifolia, D. mucronata, D. nana, D. neomexicana, D. obovatifolia, D. obreniformis, D. parrasana, D. pectinata, D. pogonathera, D. prostrata, D. radicans, D. reclinata,</i></p>

D. revoluta, *D. rubriflora*, *D. saffordii*, *D. scandens*, *D. sericea*, *D. simulatrix*, *D. thouinii*, *D. tomentosa*, *D. transiens*, *D. urceolata*, *D. verna*, *D. versicolor*, *D. viridiflora*, *D. wrightii*, *D. zimapanica*
D. bicolor, *D. brachystachys*, *D. cliffortiana*, *D. confusa*, *D. crassifolia*, *D. dorychnioides*, *D. erythrorhiza*, *D. filiciformis*, *D. foliolosa*, *D. hemsleyana*, *D. humilis*, *D. leporina*, *D. leucostachya*, *D. lutea*, *D. mucronata*, *D. obovatifolia*, *D. obreniformis*, *D. pectinata*, *D. polystachya*, *D. prostrata*, *D. reclinata*, *D. revoluta*, *D. rubriflora*, *D. sericea*, *D. thouinii*, *D. tomentosa*, *D. versicolor*

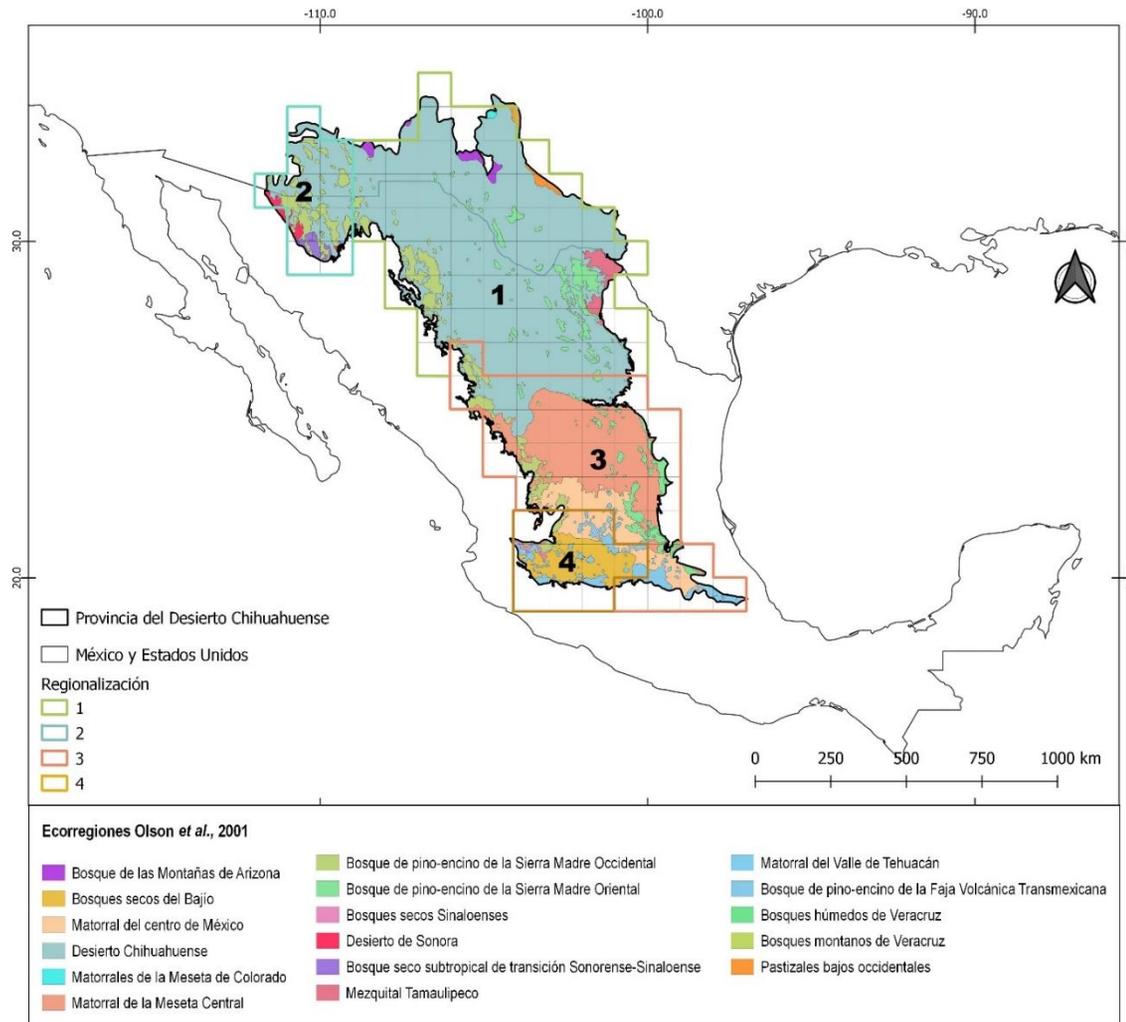


Figura 14. Comparación de la regionalización con *Dalea* y las ecorregiones de Olson *et al.* (2001). Los números en el mapa corresponde al número de distrito de *Dalea*.

VI. DISCUSIÓN

Lista de especies

La información de distribución puntual de las especies obtenida de colecciones de herbario, bases de datos electrónicas, artículos, floras y monografías son fuentes confiables de la distribución conocida de cada especie, y a su vez son datos fundamentales para los análisis biogeográficos (Kreft y Jetz, 2010). De los 3,061 registros obtenidos para este estudio, se infirió la coordenada geográfica de 262 con ayuda de los datos contenidos en las etiquetas de cada ejemplar, como son datos geográficos y ecológicos. En las colecciones visitadas, se corrigió un total de 129 ejemplares, dado que la correcta determinación taxonómica y depuración de los datos determina una adecuada interpretación de los resultados (Munguía-Lino *et al.*, 2015). Además, se determinaron 249 ejemplares que enriquecen la base de datos y garantizan una mayor robustez para los análisis. Las especies con mayor número de registros (*D. bicolor*, *D. foliolosa*, *D. formosa*, *D. lutea*, *D. pogonathera* y *D. prostrata*) son aquellas que poseen una amplia área de distribución en la provincia del Desierto Chihuahuense, dada su adaptación a vegetación secundaria de diversos tipos de vegetación e incluso a lugares perturbados, por lo que no es sorpresa encontrar a algunas de estas especies en calidad de maleza ruderal y arvense (Rzedowski *et al.*, 2016). El presente trabajo es el primero que analiza la distribución geográfica de *Dalea* en la provincia del DC, obtuvo una mayor exactitud en el análisis de los datos mediante un Sistema de Información Geográfica como es Qgis.

De las 146 especies de *Dalea* registradas para México (Villaseñor, 2016), en este estudio se encontró que 77 especies se distribuyen en la provincia del DC, es decir, más del 50% de las especies de *Dalea* reconocidas para el país habitan en esta provincia. Además, de las 175 especies de *Dalea*, el 44% de las especies tienen distribución en esta área estudio. Sin embargo, es necesario analizar la distribución de las especies ampliando el área de estudio o tomando en cuenta al menos las provincias biogeográficas adyacentes a la provincia del DC, ya que

algunas de las especies se comparten, por ejemplo, con la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental (Salinas-Rodríguez *et al.*, 2017 y 2021). Lo anterior acentúa que el área de distribución involucra procesos y/o patrones verdaderamente complejos (Maciel-Mata *et al.*, 2015). Por ejemplo, toda distribución experimenta una contracción y expansión espacial a lo largo del tiempo, dinámica influenciada por la interacción de factores biológicos, ecológicos y biogeográficos (Zunino y Zullini, 2003). Asimismo, remarca que los límites entre diferentes regiones biogeográficas no son sencillos y por lo general, diferentes taxones muestran límites diferentes, por lo que no se puede dibujar una línea única, sino una zona de transición entre provincias (Rzedowski, 1978; Morrone, 2009). Lo que justifica nuestra idea de fusionar los diferentes polígonos con distintos enfoques biogeográficos.

Por último, de las 77 especies de *Dalea* que crecen en la provincia del DC, el 42% de las especies son endémicas a esta provincia. Esto coincide con lo indicado por Rzedowski (1991a), Sosa y De-Nova (2012) y Sosa *et al.* (2020) quienes mencionan que los endemismos, a nivel de especie, son frecuentes sobre todo en regiones de zonas áridas y semiáridas del país. Este alto endemismo es producto de factores geológicos, edáficos, climáticos, fisiográficos y de aislamiento ecológico, lo que ha generado una gran diversificación y establecimiento de especies únicas en el país (Rzedowski, 1991b).

Análisis de riqueza

La riqueza, como medida de la biodiversidad, se puede estimar en diferentes escalas (Aragón-Parada, 2018). Del análisis de riqueza por cuadrícula con celdas de 1° x 1°, en la provincia del DC se encontraron siete áreas con la mayor riqueza de especies de *Dalea*, la mayoría de estas celdas coinciden en su mayor parte con las celdas con alta diversidad filogenética de plantas vasculares de la provincia del DC (Sosa *et al.*, 2020).

De aquellas celdas con 19 especies, la primera se localiza en la parte central del estado de Chihuahua e incluye el Parque Nacional Cumbres de Majalca. La segunda celda, ubicada al sureste de la provincia es compartida por los estados de Querétaro, Hidalgo y el Estado de México, esta celda además de incluir el Parque Nacional Los Mármoles, se localiza en la zona semiárida Queretana-Hidalguense, sitio que coincide con lo señalado por Zamudio (1984), Hernández y Godínez (1994) y, Fernández y Colmenero (1997).

Con respecto al análisis de riqueza de endemismos, este recuperó seis celdas con una riqueza de 7 a 9 especies, casi todas ubicadas en la porción centro-norte de la provincia del DC (Figura 7). La celda con mayor número de especies endémicas se localiza al sureste de Coahuila, la cual incluye porciones aisladas como la Sierra de Parras y la Sierra de la Paila (Villarreal, 1994). Esta área coincide con lo señalado por Hernández y Godínez (1994), quienes registran que la parte sureste de Coahuila presenta la máxima concentración de cactáceas amenazadas dentro de la provincia. La mayor parte del estado de Coahuila está incluida en la provincia del DC, y contribuye más que cualquier otro estado al número de especies endémicas para esta zona árida (Villarreal-Quintanilla y Encina-Domínguez, 2005). Las seis celdas con mayor riqueza de endemismo encontradas aquí, también coinciden con las celdas con mayor diversidad filogenética de plantas vasculares de esta provincia (Sosa *et al.*, 2020).

La provincia del DC posee el número más alto de especies endémicas de *Dalea* si lo comparamos con lo registrado para la provincia de la Sierra Madre Oriental con 16 especies e infraespecies (Salinas-Rodríguez *et al.*, 2017), la Sierra Madre del Sur con siete especies (Aragón-Parada, 2018) y la Faja Volcánica Transmexicana con seis especies (Rzedowski, 2020). A pesar de que *Dalea* es diverso en zonas áridas y semiáridas, la mayoría de las celdas con mayor riqueza y endemismo corresponde a sitios donde hay montañas, lo que coincide con Rahbek *et al.* (2019), que indican que las montañas de los trópicos son centros de diversidad de especies y endemismos. Una vez más, valdría la pena analizar la distribución de

las especies endémicas tomando en cuenta las provincias adyacentes, debido a que algunas de las especies se comparten entre provincias, resultado de las zonas de transición o ecotono que encontramos entre provincias.

Centro de endemismo

Un centro de endemismo concentra la mayor cantidad de especies endémicas en comparación con áreas vecinas (Crisp *et al.* 2001). En este estudio encontramos 33 especies endémicas con distribución heterogénea en la provincia del DC, los análisis de WE y CWE recuperaron tres celdas, respectivamente (Figura 8 y 9). El WE enfatiza áreas con una mayor proporción de especies que tienen rangos restringidos (Crisp *et al.*, 2001; Laffan y Crisp, 2003). Las celdas de WE coinciden en su mayoría con el análisis de riqueza de endémicas, particularmente la celda con el valor más alto, ubicada al sureste de Coahuila. Esto se sustenta y puede ser explicado por el aislamiento de numerosos sistemas montañosos en este estado y la presencia de cuencas endorreicas donde se registran condiciones edáficas especiales, que contribuyen a incrementar el número de elementos de distribución restringida (Villarreal *et al.*, 1996).

En cambio, CWE calcula el endemismo en función de la proporción de endémicas de la celda en relación con su riqueza de especies (Laffan y Crisp, 2003). En este trabajo las celdas con el mayor valor de CWE (Figura 9) se localizan en las áreas adyacentes a la celda 2 con la mayor riqueza de especies de *Dalea* (Figura 6), ubicadas al sur de la provincia en zona limítrofe de la Sierra Madre Oriental. Las especies que sustentan estas celdas son *D. estoraxana* especie endémica de Querétaro (celda 1) y *D. aenigma* endémica de Hidalgo (celda 2) (Cuadro 5). Estos resultados concuerdan con el valor más significativo del endemismo filogenético encontrado por Sosa *et al.* (2020) sobre la flora vascular de la provincia del DC. Además, los resultados de WE y CWE de especies de *Dalea*, ocupan las mismas áreas establecidas previamente como refugios en investigaciones filogeográficas para *Agave lechuguilla* (Scheinvar *et al.*, 2016) y *Ephedra compacta* (Loera *et al.*, 2017).

Regionalización

Es evidente que la propuesta de regionalización de la provincia del DC de Morrone *et al.* (2022) toma en cuenta el polígono compuesto por las ecorregiones dominantes de Olson *et al.* (2001) y no como tal el polígono de la provincia del DC de Morrone *et al.* (2017) o Escalante *et al.* (2021). Las diferencias radican en que Morrone *et al.* (2022) incluyen la ecorregión del Valle de Tehuacán-Cuicatlán y subdividen la ecorregión del Desierto Chihuahuense de acuerdo a las especies endémicas de plantas y animales, en dos distritos: Mapimiense y Trans-pecos. Además, no toman en cuenta la porción suroeste de la provincia del DC, que corresponde a la ecorregión de los bosques secos del Bajío, y que, en los polígonos líneas arriba mencionados, si incluyen esa área.

Las unidades biogeográficas se reconocen con base en distintos conjuntos de taxones y comunidades endémicas, que presentan la distribución geográfica de las especies, modelada por fuerzas físicas y biológicas pasadas o presentes (Kreft y Jetz, 2010). Se utilizó el índice de Simpson beta (β_{sim}), el cual reduce el desequilibrio en la riqueza de especies por celda (González-Orozco, 2021; Flores-Tolentino *et al.*, 2021). Mientras que, el algoritmo UPGMA evalúa las contribuciones de los grupos por el número de nodos terminales que contienen, asegurando que cada celda contribuya por igual a cada grupo fusionado del que forma parte (González-Orozco, 2014). La regionalización de la provincia del DC con especies de *Dalea*, empleando métodos cuantitativos, subdividen a la provincia en dos grandes áreas, lo que coincide con lo propuesto por Arriaga *et al.* (1997): Altiplano norte (Chihuahuense) y Altiplano sur (Zacatecano-Potosino); asimismo con las subprovincias de Morrone *et al.* (2022): Subprovincia Chihuahuense y subprovincia del Altiplano Mexicano. Para el distrito de *Dalea* 1, las especies de este taxón no reconocen una subdivisión del área como lo señala Morrone *et al.* (2022) en Mapimiense y Trans-Pecos (Figura 4), por lo que se infiere que la distribución de *Dalea* se extiende desde el distrito Mapimiense hasta el norte de la provincia y alcanzan a rescatar sólo una porción del distrito de Trans-Pecos al noroeste del

área de estudio. Asimismo, el distrito de *Dalea* 3 corresponde al distrito Sudmexicano Árido y el distrito de *Dalea* 4 al Saladense, sumando a este último la ecorregión de los bosques secos del Bajío. Los distritos de *Dalea* 2 y 4 nunca antes habían sido clasificados como áreas geográficas únicas, en este sentido valdría la pena evaluar y replicar incluyendo otros taxones, siempre y cuando la regionalización sea derivada de métodos cuantitativos.

Caracterización de los componentes bióticos

Este trabajo acepta los nombres de los componentes bióticos anidados en la provincia del DC, de acuerdo a la propuesta de Morrone *et al.* (2022) basados en el Código Internacional de Nomenclatura de Áreas. Dado que en este estudio se toma en cuenta la provincia del DC en su totalidad natural, es decir, incluyendo la parte sur de Estados Unidos. No se cuenta con capas vectoriales de topografía, vegetación, suelo, precipitación, temperatura, etc. que abarquen la porción de Arizona, New Mexico y Texas. Si bien, se pueden obtener dichas capas por país, éstas no son compatibles en escala, criterios y leyendas, lo que complica hacer una correlación con factores ambientales mediante Sistemas de Información Geográfica. Sin embargo, los resultados de la regionalización, se cotejaron con las ecorregiones de Olson *et al.* (2001), éstas se clasificaron tomando en cuenta propuestas previas que incluyen características biofísicas generales, como precipitación y temperatura, estructura de la vegetación, biomas y regiones biogeográficas, las cuales se basan en clima y geología, respectivamente. Además, se consultó literatura que previamente caracterizaba por lo menos las dos subprovincias encontradas.

VII. CONCLUSIÓN

Trazar una línea rígida alrededor de la provincia del DC y de sus componentes bióticos no es realista, ya que la vegetación y el clima son graduales y el límite cambia con el tiempo, en este trabajo se empleó un polígono con los límites máximos de las propuestas existentes para la provincia del DC. La cantidad de especies presentes en la provincia del DC es relativamente significativa con respecto al total de las especies del género, más del 50% de sus especies crecen en la provincia del DC y cerca de la mitad son endémicas. La hipótesis de que las especies del género *Dalea* con distribución en la provincia del DC funcionen como un subrogado y permitan regionalizar dicha provincia es aceptada. La regionalización de la provincia del DC coincide en gran medida con la identificación de al menos dos subprovincias (Chihuahuense y Altiplano Mexicano). Este tipo de estudios aportan información básica para estrategias de conservación, la regionalización biogeográfica, a niveles inferiores a regiones o provincias, es fundamental para comprender la distribución espacial de la biodiversidad; asimismo, los resultados de sitios con mayor riqueza y los centros de endemismo, aportan robustez a las propuestas de conservación de áreas, de otras investigaciones, como son las áreas ubicadas al sureste de ambas provincias. Para sustentar, o en todo caso refutar los cuatro distritos encontrados con *Dalea*, se sugiere llevar a cabo un análisis de ordenación mediante escalamiento multidimensional no métrico (NMDS), un análisis de correlación de Pearson para identificar las variables ambientales no correlacionadas, un análisis de redundancia (RDA) y el método de rotación ambiental relativa (RET) para obtener el modelo más parsimonioso y las variables con mayor significancia que caractericen los distritos.

VIII. REFERENCIAS

- Arriaga, L., C. Aguilar, D. Espinosa y R. Jiménez. 1997. Regionalización ecológica y biogeográfica de México. Taller de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- Balleza, J. J., J. L. Villaseñor y G. Ibarra-Manríquez. 2005. Regionalización biogeográfica de Zacatecas, México, con base en los patrones de distribución de la familia Asteraceae. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 76: 71-78.
- Balleza, J. J. y J. L. Villaseñor. 2011. Contribución del estado de Zacatecas (México) a la conservación de la riqueza florística del Desierto Chihuahuense. *Acta Botánica Mexicana* 94: 61-89.
- Barneby, R. C. 1977. *Dalea* e imagnes, an Illustrated Revision of erazuriza, Psorothamnus, Marina and Dalea Memoirs of the New York Botanical Garden 27: 1-891.
- Cabrera, A. L. y Willink, S. E. 1973. Biogeografía de América Latina. Monografía 13, Serie de Biología. Washington D.C.: OEA.
- Challenger, A. y J. Soberón. 2008. Los ecosistemas terrestres, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México, 87-108.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (23 de junio del 2020). *Regiones Biogeográficas*. Biodiversidad mexicana. <https://www.biodiversidad.gob.mx/region/regiones-biogeograficas>
- Contreras-Medina, R., I. Luna-Vega y J. J. Morrone. 2001. Conceptos biogeográficos. *Elementos: ciencia y cultura*. 3 (8): 33-37.
- Cracraft, J. 1985. Historical biogeography and patterns of differentiation within the South American avifauna: areas of endemism. *Ornithological Monographs* 36: 49-84.
- Crisp, M. D., S. Laffan, H. P. Linder y A. Monro. 2001. Endemism in the Australian flora. *Journal of Biogeography* 28: 183-198.

- Cuevas-Ríos, G. 2020. El género *Dalea* (Fabaceae: Amorphaeae) en el estado de Morelos. [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Centro de Investigaciones Biológicas.
- Escalante, T. 2009. Un ensayo sobre regionalización biogeográfica. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80: 551-560.
- Escalante, T., G. Rodríguez-Tapia y J.J. Morrone. 2021. Toward a biogeographic regionalization of the Nearctic region: Area nomenclature and digital map. *Zootaxa* 5027(3): 351-357.
- Espinosa, D., S. Ocegueda, C. Aguilar Zúñiga, O. Flores Villela, J. Llorente-Bousquets y B. Vázquez Benítez. 2008. El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural, en *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México, 33-65 pp.
- Estrada-Castillón, E., A. Delgado-Salinas y J. A. Villareal-Quintanilla. 2014. *Leguminosas de Nuevo León*. México. Universidad Autónoma de México. Instituto de Biología, UNAM.
- Fernández, R. y J. A. Colmenero. 1997. Notas sobre la vegetación y flora del municipio de San Joaquín, Querétaro, México. *Polibotánica* 4: 10-36.
- Ferrusquía-Villafranca, I. 1990. Provincias biogeográficas con base en rasgos morfotectónicos. Mapa IV.8.10, en *Atlas Nacional de México*, vol. III, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Flores-Tolentino, M., L. Beltrán-Rodríguez, J. Morales-Linares, J. Ramírez Rodríguez, G. Ibarra-Manriquez, O. Dorado y J. L. Villaseñor. 2021. Biogeographic regionalization by spatial and environment components: Numerical proposal. *PLoS ONE* 16 (6): 1-19.
- García-Milagros, E. y V. Funk. 2010. Improving the use of the information from museum specimens: Using Google Earth to georeference Guiana Shield specimens in the US National Herbarium. *Frontiers of Biogeography* 2: 71-77.

- Gaston, K. J. 1996. Species richness: measure and measurement. In *Biodiversity: a biology by numbers and difference*, K. J. Gaston (ed.). Blackwell Science, Oxford. 77-113 pp.
- González-Orozco, C. E., A. H. Thornhill, N. Knerr, S. W. Laffan y J. M. Miller. 2014. Biogeographical regions and phytogeography of the Eucalypts. *Diversity and Distributions* 20: 46-58.
- González-Orozco, C. E. 2021. Biogeographical regionalisation of Colombia: a revised area taxonomy. *Phytotaxa* 484 (3): 247-260.
- Granados-Sánchez, D., A. Sánchez-González, R. L. G., Victorino y A. Borja de la Rosa. 2011. Ecología de la vegetación del Desierto Chihuahuense. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17: 111-130.
- Henrickson, J. y M.C. Johnston. 2004. *A Flora of the Chihuahuan Desert Region*. Tomo I. The University of Texas, Austin, Texas. 540 pp.
- Hernández, M. y H. Godínez. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana* 26: 33-52.
- Hernández, M. H., B. Goettsch, C. Gómez-Hinostrosa y T. H. Arita. 2008. Cactus species turnover and diversity along a latitudinal transect in the Chihuahuan Desert Region. *Biodiversity and Conservation* 17: 703-720.
- INEGI. 2010. Archivo histórico de localidades geoestadísticas. Disponible en línea: <https://www.inegi.org.mx>
- Köppen, W. 1948. *Climatología*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Kreft, H. y W. Jetz. 2010. A framework for delineating biogeographical regions based on species distributions. *Journal of Biogeography* 37: 2029-2053.
- Laffan, S. W. y M. D. Crisp. 2003. Assessing endemism at multiple spatial scales, with an example from the Australian vascular flora. *Journal of Biogeography* 30: 511-520.
- Laffan, S. W., E. Lubarsky y D. F. Rosauer. 2010. Biodiverse, a tool for the spatial analysis of biological and related diversity. *Ecography* 33: 643-647.
- Lewis, G. P., B. Schrire, B. Mackinder y M. Lock. 2005. *Legumes of the world*. Royal Botanical Gardens, Kew. United Kingdom. 577 pp.

- LPWG. 2017. A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny. *Taxon* 66 (1): 44-77.
- Luna-Vega, I. 2008. Aplicaciones de la biogeografía histórica de las plantas mexicanas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79: 217-241.
- Lomolino, M. V., B. R. Riddle, R. J. Whittaker y J. M. Brown. 2010. *Biogeography*. Sinauer Associates Inc; Edición 4. 878 pp.
- McMahon, M. 2005. Phylogenetic relationships and floral evolution in the papilionoid legume clade Amorpheae. *Brittonia* 57 (4): 397-411.
- McVaugh, R. 1987. *Flora Novo Galiciana*. Vol 5. Leguminosae. Ann Arbor. The University of Michigan Press. 786 pp.
- Morafka, D.J. 1977. A Biogeographical Analysis of the Chihuahuan Desert through its Herpetofauna. *Biogeographica*, vol 9. 313 pp.
- Morain, S. A. 1984. *Systematic and regional biogeography*. Nueva York: Van Nostrand Reinhold Company.
- Morrone, J. J. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 76: 207-252.
- Morrone, J. J. 2009. *Evolutionary biogeography: an integrative approach with case studies*. Columbia University Press, New York, 304 pp.
- Morrone, J. J., T. Escalante y G. Rodríguez. 2017. Mexican biogeographic provinces: Map and shapfiles. *Zootaxa* 4277 (2): 224-279.
- Morrone, J. J. 2018. The spectre of biogeographical regionalization. *Journal of Biogeography* 45: 282-288.
- Morrone, J. J. 2019. Regionalización biogeográfica y evolución biótica de México: encrucijada de la biodiversidad del Nuevo Mundo. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 90: 1-68.
- Morrone, J. J., R. Acosta y J. A. Fernández. 2022. Biogeographic units in the Chihuahuan Desert: implications for regionalization and area nomenclature. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 93: 1-24.

- Munguía-Lino, G., G. Vargas-Amado, L. M. Vázquez-García y A. Rodríguez. 2015. Riqueza y distribución geográfica de la tribu Tigridieae (Iridaceae) en Norteamérica. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 86: 80-98.
- Nelson, G. y N. Platnick. 1981. *Systematics and biogeography: cladistics and vicariance*. Columbia University Press, New York, 567 pp.
- Noguera-Urbano, E. A. 2017. El endemismo: diferenciación del término, métodos y aplicaciones. *Acta Zoológica Mexicana* 33(1): 89-107.
- Olson, D. M., E. Dinerstein, E. D. Wikramanayake, N. D. Burgess, V. N Powell, E. C. Underwood, J. A. D'Amico, I. Illanga, H. E. Strand, J. C. Morrison, C. J. Loucks, T. F. Allnutt, T. H. Ricketts, Y. Kura, J. F. Lamoreux, W. W. Wettengel, P. Hedao y K. R. Kassem. 2001. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on earth. *Bioscience* 51: 933-938.
- Piñeros, L. P. y F. González. 2020. Revisión taxonómica de *Dalea* (Leguminosae: Papilionoideae) en Colombia. *Caldasia* 42 (2): 220-240.
- QGIS Development Team. 2018. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponible en: <http://qgis.osgeo.org>.
- Rahbek, C., M. K. Borregaard, R. K. Colwell, B. Dalsgaard, B. G. Holt, N. Morueta-Holme, D. Nogues-Bravo, R. J. Whittaker, J. Fjeldsa. 2019. Humboldt's enigma: What causes global patterns of mountain biodiversity?. *Science* 365: 1108–1113.
- Ramírez-Pulido, J. y A. Castro-Campillo. 1990. Regionalización mastofaunística (mamíferos). Mapa IV.8.8.A, en Atlas Nacional de México, vol. III, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Rodrigues, P. R. Figueira, P.V. Pinto, M.B. Araújo y P. Beja. 2015. A biogeographical regionalization of Angolan mammals. *Mammal Review* 45(2): 103-116.
- Ruíz-Sánchez, E., G. Munguía-Lino, G. Vargas-Amado y A. Rodríguez. 2020. Diversity, endemism and conservation status of native Mexican Woody bamboos (Poaceae: Bambusoideae: Bambuseae). *Botanical Journal of the Linnean Society* 192: 281-295.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Ed. Limusa, México. 432 pp.

- Rzedowski, J. y T. Reyna-Trujillo. 1990. Divisiones florísticas. Escala 1:8000000. En: Tópicos fitogeográficos (provincias, matorral xerófilo y cactáceas. IV.8.3. Atlas Nacional de México. Vol. II. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Rzedowski, J. 1991a. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica de México* 14: 3-21.
- Rzedowski, J. 1991b. El endemismo en la flora fanerogámica mexicana: una apreciación analítica preliminar. *Acta Botánica Mexicana* 15: 47-64.
- Rzedowski, J. y G. Calderón de Rzedowski. 2013. Datos para la apreciación de la flora fanerogámica del bosque tropical caducifolio de México. *Acta Botánica Mexicana* 102: 1-23.
- Rzedowski, J., G. Calderón de Rzedowski, L. Torres-Colín y R. Grether. 2016. Familia Leguminosae, Sumbamilia Papilionoideae (*Aeschynomene-Diphysa*) en Flora del Bajío y Regiones Adyacentes. Instituto de Ecología A.C. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- Rzedowski J. 2020. Catálogo preliminar de especies de plantas vasculares de distribución restringida al eje volcánico transversal. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo Complementario XXXIV: 1-55.
- Salinas-Rodríguez, M. M., E. Estrada-Castillón y J. A. Villarreal-Quintanilla. 2017. Endemic vascular plants of the Sierra Madre Oriental, México. *Phytotaxa* 328 (1): 1-52.
- Salinas-Rodríguez, M. M., L. Hernández-Sandoval, P. Carrillo-Reyes, H. A. Castillo-Gómez, A. Castro-Castro, E. Estrada-Castillón, D. S Figueroa-Martínez, I. N. Gómez-Escamilla, M. González-Elizondo, J. S. Gutiérrez-Ortega, J. Hernández-Rendón, G. Munguía-Lino, J. A. De-Nova, J. P. Ortíz-Brunel, G. Rubio-Méndez, E. Ruíz-Sánchez, C. Sánchez-Sánchez, T. N. Sandoval-Mata, R. Soltero-Quintana, V. Steinmann, S. Valencia-A y S. Zamudio-Ruíz. 2021. Diversity of vascular plants of the Physiographic Province of the Sierra Madre Oriental, Mexico. *Botanical Sciences* 100 (2): 469-492.
- Salthe, S. N. 1985. *Evolving hierarchical systems: Their structure and representation*. Columbia University Press, New York. 43 pp.

- Smith, H. 1941. An analysis of the biotic provinces of Mexico, as indicated by the distribution of the lizards of the genus *Sceloporus*. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 2: 95-102.
- Sosa, V. y J. A. De-Nova. 2012. Endemic angiosperm lineages in Mexico, hotspots for conservation. *Acta Botánica Mexicana* 100: 293-315.
- Sosa, V., M. C. Vásquez y J. A. Villareal-Quintanilla. 2020. Influence of climate stability on endemism of the vascular plants of the Chihuahuan Desert. *Journal of Arid environments* 177: 1-7.
- Sousa, M. y A. Delgado. 1993. Mexican Leguminosae: phytogeography, endemism and origins, en *Biological diversity of Mexico: origins and distribution*. Oxford University Press, Oxford, United Kingdom, 459-507 pp.
- Suárez-Mota, M. E. y J. L. Villaseñor. 2011. Las compuestas endémicas de Oaxaca, México: diversidad y distribución. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 88: 55-66.
- Suárez-Mota, M. E., O. Téllez-Valdés, R. Lira-Saade y J. L. Villaseñor. 2013. Una regionalización de la Faja Volcánica Transmexicana con base en su riqueza florística. *Botanical Sciences* 91 (1): 93-105.
- Tuomisto, H. A. 2010. Diversity of beta diversities: straightening up a concept gone awry. Part 1. Defining beta diversity as a function of alpha and gamma diversity. *Ecography* 33(1): 2-22.
- Villarreal, J. A. y J. Valdés. 1993. Vegetación de Coahuila, México. *Revista de Manejo de Pastizales* 6(1): 9-18.
- Villarreal, J. A. 1994. Vegetación y flora de la Sierra de la Paila, Coahuila, México. *Sida* 16(1): 109-138.
- Villarreal, J. A., J. Valdés y J. L. Villaseñor. 1996. Corología de las asteráceas de Coahuila, México. *Acta Botánica Mexicana*. 36: 29-42.
- Villarreal-Quintanilla, J. A. y J. A. Encina-Domínguez. 2005. Plantas Vasculares endémicas de Coahuila y algunas áreas adyacentes, México. *Acta Botánica Mexicana* 70: 1-46.

- Villarreal-Quintanilla, J. A., J. A. Bartolomé-Hernández, E. Estrada-Castillón, H. Ramírez-Rodríguez y S. J. Martínez-Amador. 2017. El elemento endémico de la flora vascular del Desierto Chihuahuense. *Acta Botánica Mexicana* 118: 65-96.
- Villaseñor, J. L., P. Maeda, J. A. Rosell y E. Ortiz. 2007. Plant families as predictors of plant biodiversity in Mexico. *Diversity and Distributions* 13: 871-876.
- Villaseñor, J. L. y E. Ortiz. 2014. Biodiversidad de las plantas con flores (División Magnoliophyta) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85: S134-S142.
- Villaseñor, J. L. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87: 559-902.
- Willis, F., J. Moat y A. Paton. 2003. Defining a role for herbarium data in Red List assessments: a case study of *Plectranthus* from Eastern and Southern tropical Africa. *Biodiversity and Conservation* 12: 1537-1552.
- Zamudio, S. 1984. La vegetación de la cuenca del río Estórax y sus relaciones fitogeográficas (tesis de licenciatura). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México. 275 pp.
- Zunino, M. y A. Zullini. 2003. Biogeografía: La dimensión espacial de la evolución. Fondo de Cultura Económica. México. 359 pp.