

Manejo y aprovechamiento de recursos

Distribución de la cobertura vegetal y del uso del terreno del municipio de Zapotitlán, Puebla, México

Vegetation cover and land use distribution in the Municipality of Zapotitlán, Puebla, Mexico

Mayra Mónica Hernández-Moreno ^{a, *}, Oswaldo Téllez-Valdés ^a, Enrique Martínez-Meyer ^b,
Luis Alfredo Islas-Saldaña ^c, Víctor Manuel Salazar-Rojas ^a y Humberto Macías-Cuéllar ^a

a Unidad de Biología, Tecnología y Prototipos, Facultad de Estudios Superiores Iztacala Universidad Nacional Autónoma de México, Avenida de los Barrios Número 1, Colonia Los Reyes Iztacala, 54090 Tlalnepantla, Estado de México, México

b Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Tercer Circuito s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510 Ciudad de México, México

c Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México, Antigua Carretera a Pátzcuaro 8701, 58190 Morelia, Michoacán, México

*Autor para correspondencia: hernandez.moreno@iztacala.unam.mx (M.M. Hernández-Moreno)

Recibido: 20 julio 2020; Aceptado: 5 noviembre 2020

Resumen

La identificación de la distribución espacial de la cobertura vegetal y el uso del terreno (CVUT) es relevante para la evaluación y planificación del manejo sustentable de cualquier territorio. El objetivo de este trabajo es mostrar la distribución actual de CVUT en el municipio de Zapotitlán, Puebla, con un mapa en escala 1:50,000. Se realizó una clasificación de una imagen de satélite Landsat-8 OLI, utilizando el método de bosques aleatorios, datos de verificación de campo y datos auxiliares (variables topográficas y climáticas). Se obtuvo un valor de exactitud total de la clasificación de 68% y un coeficiente de Kappa de 0.63. El 79.7% de la zona presenta cobertura vegetal natural, siendo la tetechera de *Cephalocereus tetetzo* la clase dominante (21.2%). En 8.9% del territorio se realizan actividades agrícolas y el 10.1% está desprovista de cobertura vegetal. La zona de estudio presenta un nivel bajo de transformación territorial, sin embargo, elaborar la cartografía de la distribución de la CVUT en la escala geográfica señalada, permitirá analizar los procesos de modificación o conversión, valorar el impacto de las acciones de conservación y orientar acciones de manejo sustentable de las coberturas vegetales reconocidas en el área.

Palabras clave: Valle de Tehuacán-Cuicatlán; Asociaciones vegetales; Clasificación de imágenes por aprendizaje automatizado; Bosques aleatorios; LANDSAT-8

Abstract

The identification of Land Use and Vegetation Cover (LUVC) distribution is relevant for sustainable land management and planification of any territory. The aim of this study is to present the current spatial distribution of LUVC of the Municipality of Zapotitlán, Puebla, with a map on a scale of 1:50,000. We classified a Landsat-8 OLI satellite image using the random forest method, field verification data, and complemented the analysis with topographic and climatic variables. We obtained an overall accuracy of 68% and a Kappa coefficient of 0.63. We found that 79.7% of the area still holds natural vegetation cover, being the tetecho, *Cephalocereus tetetzo*, forest (“tetechera”) the dominant class (21.2%). In 8.9% of the territory, people carry out agricultural activities and 10.1% correspond to bare soil. Much of the area still holds natural vegetation, however, the cartography of LUVC distribution in that geographical scale, will allow to analyze the modification or conversion processes, assess the impact of conservation actions, and guide actions for the sustainable management of natural vegetation cover.

Keywords: Tehuacán-Cuicatlán Valley; Plant associations; Image classification by learning machine; Random forest; LANDSAT-8

Introducción

Las zonas áridas y semiáridas revisten gran importancia debido a la extensión que ocupan en el planeta (Rotenberg y Yakir, 2010; Schimel, 2010; Zaffar et al., 2005), ya que proveen una importante cantidad de bienes y servicios ecosistémicos, entre ellos la producción de alimentos, fibras, forraje, leña y productos bioquímicos, la regulación del clima a nivel local, la captación de carbono y por su diversidad e identidad cultural (Zaffar et al., 2005). Sin embargo, la problemática que representa el estrés hídrico al que se ven sometidas refleja que son sistemas muy vulnerables a la degradación, por el impacto de las actividades humanas (Orr et al., 2017). En México, las zonas áridas no son la excepción a ese problema, pero además, son importantes debido a la riqueza y diversidad de especies vegetales y a los altos niveles de endemismo que presentan (Dávila et al., 2002; González-Medrano, 2012; Montaña y Monroy, 2000; Muñoz et al., 2008; Rzedowski, 2006; Velasco-Molina, 1991), además de que albergan más de 25 grupos indígenas, con un vasto conocimiento tradicional sobre sus recursos (Casas et al., 2014; González-Medrano, 2012; Montaña et al., 2006). Tomando en cuenta lo anterior, es de suma importancia conocer a detalle la estructura y composición de estos sistemas y entender los procesos de transformación a los que están sujetos.

Dos de los elementos estructurales del paisaje son la cobertura y el uso del terreno. El primero de éstos incluye a los atributos de la superficie terrestre y del subsuelo de origen natural, pero también las construcciones hechas por el ser humano, como carreteras, ciudades, presas, etc. (EIONET, 2020; Jansen y Di Gregorio, 2002; Lambin y Geist, 2006). El uso del terreno se refiere a cómo los seres humanos aprovechan la cobertura vegetal (CV) para producir bienes y servicios (Chilar y Jansen, 2001;

Lambin y Geist, 2006). Así, la CV, entendida como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, producto de la evolución ecológica y que está limitada por factores biofísicos, como el clima, la topografía, el tipo de suelo y la disponibilidad de agua (López et al., 2010), forma parte de la cobertura del terreno y es materia fundamental para describir el uso de éste. Por ello, es de suma importancia contar con información sobre la distribución espacial de la CV y su uso, en el contexto de la planificación territorial y del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales de cualquier región, incluyendo su conservación, recuperación y ordenamiento (Jardel et al., 2013).

Existen diversos métodos para estudiar, conocer y representar la distribución espacial de la CV. Uno de ellos es la realización de cartografía, mediante la clasificación de imágenes de satélite, la cual consiste en “asignar a cada píxel de una imagen una clase o categoría particular, basada en propiedades estadísticas de sus valores de reflectancia en diferentes bandas del espectro electromagnético” (Kamusoko, 2019, p. 81). Uno de los métodos para la clasificación de imágenes es el aprendizaje automático (Holloway y Mengersen, 2018; Pereira e Silva et al., 2020; Rodríguez-Galiano y Chica-Rivas, 2014; Sharma et al., 2017), el cual se basa en métodos computacionales heurísticos sobre la relación entre la variable de respuesta y sus variables predictoras, centrándose en el rendimiento, más que en los mecanismos estadísticos subyacentes y supuestos del modelo, a diferencia de los enfoques estadísticos convencionales (Kamusoko, 2019).

Por otro lado, el municipio de Zapotitlán ha sido motivo de interés para realizar numerosos estudios científicos y en el que diversas instituciones gubernamentales han intervenido a lo largo de varias décadas (Semarnat y Conanp, 2013), debido a sus características biofísicas y socioeconómicas y por ubicarse dentro de la Reserva de

la Biosfera de Tehuacán Cuicatlán, declarada en 2018 “Patrimonio mixto de la Humanidad por la UNESCO”, por su valor natural y cultural (Hábitat Originario de Mesoamérica) (Arias-Toledo et al., 2000; Guevara, 2018; Muñoz et al., 2007, 2008; Osorio et al., 1996; Paredes-Flores et al., 2007; Zavala, 1980). Dentro de numerosos estudios sobre la región, destacan los realizados bajo el enfoque de caracterización y clasificación de la vegetación, como los trabajos de Miranda y Hernández (1963), quienes describen los tipos de vegetación de México. Por su parte, Osorio et al. (1996) analizan la diversidad β en la zona y describen los principales tipos de vegetación, en un gradiente altitudinal, que va de los 1,350 a los 1,700 m snm en el cerro Cutá y sus alrededores. Asimismo, Valiente-Banuet et al. (2000, 2009) describen los tipos de vegetación y asociaciones vegetales para el valle de Tehuacán-Cuicatlán, principalmente con base en su fisonomía y recientemente, el mapa de vegetación que proponen Pérez-Valladares et al. (2019), basado en información cartográfica digital disponible y conocimiento experto. Toda esta información presenta las características de las formaciones vegetales de algunos sitios de Zapotitlán, pero con alcances distintos. Por ello, son la base que brinda un entendimiento de la vegetación del valle de Tehuacán-Cuicatlán, pues ofrecen datos sobre la composición florística y la estructura en distintas áreas, así como interpretaciones fisonómicas, que se han ido acumulando a través del tiempo, y que han permitido tener mejores aproximaciones a un conocimiento más detallado de la vegetación y las asociaciones vegetales que existen en Zapotitlán. Sin embargo, debido a la complejidad ambiental y heterogeneidad del terreno del valle de Tehuacán-Cuicatlán, asociada a su historia geológica, variación topográfica, e historia milenaria de uso y manejo de los recursos naturales, aún no se cuenta con un mapa de la distribución actual de la cobertura del terreno del municipio de Zapotitlán, Puebla, en una escala geográfica que permita diferenciar la cobertura vegetal y el uso del terreno, así como orientar la toma de decisiones en el contexto del manejo y conservación de los recursos naturales (Casas et al., 2014; González-Medrano, 2003; Muñoz et al., 2007; Rzedowski, 2006). En consecuencia, el objetivo del presente trabajo es mostrar la distribución espacial de la CVUT del año 2018, para este municipio, generando un mapa en escala 1:50,000.

Materiales y métodos

El municipio de Zapotitlán se localiza en la parte sureste del estado de Puebla, al centro-sur de México (18°07'18" y 18°26'00" N, 97°19'24" y 97°39'06" O; fig. 1); tiene una superficie de 431.49 km², con una temperatura media anual entre 17.6 y 23.7 °C y una oscilación térmica que

varía entre 7 y 14 °C (García, 2004). La precipitación media anual registrada en el área es de 412.4 mm (Muñoz et al., 2007) y pertenece a dos regiones geomorfológicas: el noreste forma parte del valle de Tehuacán y el resto está conformado por la sierra de Zapotitlán (Muñoz et al., 2007).

Fisiográficamente, la zona es compleja y variable, como consecuencia del origen y antigüedad del área (Muñoz et al., 2008; Valiente-Banuet et al., 2000). El relieve se refleja en la variación altitudinal, que va de los 1,380 a los 2,580 m snm en las fluctuaciones de las pendientes, así como en sus formas de relieve (Muñoz et al., 2008; Valiente-Banuet et al., 2000). La litología superficial está dominada por asociaciones de rocas sedimentarias, como calizas, lutitas, conglomerados y areniscas (Muñoz et al., 2007; Valiente-Banuet et al., 2000), con 4 grupos de suelo: Leptosoles, Regosoles, Fluvisoles y Calcisoles (Muñoz et al., 2007). En su mayor parte, el municipio pertenece a la región hidrológica RH28 de la cuenca del Papaloapan; solo el extremo SO pertenece a la cuenca del Balsas (Muñoz et al., 2007).

La vegetación se considera un relicto del matorral xerófilo que alguna vez imperó en todo el valle de Tehuacán, destacando que 13.9% del total de las especies son endémicas (Dávila et al., 2002). Debido a la heterogeneidad ambiental de la zona, la agrupación de las diferentes especies permite que haya variantes en las asociaciones vegetales, entre las que dominan los bosques de cactáceas columnares, como la tetechera de *Cephalocereus tetetzo* y el cardonal de *C. columna-trajani*; el mezquital de *Prosopis laevigata*, el mexical y la selva baja caducifolia (Valiente-Banuet et al., 2000, 2009). De acuerdo con Arias-Toledo et al. (2000), Paredes-Flores et al. (2007) y Sánchez (2007), los usos del terreno registrados se pueden clasificar en: 1) agrícola de temporal anual y de riego; 2) sistemas agroforestales, agroganaderos y agroindustriales (granjas avícolas); 3) uso ganadero de caprinos, equinos y bovinos; 4) uso forestal no maderable; 5) uso minero, con explotación de yacimientos de ónix, de recursos pétreos, de áreas dedicadas a la producción de sal artesanal en las salinas (Vallejo et al., 2015) y del suelo arcilloso de Los Reyes Metzontla, para la elaboración de artesanías de barro con técnicas prehispánicas (Arias-Toledo et al., 2000), y 6) uso urbano, con la presencia de vivienda con sistemas de traspatio, para autosubsistencia e infraestructura urbana.

Para cubrir los objetivos del trabajo se diseñó una ruta de 4 pasos que incluye el manejo de la base de datos, la generación de la leyenda, la clasificación de la imagen de satélite y el trabajo de campo. Para el primero de estos pasos, se trabajó con una base de datos de 15,221 registros florísticos (Téllez, 2019), que fue depurada con la finalidad

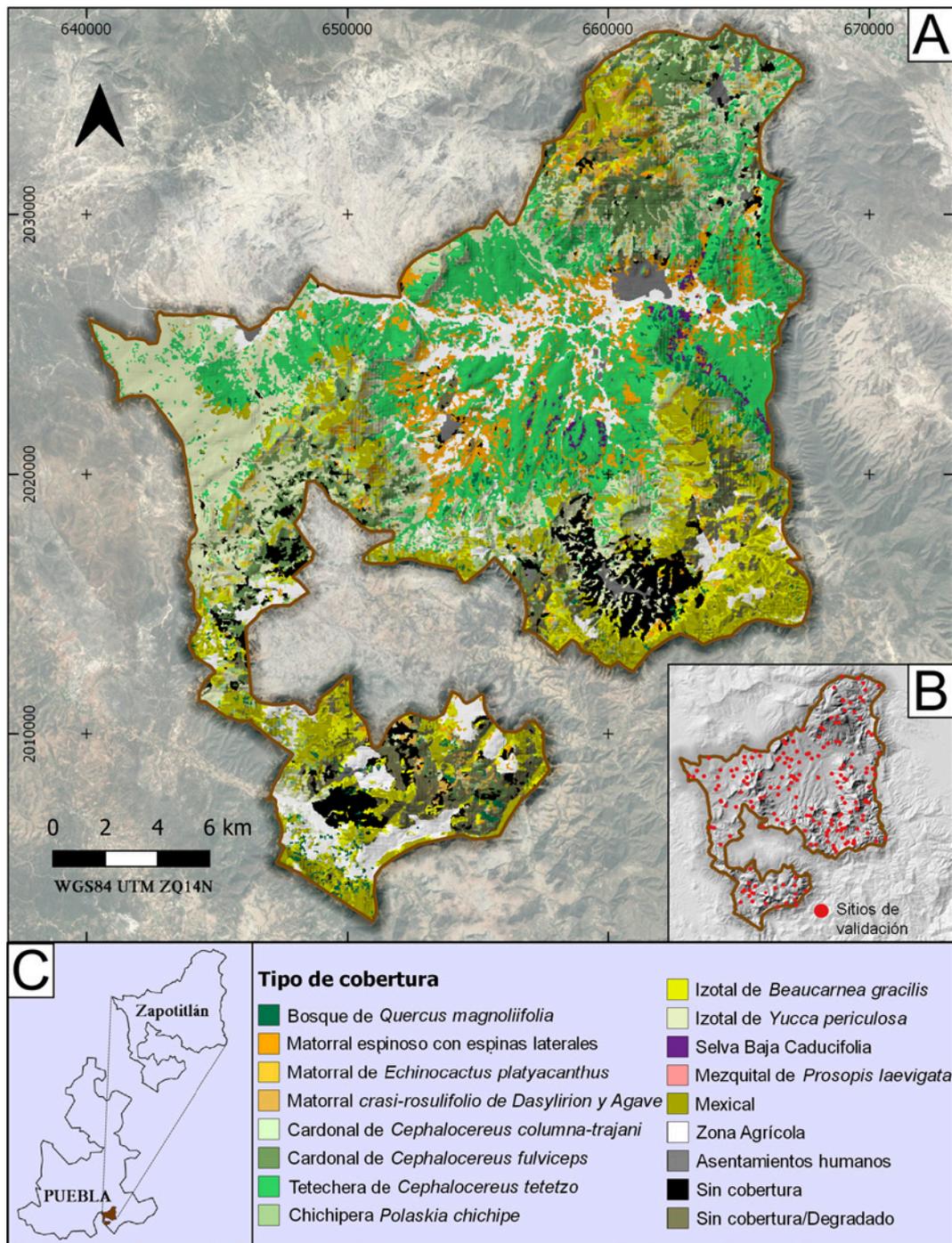


Figura 1. A) Cobertura vegetal y uso del terreno (CVUT) del municipio de Zapotitlán, Puebla. B) Mapa de puntos de verificación en campo. C) Ubicación del municipio en Puebla.

de eliminar registros duplicados, mal georreferenciados, o que carecieran de la información sobre el tipo de asociación vegetal, obteniéndose 322 sitios distribuidos en la zona de estudio, a la que se le adicionaron 198

puntos de verificación en campo. Esta información fue reclasificada en el programa ArcMap 10.5, para generar las capas vectoriales de los sitios registrados en cada uno de los tipos de CVUT y crear los campos de entrenamiento

para la clasificación. Adicionalmente, se compiló una base de datos de 85,000 registros (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>) (Conabio, 2020), que incluye los 15,221 de Téllez (2019), con la que se elaboró un listado de especies por tipo de CVUT identificados para Zapotitlán, mediante el cruce de las bases de datos (apéndice).

Para la generación de la leyenda, se construyó una propuesta conformada por 17 clases de CVUT (tabla 1). El sistema de clasificación empleado para nombrar las clases de CV es el propuesto por Valiente-Banuet et al. (2009), el cual define las asociaciones vegetales para el valle de Tehuacán-Cuicatlán con base en criterios estructurales, fisonómicos y de la composición de especies; entendiendo como asociación vegetal a las variaciones en la composición y estructura dentro de un tipo de vegetación, de acuerdo con la diversidad en las características del suelo, el clima, la pendiente, la orientación, la altitud, las interacciones bióticas entre las especies y su diversificación (Heywood, 1954). Para los usos del terreno se utilizó la clasificación propuesta por el INEGI (2017a). Sin embargo, la heterogeneidad ambiental del sitio de trabajo y la dificultad de acceso y muestreo en algunos sitios, no han permitido disponer de información suficiente, por lo que las clases tetechera de *C. tetezo* y la de *C. mezcalaensis* y *C. macrocephala*, se integraron como una sola clase denominada tetechera de *Cephalocereus tetezo* (Tet_Ct).

La clasificación se realizó mediante técnicas no paramétricas de aprendizaje automático (Rodríguez-Galiano y Chica-Rivas, 2014), utilizando como insumo una imagen de satélite Landsat 8-OLI (30 m de resolución espacial) de febrero de 2018, obtenida de la plataforma Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Asimismo, se utilizaron los paquetes ‘caret’ (Kuhn, 2008), ‘nnet’ (Ripley, 2020), ‘e1071’ (Meyer et al., 2019), ‘raster’ (Hijmans et al., 2019) y ‘random forest’ (Breiman y Cutler, 2018) del programa de código abierto R versión 4.0 (Teme RDC, 2020). El proceso de clasificación se desarrolló en 4 etapas: 1) la preparación y visualización de datos, 2) la evaluación y selección del modelo óptimo, que produjeron una primera clasificación de la CVUT, 3) la post-clasificación y 4) la evaluación del mapa final. En la primera, se generó una imagen multibanda (bandas 1 a 7), en la cual se crearon los campos de entrenamiento usando diversos compuestos RGB (Franco, 2017). Los campos de entrenamiento se dividieron en subconjuntos de entrenamiento y validación, en una proporción 80:20; es decir, 80% de las áreas de entrenamiento se utilizaron para revisar el desempeño inicial del modelo y 20% para la evaluación final de la exactitud (Kamusoko, 2019). Utilizando el conjunto de entrenamiento, se graficaron los perfiles espectrales de cada clase de CVUT, la distribución de la densidad de las

clases en cada una de las bandas, la dispersión entre las clases y las bandas para diferenciar la separabilidad entre las clases de CVUT, así como las bandas a utilizarse en la modelación.

Una vez seleccionadas las clases finales y los insumos espectrales, se configuraron los parámetros de ajuste de los modelos de aprendizaje, método de remuestreo, número de iteraciones y de repeticiones que indica el número de pliegues o subconjuntos para realizar la validación cruzada (Kamusoko, 2019). Para evitar problemas de sobreajuste, se seleccionaron los modelos óptimos, tomando en cuenta los valores de exactitud total y el coeficiente de Kappa (Congalton y Green, 2019) y se estimó su rendimiento. El método de validación cruzada utilizado, es un procedimiento mediante el cual los datos de entrenamiento se subdividen en varios grupos mutuamente excluyentes y del mismo tamaño, para producir el modelo y después validarlo (Kamusoko, 2019); para ello, se seleccionaron 5 iteraciones de remuestreo y 5 subconjuntos (pliegues). Se evaluaron 5 diferentes modelos de aprendizaje automático: bosques aleatorios (RF, por sus siglas en inglés), máquina de soporte de vectores (SVM), funciones de particionamiento y regresión (R-part), vecino más cercano (KNN) y redes neurales artificiales (ANN), utilizando, como datos auxiliares (Ghosh et al., 2014), las 7 bandas de la imagen LANDSAT, las variables topográficas altitud y orientación, extraídas a partir del modelo digital de elevación (SRTM, 2018, resolución de 30 m) y las variables climáticas de precipitación anual y temperatura máxima anual (Cuervo-Robayo et al., 2014), reinterpoladas a 30 m de resolución con el programa ANUCLIM 6.1 (Xu y Hutchinson, 2013), que utiliza un modelo digital de elevación de esa resolución y los archivos de superficie generados en la interpolación hecha originalmente a 1 km, con el programa ANUSPLIN 4.4 (Xu y Hutchinson, 2013). Para esta primera clasificación, el modelo resultante de las 2 primeras etapas de trabajo fue seleccionado mediante el criterio que emplean Pereira e Silva et al. (2020) para los valores de exactitud total y coeficiente de Kappa: pobre: < 0, leve: 0-0.2, justo: 0.21-0.4, moderado: 0.41-0.6, substancial: 0.61-0.8, casi perfecto: 0.81-1.0.

En la posclasificación, en primer lugar, se separaron las coberturas agregadas en la etapa de preparación y visualización. Para esto, se utilizó el registro geográfico de las especies más representativas de cada clase y se modeló su distribución potencial (MDP), generando diferentes modelos candidatos, mediante el algoritmo de máxima entropía y seleccionando el de mejor desempeño con los criterios ROC parcial y tasas de omisión, con el paquete ‘kuenm’ (Cobos et al., 2019; Phillips et al., 2006). Para realizar los MDP se utilizaron las variables bioclimáticas elaboradas por Cuervo-Robayo et al. (2014), interpoladas

Tabla 1

Leyenda jerarquizada en tres niveles. El nivel 1 distingue entre vegetación natural y usos del terreno. El nivel 2 muestra el sistema de clasificación de los tipos de uso del suelo y vegetación (INEGI, 2107a). El nivel 3 presenta las clases del mapa de cobertura vegetal y uso del terreno (CVUT), según Valiente-Banuet et al. (2009).

Clase	CVUT (clave) (área)	Descripción (número de familias/especies)
Cobertura Vegetal Natural		
Bosque de encino		
1	Bosque de <i>Quercus magnoliifolia</i> (BQm) (782.4 ha/1.8%)	En barrancas y laderas, en zona de contacto de calizas y lutitas con areniscas y de areniscas con conglomerados, entre 1,700 y 1,800 m snm. La especie dominante es un árbol de 3-12 m, caducifolio (36/134).
Matorral desértico micrófilo		
2	Matorral espinoso con espinas laterales (MEel) (2792.9 ha/6.5%)	En piedemonte y planicies con lutitas y areniscas, a 1,500 m snm. Dominan arbustos espinosos, caducifolios (52/182).
3	Matorral de <i>Echinocactus platyacanthus</i> (M_Ep) (450.6 ha/1%)	En laderas de lutitas con areniscas y afloramientos de calizas, de 1,600 a 1,800 m de altitud. La especie dominante presenta individuos de hasta 2.5 m (26/55).
4	Matorral crasirosulifolio de <i>Dasyliirion</i> y <i>Agave</i> (MCR_DA) (606.8 ha/1.4%)	En laderas y cimas de los cerros formados por calizas, de 1,700 a 1,900 m snm. Predominan plantas con hojas en forma de roseta, con o sin tallos evidentes (41/107).
Matorral crasicaule		
5	Cardonal de <i>Cephalocereus columna-trajani</i> (Car_Cct) (417.4 ha/1%)	En laderas formadas por lutitas con areniscas, entre 1,500 y 1,700 m de altitud. La especie dominante alcanza los 10 m, con tallo monopódico (30/95).
6	Cardonal de <i>C. fulviceps</i> (Car_Cf) (2544 ha/5.9%)	En mesas, lomas, colinas y laderas en zonas de contacto de lutitas y areniscas y conglomerados con calizas, de 1,700-1,900 m snm. La especie dominante alcanza hasta 10 m en el tronco principal, a partir del cual ramifica profusamente (54/231).
7	Tetechera de <i>C. tetetzo</i> (Tet_Ct) (9129 ha/21.2%)	En lomeríos, laderas, pie de monte y planicies con lutitas y areniscas y ocasionalmente calizas o conglomerados, entre 700 y 1,500 m de altitud. La especie dominante es una cactácea columnar muy ramificada, de hasta 8 m (78/503).
8	Chichipera de <i>Polaskia chichipe</i> (Ch_Pch) (1248.2 ha/2.9%)	En cerros y laderas formados por basalto con brecha volcánica, de 1,700 a 1,900 m snm. La especie dominante es un cactus arborecente, de 3 a 5 m, muy ramificado (27/103).
Matorral desértico rosetófilo		
9	Izotal de <i>Beaucarnea gracilis</i> (Iz_Bg) (3289 ha/7.6%)	En laderas, piedemonte y planicies con una alta diversidad litológica (calizas, conglomerados, lutitas y areniscas, esquistos, basaltos y brechas volcánicas), a 1,600 m snm. La especie dominante tiene la base leñosa muy ensanchada, de hasta 2 m de diámetro (61/252).
10	Izotal de <i>Yucca periculosa</i> (Iz_Yp) (8852.9 ha/20.5%)	En laderas, piedemonte y planicies formados por lutitas y areniscas, hasta los 1,700 m snm. La especie dominante, de hasta 4 m, es ramificada, con hojas sin espinas laterales y una espina terminal (62/399).
Selva baja caducifolia		
11	Selva baja caducifolia (SBC) (241.7 ha/0.6%)	En laderas altas y cimas de los cerros formados por lutitas y areniscas, desde los 1,700 m snm. Predominan especies arbóreas caducifolias, de hasta 10 m (28/111).
Bosque de mezquite		
12	Mezquital de <i>Prosopis laevigata</i> (Mez_Pl) (23 ha/0.1%)	Sobre un sistema de terrazas fluviales altamente fragmentadas, entre 1,450 y 1,550 m de altitud. La especie dominante es un árbol perennifolio, de 2-7 m; una alta proporción de las especies con espinas (36/114).

Tabla 1. Continúa

Clase	CVUT (clave) (área)	Descripción (número de familias/especies)
Chaparral		
13	Mexical (Mex) (4005 ha/9.3%)	En laderas con lutitas y areniscas o calizas; escarpes con areniscas y conglomerados, de 1,900 a 2,400 m snm. Constituido por arbustos perennifolios, con hojas esclerófilas y que no sobrepasan los 2 m (63/304).
Uso del Terreno u otros elementos		
Área agrícola		
14	Zona agrícola (ZA) (3841 ha/8.9%)	Áreas de producción de cultivos que son obtenidos para su utilización por el ser humano, ya sea como alimentos, forrajes, ornamental, o industrial (91/457).
Asentamientos humanos		
15	Asentamientos humanos (AH) (544 ha/1.3%)	Sitio específico donde se establecen viviendas y otras estructuras, en donde se llevan a cabo las actividades sociales y económicas, así como vialidades (60/229).
Área desprovista de vegetación		
16	Sin cobertura (SC) (2204.9 ha/5.1%)	Comunidades vegetales no visibles o detectables. Incluye el cauce del río principal, bancos de material, salineras y sitios sin vegetación (53/248).
17	Sin cobertura, con suelo degradado (SC_sd) (2173 ha/5%)	Sitios desprovistos de vegetación en donde el suelo o la roca quedan expuestos (45/237).

a 30 m, empleando el mismo método de la etapa anterior. Teniendo los MDP, se asignó la categoría correspondiente a cada pixel de las clases agregadas, comparando los mapas de las diferentes especies, y asignándoles el tipo de cobertura vegetal en función del valor máximo de probabilidad. El segundo paso de esta etapa consistió en revisar y mejorar las coberturas de las zonas agrícolas y los asentamientos humanos, comparándolas con las imágenes de alta resolución de la plataforma Google Earth Pro y la base de datos Open Street Map, (www.openstreetmap.org), ambos de 2020. El mapa fue generalizado, aplicando un filtro espacial con un umbral de 6 pixeles (todos los parches con menos de 6 pixeles, se generalizan) y con una conexión de pixel de 4, en una ventana de 3×3 (Aldalur y Santamaría, 2002), para obtener el mapa final de la cobertura vegetal y uso del terreno de Zapotitlán, Puebla, cuya escala fue determinada de acuerdo con Priego-Santander et al. (2010).

La última etapa consistió en la evaluación del mapa final, mediante la realización de una matriz de confusión (Congalton y Green, 2019), en la cual se compararon las clases resultantes en la post-clasificación, contra las clases obtenidas a partir de los puntos de verificación. Se definieron 850 puntos de manera aleatoria, buscando alcanzar una representatividad de las 17 clases de CVUT, de acuerdo a lo sugerido por Lillesand et al. (2004). La asignación de la clase correspondiente a cada sitio de verificación se realizó comparando su área de influencia

con la de los sitios de entrenamiento, utilizando el algoritmo de región incremental automático, disponible con el complemento de Semi-Automatic-Plugin Classification (Congedo, 2016) en el software QGIS 3.10, el cual permite seleccionar los pixeles similares a un pixel semilla, considerando la similitud espectral, es decir, la distancia espectral de los pixeles adyacentes. De este modo, en donde las áreas de influencia de los sitios de verificación coincidían espacialmente con las áreas de entrenamiento, se asignó la clase de CVUT correspondiente. Un total de 652 puntos fueron discriminados con dicho algoritmo; los 198 restantes se identificaron en campo entre 2017 y 2018 a partir de la verificación directa en el terreno, aplicando conocimiento experto, tanto de los autores, como de los pobladores locales. De estos sitios, se cuenta con un registro fotográfico y videográfico. La calidad final del mapa de CVUT se evaluó mediante los criterios de exactitud y de coeficiente de Kappa empleados en la segunda etapa, y con los valores de sensibilidad (exactitud del usuario) y especificidad (Congalton y Green, 2019), para evaluar el desempeño individual de cada clase de CVUT.

La descripción y caracterización de cada tipo de CVUT se hizo integrando las propuestas por diferentes autores (INEGI, 2017a; Miranda y Hernández, 1963; Valiente-Banuet et al., 2009); además, se identificaron elementos conspicuos del paisaje, como el relieve y el tipo de roca en el que se establecen utilizando los mapas digitales en formato vectorial de topografía, en escala 1:50,000

y geología, en escala 1:250,000 (INEGI, 2002, 2013; tabla 1).

Resultados

La base de datos que se utilizó para generar los 160 campos de entrenamiento cuenta con información de la composición florística y distribución de la vegetación y uso del terreno para los 520 sitios. Con esa base de datos y la compilada a partir de otras fuentes de información, se contabilizaron 137 familias y 1,211 especies de plantas para todas las clases de CVUT en el municipio (apéndice).

A partir del análisis de la información de las bases de datos, se generó la leyenda que consta de 3 niveles jerárquicos (tabla 1). El nivel 1 discrimina solo 2 clases: cobertura vegetal natural y usos del terreno u otros elementos. En el nivel 2 se presenta la equivalencia con los tipos de uso del suelo y vegetación, resaltando que algunos de ellos agregan de 3 a 4 clases del siguiente nivel, como el matorral desértico micrófilo y el matorral crasicaule, por ser una clasificación general, que identifica grandes unidades de vegetación en función de su afinidad ecológica y fisonómica. En el 3 se presentan las clases de CV a nivel de asociación vegetal y los tipos de uso del terreno resultantes de la clasificación, obteniéndose 17 categorías, de las cuales 13 son de cobertura vegetal natural, 2 tipos de uso del terreno (agrícola y urbano) y las otras 2 referidas a áreas sin CV (tabla 1).

Para el sensor utilizado fue la banda 6 (1.566-1.651 μm), en la que las clases de CVUT presentaron una respuesta espectral con mayor variabilidad, siendo 11 de las 17 clases, las que presentaron una mayor diferencia entre sí, mientras que las otras 6 tuvieron una marcada similitud. Estas últimas se integraron en 3 categorías definidas por la agregación del matorral de *Echinocactus platyacanthus* con el matorral crasi-rosulifolio de *Dasyliirion* y *Agave* (*Echinocactus-Dasyliirion*), el izotal de *Yucca periculosa* con el matorral espinoso con espinas laterales (*Yucca-matorral espinoso*) y la tetechera de *Cephalocereus tetetzo* con la selva baja caducifolia (tetechera-selva baja). De este modo, en esta primera clasificación, quedaron definidas 14 categorías para su clasificación mediante los métodos de aprendizaje automatizado, siendo el de bosques aleatorios (RF) el que presentó un mejor desempeño, con un valor de exactitud total de 0.67 y de Kappa de 0.62 (fig. 2). Las variables que más contribuyeron en el rendimiento del modelo, con más de 80% de importancia, fueron la banda 1 (azul profundo), la precipitación anual, la banda 4 (rojo), la orientación de las laderas y la banda 5 (infrarrojo cercano).

Los modelos de distribución potencial permitieron discriminar las clases agregadas, en la siguiente proporción

de superficie: i) *Echinocactus-Dasyliirion*, en matorral de *Echinocactus platyacanthus* (42.6%) y matorral crasi-rosulifolio de *Dasyliirion* y *Agave* (57.5%), ii) *Yucca-matorral espinoso*, en izotal de *Yucca periculosa* (76%) y matorral espinoso con espinas laterales (24%) y iii) tetechera-selva baja, en tetechera de *Cephalocereus tetetzo* (97.4%) y selva baja caducifolia (2.6%). Por su parte, la revisión y mejoramiento con las imágenes en alta resolución y la plataforma de Open Street Map, incrementó las zonas agrícolas en 57.2% y los asentamientos humanos en 27%.

El producto principal de la clasificación automatizada y la posclasificación es el mapa de la cobertura vegetal y uso del terreno del municipio de Zapotitlán, Puebla (fig. 1), con una escala del modelo de nivel 4 (máximo 1:50,000) y una unidad mínima de mapeo de 6.25 ha. El mapa de CVUT muestra que 79.7% de la zona (34,385.5 ha) presenta cobertura vegetal natural, 10.1% (4378 ha) carece de ésta y en 8.9% (3841.3 ha) se desarrollan actividades agrícolas (tabla 1). Para la cobertura vegetal natural se encontró que la tetechera de *Cephalocereus tetetzo* es la clase dominante, cubriendo 21.2% del área y en ella se presentan 503 especies, seguida del izotal de *Yucca periculosa* (20.5% y 399 especies), el mexical (9.3%, 304) y el izotal de *Beaucarnea gracilis* (7.6%, 252). Las demás clases ocupan menos de 6% del territorio cada una. Las zonas dedicadas a la producción agrícola registran 457 especies, los asentamientos humanos cubren 1.3% del territorio, con 229 especies y las zonas sin cobertura y sin cobertura con suelo degradado, se distribuyen en 5.1% y 5% del área, con 248 y 237 especies, respectivamente (tabla 1).

La evaluación del mapa final mostró una exactitud total de la clasificación de 0.68 y un coeficiente de Kappa, de 0.63. Todas las clases obtuvieron valores de especificidad entre 0.95 y 0.99 (tabla 2), mientras que para el caso de la sensibilidad (exactitud del usuario), el cardonal de *Cephalocereus fulviceps*, la tetechera de *Cephalocereus tetetzo*, la selva baja caducifolia, el mezquital de *Prosopis laevigata* y los asentamientos humanos, presentaron valores muy altos: 0.87, 0.84, 0.82, 0.95 y 0.89, respectivamente. El izotal de *Yucca periculosa* y las zonas agrícolas, obtuvieron valores intermedios (0.67 y 0.69), mientras que el bosque de *Quercus magnoliifolia*, matorral espinoso con espinas laterales y el matorral de *Echinocactus platyacanthus* registraron valores de 0.38, 0.34, 0.25, respectivamente. Considerando la superficie que cubre cada clase en el terreno, 58.4% del territorio presenta un valor de exactitud de usuario muy alto (0.67-0.95), 32.3%, un valor medio (0.42-0.6) y 9.3%, bajo (0.25-0.38).

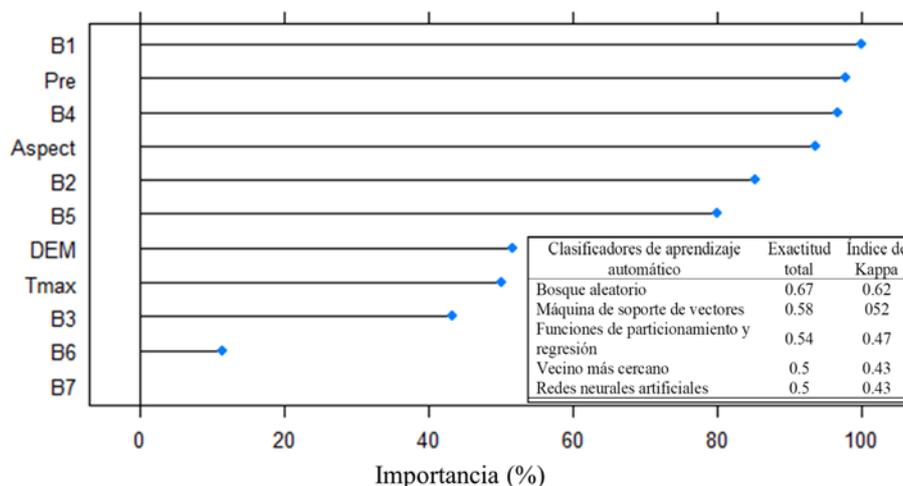


Figura 2. Porcentaje de importancia de las variables para el modelo de bosques aleatorios (B1 - B7, bandas 1 a 7 de la imagen Landsat 8; Pre, precipitación anual; Aspect, orientación de laderas; DEM, modelo digital de elevación; Tma, temperatura máxima anual), indicando los valores de exactitud total y del índice de Kappa obtenidos para los clasificadores empleados en la etapa de evaluación y selección del modelo.

Discusión

La descripción de los tipos de vegetación de México ha sido abordada desde los niveles, nacional (Gómez-Pompa, 1965; Miranda y Hernández, 1963; Rzedowski, 2006), regional (Mooney y Harrison, 1972), estatal (Miranda, 1952) y local (Martínez y Galindo-Leal, 2002; Valiente-Banuet et al., 2000). Sin embargo, la descripción de las asociaciones vegetales que los integran, aún es un tema pendiente en estos mismos niveles (nacional, regional y local), debido a su amplia variedad y al arduo trabajo de campo y gabinete que su estudio representa (Pérez-Valladares et al., 2019; Valiente-Banuet et al., 2009). Por tales motivos, elaborar una cartografía en donde los tipos de vegetación muestran una clara definición de su variación, sus componentes y su estructura, sigue siendo un reto metodológico y de sistematización de la información. No obstante, existen trabajos como el de INEGI (2017a, b) que elabora periódicamente la cartografía de uso de suelo y vegetación a nivel nacional en escala 1:250,000, el de Rzedowski et al. (1964), donde se cartografiaron los principales tipos de vegetación de la mitad septentrional del valle de México y el de Pérez-Valladares et al. (2019), quienes elaboran la cartografía de la vegetación del valle de Tehuacán-Cuicatlán, en escala 1:250,000, a partir de conocimiento experto.

Un aspecto particularmente difícil de resolver en la elaboración de la cartografía, ha sido la diferenciación de las asociaciones vegetales dentro de cada tipo de vegetación, utilizando imágenes de satélite (e.g., Martínez

y Galindo-Leal 2002; Vega et al., 2008), dado que su patrón de respuesta espectral no refleja detalladamente las variaciones en las características biofísicas del terreno, las interacciones bióticas entre las especies y su diversificación, pues el tamaño del objeto a representar, requiere ser cartografiado por debajo de una escala regional, lo cual no siempre se ajusta con los sistemas y métodos de clasificación convencionales (Pérez-Valladares et al., 2019; Yeo et al., 2020), además de que depende del acceso y disponibilidad (espacial y temporal) a los insumos (ortofotos e imágenes espectrales en alta resolución) necesarios para abordar estos estudios a la escala requerida (Bhatnagar et al., 2020; Yeo et al., 2020). Este es el caso de la vegetación del valle de Tehuacán-Cuicatlán, y en particular del municipio de Zapotitlán.

La flora de Zapotitlán, como todas en el país, es el resultado de procesos biofísicos (climáticos, geológicos y biológicos) (González-Medrano, 2003; Rzedowski, 2006), en interacción con las actividades humanas, que desde hace aproximadamente 12,000 años (McNeish, 1992; Valiente-Banuet et al., 2009) han moldeado un mosaico biocultural (Casas et al., 2014), que a su vez, ha configurado la diversidad de asociaciones vegetales presentes en la región (Miranda y Hernández, 1963; Valiente et al., 2000, 2009), y que son representadas en este trabajo en un mapa digital con 17 categorías de la CVUT (fig. 1). En el mapa referido, destaca que únicamente 8.9% del territorio está dedicado a las actividades agrícolas, en comparación con 79.7% que presenta cobertura vegetal natural, a pesar de la historia milenaria de actividad agrícola en la región

Tabla 2

Matriz de confusión entre clases del mapa final de CVUT y los datos de referencia (valores en píxeles). 1) Bosque de *Quercus magnoliifolia*; 2) matorral Espinoso con espinas laterales; 3) Matorral de *Echinocactus platyacanthus*; 4) matorral Crasi-rosulifolio de *Dasylistron* y *Agave*; 5) cardonal de *Cephalocereus columna-trajani*; 6) Cardonal de *C. fulviceps*; 7) tetechera de *C. tetetzo*; 8) chichipera de *Polaskia chichipe*; 9) izotal de *Beaucarnea gracilis*; 10) izotal de *Yucca periculosa*; 11) Selva baja caducifolia; 12) mezquital de *Prosopis laevigata*; 13) mexical; 14) zona agrícola; 15) asentamientos humanos; 16) sin cobertura; 17) sin cobertura, con suelo degradado; Sen) sensibilidad (exactitud de usuario); Esp) especificidad.

Clase mapa		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Total
Clase real	1	257			2	31				76				125					491
(datos de referencia)	2		665	39		57	10	257			271	12			35	1	63	27	1,437
	3	8	35	156	10	124	90	62		311					27		2	5	830
	4		151	65	284	2	36	43	17	48	78			17	20				761
	5	22	250	103		645	80	177			312	15			46	23	28	19	1,720
	6	78	225	156	86	275	3,282	15	278	59	397			16	52		30	14	4,963
	7	70	241	3			1	8,076	1	75	339			196	10				9,012
	8		28	9			7		479	256	15			58					852
	9	78	103	66	41		2	252	190	1,524	339	27		284					2,906
	10	78	1	15	94	3	129	125	8	51	4,393			369					5,266
	11	3	61					259			97	319		4	4				747
	12		10					307				16	96		132	5			566
	13	18			3				25	211			5	1,055	1		4	17	1,339
	14	58	202		7	5	142	35	9	226	24			7	2,465	101	206	78	3,565
	15	12				3				5	12				66	1,168	103	46	1,415
	16		2			3		5							326	3	455	178	972
	17		9			3		3							379	8	187	427	1,016
Total		682	1,983	612	527	1,151	3,779	9,616	1,007	2,531	6,588	389	101	2,131	3,563	1,309	1,078	811	3,7858
Sen		0.38	0.34	0.25	0.54	0.56	0.87	0.84	0.48	0.60	0.67	0.82	0.95	0.50	0.69	0.89	0.42	0.53	0.61
Esp		0.99	0.98	0.98	0.99	0.97	0.95	0.97	0.99	0.96	0.97	0.99	0.99	0.99	0.97	0.99	0.99	0.98	0.98

Exactitud total: 0.68; índice de Kappa: 0.63

(McAuliffe et al., 2001). Este bajo porcentaje que cubre la superficie agrícola está relacionado con la dominancia de un relieve conspicuo, que restringe la posibilidad de ampliar las fronteras agrícolas (Muñoz et al., 2007). Por otra parte, 10.1% del territorio no presenta cobertura vegetal, evidenciando procesos de degradación antrópica en la porción sureste, debido al aprovechamiento de los suelos arcillosos para la producción de cerámica y a las actividades agrícolas (Arias-Toledo et al., 2000); mientras que en las zonas altas, localizadas en la porción norte, se presentan rasgos de degradación natural, ocasionados por la ocurrencia de procesos erosivos y movimientos en masa (Medina-Sánchez et al., 2020; Muñoz et al., 2007).

El patrón de distribución de la CV identificado para el municipio a una escala de 1:50,000, coincide de manera general con el de Pérez-Valladares et al. (2019), elaborado a una escala 1:250,000, en las clases de vegetación identificadas y en el gradiente altitudinal en el que se localizan. Ambos estudios coinciden en 11 clases, siendo las diferencias la presencia de la selva baja caducifolia en el primero y del bosque de *Juniperus* en el segundo. Respecto al gradiente altitudinal, en ambos estudios se observa que en las partes más altas (1,700-2,400 m snm), se establece el bosque de *Quercus* asociado con el matorral desértico rosetófilo de *Dasyllirion* y *Agave* y el mexical, seguidos por el cardonal de *Cephalocereus fulviceps* y el matorral de *Echinocactus platyacanthus*, entre los 1,700 y 1,900 m snm, el cardonal de *Cephalocereus columna-trajani* y la tetechera de *Cephalocereus tetetzo*, entre los 700 y 1,700 m snm y el Mezquital de *Prosopis laevigata*, a los 1,450 m snm. Este patrón de distribución ocurre en forma de parches, formando un mosaico heterogéneo que, en general, sigue un patrón de cambios altitudinales, geomorfológicos y litológicos que delimitan su distribución (tabla 1), a pesar de que en muchos sitios se encuentran intercaladas (figs. 3, 4). El uso pecuario, principalmente de ganado caprino, se lleva a cabo en todo el municipio, como una actividad que está sujeta a las regulaciones de la Reserva de la Biosfera de Tehuacán Cuicatlán (Semarnat y Conanp, 2013).

La aproximación metodológica del presente trabajo permitió corroborar que una de las ventajas de utilizar modelos de aprendizaje de máquina en la clasificación de imágenes satelitales, es la posibilidad de incorporar a las variables biofísicas como información auxiliar que permiten modelar de forma más precisa la distribución de la cobertura del terreno, por ser elementos fundamentales para ello (Ghosh et al., 2014; Kamusoko, 2019; Valiente-Banuet et al., 2009). Lo anterior fue un aspecto crucial, ya que como lo muestran las variables de mayor importancia y el desempeño obtenido por el algoritmo de los bosques aleatorios (fig. 2), la distribución de la

cobertura vegetal se encuentra fuertemente influenciada por la precipitación anual y la exposición de laderas. Es de destacarse que tanto la clasificación de INEGI (2017b), como la representación cartográfica de Pérez-Valladares et al. (2019) en escala 1:250000, no reflejan esta variedad geomorfológica y climática específica para el municipio de Zapotitlán. Además, la variabilidad espectral registrada por las clases de CVUT en el proceso de visualización, está determinada por los niveles de clorofila y la actividad fotosintética (Manzo-Delgado y Meave, 2003), vinculados con la composición de especies de cada clase y dado que, 2 clases de CV con una composición florística similar pueden presentar la misma respuesta espectral, el uso de sensores remotos de resolución media tiene que ser compensado mediante un exhaustivo trabajo en campo y un enfoque semiautomatizado, como el desarrollado en la presente contribución (Adams, et al., 2020; Pérez-Valladares et al., 2019; Reyes-Palomeque, 2021). No obstante, el uso de imágenes con una resolución espacial de 30 m es considerado adecuado para representar los objetos del terreno, en una escala de 1:50,000 (Aronoff, 2005). Asimismo, la baja separabilidad entre clases, que derivó en su agregación, responde a la alta reflectividad del suelo desnudo que enmascara la respuesta espectral de la vegetación escasa, dificultando su clasificación (Rodríguez-Galiano y Chica-Rivas, 2014). Por ello, el uso de los modelos de distribución potencial (Peterson et al., 2011; Phillips et al., 2006), elaborados en la posclasificación, y la evaluación de la certidumbre de cada clase, hecha con los puntos de verificación (tabla 2), representaron un elemento metodológico importante, pues permitieron diferenciar y valorar las clases que habían sido agregadas y la exactitud de su clasificación (Von Thaden et al., 2020).

La matriz de confusión (tabla 2) mostró que aún con la posclasificación, el mapa final de CVUT presentó una exactitud total de 68%, con un índice de Kappa que es considerado substancial para Pereira e Silva et al. (2020) y moderadamente alto para Ghosh (2014). Este resultado es muy cercano a 69.5% de exactitud total referido por Cheung-Wai y Paelinckx (2008), usando el mismo clasificador para 16 clases, y mayor a 61% reportado por Pérez-Valladares et al. (2019). Sin embargo, dichos resultados son menores al compararlos con los obtenidos por otros autores (Ghosh et al., 2014; Holloway y Mengersen, 2018; Xie et al., 2019), quienes han probado diferentes modelos de clasificación de aprendizaje automático en ecosistemas áridos y semiáridos, obteniendo rendimientos altos, en los cuales la sensibilidad (exactitud de usuario) por clase osciló entre 81 y 100% (Pal, 2005; Rodríguez-Galiano y Chica-Rivas, 2014). En el presente trabajo, la sensibilidad alcanzada en cada una de las clases estuvo entre el 29%

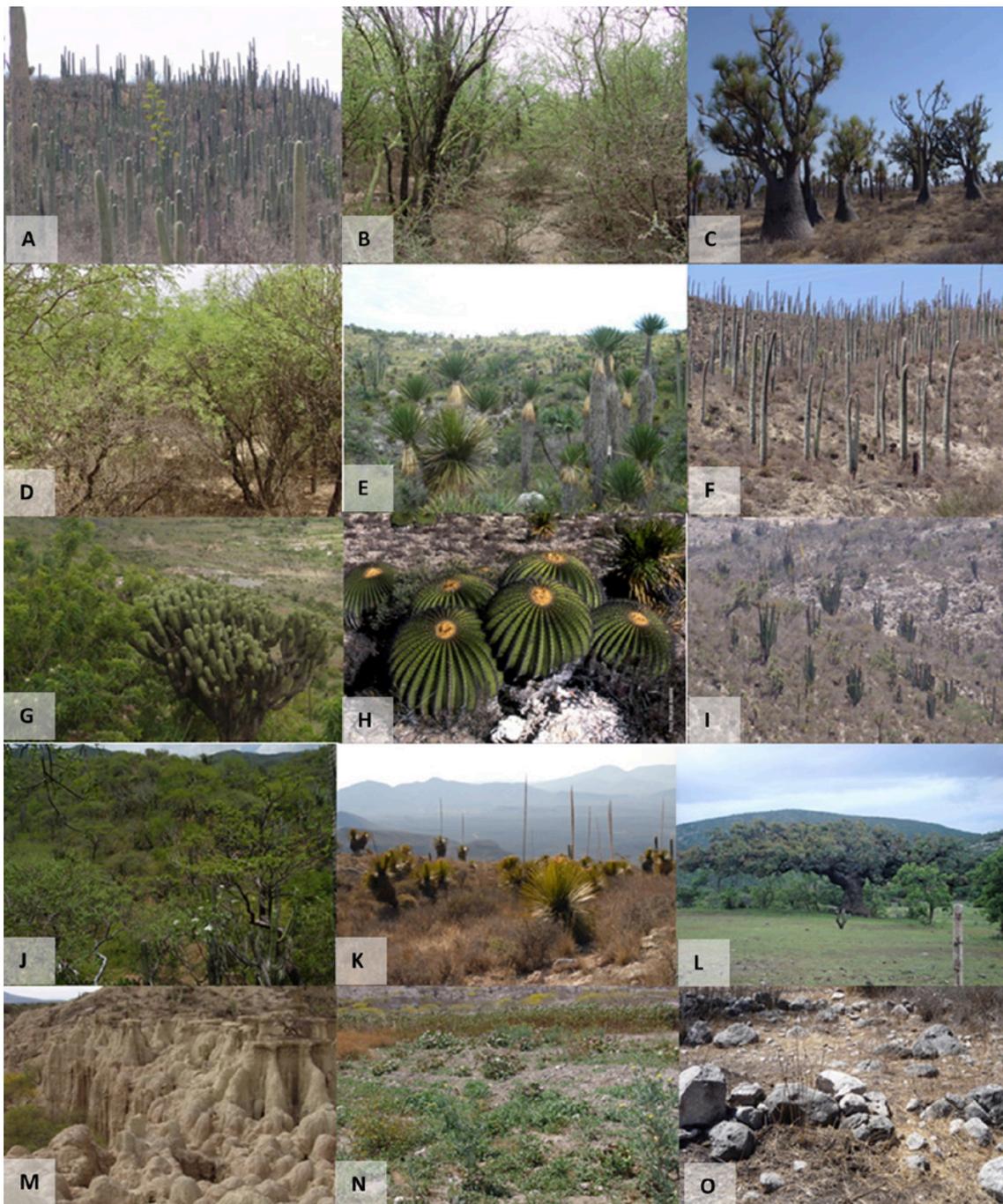


Figura 3. Imágenes de las clases de cobertura vegetal y uso del terreno (CVUT) del municipio de Zapotitlán, Puebla. De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: A) tetechera *C. tetetzo*, B) matorral espinoso con espinas laterales, C) izotal *B. gracilis*, D) mezquital *P. laevigata*, E) izotal de *Y. periculosa*, F) cardonal *C. columna-trajani*, G) chichipera de *P. chichipe*, H) matorral de *E. platyacanthus*, I) cardonal de *C. fulviceps*, J) selva Baja Caducifolia, K) matorral crasi-rosulifolio de *Dasyliirion* y *Agave*, L) bosque de *Q. magnoliifolia*, M) sin cobertura con suelo degradado, N) zona agrícola, O) sin cobertura.

y 95% (tabla 2), variación que está relacionada con el tamaño de la superficie de cada clase (tabla 1). En este sentido, las clases con extensiones superiores a las 9,000

ha (tetechera de *Cephalocereus tetetzo* e izotal de *Yucca periculosa*) presentaron valores de sensibilidad superiores a 67%, mientras que las clases que cubren menos de 4,000

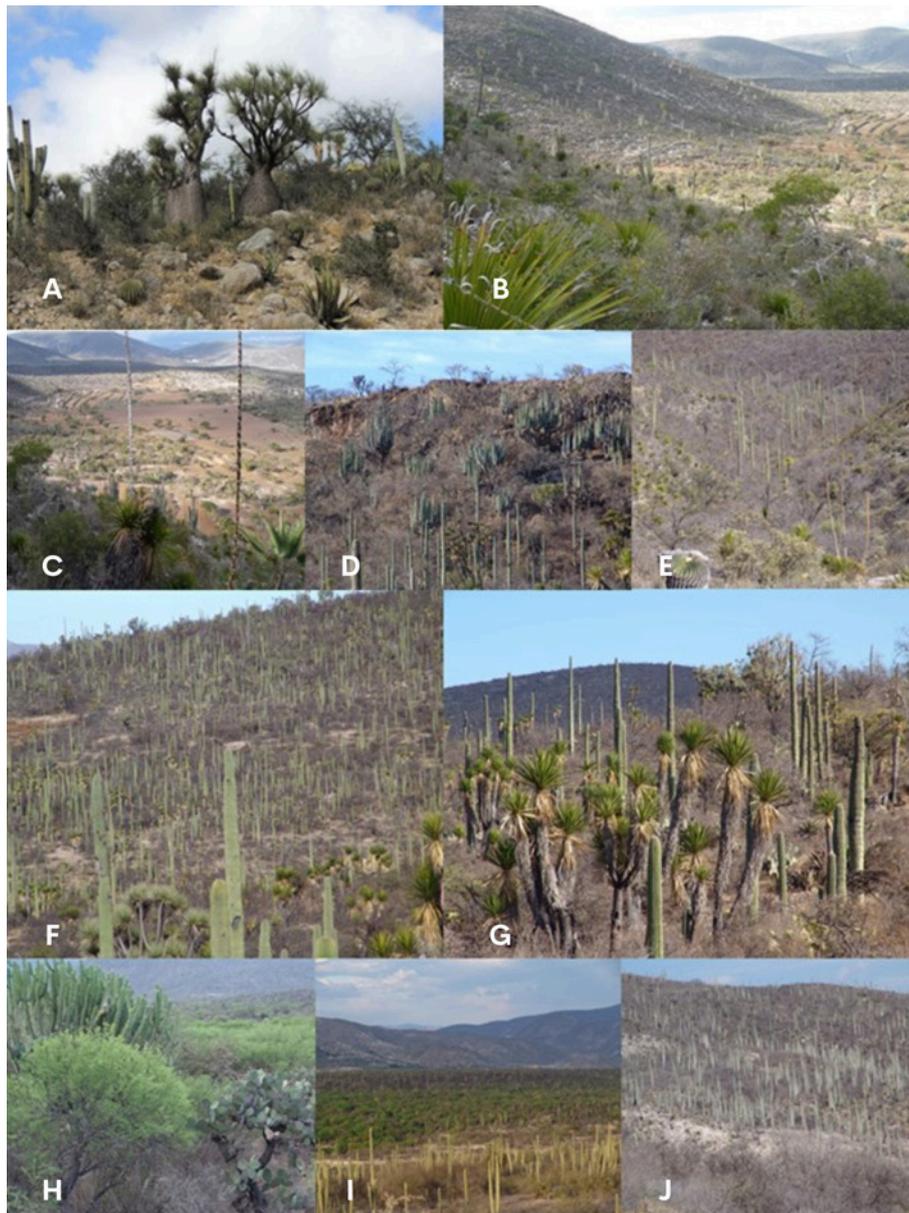


Figura 4. Composición de imágenes que muestra la distribución de las asociaciones vegetales en forma de mosaico y los límites entre ellas. A) Izotal de *B. gracilis*; B) vista panorámica de matorral crasi-rosulifolio de *Dasyliirion* y *Agave*, en ladera alta, mardonial de *C. fulviceps*, en ladera media y piedemonte; C) vista panorámica desde matorral crasi-rosulifolio de *Dasyliirion* y *Agave* que muestra las zonas agrícolas con manchones de izotal de *Y. periculosa* en la parte plana de una mesa; D) cardonal de *C. fulviceps* sobre ladera; E) mexical en la parte alta de la ladera y tetechera *C. mezcalaensis* en la ladera media; F) vista panorámica de tetechera *C. tetetzo* con izotal de *Y. periculosa* e izotal *B. gracilis*, sobre lomas; G) acercamiento de la anterior; H) mezquital de *P. laevigata*; I) tetechera de *C. tetetzo* y sus límites con el mezquital; J) cardonal de *C. columna-trajani* y sus límites hacia el matorral espinoso con espinas laterales en la planicie.

ha (matorral de *Echinocactus platyacanthus* y mezquital de *Prosopis laevigata*), presentaron valores por debajo de 34%. La excepción fue la selva baja caducifolia, que registró una exactitud de 82%, pero solo se encuentra en

241.7 ha del territorio, esto puede deberse a que en la primera fase de la clasificación, esta clase se agregó con la de tetechera de *Cephalocereus tetetzo*, que es la segunda de mayor distribución en el territorio (9,129 ha). El hecho

de que 90.7% del municipio presenta clases de CVUT con porcentajes medios a altos de píxeles correctamente ubicados en su clase, permite señalar que la mayor parte del territorio fue clasificado con un nivel de certidumbre óptimo.

Por otro lado, la alta especificidad registrada en todas las clases (tabla 2), aunada a la baja sensibilidad de aquellas con menor extensión, indican las dificultades que tuvo el algoritmo de los bosques aleatorios para diferenciar los límites entre ellas. Esto se reafirma por el hecho de que el número de verdaderos positivos por clase, es decir el número de píxeles correctamente clasificados, siempre fue mayor al de los falsos positivos, es decir, los píxeles mal clasificados (Congalton y Green, 2019) (tabla 2). Lo anterior implica que, si bien el mapa puede tener limitaciones en 10.1% de la superficie del municipio debido a la baja sensibilidad en algunas de las clases, su distribución y localización puede ser tomada como punto de referencia, siempre y cuando la geometría de sus límites sea mejorada para generar información confiable (Von Thaden et al., 2020), empleando técnicas que permitan un trabajo más detallado, como la interpretación visual de imágenes de mayor resolución, obtenidas mediante el uso de vehículos no tripulados (drones) o de satélites comerciales. Sin embargo, su adquisición puede representar una limitación económica y un cierto grado de incertidumbre en cuanto a su disponibilidad temporal, pues no siempre los programas satelitales prevalecen en el tiempo, a diferencia del programa LANDSAT, que ha estado en funcionamiento desde los años 70 y que es de libre acceso (Franco, 2017; Pérez-Valladares et al., 2019; Von Thaden et al., 2020).

Numerosos estudios se han llevado a cabo en el valle de Tehuacán-Cuicatlán desde diversas áreas del conocimiento, muchos de ellos de índole biológico (Casas et al., 2014, 2016; Dávila et al., 2002; McAuliffe et al., 2001; MacNeish, 1992; Medina-Sánchez, et al., 2020; Muñoz et al., 2008; Valiente-Banuet et al., 2009; Vázquez, 2019). Este estudio ha permitido avanzar hacia el objetivo prioritario de identificar espacialmente la distribución de la cobertura vegetal y las actividades de origen humano del municipio de Zapotitlán, hasta un tercer nivel de agregación (tabla 1), integrando la composición de especies (apéndice), en un mapa digital conformado por 17 categorías de cobertura vegetal y uso del terreno (CVUT) en escala 1:50,000 (fig. 1). La aproximación metodológica desarrollada, permitió establecer un flujo de trabajo a partir de información generada por percepción remota, el uso de bases de datos de acceso libre y de proyectos previos, extenso trabajo de campo, y una ruta de clasificación semiautomatizada que facilitan la generación de resultados con una óptima calidad en períodos de tiempo más corto. Contar con la

cartografía digital de la CVUT, permitirá disponer de una base espacial actualizada para el desarrollo de proyectos de investigación científica, de planeación territorial y de manejo integral de los ecosistemas (conservación de áreas prioritarias, aprovechamiento sustentable y recuperación de zonas degradadas), así como el establecimiento de un sistema de monitoreo de la dinámica del cambio de cobertura y uso del terreno, a nivel local.

Lo anterior es un tema crucial debido a que es importante identificar las clases de cobertura vegetal con mayor riesgo de transformación y degradación por efecto de las actividades humanas. El mapa de CVUT muestra que, entre ellas podrían estar, la tetechera de *Cephalocereus tetetzo*, el izotal de *Yucca periculosa*, el mezquital de *Prosopis laevigata*, el izotal de *Beaucarnea gracilis* y el mexical, ya que colindan con las zonas de producción agrícola. Por otra parte, a partir del establecimiento de la Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán (Semarnat, 2013; Conanp, 2013), en diversas comunidades se han desarrollado actividades encaminadas a la conservación, la recuperación y el aprovechamiento de los ecosistemas, en colaboración con diversas instituciones públicas y privadas, por lo que también es importante evaluar la contribución de dichas actividades en la dinámica del cambio de cobertura y uso del terreno (Leija et al., 2020; Vázquez, 2019; Von Thaden et al., 2020).

En conclusión, elaborar la cartografía de la distribución de la CVUT para el municipio de Zapotitlán, integrando la relación espacial que hay entre las actividades productivas, el aprovechamiento de los recursos vegetales y la distribución espacial de las asociaciones vegetales es una importante base para entender cómo ha sido el proceso de modificación o conversión de la cobertura del terreno en términos históricos. Lo anterior sugiere la necesidad de identificar, cuantificar y analizar las modificaciones que ha sufrido la cobertura vegetal en el tiempo por efecto del cambio de uso del terreno, analizando las causas que lo han desencadenado y las condiciones sociales y económicas en torno a ello, con la intención de brindar elementos que favorezcan su manejo y conservación a nivel local y regional.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte de la tesis doctoral de la primera autora por lo que agradece al Posgrado en Ciencias Biológicas, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Asimismo, los autores agradecen a los pobladores, a las autoridades municipales de Zapotitlán y de Bienes Comunales de Zapotitlán Salinas, Puebla y a la Asociación Chakaan Occidente S. C., por las facilidades brindadas para el desarrollo del trabajo. Al Macroproyecto

Apéndice. Continúa

Especie/Clase de CVUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Amaranthaceae																	
<i>Amaranthus hybridus</i>		x			x	x				x	x	x		x			
<i>Amaranthus spinosus</i>							x							x			
<i>Chenopodium berlandieri</i>																	x
<i>Chenopodium murale</i>							x			x				x		x	x
<i>Dysphania ambrosioides</i>		x						x						x		x	
<i>Froelichia interrupta</i>		x															
<i>Gomphrena decumbens</i>	x	x			x		x			x		x	x	x	x	x	x
<i>Gomphrena serrata</i>											x			x			
<i>Iresine calea</i>							*			x		x	x	x		x	x
<i>Iresine discolor</i>		x							x					x			
<i>Iresine nitens</i>		x									x			x	x		
<i>Iresine pringlei</i>						x		x									x
<i>Iresine rotundifolia</i>		x			x		x			x	x			x			x
<i>Iresine schaffneri</i>						x	x	x		x			x	x		x	x
<i>Salsola kali</i>											x						
Amaryllidaceae																	
<i>Allium cepa</i>																	x
<i>Allium sativum</i>																	x
<i>Zephyranthes chlorosolen</i>							x										
<i>Zephyranthes sessilis</i>														x			
Anacampserotaceae																	
<i>Talinopsis frutescens</i>							x										
Anacardiaceae																	
<i>Actinocheita filicina</i>						x	x			x							
<i>Actinocheita potentillifolia</i>	x					x	x	x		x				x	x		x
<i>Amphipterygium adstringens</i>							x										
<i>Cyrtocarpa procera</i>	x						x										
<i>Pistacia mexicana</i>									x					x			
<i>Pseudosmodingium andrieuxii</i>						x											
<i>Pseudosmodingium multifolium</i>	x	x			x		*			*						x	x
<i>Rhus chondroloma</i>							x	x		x			x			x	
<i>Rhus microphylla</i>							x										
<i>Rhus standleyi</i>									x	x						x	x
<i>Rhus virens</i>				x			x		x				*	x	x		x
<i>Schinus molle</i>	x	x					x	x	x	x			x	x	x	x	
<i>Spondias mombin</i>														x			
<i>Toxicodendron radicans</i>													x				x
Annonaceae																	
<i>Annona cherimola</i>														x			

Apéndice. Continúa

Especie/Clase de CVUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Apiaceae																	
<i>Arracacia fruticosa</i>										x							
<i>Coriandrum sativum</i>														x			
<i>Cyclospermum leptophyllum</i>				x													
<i>Foeniculum vulgare</i>														x			
<i>Hydrocotyle bonariensis</i>							x										
<i>Hydrocotyle verticillata</i>							x								x		
<i>Petroselinum crispum</i>														x			
<i>Sanicula liberta</i>															x		
Apocynaceae																	
<i>Asclepias curassavica</i>										x							x
<i>Asclepias glaucescens</i>											x						
<i>Asclepias linaria</i>	x		x	x			x	x	x							x	x
<i>Asclepias lynchiana</i>										x							
<i>Asclepias oenotheroides</i>							x			x							
<i>Cascabela thevetioides</i>			x							x							
<i>Cynanchum foetidum</i>		x												x			
<i>Funastrum elegans</i>								x	x				x				
<i>Gonolobus grandiflorus</i>		x															
<i>Marsdenia coulteri</i>	x	x					x			x							
<i>Marsdenia parvifolia</i>							x							x			
<i>Marsdenia zimapanica</i>							x										
<i>Matelea caudata</i>							x										
<i>Matelea purpusii</i>						x											x
<i>Matelea trachyantha</i>							x			x	x	x		x	x	x	
<i>Metastelma angustifolium</i>														x	x		
<i>Metastelma macropodum</i>		x								x	x		x			x	
<i>Metastelma schlechtendalii</i>						x				x							
<i>Nerium oleander</i>														x			
<i>Plumeria rubra</i>	x						*			x	*		x	x	x	x	x
<i>Sarcostemma elegans</i>						x								x		x	x
<i>Vallesia glabra</i>		x					x					*		x			
Araceae																	
<i>Anthurium andraeanum</i>														x			
<i>Anthurium crassinervium</i>														x			
<i>Caladium bicolor</i>														x			
<i>Dieffenbachia picta</i>														x			
<i>Epipremnum aureum</i>														x			
<i>Monstera deliciosa</i>														x			
<i>Zantedeschia aethiopica</i>														x			

Apéndice. Continúa

Especie/Clase de CVUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Yucca baccata</i>										x							
<i>Yucca elephantipes</i>														x			
<i>Yucca mixtecana</i>							x		x					x			
<i>Yucca periculosa</i>	x	x	*		x	x	*	*	x	*	x		x	x		x	x
Asphodelaceae																	
<i>Asphodelus fistulosus</i>															x		
Aspleniaceae																	
<i>Asplenium auriculatum</i>		x															
<i>Thelypteris puberula</i>													x				
Asteraceae																	
<i>Acourtia caltepecana</i>																	x
<i>Acourtia carpholepis</i>						x							x	x		x	
<i>Acourtia cordata</i>	x						x						x				
<i>Acourtia dugesii</i>						x											
<i>Acourtia fragrans</i>	x					x	x								x		
<i>Acourtia reticulata</i>		x														x	
<i>Acourtia scapiformis</i>				x									x	x			
<i>Acourtia tenoriensis</i>													x				
<i>Ageratina calaminthifolia</i>				x									x				
<i>Ageratina calophylla</i>																	x
<i>Ageratina espinosarum</i>			*				x	x	x	x			*			x	
<i>Ageratina liebmannii</i>									x								
<i>Ageratina mairiana</i>								x									
<i>Ageratina oligocephala</i>													x				
<i>Ageratina tomentella</i>									x					x		x	x
<i>Ageratum corymbosum</i>													x				
<i>Ageratum paleaceum</i>									x								
<i>Ageratum tehuacanum</i>				x	x		x		x	x			x			x	x
<i>Ageratum tomentosum</i>							x			x			x	x			
<i>Aldama linearis</i>						x				x						x	
<i>Archibaccharis serratifolia</i>													x				
<i>Artemisia absinthium</i>														x			
<i>Artemisia ludoviciana</i>						x								x		x	
<i>Aster subulatus</i>													x	x			x
<i>Baccharis mexicana</i>									x							x	
<i>Baccharis pteronioides</i>						x											
<i>Baccharis salicifolia</i>							x							x	x		
<i>Baccharis serrifolia</i>								x	x								
<i>Baccharis sordescens</i>										x			x				
<i>Barkleyanthus salicifolius</i>							x						x				

Apéndice. Continúa

Especie/Clase de CVUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Bidens alba</i>														x			
<i>Bidens bicolor</i>																	x
<i>Bidens bigelovii</i>																	x
<i>Bidens sharpii</i>													x			x	
<i>Bidens squarrosa</i>													x				
<i>Brickellia problematica</i>				x									x				x
<i>Brickellia veronicifolia</i>		x					*			x				x			
<i>Calea ternifolia</i>										x						x	x
<i>Calyptocarpus vialis</i>									x								
<i>Carminatia alvarezii</i>										x						x	
<i>Chaptalia pringlei</i>				x									x				x
<i>Chromolaena pulchella</i>													x				
<i>Cirsium mexicanum</i>																	x
<i>Cirsium raphilepis</i>													x				
<i>Conyza canadensis</i>													x				
<i>Coreopsis cyclocarpa</i>									x					x			
<i>Coreopsis mutica</i>				x					x				x				
<i>Coreopsis oaxacensis</i>													x				
<i>Coreopsis parvifolia</i>																	x
<i>Cosmos bipinnatus</i>							x							x			
<i>Cosmos parviflorus</i>													x				
<i>Dahlia coccinea</i>			x	x				x	x	x			x		x		
<i>Dahlia merckii</i>							x										x
<i>Dendroviguiera eriophora</i>																	x
<i>Dyssodia papposa</i>																	x
<i>Flaveria cronquistii</i>					x		x								x		
<i>Flaveria linearis</i>							x										
<i>Flaveria pringlei</i>						x	x			x			x	x	x	x	
<i>Flaveria ramosissima</i>														x	x		
<i>Flaveria trinervia</i>	x	x					x			x		x		x	x	x	
<i>Florestina pedata</i>															x		
<i>Florestina purpurea</i>													x				x
<i>Florestina simplicifolia</i>		x					x	x	x				x	x			x
<i>Galinsoga parviflora</i>													x				
<i>Gochnatia hypoleuca</i>		x				x	x	x		x			x	x		x	x
<i>Gochnatia obtusata</i>						x		x		x					x	x	x
<i>Gochnatia purpusii</i>				x													
<i>Gymnolaena chiapasana</i>							x										
<i>Gymnolaena oaxacana</i>	x	x				x	x	x		x			x		x		x
<i>Gymnosperma glutinosum</i>	x	x	x		x	x	x	x	*	x		x	x	x		x	x

Apéndice. Continúa

Especie/Clase de CVUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Sclerocarpus uniserialis</i>						x				x							
<i>Simsia lagascaeformis</i>										x		x					
<i>Simsia sanguinea</i>																	x
<i>Sonchus oleraceus</i>														x			
<i>Stevia aschenborniana</i>						x											x
<i>Stevia caltepecana</i>													x				
<i>Stevia caracasana</i>													x				
<i>Stevia elatior</i>													x				
<i>Stevia latifolia</i>													x				
<i>Stevia lucida</i>									x	x				x			x
<i>Stevia nepetifolia</i>													x				
<i>Stevia salicifolia</i>				x			x			x			x	x			
<i>Stevia viscida</i>									x								
<i>Steviopsis vigintisetata</i>						x			x								
<i>Tagetes erecta</i>														x			
<i>Tagetes lunulata</i>													x				
<i>Tagetes micrantha</i>										x							
<i>Tagetes tenuifolia</i>		x					x			x			x				x
<i>Tanacetum parthenium</i>														x			
<i>Taraxacum officinale</i>														x			
<i>Tetrachyron brandegei</i>				x			x						x				x
<i>Thymophylla aurantiaca</i>				x			x						x				
<i>Tithonia tubiformis</i>							x			x		x		x	x		
<i>Tridax coronopifolia</i>	x								x				x				x
<i>Tridax luisana</i>													x				
<i>Trixis parviflora</i>		x															
<i>Trixis pringlei</i>	x	x					x		x	x		x	x	x			
<i>Verbesina crocata</i>							x										
<i>Verbesina gracilipes</i>				x					x				x				x
<i>Verbesina liebmannii</i>													x				
<i>Verbesina longipes</i>							x										
<i>Verbesina neotenoriensis</i>		*			*		*							x	x		
<i>Verbesina persicifolia</i>														x			
<i>Verbesina petrophila</i>							x										
<i>Verbesina tenoriensis</i>										x							
<i>Vernonanthura liatroides</i>						x							x				
<i>Vernonia salicifolia</i>						x			x								x
<i>Viguiera dentata</i>	x	x			x		x		*	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Viguiera grammatoglossa</i>				x			x										x
<i>Viguiera pinnatilobata</i>							x			x		x		x			

Apéndice. Continúa

Especie/Clase de CVUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Heliotropium procumbens</i>																	x
<i>Heliotropium pueblense</i>										x							
<i>Heliotropium ternatum</i>							x			x						x	x
<i>Lithospermum calcicola</i>						x			x								x
<i>Lithospermum calycosum</i>									x								
<i>Nama dichotoma</i>				x													x
<i>Nama pueblense</i>														x			
<i>Tiquilia canescens</i>							x			x						x	
<i>Tournefortia hartwegiana</i>		x															
<i>Tournefortia mutabilis</i>	x						x			x				x		x	x
<i>Tournefortia volubilis</i>	x				x		x	x	x	x		x		x		x	
<i>Varronia curassavica</i>	x	*	x		x	*	*	x	*	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Varronia cylindrostachya</i>		x					x			x					x		
<i>Wigandia urens</i>							x	x		x	x	x	x		x		
Brassicaceae																	
<i>Brassica oleracea</i>										x							
<i>Eruca vesicaria</i>												x		x			
<i>Lepidium virginicum</i>							x										
<i>Matthiola incana</i>														x			
Bromeliaceae																	
<i>Hechtia bracteata</i>							x										
<i>Hechtia colossa</i>							x										
<i>Hechtia confusa</i>														x			
<i>Hechtia glomerata</i>		x				x	x			x							x
<i>Hechtia podantha</i>	x	x			*	x	x	x		x	x		x	x	x	x	x
<i>Hechtia pueblensis</i>							x										
<i>Hechtia sphaeroblata</i>	x	x					x			x	x						
<i>Hechtia stenopetala</i>		x															
<i>Hechtia tehuacana</i>														x			
<i>Tillandsia achyrostachys</i>							x						x				
<i>Tillandsia atroviridipetala</i>		x	x				x										
<i>Tillandsia bourgaei</i>																	x
<i>Tillandsia califanii</i>							x			x							
<i>Tillandsia circinnatioides</i>	x						x										
<i>Tillandsia dasyliriifolia</i>	x	x					x	x						x		x	x
<i>Tillandsia fasciculata</i>							x										
<i>Tillandsia grandis</i>													x				
<i>Tillandsia ionantha</i>													x				
<i>Tillandsia juncea</i>							x							x			
<i>Tillandsia makoyana</i>						x	*				x						

Apéndice. Continúa

Especie/Clase de CVUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Tillandsia plumosa</i>										x			x				
<i>Tillandsia pueblensis</i>							x							x	x		
<i>Tillandsia recurvata</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	x	x	*	x	x	x		x
<i>Tillandsia tehuacana</i>		x					x			x							
<i>Tillandsia usneoides</i>	x												x				
Bryaceae																	
<i>Bryum argenteum</i>															x		
<i>Bryum billarderi</i>									x					x			
Burseraceae																	
<i>Bursera aloexylon</i>		*			*	*	*										
<i>Bursera aptera</i>	x	x	x			x	x			x	x	x		x	x	x	
<i>Bursera arida</i>	x				x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	
<i>Bursera aspleniifolia</i>		x	x										x				x
<i>Bursera biflora</i>	x	x	x		x	x	*		x	x	*		x	x	x	x	
<i>Bursera bipinnata</i>							x										
<i>Bursera copallifera</i>																	x
<i>Bursera fagaroides</i>		x					x		x	x	x		x		x		
<i>Bursera galeottiana</i>						x	x		x	x			x		x	x	
<i>Bursera heteresthes</i>															x		
<i>Bursera hindsiana</i>							x										
<i>Bursera morelensis</i>	x	x					x			x			x	x	x	x	
<i>Bursera multifolia</i>									x						x		
<i>Bursera schlechtendalii</i>		x	x		x		x			x		x	x	x	x		
<i>Bursera submoniliformis</i>							x										x
Buxaceae																	
<i>Buxus mexicana</i>									x								
Cactaceae																	
<i>Cephalocereus columna-trajani</i>	x	x			*	x	x			x	x		x	x	x	x	x
<i>Cephalocereus fulviceps</i>			x		x	*	x	x	x	x			x	x	x	x	x
<i>Cephalocereus macrocephala</i>	x	x				x	*	x		x			x	x	x	x	x
<i>Cephalocereus mezcalaensis</i>		x					*			x			x	x		x	
<i>Cephalocereus tetetzo</i>	x	x	x		x	x	*	x		x	x			x	x	x	x
<i>Coryphantha pallida</i>		*				x	x			x	x		x	x			x
<i>Coryphantha pycnantha</i>		x					x										
<i>Coryphantha reduncispina</i>		x			x		x			x							x
<i>Coryphantha retusa</i>	x	x					x	x		x							
<i>Cylindropuntia imbricata</i>	x	x					x				x			x	x		
<i>Cylindropuntia leptocaulis</i>							x							x			
<i>Cylindropuntia rosea</i>	x	x					x			x				x	x		x

Apéndice. Continúa

Especie/Clase de CVUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Cylindropuntia tunicata</i>		x					x			x				x			
<i>Echinocactus platyacanthus</i>	x	x	*		*	*	x	x		*	x		x	x	x	x	x
<i>Escontria chiotilla</i>	x	x					x			x	x	x			x	x	
<i>Ferocactus flavovirens</i>	x	*			x	x	*	x	x	x	x		x	x	x		x
<i>Ferocactus haematacanthus</i>									x				x				x
<i>Ferocactus recurvus</i>	x	*			x		x	x	*	x	x		x	x	x		x
<i>Ferocactus robustus</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x
<i>Hylocereus undatus</i>							x							x			
<i>Isolatocereus dumortieri</i>	x						*				x			x			x
<i>Lemaireocereus hollianus</i>	x	x					x			x	x	*	x	x	x	x	x
<i>Lophocereus marginatus</i>	x	x				x	*	*		x	*	*	x	x	x	x	x
<i>Mammillaria carnea</i>	x	*			x	x	x	x		x	x			x	x		x
<i>Mammillaria flavicentra</i>																	x
<i>Mammillaria geminispina</i>		x															
<i>Mammillaria haageana</i>	x	*	x		*	x	*	x		x	x		x	x	x	x	x
<i>Mammillaria mystax</i>	x	x				x	x			x	x				x		x
<i>Mammillaria napina</i>		*				x		x	x								x
<i>Mammillaria pectinifera</i>						x				x							
<i>Mammillaria sphacelata</i>	x	x			*	x	*	x	x	*	x	*	x	x	x	x	x
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	x	*	x		x		*	*		*	*	*	x	x	x	x	x
<i>Myrtillocactus schenckii</i>		x				x	x		x	x			x				x
<i>Opuntia azurea</i>		x															
<i>Opuntia cochenillifera</i>							x							x			
<i>Opuntia decumbens</i>	x	x					x				x			x	x		x
<i>Opuntia depressa</i>	x	x					x	x		x	x		x	x	x	x	x
<i>Opuntia ficus-indica</i>							x							x			
<i>Opuntia huajuapensis</i>								x		x		x					
<i>Opuntia hyptiacantha</i>									x	x				x			
<i>Opuntia lasiacantha</i>													x	x			
<i>Opuntia microdasys</i>										x							
<i>Opuntia parviclada</i>							x		x								x
<i>Opuntia pilifera</i>	x	*			x	x	*	x	x	*	*	*	x	x	x	x	x
<i>Opuntia pubescens</i>	x	x					x	x		x	x	x	x	x		x	x
<i>Opuntia streptacantha</i>	x													x	x		
<i>Opuntia tehuacana</i>														x			
<i>Opuntia tomentosa</i>							x							x	x		
<i>Opuntia velutina</i>														x	x	x	
<i>Pachycereus grandis</i>													x				
<i>Pachycereus weberi</i>											x						
<i>Peniocereus viperinus</i>	x			x			x		x	x	x	*		x	x		

Apéndice. Continúa

Especie/Clase de CVUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Commelina erecta</i>											x						
<i>Commelina tuberosa</i>		x															
<i>Gibasis consobrina</i>				x			x		x	x				x			
<i>Thyrsanthemum floribundum</i>				x		x	x		x	x				x	x		
<i>Tradescantia brachyphylla</i>										x							
<i>Tradescantia crassifolia</i>				x		x	x			x				x			x
<i>Tradescantia monosperma</i>						x	x			x							x
<i>Tradescantia zebrina</i>							x										
Convolvulaceae																	
<i>Convolvulus nodiflorus</i>	x	x								x				x			
<i>Cuscuta chinensis</i>							x										
<i>Cuscuta corymbosa</i>												x				x	
<i>Cuscuta potosina</i>										x							
<i>Evolvulus alsinoides</i>		x								x						x	
<i>Evolvulus sericeus</i>		x			x					x			x				
<i>Ipomoea arborescens</i>	x	*			*	*	*	*	*	*	*	x	x	x		x	x
<i>Ipomoea conzattii</i>	x	x	x			x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Ipomoea murucoides</i>	x									x				x	x		x
<i>Ipomoea orizabensis</i>		x												x			
<i>Ipomoea pauciflora</i>		x			x	x	x	x	x	x	x		x	x		x	x
<i>Ipomoea populina</i>				x		x											x
<i>Ipomoea purpurea</i>				x		x				x				x			
<i>Ipomoea schaffneri</i>						x											
<i>Ipomoea ternifolia</i>		x					x			x				x			
<i>Ipomoea wolcottiana</i>												x		x			
<i>Jacquemontia mexicana</i>										x							
<i>Jacquemontia smithii</i>		x			x		x					x		x	x		
<i>Merremia quinquefolia</i>					x												
Crassulaceae																	
<i>Echeveria coccinea</i>																	x
<i>Echeveria gibbiflora</i>														x	x		
<i>Echeveria gigantea</i>		x					x										
<i>Echeveria heterosepala</i>				x													
<i>Echeveria nodulosa</i>										x				x			
<i>Echeveria pallida</i>														x			
<i>Echeveria peacockii</i>						x								x			
<i>Echeveria setosa</i>	x							x	x				x				
<i>Echeveria spectabilis</i>				x										x		x	
<i>Kalanchoe blossfeldiana</i>														x			
<i>Kalanchoe luciae luciae</i>														x			

Apéndice. Continúa

Especie/Clase de CVUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Kalanchoe mortagei</i>														x			
<i>Sedum alamosanum</i>			x														
<i>Sedum allantoides</i>	x		x				x			x	x		x	x	x		
<i>Sedum dendroideum</i>							x										
<i>Sedum liebmannianum</i>				x													
<i>Sedum morganianum</i>														x			
<i>Sedum stahlii</i>				x					x								
<i>Thompsonella minutiflora</i>		x					x	x						x			
<i>Villadia albiflora</i>			x			x				x			x				
<i>Villadia elongata</i>													x				
<i>Villadia ramosissima</i>										x							
Cucurbitaceae																	
<i>Apodanthera aspera</i>														x	x		
<i>Cucurbita moschata</i>										x							
<i>Cucurbita pedatifolia</i>				x													
<i>Cucurbita pepo</i>										x							
<i>Cyclanthera dissecta</i>																	x
<i>Doyerea emetocathartica</i>														x			
<i>Echinopepon coulteri</i>													x				
<i>Echinopepon pubescens</i>						x							x	x		x	
<i>Echinopepon racemosus</i>										x			x				
<i>Schizocarpum filiforme</i>										x							
Cupressaceae																	
<i>Juniperus deppeana</i>													x				
<i>Juniperus flaccida</i>																x	
<i>Taxodium distichum</i>																x	
Cyperaceae																	
<i>Cyperus laevigatus</i>							x										
<i>Eleocharis geniculata</i>							x							x			
Ephedraceae																	
<i>Ephedra compacta</i>							x			x			x	x	x		
Ericaceae																	
<i>Arbutus xalapensis</i>														x			
<i>Comarostaphylis polifolia</i>				x					x				*	x			
<i>Gaultheria acuminata</i>		x															
Erpodiaceae																	
<i>Erpodium pringlei</i>									x								
Euphorbiaceae																	
<i>Acalypha botteriana</i>							x										
<i>Acalypha brevicaulis</i>										x							

Apéndice. Continúa

Especie/Clase de CVUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Euphorbia villifera</i>							x										x
<i>Jatropha dioica</i>				x			x			x			x				
<i>Jatropha neopauciflora</i>	x	*					x			x	x			x		x	x
<i>Manihot pauciflora</i>		x				x	x		x	x		x		x			x
<i>Ricinus communis</i>							x							x	x		
<i>Sebastiania bilocularis</i>				x			x						x				
<i>Stillingia sanguinolenta</i>						x	x										
<i>Tragia nepetifolia</i>			x			x	x		x	x	x		x				
Fabaceae																	
<i>Acaciella angustissima</i>		x				x	x		x					x			
<i>Aeschynomene compacta</i>	x	x				x	x		x	*	x		x	x	x	x	x
<i>Aeschynomene fascicularis</i>		x					x										
<i>Aeschynomene purpusii</i>							x			x		x		x		x	
<i>Astragalus strigosus</i>													x				x
<i>Bauhinia deserti</i>				x			x			x			x	x			
<i>Bauhinia dipetala</i>									x								
<i>Brongniartia foliolosa</i>						x			x	*			x	x	x		x
<i>Brongniartia oligosperma</i>	x	x			x	x	x		x	x				x	x	x	
<i>Brongniartia vicioides</i>										x			x				
<i>Caesalpinia melanadenia</i>	x	*			*	*	x			x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Caesalpinia pulcherrima</i>														x			
<i>Calia secundiflora</i>				x		x			x								x
<i>Calliandra eriophylla</i>						*	*			*			x				
<i>Calliandra grandiflora</i>						x										x	
<i>Calliandra hirsuta</i>										x			x				
<i>Calliandra houstoniana</i>														x			
<i>Calliandropsis nervosus</i>	x	x		x	x	x	x		x	x	x		x	x		x	x
<i>Chamaecrista greggii</i>		x					x			x	x		x	x	x		
<i>Chamaecrista serpens</i>		x															
<i>Cojoba arborea</i>																	x
<i>Cologania broussonetii</i>													x				
<i>Cologania grandiflora</i>				x		x											
<i>Conzattia multiflora</i>	x	x					x		x	x	x		x	x			x
<i>Coursetia caribaea</i>							x			x			x			x	x
<i>Crotalaria incana</i>														x			
<i>Crotalaria longirostrata</i>													x				x
<i>Crotalaria micans</i>														x			
<i>Crotalaria mollicula</i>													x				
<i>Crotalaria pumila</i>																x	
<i>Dalea bicolor</i>				x		x	x	x	x	x			x	x		x	x

Apéndice. Continúa

Especie/Clase de CVUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Dalea botterii</i>																	x
<i>Dalea caeciliae</i>									x					x			
<i>Dalea carthagenensis</i>		x					x			x	x	x		x		x	
<i>Dalea dorycnioides</i>													x				
<i>Dalea filiciformis</i>							x			x				x			
<i>Dalea foliolosa</i>				x		x			x				x			x	
<i>Dalea greggii</i>														x			
<i>Dalea leucosericea</i>													x				
<i>Dalea luisana</i>										x							
<i>Dalea lutea</i>				x		x							x				
<i>Dalea melantha</i>						x			x							x	x
<i>Dalea tomentosa</i>									x				x				
<i>Dalea zimapanica</i>													x	x			
<i>Desmodium grahamii</i>																	x
<i>Desmodium neomexicanum</i>				x													x
<i>Desmodium orbiculare</i>						x											x
<i>Desmodium pringlei</i>				x													
<i>Desmodium subsessile</i>				x													x
<i>Diphysa sennoides</i>						x											
<i>Diphysa villosa</i>																	x
<i>Erythrina breviflora</i>		x		x						x							
<i>Erythrina oaxacana</i>								x	x								
<i>Erythroxyllum rotundifolium</i>		x					x			x				x			x
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	x					x	*		x	x	x		x	x			x
<i>Eysenhardtia punctata</i>					x												x
<i>Eysenhardtia texana</i>						x	x										
<i>Galactia brachystachys</i>													x	x			x
<i>Harpalyce formosa</i>						x											
<i>Havardia acatlensis</i>							x										
<i>Hesperothamnus pentaphyllus</i>					x				x								x
<i>Hoffmannseggia humilis</i>									x				x				
<i>Indigofera constricta</i>																	x
<i>Indigofera konzattii</i>										x			x	x			x
<i>Indigofera pueblensis</i>										x							
<i>Indigofera suffruticosa</i>										x							x
<i>Leucaena confertiflora</i>		x		x			x										
<i>Leucaena diversifolia</i>										x							
<i>Leucaena esculenta</i>		x					x										
<i>Leucaena leucocephala</i>							x			x		x		x	x		
<i>Leucaena pallida</i>						x	x			x							

Apéndice. Continúa

Especie/Clase de CVUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Salvia pannosa</i>																	x
<i>Salvia polystachya</i>									x				x				
<i>Salvia purpurea</i>													x				
<i>Salvia ramosa</i>																	x
<i>Salvia reflexa</i>		x															
<i>Salvia rubiginosa</i>		x														x	
<i>Salvia thymoides</i>						x			x	x			x		x		x
<i>Scutellaria resinosa</i>																	x
<i>Scutellaria uliginosa</i>										x							
<i>Stachys collina</i>													x				
<i>Trichostema purpusii</i>		x											x				x
Lauraceae																	
<i>Litsea glaucescens</i>				x									*				
<i>Persea americana</i>														x			x
Lejeuneaceae																	
<i>Lejeunea calcicola</i>																	x
Lennoaceae																	
<i>Lennoa madreporoides</i>									x					x			
Lentibulariaceae																	
<i>Pinguicula moranensis</i>				x													
Liliaceae																	
<i>Calochortus barbatus</i>						x											
<i>Linum scabrellum</i>				x			x			x			x				
Lindsaeaceae																	
<i>Odontosoria schlechtendalii</i>		x															
Loasaceae																	
<i>Eucnide lobata</i>							x										
<i>Mentzelia hispida</i>		x	x		x		x			x		x	x	x	x		
Loranthaceae																	
<i>Psittacanthus auriculatus</i>		x															
<i>Psittacanthus calyculatus</i>		x					x			x	x			x			
<i>Psittacanthus mayanus</i>																	x
<i>Psittacanthus palmeri</i>										x							x
<i>Psittacanthus schiedeanus</i>		x								x							
Lycopodiaceae																	
<i>Lycopodiella cernua</i>		x															
Lythraceae																	
<i>Cuphea aequipetala</i>				x						x				x			
<i>Cuphea cyanea</i>				x					x					x			
<i>Cuphea leptopoda</i>	x													x			

Apéndice. Continúa

Especie/Clase de CVUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Malpighiaceae																	
<i>Bunchosia biocellata</i>														x			
<i>Bunchosia montana</i>							x							x			
<i>Byrsonima crassifolia</i>														x			
<i>Calpicola parvifolia</i>		x								x					x		
<i>Echinopterys eglandulosa</i>		x			x	x	x			x	x	x		x	x	x	
<i>Galphimia glauca</i>		x					x			x			x	x		x	x
<i>Gaudichaudia galeottiana</i>						x								x			
<i>Gaudichaudia mucronata</i>							x								x		
<i>Lasiocarpus ferrugineus</i>										x				x			
<i>Lasiocarpus salicifolius</i>						x				x							
<i>Malpighia galeottiana</i>		x					x							x			x
<i>Malpighia glabra</i>							x										
<i>Malpighia mexicana</i>	x	x			x		x				x			x			
<i>Mascagnia parvifolia</i>		x	x		*		*		*	x	x	x		x	x	x	x
<i>Mascagnia polybotrya</i>													x				
<i>Mascagnia seleriana</i>		x					x							x	x		x
Malvaceae																	
<i>Allowissadula pringlei</i>							x			x							
<i>Allowissadula rosei</i>		x															
<i>Anoda crenatiflora</i>		x															
<i>Anoda cristata</i>		x		x	x		x					x	x	x			x
<i>Anoda thurberi</i>												x					
<i>Ayenia fruticosa</i>			x	x			x		x	x				x	x		
<i>Ayenia mexicana</i>		x				x											
<i>Ayenia microphylla</i>							x			*							
<i>Ayenia mollis</i>							x										
<i>Ayenia ovata</i>							x			x				x	x		
<i>Ayenia pilosa</i>															x		
<i>Ayenia pusilla</i>							x										
<i>Ayenia rotundifolia</i>										x							
<i>Ayenia standleyi</i>							x			x							
<i>Bastardia bivalvis</i>														x			
<i>Bastardia viscosa</i>							x							x			
<i>Ceiba aesculifolia</i>	x	*				*	*			*		x		x			
<i>Gossypium hirsutum</i>															x		
<i>Heliocarpus americanus</i>													x				
<i>Heliocarpus appendiculatus</i>								x									
<i>Heliocarpus terebinthinaceus</i>							x										x
<i>Herissantia crispa</i>		x					x		x	x	x			x	x		

Apéndice. Continúa

Especie/Clase de CVUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Hibiscus acetosella</i>										x							
<i>Hibiscus brasiliensis</i>							x										
<i>Hibiscus coulteri</i>							x										
<i>Hibiscus elegans</i>	x					x	x			x				x	x	x	x
<i>Hibiscus longifilus</i>				x					x	x			x	x			
<i>Hibiscus phoeniceus</i>		x					x			x		x		x			
<i>Malva neglecta</i>														x			
<i>Malva parviflora</i>							x										
<i>Malvastrum americanum</i>										x					x	x	x
<i>Malvastrum bicuspidatum</i>																x	
<i>Malvastrum coromandelianum</i>													x	x			
<i>Melochia tomentosa</i>		x					x							x	x	x	
<i>Phymosia floribunda</i>															x		
<i>Pseudobombax ellipticum</i>							x										
<i>Rhynchosida physocalyx</i>										x							
<i>Robinsonella chiangii</i>		x														x	x
<i>Robinsonella cordata</i>																x	
<i>Sida abutilifolia</i>							x			x				x	x		
<i>Sida ciliaris</i>														x	x		
<i>Sida glabra</i>									x								
<i>Sida neomexicana</i>							x										
<i>Sida pueblensis</i>														x			
<i>Sida rhombifolia</i>													x	x			
<i>Triumfetta grandiflora</i>		x															
Marchantiaceae																	
<i>Dumortiera hirsuta</i>																	x
<i>Marchantia paleacea</i>																	x
Martyniaceae																	
<i>Proboscidea louisianica</i>							x			x				x			
<i>Proboscidea triloba</i>							x										
Melastomataceae																	
<i>Miconia trinervia</i>							x										
<i>Monochaetum floribundum</i>		x															
Melanthiaceae																	
<i>Schoenocaulon comatum</i>																	x
<i>Schoenocaulon tenuifolium</i>																	x
Monocleaceae																	
<i>Monoclea gottschei</i>																	x
Moraceae																	
<i>Ficus carica</i>														x	x		

Apéndice. Continúa

Especie/Clase de CVUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Ficus cotinifolia</i>														x			
<i>Ficus elastica</i>														x			
<i>Ficus velutina</i>																x	
Musaceae																	
<i>Musa x paradisiaca</i>														x			
Myrtaceae																	
<i>Psidium guajava</i>														x			
Nyctaginaceae																	
<i>Allionia choisyi</i>									x					x			
<i>Allionia incarnata</i>		x			x		x		x	x					x	x	
<i>Boerhavia anisophylla</i>		x															x
<i>Boerhavia coccinea</i>		x					x							x			x
<i>Boerhavia erecta</i>					x		x		x								
<i>Commicarpus scandens</i>							x										
<i>Cyphomeris crassifolia</i>										x							
<i>Mirabilis albida</i>							x		x								
<i>Mirabilis glabrifolia</i>							x		x								
<i>Mirabilis viscosa</i>					x					x					x		x
Olacaceae																	
<i>Ximena americana</i>							x										
Oleaceae																	
<i>Forestiera angustifolia</i>							x										
<i>Forestiera rotundifolia</i>										x				x			
<i>Fraxinus purpusii</i>	x							x					x				
<i>Jasminum mesnyi</i>												x					
<i>Menodora tehuacana</i>						x	x			x							
Onagraceae																	
<i>Lopezia racemosa</i>						x								x		x	
<i>Oenothera anomala</i>	x																
<i>Oenothera suffrutescens</i>																	x
<i>Oenothera tetraptera</i>						x											
Opiliaceae																	
<i>Agonandra obtusifolia</i>							x							x			
Orchidaceae																	
<i>Barkeria lindleyana</i>			x							x							
<i>Bletia parkinsonii</i>							x										
<i>Cyrtopodium macrobulbon</i>															x		
<i>Dichromanthus cinnabarinus</i>			x	x						x							
<i>Elleanthus capitatus</i>															x		
<i>Epidendrum ramosum</i>															x		

Apéndice. Continúa

Especie/Clase de CVUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Piperaceae																	
<i>Piper auritum</i>														x			
Plantaginaceae																	
<i>Bacopa monnieri</i>		x									x				x		
<i>Lophospermum erubescens</i>							x		x								
<i>Lophospermum purpusii</i>							x									x	
<i>Maurandella antirrhiniflora</i>														x			
<i>Maurandella barclayana</i>							x										x
<i>Maurandella scandens</i>													x				
<i>Penstemon miniatus</i>																	x
<i>Russelia obtusata</i>				x			x		x	x			x	x	x		x
<i>Russelia verticillata</i>		x															
Plumbaginaceae																	
<i>Plumbago pulchella</i>									x					x			
<i>Plumbago scandens</i>									x	x							
Poaceae																	
<i>Andropogon glomeratus</i>										x							
<i>Aristida adscensionis</i>							x							x		x	
<i>Aristida glauca</i>							x		x	x		x					
<i>Aristida laxa</i>							x			x		x					
<i>Aristida purpurea</i>							x			x		x			x		
<i>Arundo donax</i>												x					
<i>Bothriochloa barbinodis</i>		x				x	x					x		x			
<i>Bothriochloa laguroides</i>						x											x
<i>Bouteloua barbata</i>							x							x			
<i>Bouteloua chondrosioides</i>															x		
<i>Bouteloua curtispindula</i>		x			x		x			x				x	x	x	
<i>Bouteloua dimorpha</i>							x										
<i>Bouteloua distans</i>							x			x							
<i>Bouteloua diversispicula</i>							x							x			
<i>Bouteloua erecta</i>										x							
<i>Bouteloua media</i>							x					x		x			
<i>Bouteloua polymorpha</i>							x										
<i>Bouteloua reederorum</i>							x										
<i>Bouteloua repens</i>																	x
<i>Bouteloua simplex</i>													x				
<i>Bouteloua triaena</i>						x				x				x	x	x	x
<i>Bouteloua varia</i>										x							
<i>Capsicum annuum</i>							x										
<i>Cenchrus echinatus</i>														x			

Apéndice. Continúa

Especie/Clase de CVUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Cenchrus myosuroides</i>							*										
<i>Chaetium bromoides</i>								x									
<i>Chloris barbata</i>							x										
<i>Chloris radiata</i>							x										
<i>Chloris rufescens</i>												x		x			
<i>Chloris submutica</i>														x			
<i>Cynodon dactylon</i>														x			
<i>Echinochloa crus-galli</i>														x			
<i>Enneapogon desvauxii</i>							x							x	x		
<i>Eragrostis atrovirens</i>												x		x			
<i>Eragrostis cilianensis</i>							x					x		x			
<i>Eragrostis mexicana</i>						x	x										
<i>Eragrostis pectinacea</i>														x			
<i>Eragrostis pilosa</i>						x											x
<i>Eragrostis polytricha</i>						x											
<i>Erioneuron avenaceum</i>									x	x				x			
<i>Heteropogon contortus</i>		x				x	x					x		x			
<i>Hopia obtusa</i>										x							
<i>Lasiacis grisebachii</i>						x	x							x			
<i>Lasiacis nigra</i>							x		x								
<i>Leptochloa pluriflora</i>							x					x		x			
<i>Melinis repens</i>	x	x			x		x		x	x				x		x	
<i>Metcalfia mexicana</i>				x					x	x			x				
<i>Muhlenbergia distans</i>													x				
<i>Muhlenbergia implicata</i>						x							x				x
<i>Muhlenbergia longiligula</i>													x				
<i>Muhlenbergia phleoides</i>							x										
<i>Muhlenbergia pubescens</i>						x											x
<i>Muhlenbergia rigida</i>						x							x				x
<i>Muhlenbergia robusta</i>													x				
<i>Muhlenbergia tenella</i>													x				
<i>Muhlenbergia versicolor</i>	x																
<i>Panicum hallii</i>							x			x					x		
<i>Panicum obtusum</i>										x					x		
<i>Phragmites australis</i>															x		
<i>Polypogon viridis</i>																	x
<i>Saccharum officinarum</i>														x			
<i>Setaria adhaerens</i>												x		x			
<i>Setaria grisebachii</i>						x	x										x
<i>Setaria macrostachya</i>										x							

Apéndice. Continúa

Especie/Clase de CVUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Didymodon australasiae</i>														x			
<i>Didymodon revolutus</i>									x								
<i>Didymodon rigidulus</i>		x				x	x		x	x			x	x		x	
<i>Didymodon vinealis</i>									x								
<i>Globulinella globifera</i>									x	x				x			
<i>Molendoa sendtneriana</i>						x	x		x	x				x			
<i>Neohyophila sprengelii</i>										x							
<i>Pseudocrossidium aureum</i>							x			x							
<i>Pseudocrossidium crinitum</i>																	x
<i>Pseudocrossidium replicatum</i>														x		x	
<i>Syntrichia fragilis</i>									x								
<i>Tortella humilis</i>									x								
<i>Tortula aurea</i>														x			
<i>Tortula obtusissima</i>						x			x					x			
<i>Trichostomum brachydontium</i>							x		x	x			x	x			
<i>Trichostomum crispulum</i>							x		x	x				x			
<i>Weissia controversa</i>						x			x	x							
<i>Weissia jamaicensis</i>										x			x		x		x
Primulaceae																	
<i>Lysimachia arvensis</i>												x					x
<i>Samolus ebracteatus</i>						x											
Pteridaceae																	
<i>Hemionitis aschenborniana</i>					x												
<i>Hemionitis candida</i>															x		
<i>Clematis dioica</i>										x							
Resedaceae																	
<i>Forchhammeria macrocarpa</i>							x							x			
<i>Reseda luteola</i>	x																
Rhamnaceae																	
<i>Adolphia infesta</i>		x															
<i>Ceanothus greggii</i>				x					x				x				x
<i>Colubrina macrocarpa</i>									x								x
<i>Colubrina triflora</i>		x					x	x		x							
<i>Condalia fasciculata</i>									*					x			
<i>Karwinskia humboldtiana</i>		*				x	*	x	*	x				x	x		x
<i>Karwinskia mollis</i>						x	x			x	x				x		
<i>Sarcomphalus amole</i>	x	x					x							x			
<i>Sarcomphalus mexicana</i>	x						x			x	x			x	x		
<i>Sarcomphalus obtusifolia</i>				x										x			
<i>Sarcomphalus pedunculata</i>				x						x	x						

Apéndice. Continúa

Especie/Clase de CVUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Rhizoganiaceae																	
<i>Pyrrhobryum spiniforme</i>															x		
Rosaceae																	
<i>Cercocarpus fothergilloides</i>				x					x				*	x			x
<i>Cercocarpus pringlei</i>																	x
<i>Lindleya mespiloides</i>			x				x						x				
<i>Malacomeles denticulata</i>									x	x			x	x			
<i>Prunus serotina</i>													x				x
<i>Vauquelinia australis</i>				x		x	x		x				x	x	x		x
<i>Xerospiraea hartwegiana</i>				x					x					x			
Rubiaceae																	
<i>Bouvardia chrysantha</i>									x							x	x
<i>Bouvardia erecta</i>				x		x	x		x	*				x	x		
<i>Bouvardia longiflora</i>		x		x	x	x	x		x	x			x			x	x
<i>Bouvardia multiflora</i>																	x
<i>Bouvardia ternifolia</i>						x		x									x
<i>Bouvardia viminalis</i>			x						x					x		x	x
<i>Coutaportla ghiesbreghtiana</i>				x			x										
<i>Galium fuscum</i>										x			x	x			x
<i>Galium microphyllum</i>													x				
<i>Hintonia latiflora</i>		x				x	x		x	x				x			
<i>Hintonia standleyana</i>		x															
<i>Randia capitata</i>				x		x	x	x	x	x			x	x			
<i>Randia laetevirens</i>										x							
<i>Randia thurberi</i>																	x
<i>Relbunium laevigatum</i>																	x
<i>Spermacoce verticillata</i>				x													
Rutaceae																	
<i>Casimiroa calderoniae</i>							x		x	x							
<i>Helietta lucida</i>														x	x		
<i>Helietta parvifolia</i>														x			
<i>Megastigma galeottii</i>							x			x				x			
<i>Ptelea trifoliata</i>										x			x				x
<i>Zanthoxylum affine</i>													x				
<i>Zanthoxylum ciliatum</i>							x										x
<i>Zanthoxylum liebmannianum</i>		x				x	x		*	*		x		x	x		
<i>Zanthoxylum limoncello</i>										x					x		
Salicaceae																	
<i>Neopringlea integrifolia</i>										*							
<i>Neopringlea viscosa</i>						x	x		x	x				x			

Apéndice. Continúa

Especie/Clase de CVUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Datura innoxia</i>		x				x	x							x		x	
<i>Datura pruinosa</i>							x							x			
<i>Datura stramonium</i>		x				x						x	x				
<i>Grabowskia boerhaaviifolia</i>	x	x	x		x	x	x								x	x	
<i>Jaltomata procumbens</i>		x															
<i>Lycianthes acapulcensis</i>						x											
<i>Lycianthes ciliolata</i>							x										
<i>Lycianthes moziniana</i>															x		
<i>Lycianthes peduncularis</i>										x							
<i>Nicotiana glauca</i>	x	x				x	x			x		x		x			x
<i>Nicotiana obtusifolia</i>								x	x								
<i>Nicotiana plumbaginifolia</i>										x							
<i>Nicotiana trigonophylla</i>										x			x	x			
<i>Physalis nicandroides</i>														x			
<i>Physalis patula</i>							x										
<i>Physalis philadelphica</i>							x					x	x	x			
<i>Physalis solanacea</i>				x												x	
<i>Solanum americanum</i>							x			x			x	x			
<i>Solanum cardiophyllum</i>													x				
<i>Solanum douglasii</i>						x											
<i>Solanum dulcamaroides</i>						x										x	
<i>Solanum grayi</i>		x												x			
<i>Solanum houstonii</i>							x										
<i>Solanum lanceolatum</i>				x				x	x								x
<i>Solanum lycopersicum</i>							x										
<i>Solanum nigrum</i>													x				
<i>Solanum rostratum</i>		x					x		x			x		x	x		
<i>Solanum rostratum</i>	x																
<i>Solanum torvum</i>							x				x						
<i>Solanum tribulosum</i>															x		x
<i>Solanum tridynamum</i>		x			x	*	x		x	x	*	x		x	x		x
Splachnobryaceae																	
<i>Splachnobryum obtusum</i>			x														
Talinaceae																	
<i>Talinum aurantiacus</i>										x				x			
<i>Talinum lineare</i>									x								
<i>Talinum paniculatum</i>							x			x		x		x			
Thuidiaceae																	
<i>Thuidium robustum</i>											x						
Urticaceae																	
<i>Pilea microphylla</i>				x					x				x				

Apéndice. Continúa

Especie/Clase de CVUT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Verbenaceae																	
<i>Aloysia gratissima</i>							X										
<i>Bouchea prismatica</i>							X										
<i>Citharexylum brachyanthum</i>							X										
<i>Citharexylum hexangulare</i>																	X
<i>Citharexylum oleinum</i>				X		X			X				*				X
<i>Lantana achyranthifolia</i>							X		X	*	*	X		X			
<i>Lantana camara</i>	X	X					*	X	X	X		X	X	X	X		X
<i>Lantana hirta</i>		X					X							X			
<i>Lantana involucrata</i>							X		X					X			
<i>Lantana urticifolia</i>									X								
<i>Lantana urticoides</i>							X							X			
<i>Lantana velutina</i>							X										
<i>Lippia alba</i>					X					X							
<i>Lippia bracteosa</i>										X							
<i>Lippia graveolens</i>		X			*	X	*	X		*	X	X	X	X	X	X	X
<i>Lippia nutans</i>							X										
<i>Phyla nodiflora</i>										X							
<i>Priva aspera</i>						X											
<i>Verbena canescens</i>						X				X							
<i>Verbena carolina</i>													X				
<i>Verbena litoralis</i>													X				X
Viburnaceae																	
<i>Sambucus canadensis</i>							X										
Violaceae																	
<i>Pombalia oppositifolia</i>														X			
<i>Viola grahamii</i>													X				
Vitaceae																	
<i>Cissus tiliacea</i>		X					X							X			
<i>Cissus verticillata</i>						X	X			X							
Zygophyllaceae																	
<i>Guaiacum coulteri</i>							X										
<i>Kallstroemia brachystylis</i>							X							X			
<i>Kallstroemia hirsutissima</i>					X							X		X			
<i>Kallstroemia maxima</i>		X					X							X			X
<i>Kallstroemia parviflora</i>										X							
<i>Morkillia mexicana</i>	X	X	*		X	*	*	X		X	X		X	X	X	X	X
<i>Tribulus cistoides</i>							X							X			
<i>Tribulus terrestris</i>														X			

Referencias

- Adams, B., Iverson, L., Matthews, S., Peters, M., Prasad, A. y Hix, D. M. (2020). Mapping forest composition with landsat time series: An evaluation of seasonal composites and harmonic regression. *Remote Sensing*, 12, 610. <https://doi.org/10.3390/rs12040610>
- Aldalur, B. y Santamaría, M. (2002). Realce de imágenes: filtrado espacial. *Revista de Teledetección*, 17, 31–42.
- Arias-Toledo A. A., Valverde, V. M. T. y Reyes, S. J. (2000). *Las plantas de la región de Zapotitlán Salinas*. México D.F.: Semarnap.
- Aronoff, S. (2005). *Remote sensing for GIS managers*. Redlands, California: Environmental Systems Research.
- Breiman, L. y Cutler, A. (2018). Package 'randomForest'. Breiman and Cutler's random forest for classification and regression. Recuperado 25 abril, 2020 de: <https://www.stat.berkeley.edu/~breiman/RandomForests/>
- Casas, A., Camou, A., Otero-Arnaiz, A., Rangel-Landa, S., Cruse-Sanders, J., Solís, L. et al. (2014). Manejo tradicional de biodiversidad y ecosistemas en Mesoamérica: el valle de Tehuacán. *Investigación Ambiental*, 6, 23–44.
- Casas, A., Lira, R., Torres, I., Delgado, A., Moreno-Calles, A. I., Rangel-Landa, S. et al. (2016). Ethnobotany for sustainable ecosystem management: a regional perspective in the Tehuacán Valley. En R. Lira, A. Casas y J. Blancas (Eds.), *Ethnobotany of Mexico* (pp. 179–206). New York: Springer.
- Bhatnagar, S., Gill, L., Regan, S., Naughton, O., Johnston, P., Waldren, S. et al. (2020). Mapping vegetation communities inside wetlands using Sentinel-2 imagery in Ireland. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 88, 102083. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102083>
- Cheung-Wai, Ch. J. y Paelinckx, D. (2008). Evaluation of random forest and adaboost tree-based ensemble classification and spectral band selection for ecotope mapping using airborne hyperspectral imagery. *Remote Sensing of Environment*, 112, 2999–3011.
- Chilar, J. y Jansen, L. J. (2001). From land cover to land use: a methodology for efficient land use mapping over large areas. *Professional Geographer*, 53, 275–289.
- Cobos, M. E., Townsend, P. A., Barve, N. y Osorio-Olvera, L. (2019). Kuenm: An R package for detailed development of ecological niche models using Maxent. *Peer J*, 7, e6281. <https://doi.org/10.7717/peerj.6281>
- Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2020). Geportal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Recuperado el 8 de abril, 2020 de: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Congalton, R. G. y Green, K. (2019). *Assessing the accuracy of remotely sensed data principles and practices*. 3a Ed. Boca Raton: CRC Press.
- Congedo, L. (2016). Semi-automatic classification plugin documentation. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>
- Cuervo-Robayo, A. P., Téllez, V. O., Gómez-Albores, M. A., Venegas-Barrera, C. S., Manjarrez, J. y Martínez-Meyer, E. (2014). An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *International Journal of Climatology*, 34, 2427–2437. <https://doi.org/10.1002/joc.3848>
- Dávila, P., Arizmendi, M. C., Valiente-Banuet, A., Villaseñor, J. L., Casas, A y Lira, R. (2002). Biological diversity in the Tehuacán–Cuicatlán Valley, Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 11, 421–442.
- EIONET (European Topic Centre on Land Use and Spatial Information). (2020). Recuperada el 02 junio, de 2020 de: <https://inspire.ec.europa.eu/theme/lc>
- Franco, R. (2017). *Composiciones LANDSAT en ArcGis. Guía básica*. México D. F. Recuperado el 12 abril, 2020 de: <http://mixdyr.wordpress.com>
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. México D.F.: Instituto de Geografía, UNAM.
- Ghosh, A., Sharma, R. y Joshi, P. K. (2014). Random forest classification of urban landscape using Landsat archive and ancillary data: combining seasonal maps with decision level fusion. *Applied Geography*, 48, 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.01.003>
- Gómez-Pompa, A. (1965). La vegetación de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 29, 76–120.
- González-Medrano, F. (2003). *Las comunidades vegetales de México*. México D.F.: INE-Semarnat.
- González-Medrano, F. (2012). *Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación*. México D.F.: INE-Semarnat.
- Guevara, S. (2018). *Un nuevo patrimonio mundial el valle de Tehuacán-Cuicatlán: hábitat originario de Mesoamérica*. Instituto Nacional de Ecología, México. Recuperado el 03 de marzo, 2020 de: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/transparencia-inecol/17-ciencia-hoy/800-un-nuevo-patrimonio-mundial-el-valle-de-tehuacan-cuicatlan-habitat-originario-de-mesoamerica>
- Heywood, V. H. (1954). El concepto de asociación en las comunidades rupícolas. *Anales Instituto Botánico A. J. Cavaniilles*, 11, 463–481.
- Hijmans, R. J., van Etten, J., Summer, M., Cheng, J., Bevan, R., Bivand, R. et al. (2019). Package raster. Geographic data analysis and modeling. Recuperado 24 abril, 2020 de: <https://cran.r-project.org/web/packages/raster/raster.pdf>
- Holloway, J. y Mengersen, K. (2018). Statistical machine learning methods and remote sensing for sustainable development goals: a review. *Remote Sensing*, 10, 1–21. <https://doi.org/10.3390/rs10091365>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2002). *Conjunto de datos geológicos vectoriales E1406, escala 1:250 000, serie I*. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2013). *Conjunto de datos vectoriales de información topográfica escala 1:50 000, serie III*. México, Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2017a). *Guía para Interpretación de Cartografía. Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250,000. Serie VI. Aguascalientes*, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2017b). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250,000. Serie VI. Aguascalientes*, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Jansen, L. J. M. y Di Gregorio, A. (2002). Parametric Land Cover Classification and Land Use Classification as tools for environmental change detection. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 91, 89–100.
- Jardel, E. J., Maass, M. y Rivera-Monroy, V. H. (2013). *La investigación ecológica a largo plazo en México*. Jalisco, México: Universidad de Guadalajara, Red Mexicana de Investigación Ecológica a Largo Plazo, Editorial Universitaria.
- Kamusoko, C. (2019). *Remote sensing image classification in R*. Gateway East, Singapore: Springer Geography.
- Kuhn, M. (2008). Building predictive models in R using the caret package. *Journal of Statistical Software*, 28, 1–26.
- Lambin, E. F. y Geist, H. J. (2006). *Land-use and land cover change. Local processes and global impacts*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Leija, E. G., Valenzuela-Ceballos, S. I., Valencia-Castro, M., Jiménez-González, G., Castañeda-Gaytán, G., Reyes-Hernández, H. et al. (2020). Análisis de cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo en la región centro-norte de México. El caso de la cuenca baja del río Nazas. *Ecosistemas*, 29, 1826. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1826>
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W. y Chipman, J. W. (2004). *Remote sensing and image interpretation*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- López, E., Mendoza, M. E. y Bocco, G. (2010). Cobertura vegetal y uso del terreno. En S. Cram, L. Galicia e I. Israde-Alcántara (Eds.), *Atlas de la cuenca del lago de Cuitzeo: análisis de su geografía y entorno socioambiental* (pp. 54–59). Ciudad de México, Morelia, Michoacán: Universidad Nacional Autónoma de México/ Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- MacNeish R. S. (1992). *The origins of agriculture and settled life*. Norman y Londres: University of Oklahoma Press.
- Manzo-Delgado, L. y Meave, J. A. (2003). La vegetación vista desde el espacio: la fenología foliar a través de la percepción remota. *Revista Ciencia*, 54, 18–28.
- Martínez, E. y Galindo-Leal, C. (2002). La vegetación de Calakmul, Campeche, México: clasificación, descripción y distribución. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 71, 7–32.
- McAuliffe, J. R., Sundt, P. C., Valiente-Banuet, A., Casas, A. y Viveros, J. L. (2001). Pre-columbian soil erosion persistent ecological changes and collapse of a subsistence agricultural economy in the semi-arid Tehuacan Valley Mexico's 'Cradle of Maize'. *Journal of Arid Environments*, 47, 47–75. <http://dx.doi.org/10.1006/jare.2000.0691>
- Medina-Sánchez, J., McLaren, S. J., Ortega-Ramírez, J. y Valiente-Banuet, A. (2020). Tectono-stratigraphic basin evolution in the Tehuacán-Mixteca highlands, south western México. *Heliyon*, 6, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03584>
- Meyer, D., Dimitriadou, E., Hornik, K., Weingessel, A., Leisch, F., Chang, Ch. et al. (2019). Package 'e1071'. Misc Functions of the Department of Statistics, Probability theory group, TU, Wein. Recuperado 24 de abril, 2020 de: <https://cran.r-project.org/web/packages/e1071/e1071.pdf>
- Miranda, F. (1952). *La vegetación de Chiapas. 2 Vols.* Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: Ediciones del Gobierno del Estado.
- Miranda, F. y Hernández, X. E. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 28, 29–179.
- Montaño, A. N. M., García-Sánchez, R., Ochoa-de la Rosa, G. y Monroy-Ata, A. (2006). Relación entre la vegetación arbustiva, el mezquite y el suelo de un ecosistema semiárido en México. *Terra Latinoamericana*, 24, 193–205.
- Montaño, A. N. M. y Monroy, A. (2000). Conservación ecológica de suelos en zonas áridas y semiáridas de México. *Ciencia y Desarrollo*, XXVI, 26–37.
- Mooney, H. A. y Harrison, A. T. (1972). The vegetation gradient on the lower slopes of the Sierra San Pedro Martir in northwest Baja California. *Madroño*, 21, 439–445.
- Muñoz, I. D. J., Horta, P. G., López, G. F., Hernández, M. M. y Soler, A. A. (2007). El valle de Zapotitlán Salinas, Puebla: marco geográfico regional. En M. C. Arizmendi, G. Ávila, F. López, M. Murguía, S. Rodríguez y S. Solórzano (Eds), *Deterioro ambiental en zonas áridas. Diez años de experiencia multidisciplinaria* (pp. 21–35). Tlalnepantla, México: FES Iztacala, UNAM.
- Muñoz, I. D. J., López, F., Hernández, M. M., Soler, A. A. y López, G. J. (2008). Impacto de la pérdida de la vegetación en las propiedades de un suelo aluvial. *Terra Latinoamericana*, 27, 237–246.
- Orr, B. J., Cowie, A. L., Castillo Sánchez, V. M., Chasek, P., Crossman, N. D., Erlewein, A. et al. (2017). *Scientific conceptual framework for land degradation neutrality. A report of the science-policy interface*. Bonn: United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD).
- Osorio, B. O., Valiente-Banuet, A., Dávila, P. y Medina, R. (1996). Tipos de vegetación y diversidad β en el valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 59, 35–38.
- Pal, M. (2005). Random forest classifier for remote sensing classification. *International Journal of Remote Sensing*, 26, 217–222.
- Paredes-Flores, M., Lira, S. R. y Dávila, A. P. (2007). Estudio etnobotánico de Zapotitlán Salinas, Puebla. *Acta Botanica Mexicana*, 79, 13–61.
- Pereira e Silva, L., Campos, X. A. P., Marques da Silva, R. y Guimaraes, S. C. A. (2020). Modeling land cover change based on an artificial neural network for a semi-arid river basin in northeastern Brazil. *Global Ecology and Conservation*, 21, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00811>

- Pérez-Valladares, C. X., Velázquez, A., Moreno-Calles, A. I., Mas, J. F., Torres-García I., Casas, A. et al. (2019). An expert knowledge approach for mapping vegetation cover based upon free access cartographic data: the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Central Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 28, 1361–1388. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01723-w>
- Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M. et al. (2011). *Ecological niches and geographic distributions*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P. y Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259.
- Priego-Santander, A., Bocco, G., Mendoza, M. y Garrido, A. (2010). Propuesta para la generación automatizada de unidades de paisaje, fundamentos y métodos. México D.F.: Semarnat/ CIGA-UNAM.
- Reyes-Palomeque, G., Dupuy, J. M., Portillo-Quintero, C. A., Andrade, J. L., Tun-Dzul, F. J. y Hernández-Stefanoni, J. L. (2021). Mapping forest age and characterizing vegetation structure and species composition in tropical dry forests. *Ecological Indicators*, 120, 106955. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106955>
- Ripley, B. (2020). Package ‘nnet’. Feed-forward neural networks and multinomial log-linear models. Recuperado el 30 abril, 2020 de: <http://www.stats.ox.ac.uk/pub/MASS4/>
- Rodríguez-Galiano, V. F. y Chica-Rivas, M. (2014). Evaluation of different machine learning methods for land cover mapping of a Mediterranean area using multi-seasonal Landsat images and Digital Terrain Models. *International Journal of Digital Earth*, 7, 492–509. <https://doi.org/10.1080/17538947.2012.748848>
- Rotenberg, E. y Yakir, D. (2010). Contribution of semi-arid forests to the climate system. *Science*, 327, 451–454.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. Edición digital. México D.F.: Conabio. https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf
- Rzedowski, J., Guzmán, G., Hernández, A. y Múñiz, R. (1964). Cartografía de los principales tipos de vegetación de la mitad septentrional del valle de México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional, México*, 13, 31–57.
- Sánchez, P. L. (2007). *Diagnóstico y consecuencias ecológicas de la extracción y consumo de leña en Colonia San Martín, Valle de Zapotitlán, Puebla (Tesis)*. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Estado de México, México.
- Schimel, D. S. (2010). Drylands in the Earth System. *Science*, 327, 418–419.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) y Conanp (Comisión de Áreas Naturales Protegidas). (2013). *Programa de manejo de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán*. México D.F.: Semarnat, Conanp.
- Sharma, R. C., Hará, K. y Tateishi, R. (2017). High-resolution vegetation mapping in Japan by combinig Sentinel-2 and Landsat 8 based multi-temporal datasets through machine learning and cross-validation approach. *Land*, 6, 1–11. <https://doi.org/10.3390/land6030050>
- SRTM. (2018). *SRTM 90 m Digital elevation database*. Recuperado el 30 de abril, 2020 de: <http://srtm.csi.cgiar.org/>
- Téllez, V. O. (2019). *Base de datos de la flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán, México*. México D.F.: Laboratorio de Recursos Naturales-UBIPRO. FES Iztacala, UNAM.
- Teme, RDC. (2020). R: a language and environment for statistical computing.
- Valiente-Banuet, A., Casas, A., Alcántara, A., Dávila, P., Flores-Hernández, N., Arizmendi, M. C. et al. (2000). La vegetación del valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 67, 24–74.
- Valiente-Banuet, A., Solís, L., Dávila, P., Arizmendi, M. C., Silva, P. C., Ortega-Ramírez, J. et al. (2009). *Guía de la vegetación del valle de Tehuacán-Cuicatlán*. México D.F.: UNAM/ Conabio/ INAH/ UAT/ Fundación para la Reserva de la Biosfera Tehuacán–Cuicatlán.
- Vallejo, M., Casas, A., Pérez-Negrón, E., Moreno-Calles, A. I., Hernández-Ordoñez, O., Téllez, O. et al. (2015). Agroforestry systems of the lowland alluvial valleys of the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve: an evaluation of their biocultural capacity. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 11, 1–18.
- Vázquez, D. T. P. (2019). *Intervenciones y transformaciones en la organización comunitaria y el manejo de los recursos comunes en Zapotitlán Salinas, Puebla (Tesis de Maestría en Ciencias de la Sostenibilidad)*. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- Vega, G. A., López-García, J. y Manzo, D. L. L. (2008). Análisis espectral y visual de vegetación y uso del suelo con imágenes Landsat ETM+ con apoyo de fotografías aéreas digitales en el Corredor Biológico Chichinautzin, Morelos, México. *Investigaciones Geográficas*, 67, 59–75.
- Velasco-Molina, A. (1991). *Las zonas áridas y semiáridas: sus características y manejo*. México D.F.: Limusa.
- Von Thaden, J. J., Laborde, J., Guevara, S. y Mokondoko-Delgadillo, P. (2020). Dinámica de los cambios en el uso del suelo y cobertura vegetal en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas (2006-2016). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91, e913190. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3190>
- Xie, G., Niculecu, S., Lam, Ch. y Seveno, E. (2019). Machine learning methods and classification of vegetation in Brest France. *Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments, IV*, 111570J. <https://doi.org/10.1117/12.2533436>
- Xu, T. y Hutchinson, M. (2013). ANUCLIM v. 6.1. Institute of Advanced Studies. Fenner School of Environment and Society. Australia National University.
- Yeo, S., Lafon, V., Alard, D., Curti, C., Dehouck, A. y Benot, M. L. (2020). Classification and mapping of saltmarsh vegetation combining multispectral images with field data. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 236, 106643. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106643>

- Zaffar, A., Safriel, U., Niemeijer, D. y White, R. (2005). *Ecosistemas y bienestar humano. Síntesis sobre desertificación. Informe de la evaluación de los ecosistemas del milenio*. Washington D.C.: World Resources Institute.
- Zavala, H. J. A. (1980). *Estudios ecológicos en el valle semiárido de Zapotitlán de las Salinas, Puebla; clasificación de la vegetación (Tesis)*. Facultad de Ciencias, UNAM. México D.F.