

Biogeografía

Diversidad y distribución geográfica del género *Sedum* (Crassulaceae) en la Sierra Madre del Sur, México

Diversity and geographical distribution of the genus Sedum (Crassulaceae) in the Sierra Madre del Sur, Mexico

Juvenal Aragón-Parada^{a, b}, Pablo Carrillo-Reyes^{b, c}, Aarón Rodríguez^{b, c}
y Guadalupe Munguía-Lino^{c, d, *}

^a Maestría en Ciencias en Biosistemática y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Camino Ing. Ramón Padilla Sánchez Núm. 2100, Las Agujas, 45200 Zapopan, Jalisco, México

^b Herbario Luz María Villarreal de Puga, Instituto de Botánica, Departamento de Botánica y Zoología, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Camino Ing. Ramón Padilla Sánchez Núm. 2100, Las Agujas, 45200 Zapopan, Jalisco, México

^c Laboratorio Nacional de Identificación y Caracterización Vegetal, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Camino Ing. Ramón Padilla Núm. 2100, Las Agujas, 45200 Zapopan, Jalisco, México

^d Cátedras Conacyt-Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Camino Ing. Ramón Padilla Núm. 2100, Las Agujas, 45200 Zapopan, Jalisco, México

*Autor para correspondencia: gmlinno@gmail.com (G. Munguía-Lino)

Recibido: 24 enero 2019; aceptado: 31 julio 2019

Resumen

El género *Sedum* agrupa a 428 especies y 133 habitan en México. Éstas se distribuyen principalmente en la Zona de Transición Mexicana donde convergen las regiones biogeográficas Neártica y Neotropical. La Sierra Madre del Sur (SMS) es una de las provincias biogeográficas con mayor diversidad vegetal del país. Los objetivos del trabajo fueron: 1) determinar la riqueza taxonómica de *Sedum* en la SMS, 2) identificar las áreas con mayor riqueza y 3) reconocer los patrones de distribución geográfica. Se elaboró una base de datos a partir de ejemplares de herbario y publicaciones. El número de taxones se cuantificó por estado, tipo de vegetación, subprovincia biogeográfica, una cuadrícula de 16 × 16 km y criterios geográficos. Se obtuvieron 429 registros correspondientes a 47 taxones, 16 fueron endémicos de la SMS. Con 40 especies, la subprovincia Oriental concentró la mayor riqueza, en los distritos de Guerrero y Tierras Altas de Oaxaca. El bosque de coníferas y encinos agrupó la mayor diversidad de *Sedum* (39 especies). Se identificaron 5 áreas de mayor riqueza en Oaxaca, en las cuales se ubicaron las 6 celdas con 7 a 10 especies. La SMS resguarda 47 taxones de *Sedum* pero la diversidad y endemismo se acentuaron en la subprovincia Oriental.

Palabras clave: Guerrero; Tierras Altas de Oaxaca; Riqueza; Endemismo; Provincias biogeográficas

Abstract

The genus *Sedum* has 428 species, and 133 grow in Mexico. They are distributed mainly in the Mexican Transition Zone where the Nearctic and Neotropical biogeographic regions converge. The Sierra Madre del Sur (SMS) is one of the

most diverse biogeographic provinces in the country. The objectives were: 1) to determine the species richness of *Sedum* in the SMS, 2) to identify areas with high richness, and 3) to recognize geographical distribution patterns. A database was developed from herbarium specimens and publications. The species richness was quantified by state, vegetation type, biogeographic subprovince, a grid cell of 16 × 16 km and geographical criteria. A total of 429 records were obtained representing 47 taxa, 16 were endemic to the SMS. With 40 species, the highest diversity was concentrated in the districts of Guerrero and Tierras Altas de Oaxaca, in the Oriental subprovince. Most species of *Sedum* were found in conifer and oak forest. Five areas of high richness were identified in Oaxaca where 6 grid cells were located with 7-10 species. The SMS harbored 47 taxa of *Sedum* but the diversity and endemism are concentrated in the Oriental subprovince.

Keywords: Guerrero; Tierras Altas de Oaxaca; Richness; Endemism; Biogeographical provinces

Introducción

La familia Crassulaceae incluye plantas de hábito herbáceo o subarborescente, tienen hojas suculentas y a menudo forman una roseta. Las flores son usualmente pentámeras, actinomorfas y hermafroditas, el fruto está compuesto de folículos generalmente libres, con una o numerosas semillas pequeñas (Britton y Rose, 1905; Meyrán-García y López-Chávez, 2003; Pérez-Calix, 2008; Thiede y Eggl, 2007). La mayoría de las crasuláceas crecen como rupícolas en zonas áridas, semiáridas o templadas. Se distribuyen por casi todo el mundo, excepto en la Polinesia, y son escasas en Australia y Sudamérica (Pérez-Calix, 2008; Ramírez-Ulloa, 2017; Thiede y Eggl, 2007; Van Ham, 1995). Crassulaceae comprende 34-35 géneros y de 1,400-1,500 especies (Pérez-Calix, 2008; Xu y Deng, 2017).

El género *Sedum* (Sedeae, Sempervivoideae) agrupa 420 especies y es el más diverso de Crassulaceae. Sus especies están distribuidas principalmente en las zonas tropicales y templadas del hemisferio norte (Hart y Bleij, 2003). *Sedum* es un grupo parafilético e incluye a los clados *Acre* y *Leucosedum* (Carrillo-Reyes et al., 2009; Thiede y Eggl, 2007). *Acre* se compone de alrededor de 526 especies y 8 géneros. Incluye especies asiáticas y mediterráneas. Aquí están agrupadas la mayoría de las especies americanas nombradas en los géneros *Echeveria*, *Cremanthidium*, *Graptopetalum*, *Lenophyllum*, *Pachyphytum*, *Villadia* y *Thompsonella*. Por su parte, *Leucosedum* incluye a los géneros *Dudleya*, *Sedella* y a las especies de *Sedum* subgénero *Gormaniana* (Carrillo-Reyes et al., 2009; Nikulin et al., 2016; Ramírez-Ulloa, 2017; Thiede y Eggl, 2007). En México, *Sedum* está representado por 133 especies, de las cuales 110 son endémicas, por lo que es considerado un centro de diversificación (Carrillo-Reyes et al., 2009; Pérez-Calix y Franco-Martínez, 2004; Villaseñor, 2016; Hart y Bleij, 2003).

En México se reconocen las regiones biogeográficas Neártica y Neotropical. La primera comprende las provincias: Baja California (BC), California (C), Desierto Chihuahuense (DC), Sonora (S) y Tamaulipas (T). La segunda incluye las provincias: Costa Pacífica Mexicana

(CPM), Cuenca del Balsas (CB), Península de Yucatán (PY) y Veracruzana (V). Asimismo, se reconoce la Zona de Transición Mexicana (ZTM) en la que convergen elementos neárticos y neotropicales. Esta área incluye a las provincias: Altos de Chiapas (AC), Eje Volcánico Transmexicano (EVT), Sierra Madre del Sur (SMS), Sierra Madre Occidental (SMOc) y Sierra Madre Oriental (SMOr) (Espinosa-Organista et al., 2016; Morrone, 2004, 2010, 2014; Morrone et al., 2017).

La SMS se ubica en el occidente y sur de México. Tiene una orientación paralela al océano Pacífico desde Cabo Corrientes en Jalisco hasta el Istmo de Tehuantepec en Oaxaca. Limita con las provincias CB, CPM, EVT y V (Morrone, 2010), pero su extensión varía si se toma como referencia la herpetofauna, mastofauna, florística o criterios morfotectónicos (Santiago-Alvarado et al., 2016). Los mismos autores propusieron una regionalización de la SMS donde se tomaron en cuenta criterios geológicos y biológicos. Esta nueva delimitación incorpora 2 áreas disyuntas en Jalisco y Michoacán. Con base en el estudio mencionado anteriormente, Morrone (2017) define 3 subprovincias y 5 distritos: *i*) Sierra Madre del Sur Occidental que incluye los distritos de Jalisco y Jalisco-Manantlán, *ii*) Sierra Madre del Sur Central y el distrito de Michoacán y *iii*) Sierra Madre del Sur Oriental a la que le pertenecen los distritos de Guerrero y Tierras Altas de Oaxaca.

La SMS tiene una extensión aproximada de 1,200 km de longitud. Incluye el oeste de Jalisco, suroeste de Michoacán, partes de Guerrero y Oaxaca y marginalmente Puebla y Veracruz. La elevación varía entre 1,000 y 3,500 m (Santiago-Alvarado et al., 2016). Es un conjunto de formaciones rocosas del Precámbrico al Cenozoico (560-2.58 ma). En su accidentada topografía varios ríos interrumpen su continuidad fisiográfica (Espinosa-Organista et al., 2016). Su compleja historia geológica y paleoclimática, así como su estrecha relación con las provincias CB, CPM, EVT y V han generado una heterogeneidad de ecosistemas (Espinosa-Organista et al., 2016; Morrone, 2001; Rzedowski, 1978; Santa María-Díaz, 2016). Los ecosistemas templados y tropicales se mezclan

para producir ecosistemas transicionales. El resultado ha permitido el establecimiento y permanencia de una riqueza de especies elevada. El bosque de coníferas y encino (BCE) predomina en la SMS por arriba de los 1,500 m snm. En elevaciones por debajo de 2,500 m, se encuentran el bosque mesófilo de montaña (BMM) y el bosque tropical caducifolio (BTC). Por su parte, el Valle de Tehuacán-Cuicatlán está dominado por el matorral xerófilo (MX). En las estribaciones de la vertiente del Golfo se encuentra el bosque tropical perennifolio (BTP). De manera aislada en la vertiente del Pacífico se localizan parches de bosque tropical subcaducifolio y subperennifolio (BTSC-SP). También se registran fragmentos de pastizales nativos e inducidos, palmares y vegetación sabanoide (PPVS) (Espinosa-Organista et al., 2008).

En la SMS, estudios de diversidad y distribución de diferentes grupos taxonómicos resaltan la riqueza de especies. Destacan las aves y los mamíferos (Gutiérrez-Blando et al., 2016; Navarro-Sigüenza et al., 2016). En plantas, el género *Salvia* (Martínez-Gordillo et al., 2016), la familia Orchidaceae (Solano et al., 2016) y la florística del municipio de Malinaltepec, Guerrero (Lozada-Pérez et al., 2016), mostraron resultados similares. Asimismo, estudios biogeográficos de diferentes grupos taxonómicos demuestran la riqueza y endemismo de la SMS a nivel de género y especie (e.g., Castro-Castro et al., 2012; Cuevas-Guzmán et al., 2010; Fresnedo-Ramírez y Orozco-Ramírez, 2013; Mastretta-Yanes et al., 2015; Munguía-Lino et al., 2015; Nieto-Silva et al., 2015; Palmas-Pérez et al., 2013; Ramos-Dorantes et al., 2016; Rodríguez et al., 2018; Suárez-Mota y Villaseñor, 2011; Suárez-Mota et al., 2013; Vargas-Amado et al., 2013; Villaseñor, 2003).

La SMS forma parte de Mesoamérica, uno de los sitios de alta biodiversidad a nivel mundial (Myers et al., 2000). Por lo anterior, se espera que la riqueza y distribución de las especies de *Sedum* muestren un patrón similar (Pérez-Calix, 2011; Pérez-Calix y Franco-Martínez, 2004). Conocer la distribución geográfica de las especies e identificar áreas de riqueza alta aportan información relevante para proponer áreas prioritarias para la conservación. En este sentido, los objetivos del presente trabajo fueron: 1) determinar la riqueza taxonómica de *Sedum* en la SMS, 2) identificar las áreas con mayor riqueza y 3) reconocer los patrones de distribución geográfica.

Materiales y métodos

Para obtener registros de presencia en la SMS, se revisaron ejemplares botánicos de *Sedum* depositados en diferentes herbarios. Los herbarios consultados fueron: ENCB, CHAPA, FCME, GUADA, HUAP, HUMO, IBUG, IEB, MEXU, OAX, SERO, UAMIZ, XAL

(Thiers, 2017), el Herbario de la Universidad de la Sierra Juárez (HUNSIJ) y el Herbario del Jardín Etnobotánico de Oaxaca (STDOM). También, se adicionó información de especímenes digitalizados y accesibles en colecciones electrónicas como: JSTOR, CAS, F, BH, MO, K y NY (Thiers, 2017). Adicionalmente, se realizaron 6 salidas al campo, no consecutivas, entre el 2016 y 2017 a Jalisco y Oaxaca, para incorporar nuevos puntos de ocurrencia de las diferentes especies del género, los ejemplares fueron depositados en el herbario IBUG de la Universidad de Guadalajara. La información recopilada se ingresó a la base de datos Vitex 3.0b para el procesamiento de datos (Sahagún-Godínez, 2003).

Se capturó la información de cada uno de los ejemplares en 4 apartados: taxonómico, geográfico, ecológico y curatorial. La determinación de los ejemplares se realizó con base en los trabajos de Clausen (1959, 1975), Meyrán-García y López-Chávez (2003) y Pérez-Calix (2008). Los nombres científicos de los taxones fueron corroborados en The International Plant Names Index (2012, <http://www.ipni.org>). Los sitios de recolecta se geoposicionaron mediante Google Earth 7.1.2 (Google, 2015), con ayuda de la plataforma “Espacios y Datos de México” (INEGI, 2017). Para los ejemplares botánicos que carecían de los datos de latitud y longitud, se estableció una ubicación aproximada, a partir de la descripción verbal de la localidad en la etiqueta del ejemplar (altitud, tipo de vegetación, localidad). La base de datos fue depurada y se eliminaron registros con información ambigua o imprecisa, así como aquellos en los que la determinación taxonómica no fue concluyente por falta de material y estructuras. El control de atributos, la calidad de la información geográfica, el diseño de mapas y el análisis cartográfico se llevó a cabo en QGIS 2.16.3 con el sistema geodésico WGS84 (QGIS Development Team, 2015).

Para el análisis de riqueza, se cuantificó el número de taxones en la SMS. La distribución de los taxones se determinó por: 1) estado, 2) tipo de vegetación, 3) subprovincia y distrito, 4) una cuadrícula de 16 × 16 km y 5) latitud, longitud y elevación. El contorno de las entidades federativas que forman parte de la SMS se obtuvo a partir de la capa vectorial del mapa de la República Mexicana con división estatal (INEGI, 2018). Para tipo de vegetación se utilizó el polígono de uso de suelo y vegetación de México, obtenido del portal de Geoinformación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2016). La riqueza por subprovincia y distrito se cuantificó siguiendo la regionalización de Morrone (2017).

Para realizar el análisis de riqueza por cuadrícula se utilizó el programa DIVA-GIS 4.2 (Hijmans et al., 2004) y para estimar el tamaño adecuado de la celda se siguió

el método propuesto por Willis et al. (2003). Este método calculó la décima parte de las distancias que hay entre los 2 puntos más alejados para cada taxón (MaxD). La media aritmética de los valores indicó el tamaño de celda adecuado para los datos analizados, en este estudio fue de 16 × 16 km. La riqueza fue el número de especies presentes en cada celda.

Se analizó la riqueza de especies por latitud, longitud y elevación. Se cuantificó el número de taxones en un grado de latitud y longitud. Para la elevación, se utilizaron los puntos de ocurrencia de los taxones y el modelo digital de elevación de la SMS (INEGI, 2016). Los puntos de presencia se categorizaron en clases de 500 m y se graficó la cantidad de taxones distribuidos en cada clase. Se graficaron la distribución por latitud, longitud y elevación en el programa R 3.4.0 (Development Core Team, 2016).

Se analizó la distribución de las especies con los criterios establecidos en el análisis de riqueza. También se estableció el rango de elevación para cada taxón, con la finalidad de conocer la ubicación de las poblaciones aisladas y su límite de establecimiento.

Resultados

Se obtuvieron 429 registros únicos, correspondientes a 47 especies de *Sedum* (tabla 1). De estos, 400 (91%) fueron georreferenciados. Asimismo, se determinaron 70 ejemplares y se corrigió la determinación taxonómica de 35. En total, 429 registros fueron proyectados en mapas para el análisis de riqueza y distribución (tabla 1).

En la SMS habitan 47 especies de *Sedum*. De estas, 16 son endémicas y 31 comparten su distribución con otros estados de México y con Centroamérica (tabla 1). El estado de Oaxaca concentró el mayor número de especies y registros (33/276), seguido de Guerrero (8/47), Jalisco (7/49), Puebla (7/20), Veracruz (6/32) y Michoacán (3/4) (tabla 2). Con respecto a la riqueza por tipo de vegetación, el BCE registró 40 especies, lo que representó 85.1% de los taxones. Por su parte, el BMM tuvo 18 especies (38.2%) y en las áreas bajo manejo agrícola ocurrieron 16 (34%). El PPVS presentó 12 especies (25.5%), el BTC 6 (12.7%), el MX 3 (6.3%) y el BTP 2 (4.2%) (tabla 3, fig. 1). La mayor riqueza de *Sedum* se encontró en la subprovincia Oriental, con 40 especies lo que significó el 80%. La subprovincia Occidental acumuló 7 especies (14%) y la Central registró 3 (6%) (fig. 2).

Tabla 1

Distribución geográfica de las especies de *Sedum* presentes en la Sierra Madre del Sur, por estados de México y países de América. ! = Endémicas a la SMS, RA = registros analizados, NC = número de celdas en las que el taxón está presente, * = países en Centroamérica; Guatemala (GTM), Costa Rica (CRI), El Salvador (SLV).

Especie	Distribución en México	Distribución en SMS/RA	RA	NC
<i>S. alexanderi</i> Eggl.	MOR, OAX	OAX (1)	1	1
<i>S. allantoides</i> Rose	OAX, PUE	OAX (3)	3	2
<i>S. batesii</i> Hemsl.	CHIS, GRO, OAX, GTM*	GRO (18), OAX (9)	27	13
<i>S. botterii</i> Hemsl.	CHIS, HGO, OAX, VER	OAX (2), VER (8)	10	5
<i>S. bourgaei</i> Hemsl.	CHIS, CMX, DUR, JAL, MEX, MICH, MOR, NAY, OAX	OAX (1)	1	1
! <i>S. brachetii</i> J. Reyes, Islas et O. González	GRO	GRO (1)	1	1
! <i>S. chloropetalum</i> R.T.Clausen	OAX	OAX (6)	6	4
! <i>S. commixtum</i> Moran et Hutchison	OAX	OAX (7)	7	2
<i>S. compactum</i> Rose	OAX, PUE	OAX (3)	3	3
<i>S. confusum</i> Hemsl.	OAX, PUE, VER	OAX (2)	2	2
<i>S. cupressoides</i> Hemsl.	OAX, PUE	OAX (8), PUE (1)	9	5
<i>S. dendroideum</i> DC.	CHIS, HGO, MEX, MICH, OAX, PUE, TLAX, VER, CRI*	OAX (35), VER (1)	36	21
<i>S. frutescens</i> Rose	GRO, MOR, PUE	GRO (1)	1	1
<i>S. grandipetalum</i> Fröd.	JAL	JAL (11)	11	3

Tabla 1
 Continuación

Especie	Distribución en México	Distribución en SMS/RA	RA	NC
!S. <i>grandisepalum</i> R.T.Clausen	OAX	OAX (4)	4	3
S. <i>greggii</i> Hemsl.	GTO, HGO, JAL, MEX, MICH, QUE, SLP, ZAC	JAL (4)	4	4
S. <i>griseum</i> Praeger	GTO, JAL, MEX, MICH, QUE	JAL (1)	1	1
S. <i>guadalajaranum</i> S. Watson	AGS, JAL, NAY, ZAC	JAL (2)	2	2
S. <i>guatemalense</i> Hemsl.	CHIS, OAX, VER, GTM*, SLV*	OAX (10)	10	6
S. <i>hemsleyanum</i> Rose	CHI, GRO, MEX, MICH, MOR, PUE, OAX, VER, GTM*	GRO (3), OAX (34), VER (6)	43	33
!S. <i>hernandezii</i> J. Meyrán	PUE	PUE (1)	1	1
!S. <i>hypogaeum</i> J. Reyes, Brachet et O. González	OAX	OAX (3)	3	2
S. <i>jaliscanum</i> S. Watson	AGS, GTO, GRO, JAL, MICH, MEX, MOR, NAY, ZAC	JAL (12), MICH (2)	14	9
S. <i>jurgensenii</i> (Hemsl.) Moran	OAX, PUE	OAX (1), PUE (1)	2	1
S. <i>liebmannianum</i> Hemsl.	OAX, PUE	OAX (30), PUE (4)	34	20
!S. <i>lucidum</i> R.T. Clausen	VER	VER (6)	6	3
S. <i>macdougallii</i> Moran	OAX	OAX (1)	1	1
S. <i>mesoamericanum</i> P. Carrillo et Pérez-Farr.	CHIS, OAX	OAX (15)	15	8
S. <i>moranense</i> Kunth	AGS, GTO, HGO, JAL, MEX, MICH, QUE, OAX, PUE, SLP, TLAX, VER, ZAC	OAX (6)	6	4
!S. <i>muscoideum</i> Rose	OAX, PUE	OAX (2), PUE (2)	4	2
S. <i>oaxacanum</i> Rose	OAX, PUE	OAX (21)	21	10
!S. <i>oteroi</i> Moran	OAX	OAX (7)	7	5
S. <i>oxypetalum</i> Kunth	CDM, HGO, GRO, MICH, MEX, MOR, PUE	GRO (9)	9	2
S. <i>pachyphyllum</i> Rose	OAX, PUE	OAX (4)	4	2
!S. <i>porphyranthes</i> J. Reyes, Brachet et O. González	OAX	OAX (1)	1	1
S. <i>praealtum</i> A. DC.	CHIS, HGO, MEX, MICH, OAX, PUE, QRO, TLAX, VER, GTM*	OAX (11), PUE (1)	12	7
S. <i>quevae</i> Raym.-Hamet	GRO, MEX, MOR, PUE, OAX, SLP, TLAX	GRO (6), OAX (22)	28	20
!S. <i>salazarii</i> J.Reyes et O. González	GRO	GRO (1)	1	1
S. <i>stahlii</i> Solms	OAX, PUE, VER	OAX (1), PUE (11), VER (9)	21	5
S. <i>tortuosum</i> Hemsl.	GRO, JAL, MEX, MICH, OAX, TLAX	GRO (9), JAL (16), MICH (1), OAX (7)	33	20
!S. <i>torulosum</i> R.T. Clausen	OAX	OAX (4)	4	3
S. <i>treleasei</i> Rose	OAX, PUE	OAX (2)	2	1
!S. <i>tuberculatum</i> Rose	OAX	OAX (4)	4	4
S. <i>versadense</i> C.H. Thomps.	MEX, OAX	OAX (9)	9	5
!Sedum sp.	OAX	OAX (1)	1	1
!Sedum sp. nov. 1	JAL	JAL (3)	3	3
!Sedum sp. nov. 2	MICH	MICH (1)	1	1

Tabla 2

Riqueza de *Sedum* por estado en la Sierra Madre del Sur.

Estado	Taxones	Número de taxones/ registros
Guerrero	<i>S. batesii</i> , <i>S. hemsleyanum</i> , <i>S. frutescens</i> , <i>S. oxypetalum</i> , <i>S. quevae</i> , <i>S. salazarii</i> , <i>S. tortuosum</i> , <i>S. brachetii</i>	8/47
Jalisco	<i>S. grandipetalum</i> , <i>S. greggii</i> , <i>S. griseum</i> , <i>S. guadalajaranum</i> , <i>S. jaliscanum</i> , <i>S. tortuosum</i> , <i>Sedum</i> sp. nov. 1	7/49
Michoacán	<i>S. jaliscanum</i> , <i>S. tortuosum</i> , <i>Sedum</i> sp. nov. 2	3/4
Oaxaca	<i>S. alexanderi</i> , <i>S. allantoides</i> , <i>S. batesii</i> , <i>S. botteri</i> , <i>S. bourgaei</i> , <i>S. chloropetalum</i> , <i>S. commixtum</i> , <i>S. compactum</i> , <i>S. confusum</i> , <i>S. cupressoides</i> , <i>S. dendroideum</i> , <i>S. grandisepalum</i> , <i>S. guatemalense</i> , <i>S. hemsleyanum</i> , <i>S. hypogaeum</i> , <i>S. liebmannianum</i> , <i>S. macdougallii</i> , <i>S. mesoamericanum</i> , <i>S. moranense</i> , <i>S. muscoideum</i> , <i>S. oaxacanum</i> , <i>S. oteroi</i> , <i>S. pachyphyllum</i> , <i>S. praealtum</i> , <i>S. porphyranthes</i> , <i>S. quevae</i> , <i>S. stahlii</i> , <i>S. tortuosum</i> , <i>S. torulosum</i> , <i>S. treleasei</i> , <i>S. tuberculatum</i> , <i>S. versadense</i> , <i>Sedum</i> sp.	33/276
Puebla	<i>S. botteri</i> , <i>S. cupressoides</i> , <i>S. hernandezii</i> , <i>S. jurgensenii</i> , <i>S. liebmannianum</i> , <i>S. muscoideum</i> , <i>S. stahlii</i>	7/20
Veracruz	<i>S. botteri</i> , <i>S. dendroideum</i> , <i>S. hemsleyanum</i> , <i>S. lucidum</i> , <i>S. praealtum</i> , <i>S. stahlii</i>	6/32

Tabla 3

Riqueza y distribución de *Sedum* por tipos de vegetación en la Sierra Madre del Sur.

Tipo de vegetación	Taxones	Número de taxones/ registros
Bosque de coníferas y encino	<i>S. allantoides</i> , <i>S. batesii</i> , <i>S. botteri</i> , <i>S. bourgaei</i> , <i>S. chloropetalum</i> , <i>S. commixtum</i> , <i>S. compactum</i> , <i>S. confusum</i> , <i>S. cupressoides</i> , <i>S. dendroideum</i> , <i>S. frutescens</i> , <i>S. grandipetalum</i> , <i>S. greggii</i> , <i>S. guadalajaranum</i> , <i>S. guatemalense</i> , <i>S. herandezii</i> , <i>S. hemsleyanum</i> , <i>S. hypogaeum</i> , <i>S. jaliscanum</i> , <i>S. jurgensenii</i> , <i>S. liebmannianum</i> , <i>S. lucidum</i> , <i>S. macdougallii</i> , <i>S. mesoamericanum</i> , <i>S. moranense</i> , <i>S. muscoideum</i> , <i>S. oaxacanum</i> , <i>S. oteroi</i> , <i>S. oxypetalum</i> , <i>S. pachyphyllum</i> , <i>S. praealtum</i> , <i>S. quevae</i> , <i>S. stahlii</i> , <i>S. tortuosum</i> , <i>S. torulosum</i> , <i>S. tuberculatum</i> , <i>S. versadense</i> , <i>Sedum</i> sp., <i>Sedum</i> sp. nov. 1, <i>Sedum</i> sp. nov. 2	40/47
Bosque mesófilo de montaña	<i>S. batesii</i> , <i>S. botteri</i> , <i>S. brachetii</i> , <i>S. chloropetalum</i> , <i>S. dendroideum</i> , <i>S. grandipetalum</i> , <i>S. grandisepalum</i> , <i>S. greggii</i> , <i>S. griseum</i> , <i>S. guatemalense</i> , <i>S. hemsleyanum</i> , <i>S. jaliscanum</i> , <i>S. oaxacanum</i> , <i>S. oxypetalum</i> , <i>S. porphyranthes</i> , <i>S. praealtum</i> , <i>S. quevae</i> , <i>S. tortuosum</i>	18/47
Áreas bajo manejo agrícola	<i>S. batesii</i> , <i>S. botteri</i> , <i>S. dendroideum</i> , <i>S. grandisepalum</i> , <i>S. hemsleyanum</i> , <i>S. hypogaeum</i> , <i>S. liebmannianum</i> , <i>S. lucidum</i> , <i>S. mesoamericanum</i> , <i>S. muscoideum</i> , <i>S. oaxacanum</i> , <i>S. pachyphyllum</i> , <i>S. praealtum</i> , <i>S. stahlii</i> , <i>S. versadense</i>	15/47
Pastizal, palmar y vegetación sabanoide	<i>S. allantoides</i> , <i>S. batesii</i> , <i>S. dendroideum</i> , <i>S. grandisepalum</i> , <i>S. hemsleyanum</i> , <i>S. liebmannianum</i> , <i>S. mesoamericanum</i> , <i>S. oaxacanum</i> , <i>S. oteroi</i> , <i>S. salazarii</i> , <i>S. tortuosum</i> , <i>S. tuberculatum</i>	12/47
Bosque tropical caducifolio	<i>S. alexanderi</i> , <i>S. dendroideum</i> , <i>S. compactum</i> , <i>S. hemsleyanum</i> , <i>S. liebmannianum</i> , <i>S. versadense</i>	6/47
Matorral xerófilo	<i>S. cupressoides</i> , <i>S. liebmannianum</i> , <i>S. stahlii</i>	3/47
Bosque tropical perennifolio	<i>S. hemsleyanum</i> , <i>S. lucidum</i>	2/47

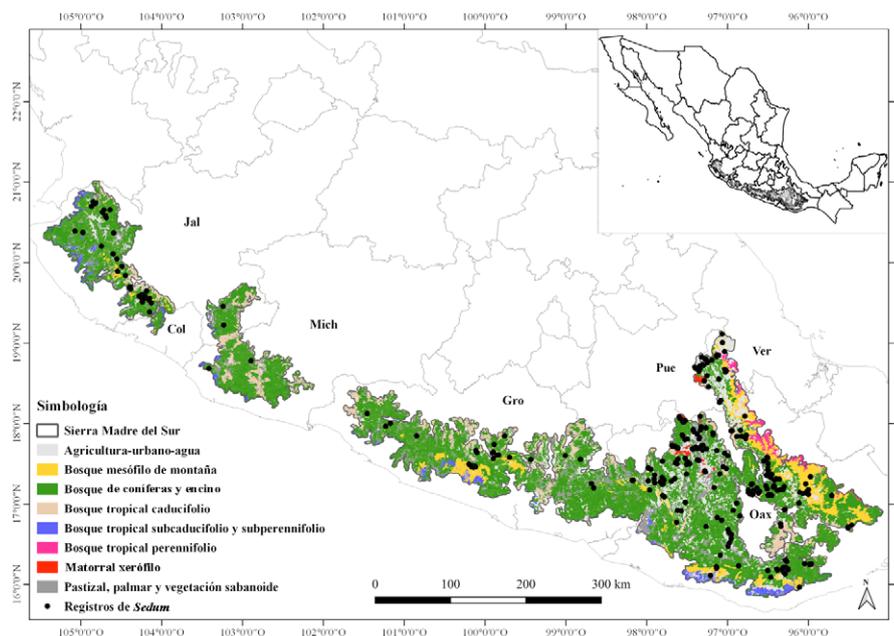


Figura 1. Distribución de *Sedum* en los tipos de vegetación presentes en la Sierra Madre del Sur. Col-Colima, Gro-Guerrero, Jal-Jalisco, Mich-Michoacán, Oax-Oaxaca, Pue-Puebla, Ver-Veracruz. Mapas de Aragón-Parada J. con base en Morrone (2017).

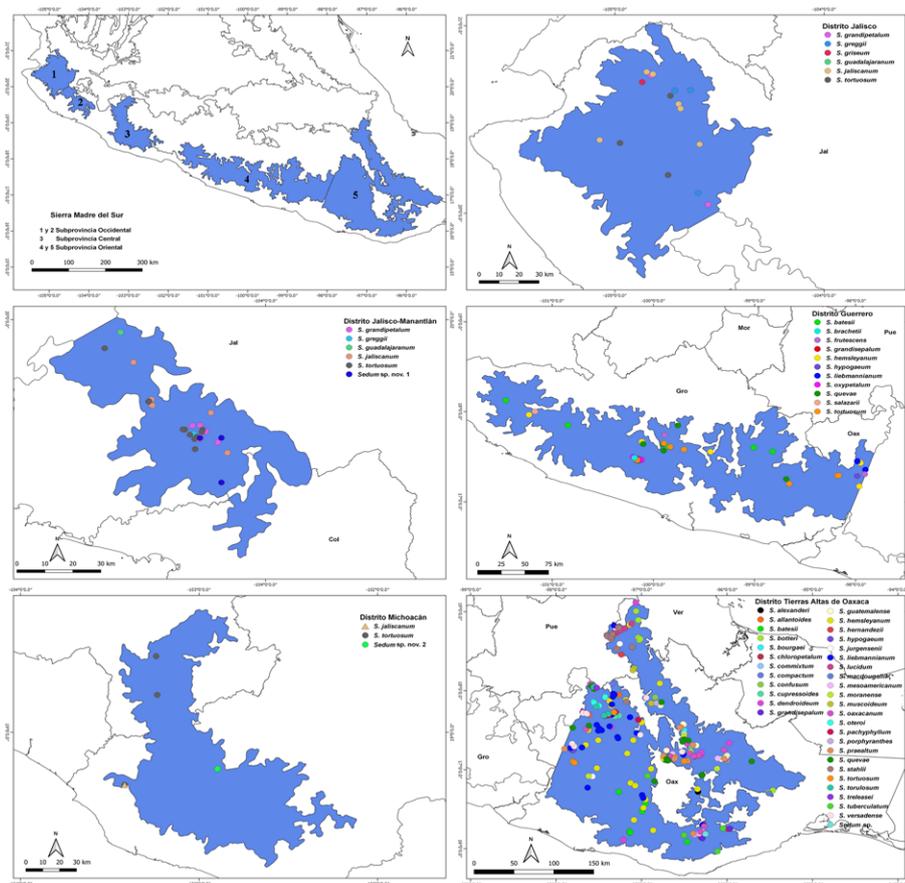


Figura 2. Distribución de *Sedum* por subprovincias y distritos en la Sierra Madre del Sur. Col-Colima, Gro-Guerrero, Jal-Jalisco, Mich-Michoacán, Oax-Oaxaca, Pue-Puebla, Ver-Veracruz. Mapas de Aragón-Parada J. con base en Morrone (2017).

La riqueza de *Sedum* en la SMS fue heterogénea. Se identificaron 5 áreas con la mayor riqueza, todas en Oaxaca. Estas concentraron 21 especies. La primera área, conformada por 2 celdas, presentó 11 especies. Esta se encontró en las estribaciones de la sierra de San Felipe y Sierra Norte de Oaxaca, en la zona montañosa del distrito de Ixtlán. La segunda, compuesta por 1 celda, incluyó 8 especies y se ubicó en la región de la Mixteca, en las montañas aledañas del municipio de Villa Tejúpam de la Unión. Con 1 celda, la tercera área tuvo 6 especies y se

localizó al norte del municipio de Tepelmeme Villa de Morelos, en los límites de Oaxaca y Puebla. Al noroeste del municipio de Tamazulpam del Progreso se halló la cuarta área con 6 especies y 1 celda. Finalmente, la quinta área con 2 celdas y 8 especies estuvo en el macizo montañoso cerro Quiexobra en el distrito de Miahuatlán (tabla 4, fig. 3).

En la SMS, *Sedum* se distribuyó desde los 15.8° hasta los 21° de latitud N, pero el mayor número de especies (30) ocurrió entre los 17° y 18°N (fig. 4a). En un gradiente

Tabla 4

Taxones de *Sedum* presentes en las áreas de mayor riqueza en la Sierra Madre del Sur.

Áreas de riqueza	Número de taxones	Taxones
1	11	<i>S. batesii</i> , <i>S. compactum</i> , <i>S. dendroideum</i> , <i>S. guatemalense</i> , <i>S. hemsleyanum</i> , <i>S. liebmannianum</i> , <i>S. mesoamericanum</i> , <i>S. oaxacanum</i> , <i>S. praealtum</i> , <i>S. quevae</i> , <i>S. versadense</i>
2	8	<i>S. cupressoides</i> , <i>S. dendroideum</i> , <i>S. liebmannianum</i> , <i>S. oaxacanum</i> , <i>S. oteroi</i> , <i>S. pachyphyllum</i> , <i>S. tortuosum</i> , <i>S. torulosum</i>
3	6	<i>S. dendroideum</i> , <i>S. hemsleyanum</i> , <i>S. oteroi</i> , <i>S. quevae</i> , <i>S. treleasei</i> , <i>S. torulosum</i>
4	6	<i>S. allantoides</i> , <i>S. dendroideum</i> , <i>S. hemsleyanum</i> , <i>S. oaxacanum</i> , <i>S. versadense</i> , <i>S. tortuosum</i>
5	7	<i>S. chloropetalum</i> , <i>S. commixtum</i> , <i>S. dendroideum</i> , <i>S. liebmannianum</i> , <i>S. mesoamericanum</i> , <i>S. oaxacanum</i> , <i>Sedum</i> sp.

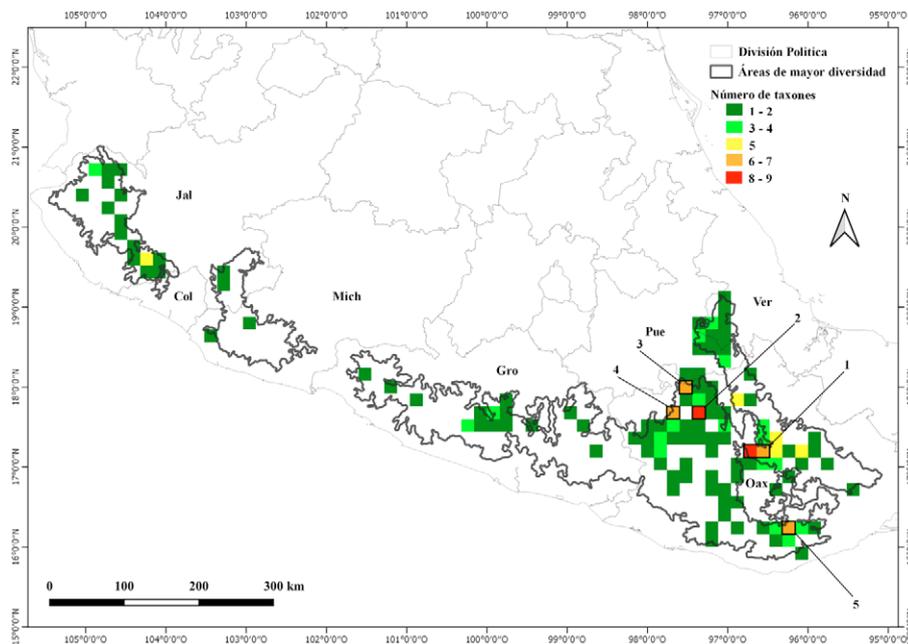


Figura 3. Riqueza de *Sedum* en la Sierra Madre del Sur. El tamaño de celda es de 16 × 16 km. Los números indican las áreas con mayor número de taxones. Col-Colima, Gro-Guerrero, Jal-Jalisco, Mich-Michoacán, Oax-Oaxaca, Pue-Puebla, Ver-Veracruz. Mapas de Aragón-Parada J. con base en Morrone (2017).

longitudinal, los taxones se encontraron entre los 95° y los 105° O, sin embargo, 29 especies se concentraron entre los 96° y 98° O (fig. 4b). *Sedum* creció entre los 500-4,000 m snm, pero 36 especies se distribuyeron entre 2,000-2,500 m de elevación. El número de taxones disminuyó fuera de estos límites (fig. 4c).

En la SMS, la distribución fue disyunta y compleja. Mostró un rango de elevación de 600-3,500 m. *Sedum tortuosum* tuvo una distribución amplia, se observaron 33 registros desde Jalisco hasta Oaxaca, en elevaciones entre

1,800-2,600 m. *Sedum hemsleyanum* y *S. dendroideum* tuvieron 43 y 36 registros, respectivamente. Presentaron una distribución amplia en la subprovincia Oriental. La primera creció en el ecotono entre el BTC y el BCE a elevaciones entre 1,650-2,100 m y la segunda fue registrada en BCE a una elevación entre 2,300-3,000 m. *Sedum batesii* y *S. quevae*, con 27 y 20 registros cada uno, se localizaron en el BCE y en el BTC, en rangos desde 2,700 hasta los 3,100 m snm. *Sedum liebmannianum* y *S. oaxacanum*, con 34 y 22 registros respectivamente,

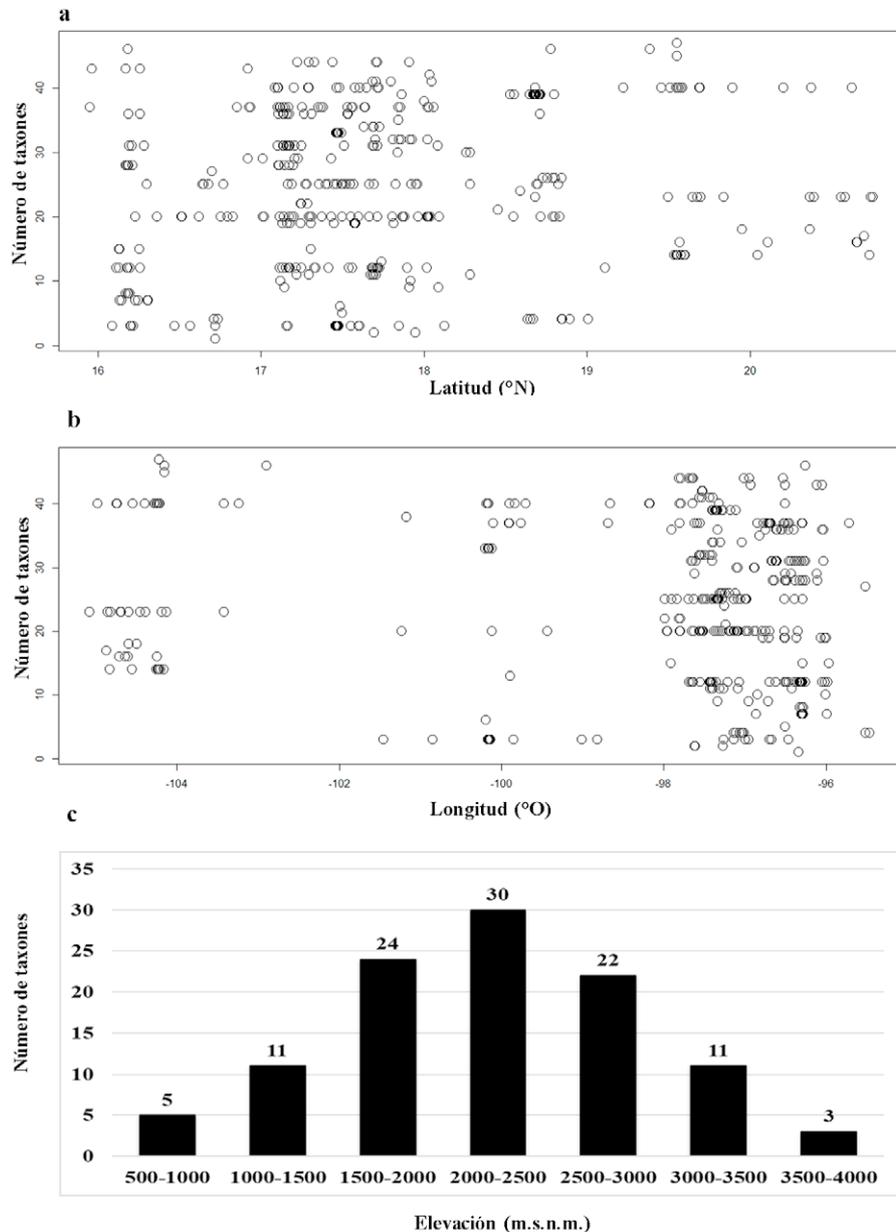


Figura 4. Número de taxones de *Sedum* distribuidos en la Sierra Madre del Sur con base en latitud (a), longitud (b) y elevación (c).

presentaron amplia distribución en el BCE del estado de Oaxaca. La primera creció en elevaciones de 2,500-3,100 m y la segunda de 2,300-2,500 m (figs. 5, 6).

Se observaron 10 taxones con 7 o menos registros. Con 7 puntos de ocurrencia, *Sedum oteroi* se encontró en el norte de la SMS, de 2,300-2,550 m snm y en el BCE. Por su parte, *S. chloropetalum*, *S. commixtum* y *S. grandisepalum* tuvieron 6, 5 y 4 registros, respectivamente. Fueron observados en el BCE de la Sierra Sur de Oaxaca. Su rango de elevación varió de 2,135-3,000 m. *Sedum hypogaeum*, con 3 registros, solo se conoció del municipio de San Juan Mixtepec, en la Mixteca de Oaxaca. Por último, *S. brachetii*, *S. hernandezii*, *S. macdougallii*, *S. porphyranthes* y *S. salazarii* tuvieron un único registro con elevaciones que variaron de 1,000-2,400 m (fig. 6).

A nivel de cuadrícula, 121 celdas de 16 × 16 km cubrieron la distribución geográfica de *Sedum* (tabla 1). Pocas celdas tuvieron muchas especies y muchas celdas registraron pocas especies. Once celdas de Oaxaca y 1 de Jalisco sumaron 29 especies. *Sedum hemsleyanum* apareció en 33 celdas, seguido de *S. dendroideum* (21), *S. liebmannianum*, *S. tortuosum* y *S. quevae* (20). En el otro extremo, 6 especies aparecieron en 6-13 celdas, 15 en 3-5 celdas y 21 especies se registraron en 1-2 celdas (fig. 7).

Discusión

La riqueza, como medida de la biodiversidad, se puede estimar en diferentes escalas. La cuantificación de las especies en un área se denomina riqueza de especies (Lomolino, 2001). Pero este parámetro ignora el valor de importancia ecológica de las mismas (Moreno, 2001). Según Villaseñor (2016), las especies de *Sedum* registradas para México suman 133, de éstas, 41 fueron encontradas en la SMS. Este número difiere de las 47 mencionadas en el presente trabajo, que incluyó a *S. brachetii*, *S. mesoamericanum* y *S. salazarii*. Otras 3 morfoespecies, consideradas como taxones aún indeterminados, constituyen entidades diferentes a las 44 nombradas. Con base en evidencia morfológica y distribución geográfica, *S. conzattii* es sinónimo de *S. quevae*, especies que previamente se habían tratado como distintas (Britton y Rose, 1903; Engler, 1914). De las especies aquí mencionadas, 43 son endémicas de México y 16 tienen una distribución restringida a la SMS.

Se han identificado 5 centros de diversificación de Crassulaceae: la cuenca del Mediterráneo, Macroonesia, África meridional, Asia oriental y México (Mort et al., 2002; Thiede y Egli, 2007). México concentra la mayor diversidad con 330 especies (Carrillo-Reyes et al., 2009; Egli et al., 1995). Las 47 especies de *Sedum* presentes en la SMS aportaron 14% de las crasuláceas mexicanas

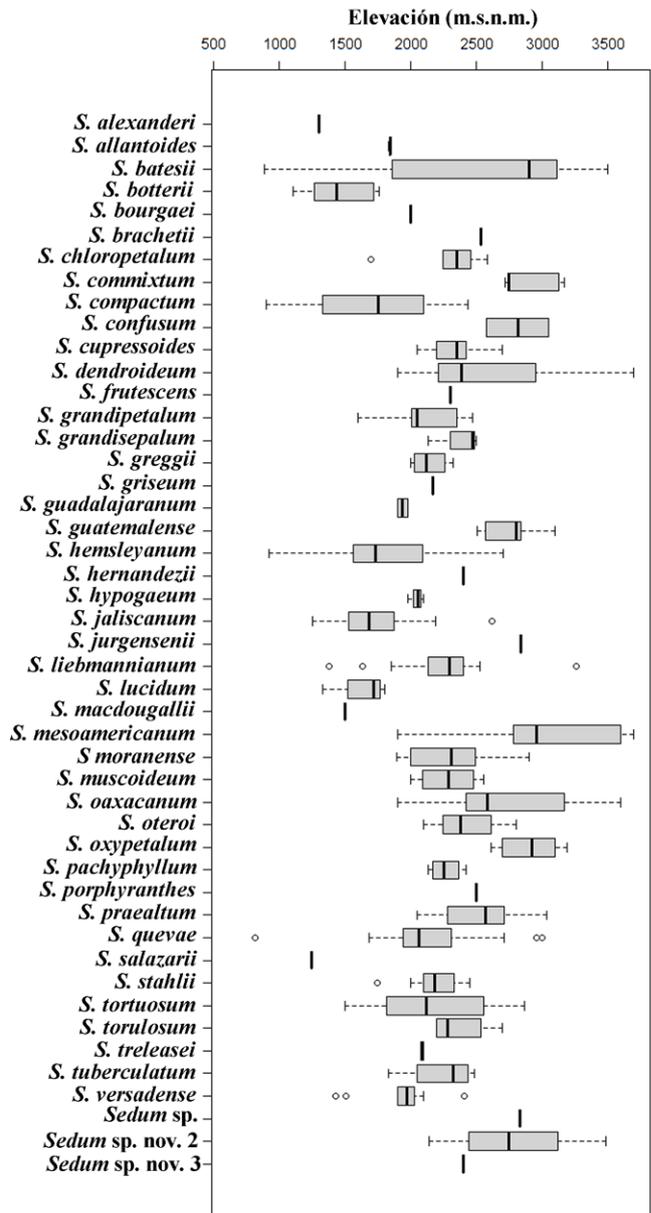


Figura 5. Rango de elevación de los taxones de *Sedum* en la Sierra Madre del Sur.

y 34% de las especies de *Sedum*. La riqueza de esta área se asemeja con la del EVT en donde también se localizan 47 especies (Clausen, 1959). Esta diversidad se concentra en las montañas altas del centro-sur de México. El aislamiento ecológico de los numerosos macizos presentes en estas cordilleras ha jugado un papel importante en la diversificación del grupo. Un análisis filogenético resuelto y datado aportaría evidencia adicional para entender este proceso.



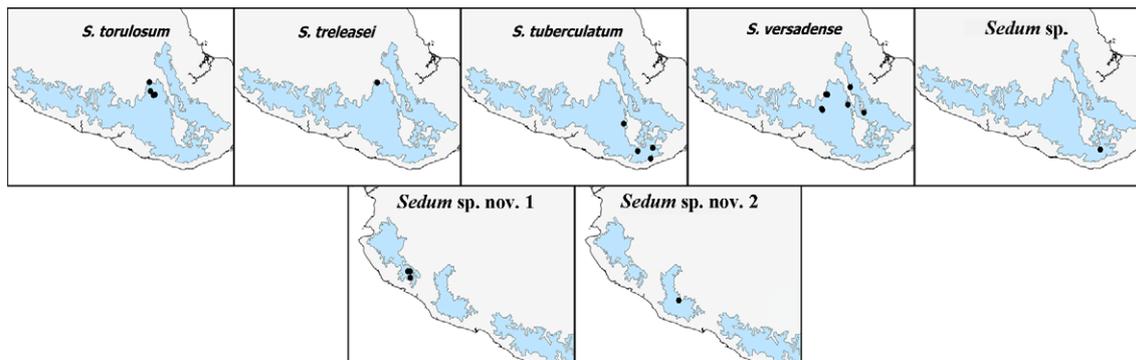


Figura 6. Distribución de las especies de *Sedum* en la Sierra Madre del Sur.

La evidencia sostiene que un área grande, con condiciones climáticas similares a otra pequeña, alberga más especies (Hawkins et al., 2001). El estado de Oaxaca concentró el mayor número de especies de *Sedum* (33) pero cubre la mayor superficie de la SMS. En contraste, la subprovincia Central, que cubre parte de Michoacán y Jalisco, registró 3 especies. La porción occidental del distrito Guerrero en la subprovincia Oriental es un caso similar con 3 especies. Ambas tuvieron pocos registros. La poca representatividad de recolectas y especies pudo haber resultado de la falta de exploración y del difícil acceso. Aún peor, la inestabilidad social de la zona desalienta la exploración en estas regiones.

Las 5 áreas de riqueza de *Sedum* descritas en el presente estudio fueron identificadas en trabajos florísticos como áreas con alta diversidad y endemismo (García-Mendoza et al., 1994, 2004; McDonald, 2013; Pinilla-Buitrago et al., 2018). Dichas áreas concuerdan con los distritos de Ixtlán, Coixtlahuaca, Huajuapán y Miahuatlán. En Crassulaceae, los resultados de Pérez-Calix y Franco-Martínez (2004) identifican a los mismos distritos. Ellos registran la presencia de 23, 20, 20 y 16 especies, respectivamente. Aquí, *Sedum* contribuyó con 27 especies a la riqueza de esos distritos.

En Oaxaca crecen 100 taxones de Crassulaceae, de los cuales 30 pertenecen a *Sedum* (Pérez-Calix, 2011). Aunque Villaseñor (2016) menciona a *Sedum cuspidatum* y *S. pulvinatum* como parte de la diversidad del estado, estas especies no fueron encontradas. Sin embargo, se agregaron *S. botterii*, *S. grandisepalum*, *S. mesoamericanum* y *Sedum* sp., lo que incrementó la riqueza de Oaxaca de 30 a 34 taxones. Las regiones de Oaxaca con mayor diversidad de *Sedum* fueron: la Mixteca con 16 especies, la Sierra Norte con 15 y la Sierra Sur con 12. Estas zonas fueron recomendadas como áreas prioritarias para la conservación,

debido a la gran diversidad vegetal que resguardan (García-Mendoza et al., 2004; Myers et al., 2000).

Las especies de *Sedum* distribuidas ampliamente en México presentaron un rango geográfico restringido en la SMS. En esta provincia hay micro-hábitats que han permitido el establecimiento de micro-endémicas, de las cuales solo se conoce la localidad tipo (fig. 6). Por ejemplo, *S. moranense* tiene una distribución amplia en el centro de México, pero en la SMS es poco frecuente, presente solo en la subprovincia Oriental. De forma similar, *S. bourgaei*, *S. greggii* y *S. jaliscanum* muestran amplia distribución en el occidente y centro de México, sin embargo, en la SMS se encontraron solo en la subprovincia Occidental, en el estado de Jalisco. Por el contrario, *S. brachetii*, *S. frutescens*, *S. hernandezii*, *S. macdougallii*, *S. porphyranthes* y *S. salazarii*, con solo un registro, tuvieron distribución restringida a la SMS. *Sedum batesii*, *S. dendroideum*, *S. hemsleyanum*, *S. liebmannianum*, *S. oaxacanum* y *S. quevae* tuvieron una amplia distribución, están presentes en la subprovincia Oriental, que es la más grande de la provincia. Por último, *Sedum tortuosum* apareció en todas las subprovincias.

En la SMS, *Sedum* tuvo una distribución irregular y el esfuerzo de recolecta puede explicar esta observación. En las Tierras Altas de Oaxaca, trabajos florísticos han generado un listado de más de 9,000 especies (García-Mendoza et al., 2004; García-Mendoza y Meave, 2011). Para la Sierra de Manantlán en el distrito Jalisco-Manantlán de la subprovincia Occidental, la flora está bien documentada (Cuevas-Guzmán et al., 2010; Vázquez-García et al., 1995). En contraste, hay pocos inventarios y registros en la subprovincia Central y el distrito Guerrero (Jiménez-Ramírez et al., 2016). En dichos sitios, el bajo número de registros de *Sedum*, es consecuencia del difícil acceso o la inseguridad.

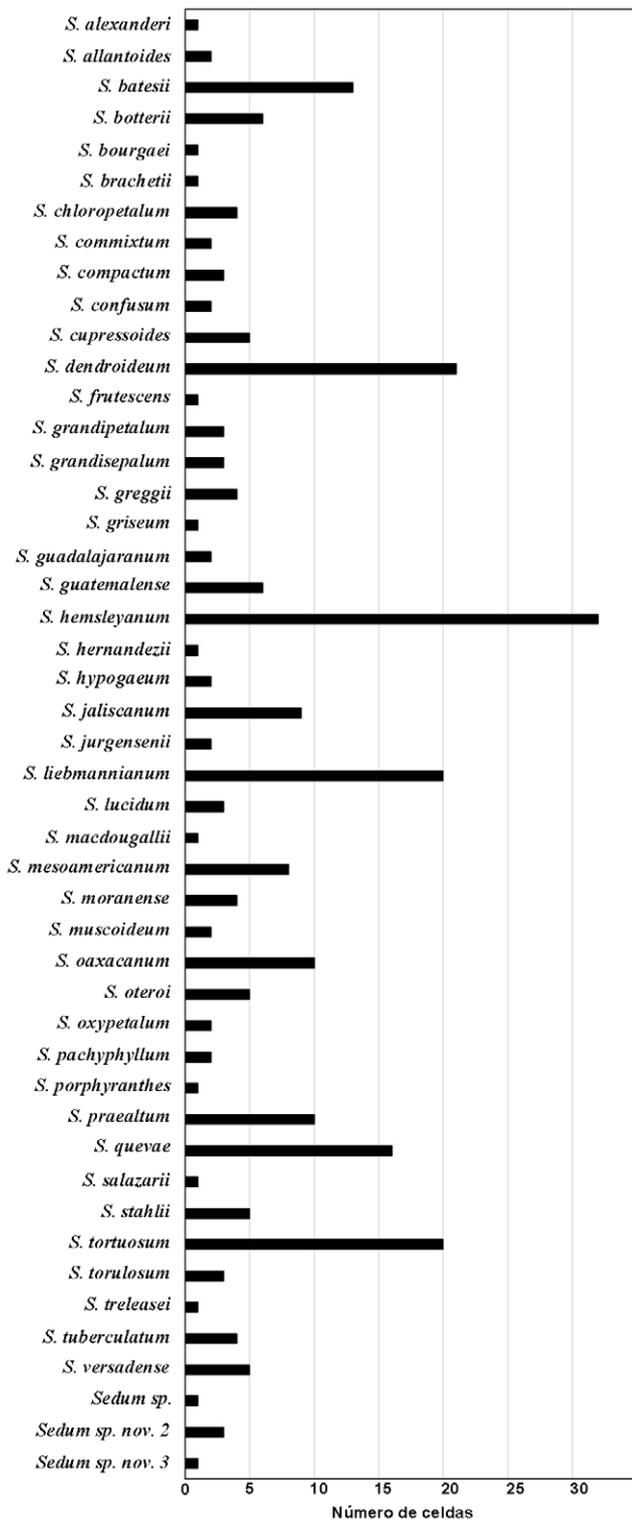


Figura 7. Número de celdas (16 × 16 km) en las que aparece cada especie del género *Sedum* en la Sierra Madre del Sur.

En general, *Sedum* mostró un patrón de distribución similar al descrito por Rzedowski (1978) para la flora mexicana. De acuerdo con el mismo, la mayor concentración de la biodiversidad inicia en Chiapas-Oaxaca y se prolonga, por un lado, hacia el centro de Veracruz y por el otro a Guerrero, Michoacán y Jalisco. *Sedum* tuvo afinidad templada y su mayor diversidad se encontró en bosques de coníferas y encino. El mismo patrón se ha observado en las tribus Tigridieae (Iridaceae) y Vernonieae (Asteraceae) y en los géneros *Cosmos*, *Dahlia*, *Calochortus* y *Lycianthes* serie *Meizonodontae* (Anguiano-Constante et al., 2018; Castro-Castro et al., 2012; García-Martínez, 2018; Munguía-Lino et al., 2015; Redonda-Martínez, 2017; Vargas-Amado et al., 2013).

En la SMS se identificaron 2 patrones de distribución de *Sedum*. El primero incluyó 7 especies con distribución en las subprovincias Occidental y Central, en Jalisco y Michoacán. *Sedum grandipetalum*, *S. greggii*, *S. griseum*, *S. guadalajaranum* y *S. jaliscanum* tienen una distribución amplia hacia el EVT y la parte sur de la SMOR. Dos especies indeterminadas tuvieron una distribución restringida a los distritos de Jalisco-Manantlán y Michoacán. El segundo patrón resultó de la distribución de 39 especies en la subprovincia Oriental, en los estados de Guerrero y Oaxaca. De estas, 14 fueron endémicas y 25 extendieron su distribución hacia la CB, el EVT y los AC. Aunque *S. quevae* se distribuyó de los 1,700 a los 3,000 m snm, mostró un registro por debajo de los 1,300 m snm. Esta especie también se distribuye en elevaciones menores en el EVT y la DB (fig. 7).

En la SMS, *Sedum* se ha establecido en diferentes microhábitats. Crecen dentro del BCE, el BTC, el MX y el BMM. Sin embargo, prefieren rocas, acantilados y áreas abiertas con poca materia orgánica. Todas las especies son perennes, pero 25 tienen hábito herbáceo, 19 son pequeños o medianos arbustos y 2 crecen como epífitas (*Sedum botterii* y *S. guatemalense* en BMM y BCE). Las herbáceas se hallaron en las áreas abiertas del BCE, mientras que las arbustivas crecieron en zonas abiertas en el MX, el BTC y en ecotonías entre estas comunidades vegetales.

Los estudios fenológicos en *Sedum* son escasos. Clausen (1959) documentó la floración de 28 especies en el EVT entre septiembre y diciembre, con mayor énfasis en el último. Aunque no existen estudios similares para las especies de la SMS, la información contenida en los protólogos (Carrillo-Reyes y Pérez-Farrera, 2012; Reyes et al., 2012), etiquetas de herbario, y nuestras observaciones de campo, son consistentes con este patrón. Las semillas de *Sedum* son muy pequeñas, no más de 1 mm de longitud, y cada individuo puede producir miles. La dispersión frecuentemente se lleva a cabo por anemocoría, aunque las gotas de lluvia, también se han registrado como

un mecanismo común de dispersión (Nakanishi, 2002; Thiede y Eggli, 2007). Una constante en el género es la necesidad de contar con ciertas condiciones de humedad y temperatura para su germinación, por lo general las mismas condiciones requeridas por líquenes y musgos, a los que suelen asociarse (Thiede y Eggli, 2007).

Las especies de *Sedum* de la SMS tienen uso ornamental y medicinal. *Sedum dendroideum*, *S. oaxacanum* y *S. praealtum* son frecuentes en el BCE, cerca de poblados y a orillas de caminos. Estas especies florecen a finales del periodo de lluvia y tienen inflorescencias vistosas, que son utilizadas para adornar altares en festividades religiosas de octubre-febrero. Además, *Sedum dendroideum*, *S. liebmannianum*, *S. mesoamericanum*, *S. oaxacanum* y *S. praealtum* son cultivadas en jardines de traspatio. Finalmente, *S. dendroideum* y *S. praealtum* se emplean en tratamientos alternativos de carnosidad en los ojos y vista cansada.

En la SMS se registraron 47 especies de *Sedum* y 16 fueron endémicas. Sin embargo, la riqueza se concentró en la subprovincia Oriental que albergó a 39 especies y 14 endémicas. El distrito de las Tierras Altas de Oaxaca fue el más diverso. De igual forma, el BCE concentró la mayor diversidad de especies con 40. La distribución de *Sedum* en la SMS fue disyunta y compleja. Se reconocieron los patrones *i*) Jalisco-Michoacán y *ii*) Guerrero-Oaxaca. La mayor diversidad de especies prosperó en un rango de elevación entre 2,000-2,500 m. Los resultados apoyaron la alta riqueza de especies y endemismo de la SMS. Estos se proponen como sitios potenciales para la conservación *in situ* del género y de otras especies asociadas de la flora de México. Futuros estudios de *Sedum* en la SMS deben analizar e identificar áreas de endemismo y evaluar el estado de conservación de las especies, con la finalidad de proponer áreas de uso, manejo y conservación.

Agradecimientos

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología el apoyo económico a través de la beca número 602998. Agradecemos al personal y curadores de los herbarios ENCB, FCME, GUADA, HUMO, HUNSIJ, IBUG, IEB, MEXU, OAX, SERO, STEDOM, UAMIZ y ZEA. También se reconoce a A. J. García-Mendoza, S. Franco, D. Sandoval y G. González-Adame, por su apoyo en el trabajo de campo. Finalmente, externamos gratitud para M. Anguiano-Constante y R. Villavicencio-García por el soporte en el manejo de SIG.

Referencias

Anguiano-Constante, M. A., Munguía-Lino, G., Ortiz, E., Villaseñor, J. L. y Rodríguez, A. (2018). Riqueza,

- distribución geográfica y conservación de *Lycianthes* serie Meizonodontae (Capsiceae, Solanaceae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89, 516–529. <http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.2.2340>
- Britton, N. L. y Rose, J. N. (1903). New or Noteworthy North American Crassulaceae. *Bulletin of the New York Botanical Garden*, 3, 1–45. <https://doi.org/10.2307/2475877>
- Britton, N. L. y Rose, J. N. (1905). Crassulaceae. En N. L. Britton et al. (Eds.), *North America Flora*, Vol. 22 (pp. 7–14). New York.
- Carrillo-Reyes, P. y Pérez-Farrera, M. A. (2012). *Sedum mesoamericanum* (Crassulaceae), a new species from Mexico y Guatemala. *Haseltonia*, 17, 82–86. <https://doi.org/10.2985/1070-0048-17.1.10>
- Carrillo-Reyes, P., Sosa, V. y Mort, M. E. (2009). Molecular phylogeny of the *Acre* clade (Crassulaceae): dealing with the lack of definitions for *Echeveria* and *Sedum*. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 53, 267–276. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2009.05.022>
- Castro-Castro, A., Rodríguez, A., Vargas-Amado, G. y Harker, M. (2012). Diversidad del género *Dahlia* (Asteraceae: Coreopsidae) en Jalisco, México y descripción de una especie nueva. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, 347–358. <http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2012.2.941>
- Clausen, R. T. (1959). *Sedum of the Trans-Mexican Volcanic Belt: an exposition of taxonomic methods*. Ithaca: Cornell University Press. <https://doi.org/10.2307/2482777>
- Clausen, R. T. (1975). *Sedum of North America North of the Mexican Plateau*. Ithaca: Cornell University Press. <https://doi.org/10.2307/4117277>
- Cuevas-Guzmán, R., González-Gallegos, J. G., Hernández-López, L., Íñiguez-Dávalos, L. I., Jardel-Peláez, E., Rodríguez-Moreno, P. et al. (2010). Sierra Madre del Sur y Franja Neovolcánica de Jalisco. En Conabio (Ed.), *El bosque mesófilo de montaña en México: amenazas y oportunidades para su conservación y manejo sostenible* (pp. 68–79). México D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Development Core Team (2016). R: a language and environment for statistical computing. 3.4.0 edn. Recuperado el 06, junio, 2018 de: <https://www.r-project.org/>
- Eggli, U., 't Hart, H. y Nyfferler, R. (1995). Toward a consensus classification of the Crassulaceae. En H. 't Hart y U. Eggli (Eds.), *Evolution and systematics of the Crassulaceae* (pp. 30–44). Leiden, Países Bajos: Backhuys publishers.
- Engler, A. (1914). *Botanische Jahrbücher für Systematik, Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie*. Leipzig, Alemania: Wilhelm Engelmann. <https://doi.org/10.1038/023263a0>
- Espinosa-Organista, D., Ocegueda-Cruz, S. y Luna-Vega, I. (2016). Introducción al estudio de la biodiversidad de la Sierra Madre del Sur: una visión general. En I. Luna-Vega, D. Espinosa y R. Contreras-Medina (Eds.), *Biodiversidad de la Sierra Madre del Sur: una síntesis preliminar* (pp. 23–36). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

- Espinosa-Organista, D., Ocegueda, S., Zúñiga, C. A., Flores-Villela, O., Llorente-Bousquets, J. y Vázquez-Benítez, B. (2008). El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural. En Conabio (Ed.), *Capital natural de México, Vol. I. Conocimiento actual de la biodiversidad* (pp. 33–65). Ciudad de México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Fresnedo-Ramírez, J. y Orozco-Ramírez, Q. (2013). Diversity and distribution of genus *Jatropha* in Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 60, 1087–1104. <https://doi.org/10.1007/s10722-012-9906-7>
- García-Martínez, M. A. (2018). *Taxonomía, riqueza y distribución geográfica de Calochortus sección Cyclobothra (Liliaceae) (Tesis de maestría)*. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. Zapopan, México.
- García-Mendoza, A. J. y Meave, J. A. (Eds.). (2011). *Diversidad florística de Oaxaca: de musgos a angiospermas (colección y lista de especies)*. México D.F.: Instituto de Biología UNAM/ Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- García-Mendoza, A. J., Ordoñez, J. M. y Briones-Salas, M. (2004). *Biodiversidad de Oaxaca*. México D.F.: Instituto de Biología, UNAM/ Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza/ Word Wildlife Fund.
- García-Mendoza, A. J., Tenorio Lezama, P. y Reyes-Santiago, J. (1994). El endemismo en la flora fanerogámica de la Mixteca Alta, Oaxaca-Puebla, México. *Acta Botanica Mexicana*, 27, 53–73. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57402706>
- Google. (2015). Google Earth Software 7.1.2. Recuperado el 8 de abril, 2018 de: <https://www.google.es/earth/download/gep/agree.html>
- Gutiérrez-Blando, C., Olguín-Monroy, C. H. y León-Paniagua, L. (2016). Patrones biogeográficos de los mamíferos en la Sierra Madre del Sur. En I. Luna-Vega, D. Espinosa y R. Contreras-Medina (Eds.), *Biodiversidad de la Sierra Madre del Sur: una síntesis preliminar* (pp. 487–506). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hawkins, B. A., Rodríguez, M. Á. y Weller, S. G. (2011). Global angiosperm family richness revisited: linking ecology and evolution to climate. *Journal of Biogeography*, 38, 1253–1266. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02490.x>
- Hijmans, R. J., Guarino, L., Bussink, C., Mathur, P., Cruz, M., Barrantes, I. et al. (2004). DIVAGIS versión 4: un sistema de información geográfica para el análisis de distribución de especies. Recuperado el 12 de marzo, 2018 de: <http://www.diva-gis.org/download>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2016). Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI (Capa Unión), escala: 1:250 000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2017). Espacio y datos de México. Recuperado el 4 de febrero, 2018 de: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2018). Áreas geoestadísticas estatales 1:250000. 2018, escala: 1:250000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Jiménez-Ramírez, J., Cruz-Durán, R., Valencia-Ávalos, S., Martínez-Gordillo, M., González-Hidalgo, B. y Calónico-Soto, J. (2016). Flora vascular del municipio Leonardo Bravo, estado de Guerrero. En I. Luna-Vega, D. Espinosa y R. Contreras-Medina (Eds.), *Biodiversidad de la Sierra Madre del Sur: una síntesis preliminar* (pp. 229–256). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lomolino, M. V. (2001). Biogeography, overview. En S. A. Levin (Ed.) *Encyclopedia of Biodiversity* (pp. 455–469). San Diego: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b0-12-226865-2/00033-x>
- Lozada-Pérez, L., de Santiago-Gómez, R. y Rojas-Gutiérrez, J. (2016). Diversidad florística en Malinaltepec, región de La Montaña, Sierra Madre del Sur de Guerrero. En I. Luna-Vega, D. Espinosa y R. Contreras-Medina (Eds.), *Biodiversidad de la Sierra Madre del Sur: una síntesis preliminar* (pp. 209–228). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Martínez-Gordillo, M., Fragoso-Martínez, I., Leautaud-Valenzuela, P., Ginez-Vázquez, L., Martínez-Ambriz, E. y Méndez-Solís, V. (2016). Riqueza y distribución del género *Salvia* (Lamiaceae) en la Sierra Madre del Sur de Guerrero, México. En I. Luna-Vega, D. Espinosa y R. Contreras-Medina (Eds.), *Biodiversidad de la Sierra Madre del Sur: una síntesis preliminar* (pp. 177–192). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mastretta-Yanes, A., Moreno-Letelier, A., Piñero, D., Jorgensen, H. T. y Emerson, C. B. (2015). Biodiversity in the Mexican highlands and the interaction of geology, geography and climate within the Trans-Mexican Volcanic Belt. *Journal of Biogeography*, 42, 1586–1600. <https://doi.org/10.1111/jbi.12546>
- McDonald, J. A. (2013). Alpine flora of Cerro Quiexobra, Oaxaca, México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*, 7, 765–769. <https://www.jstor.org/stable/24621162>
- Meyrán-García, J. G. y López-Chávez, L. (2003). *Las crasuláceas de México*. México D.F.: Sociedad Mexicana de Cactología, A.C.
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. Zaragoza, España: Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA).
- Morrone, J. J. (2001). *Biogeografía de América latina y el Caribe*. Zaragoza, España: Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA).
- Morrone, J. J. (2004). Panbiogeografía, componentes bióticos y zonas de transición. *Revista Brasileira de Entomologia*, 48, 149–162. <http://dx.doi.org/10.1590/S0085-56262004000200001>
- Morrone, J. J. (2010). Fundamental biogeographic patterns across the Mexican Transition Zone: an evolutionary

- approach. *Ecography*, 33, 355–361. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2010.06266.x>
- Morrone, J. J. (2014). Biogeographical regionalisation of the Neotropical region. *Zootaxa*, 3782, 1–110. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3782.1.1>
- Morrone, J. J. (2017). Biogeographic regionalization of the Sierra Madre del Sur province, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 710–714. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.07.012>
- Morrone, J. J., Escalante, T. y Rodríguez-Tapia, G. (2017). Mexican biogeographic provinces: map and shapefiles. *Zootaxa*, 4277, 277–279. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4277.2.8>
- Mort, M. E., Soltis, D. E., Soltis, P. S., Francisco-Ortega, J. y Santos-Guerra, A. (2002). Phylogenetics and evolution of the Macaronesian clade of Crassulaceae inferred from nuclear and chloroplast sequence data. *Systematic Botany*, 27, 271–288. <https://doi.org/10.1043/0363-6445-27.2.271>
- Munguia-Lino, G., Vargas-Amado G., Vázquez-García L. M. y Rodríguez, A. (2015). Riqueza y distribución geográfica de la tribu Tigridieae (Iridaceae) en Norteamérica. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86, 80–98. <https://doi.org/10.7550/rmb.44083>
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A. B. y Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Nakanishi, H. (2002). Splash seed dispersal by raindrops. *Ecological Research*, 17, 663–671. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1703.2002.00524.x>
- Navarro-Sigüenza, A. G., Blancas-Calva, E., Almazán-Núñez, R. C., Hernández-Baños, E. B., García-Trejo, A. E. y Peterson-Townsend, A. (2016). Diversidad y endemismo de las aves de la Sierra Madre del Sur. En I. Luna-Vega, D. Espinosa y R. Contreras-Medina (Eds.), *Biodiversidad de la Sierra Madre del Sur: una síntesis preliminar* (pp. 381–412). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Nieto-Silva, G. R., Siqueiros-Delgado, M. E., Luna-Ruiz, J. J., Flores-Ancira, E. y Moreno-Rico, O. (2015). Taxonomía y distribución del género *Spartina* (Poaceae) en México. *Botanical Sciences*, 93, 829–843. <http://dx.doi.org/10.17129/botsci.85>
- Nikulin, V. Y., Gontcharova, S. B., Stephenson, R. y Gontcharova, A. A. (2016). Phylogenetic relationships between *Sedum* L. and related genera (Crassulaceae) based on ITS rDNA sequence comparisons. *Flora*, 224, 218–229. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2016.08.003>
- Palmas-Pérez, S., Krömer, T., Dressler, S. y Arévalo-Ramírez, J. A. (2013). Diversidad y distribución de Marcgraviaceae en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84, 170–183. <http://dx.doi.org/10.7550/rmb.29666>
- Pérez-Calix, E. (2008). Crassulaceae. *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*, 156, 1–143.
- Pérez-Calix, E. (2011). Crassulaceae J.St.-Hil. En A. J. García-Mendoza y J. A. Meave (Eds.), *Diversidad florística de Oaxaca: de musgos a angiospermas (colección y lista de especies)* (pp. 213–215). México D.F.: Instituto de Biología-UNAM/ Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Pérez-Calix, E. y Franco-Martínez, S. I. (2004). Crasuláceas. En A. J. García-Mendoza, M. J. Ordóñez-Díaz y M. Briones-Salas (Eds.), *Biodiversidad de Oaxaca* (pp. 209–218). México D.F.: Instituto de Biología-UNAM/ Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza/ Word Wildlife Fund.
- Pinilla-Buitrago, E. G., Escalante, T., Gutiérrez-Velázquez, A., Reyes-Castillo, P. y Rojas-Soto, O. (2018). Areas of endemism persist through time: a palaeoclimatic analysis in the Mexican Transition Zone. *Journal of Biogeography*, 45, 952–961. <https://doi.org/10.1111/jbi.13172>
- QGIS Development Team. (2015). Quantum GIS development team, version 2.2.0. Recuperado el 04, mayo, 2018 de: <https://qgis.org/es/site/forusers/download.html>
- Ramírez-Ulloa, R. (2017). *Estudio sistemático de Sedum sección Sedastrum (Crassulaceae) (Tesis de maestría)*. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. Zapopan, México.
- Ramos-Dorantes, D. B., Villaseñor, J. L., Ortiz, E. y Gernandt, D. (2016). Biodiversity, distribution, and conservation status of Pinaceae in Puebla, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 215–223. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.01.028>
- Redonda-Martínez, R. (2017). Diversidad y distribución de la tribu Vernonieae (Asteraceae) en México. *Acta Botanica Mexicana*, 119, 115–138. <http://dx.doi.org/10.21829/abm119.2017.1235>
- Reyes, J., Gonzáles, O. y Etter, J. (2012). *Sedum kristenii* (Crassulaceae), a new species from Durango, Mexico. *Haseltonia*, 18, 48–51. <https://doi.org/10.2985/026.018.0106>
- Rodríguez, A., Castro-Castro, A., Vargas-Amado, G., Vargas-Ponce, O., Zamora-Tavares, P., González-Gallegos, J. et al. (2018). Richness, geographic distribution patterns, and areas of endemism of selected angiosperm groups in Mexico. *Journal of Systematics and Evolution*, 56, 537–549. <https://doi.org/10.5061/dryad.16kk001>
- Rzedowski, J. (1978). Vegetación de México. México D.F.: Limusa.
- Sahagún-Godínez, E. (2003). Vitex 3.0b. Base de datos en Instituto de Botánica. Guadalajara, Jalisco, México: Universidad de Guadalajara.
- Santa María-Díaz, A. (2016). Aspectos geológicos de la Sierra Madre del Sur. En I. Luna-Vega, D. Espinosa y R. Contreras-Medina (Eds.), *Biodiversidad de la Sierra Madre del Sur: una síntesis preliminar* (pp. 39–66). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Santiago-Alvarado, M., Montaña-Arias, G. y Espinosa, D. (2016). Áreas de endemismo de la Sierra Madre del Sur. En I. Luna-Vega, D. Espinosa y R. Contreras-Medina (Eds.), *Biodiversidad de la Sierra Madre del Sur: una síntesis preliminar* (pp. 431–448). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Solano, R., Balam-Narváez, R. y Cruz-Gracia, G. (2016). Riqueza y distribución de la familia Orchidaceae en la Sierra Sur

- de Oaxaca. En I. Luna-Vega, D. Espinosa y R. Contreras-Medina (Eds.), *Biodiversidad de la Sierra Madre del Sur: una síntesis preliminar* (pp. 193–208). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Suárez-Mota, M. E., Téllez-Valdés, O., Lira-Saade, R. y Villaseñor, J. L. (2013). Una regionalización de la Faja Volcánica Transmexicana con base en su riqueza florística. *Botanical Sciences*, 91, 93–105. <https://doi.org/10.17129/botsci.405>
- Suárez-Mota, M. E. y Villaseñor, J. L. (2011). Las compuestas endémicas de Oaxaca, México: diversidad y distribución. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 88, 55–66. <https://doi.org/10.17129/botsci.308>
- ‘t Hart, H. y Bleij, B. (2003). *Sedum*. En U. Eggli (Ed.), *Illustrated handbook of succulent plants Crassulaceae* (pp. 235–332). Berlín: Springer.
- The International Plant Names Index (2012). Recuperado el 20, junio 2018 de: <https://www.ipni.org/index.html>
- Thiede, J. y Eggli, U. (2007). Crassulaceae. En K. Kubitzki (Ed.), *The families and genera of vascular plants* (pp. 83–118) Berlín: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-32219-1_12
- Thiers, B. (2017). Index herbariorum: a global directory of public herbaria and associated staff. New York Botanical Garden's Virtual Herbarium. Recuperado el 10 octubre, 2018 de: <http://sweetgum.nybg.org/science/ih/>
- Van Ham, R. C. H. J. (1995). Phylogenetic relationships in the Crassulaceae inferred from chloroplast DNA variation. En H. ‘t Hart y U. Eggli (Eds.), *Evolution and systematics of the Crassulaceae* (pp. 16–29). Leiden, Países Bajos: Backhuys publishers. <https://doi.org/10.2307/2446561>
- Vargas-Amado, G., Castro-Castro, A., Harker, M., Villaseñor, J. L., Ortiz, E. y Rodríguez, A. (2013). Distribución geográfica y riqueza del género *Cosmos* (Asteraceae, Coreopsidae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84, 536–555. <http://dx.doi.org/10.7550/rmb.31481>
- Vázquez-García, J. A., Cuevas, G. R., Cochrane, S. T., Iltis, H. H., Santana, M. F. J. y Guzmán, H. L. (1995). Flora de Manantlán: plantas vasculares de la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán Jalisco-Colima, México. *Sida, Botanical Miscellany*, 13, 1–312.
- Villaseñor, J. L. (2003). Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. *Interciencia*, 28, 160–167.
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87, 559–902. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- Willis, F., Moat, J. y Paton, A. (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. <https://doi.org/10.1023/A:1023679329093>
- Xu, Z. y Deng, M. (2017). Identification and control of common weeds, volume 2. Zhejiang, China: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-024-1157-7_39