

DISTRIBUCIÓN, ESTADO DE CONSERVACIÓN Y AMENAZAS DE *LOBELIA VILLAREGALIS* (CAMPANULACEAE) EN EL BOSQUE LA PRIMAVERA, JALISCO

DISTRIBUTION, CONSERVATION STATUS AND THREATS OF *LOBELIA VILLAREGALIS* (CAMPANULACEAE) IN BOSQUE LA PRIMAVERA, JALISCO

 LETICIA HERNÁNDEZ-LÓPEZ¹,  GUADALUPE MUNGUÍA-LINO^{2,3*}

¹ Departamento de Botánica y Zoología, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, México.

² Cátedras Conacyt-Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, México.

³ Laboratorio Nacional de Identificación y Caracterización Vegetal (LaniVeg), Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, México.

*Autor para correspondencia: gmlinno@gmail.com

Resumen

Antecedentes: *Lobelia villaregalis* fue descrita en 1987 a partir de una sola localidad en el Bosque La Primavera, Zapopan, Jalisco. En el año 2008 se registró otra localidad, lo que sugiere que el conocimiento sobre la distribución de la especie es incompleto.

Preguntas: ¿Cuál es la distribución conocida y potencial de *L. villaregalis* en el Bosque La Primavera? ¿Cuál es su estado de conservación y cuáles las principales amenazas?

Especies de estudio: *Lobelia villaregalis* T.J. Ayers.

Sitio de estudio y fechas: Zapopan, Jalisco, 2018-2020.

Métodos: Se realizaron exploraciones en el área natural protegida Bosque La Primavera para localizar poblaciones nuevas de la especie. Para caracterizar el hábitat y las amenazas que enfrenta la especie se registraron datos en campo y se complementaron utilizando sistemas de información geográfica. También se determinó su estado de conservación. La distribución potencial se obtuvo con Maxent.

Resultados: Se registran en total seis sitios con presencia de *L. villaregalis*, los cuales se ubican en las zonas de manejo de mayor protección; Uso restringido y Recuperación. Sin embargo, la especie se encuentra En Peligro con un área de ocupación de 28 km². Los sitios están contiguos a campos de cultivo, asentamientos humanos, incendios forestales, entre otros. El área de distribución potencial estimada con variables climáticas fue de 160.051 km², los sitios con probabilidades de uno fueron validados en campo, pero no se encontró la especie.

Conclusiones: *Lobelia villaregalis* se encuentra en alto riesgo, se requieren acciones urgentes *in situ* y *ex situ* para su conservación.

Palabras clave: Bosque La Primavera, distribución potencial, especies amenazadas, especies endémicas, riesgo de extinción.

Abstract

Background: *Lobelia villaregalis* was described in 1987 from a single locality in Bosque La Primavera, Zapopan, Jalisco. Another locality was recorded in 2008 which suggests that knowledge about the distribution of the species is incomplete.

Questions: What is the known and potential distribution of *L. villaregalis* in Bosque La Primavera? What is its conservation status and what are the main threats?

Studied species: *Lobelia villaregalis* T.J. Ayers.

Study site and dates: Zapopan, Jalisco, 2018-2020.

Methods: Explorations were carried out in the natural protected area Bosque La Primavera to locate new populations of the species. In order to characterize the habitat and the threats faced by the species, data were recorded in the field and complemented using geographic information systems. Its conservation status was also determined. Potential distribution was obtained with Maxent.

Results: A total of six sites with the presence of *L. villaregalis* are recorded, which are located in the management zones of greater protection; Restricted use and Recovery. However, the species is Endangered with an area of occupancy of 28 km². The sites are adjacent to crop fields, human settlements, forest fires, among others. The estimated potential area of distribution with climatic variables was 160.051 km², the sites with probabilities of one were validated in the field but the species was not found.

Conclusions: *Lobelia villaregalis* is at high risk, urgent actions are required *in situ* and *ex situ* for its conservation.

Keywords: Bosque La Primavera, endemic species, potential distribution, risk of extinction, threatened species.

El género *Lobelia* L. (Campanulaceae) incluye 424 especies (Gutiérrez-Sánchez *et al.* 2018, Pérez-Pérez *et al.* 2022) agrupadas en 18 secciones (Lammers 2011) y presenta una distribución cosmopolita, pero alcanza su máxima diversidad de especies en regiones intertropicales. El recuento de Campanulaceae más reciente para México es de Rzedowski (2019) donde registra 117 especies, representadas por 14 géneros entre los que destaca *Lobelia* con 85 y el número incrementa a 86 con la reciente descripción de *Lobelia alanae* M. A. Pérez-Pérez & T.J. Ayers (Pérez-Pérez *et al.* 2022). Para Jalisco, se listan 16 especies de Campanulaceae, de las cuales 14 corresponden a *Lobelia* y una de ellas es *Lobelia villaregalis* T.J. Ayers, la cual forma parte de la sección *Stenotium* Presl. (Rzedowski 2019). Es una hierba perenne de 15 a 20 cm de alto, con tallos decumbentes, hojas caulinares y márgenes dentados. Su inflorescencia es un racimo, con flores de 1-1.2 cm de largo, hipantio asimétrico, espolón de 8.5-10 mm de largo, corola rosa con tonalidades rosa-púrpura (Ayers 1987, [Figura 1](#)). La especie es endémica de Jalisco y fue descrita por Ayers (1987) a partir de un ejemplar colectado en 1968 por Luz María Villarreal de Puga, en la Sierra de la Venta, en arroyos cercanos al poblado de La Venta del Astillero en el municipio de Zapopan. Actualmente, este sitio forma parte de un área natural protegida (ANP) con la categoría de Área de Protección de Flora y Fauna Bosque La Primavera (APFFLP), ubicada en la parte central de Jalisco (CONANP 2000). Durante 20 años no se registraron nuevas localidades de la especie, por lo que sólo se conocía de la localidad tipo, caracterizada por cañones húmedos en bosque mixto de pino-encino. En 1988, se colectó un ejemplar en otra localidad del área protegida, el cual se determinó como *Lobelia*, sin indicar la especie (Reyna-Bustos 1989) y así permaneció en el Herbario del Instituto de Botánica de la Universidad de Guadalajara (IBUG). Fue hasta el año 2006 que se realizó trabajo de herbario y exploraciones en el Bosque La Primavera, como parte de un proyecto florístico, que el ejemplar mencionado se determinó como *L. villaregalis* registrándose una nueva población y posteriormente se verificó en campo (Hernández-López *et al.* 2008).

Si bien esta especie se encuentra en un ANP, esas unidades de conservación en Jalisco enfrentan múltiples presiones antropogénicas (Jardel-Peláez *et al.* 2017). En particular el APFFLP presenta un rango amplio de factores de amenaza, los de mayor impacto son: los incendios forestales, el impacto por la visita pública, la construcción de caminos, el cambio de uso del suelo para urbanización, especulación inmobiliaria, fragmentación del hábitat, contaminación con desechos sólidos y la erosión del suelo (Jardel-Peláez *et al.* 2017). Aunque en el Bosque La Primavera se han logrado avances en el manejo y conservación de la biodiversidad, su proximidad a la mancha urbana de la Zona Metropolitana de Guadalajara, en constante expansión, dificulta un manejo eficiente del área.

Por otra parte, la distribución restringida, las poblaciones pequeñas y la preferencia por un hábitat particular, son algunas de las características intrínsecas de las especies que las hacen más vulnerables a la extinción (Isaac & Cowlshaw 2004, Ricketts *et al.* 2005, Niskanen *et al.* 2019). Identificar los diferentes tipos de amenaza a las que están sometidas algunas especies es importante porque pueden interactuar con sus características biológicas para elevar el riesgo de extinción; las especies que tienen preferencia por un tipo de hábitat es más probable que se vean amenazadas por pérdida de hábitat o las que tienen distribución geográfica reducida con frecuencia se asocian con descenso poblacional rápido (Cardillo & Meijaard 2012).

En las últimas décadas los modelos predictivos de distribución de especies, basados en las condiciones ambientales de los sitios de presencia ya conocidos constituyen una herramienta de análisis que puede apoyar estrategias de conservación y planificación para el manejo de biodiversidad (Phillips *et al.* 2006). Los modelos basados en el nicho ecológico estiman la probabilidad de la distribución de un taxón señalando nuevos sitios que tienen las características ambientales adecuadas para el desarrollo de la especie en función de las variables ambientales dadas (Peterson *et al.* 1999, Phillips *et al.* 2006, Phillips & Dudík 2008). Además, estos modelos pueden ser de utilidad para diseñar programas de muestreo de campo más eficientes, en particular para especies que se conocen de pocas localidades como en el caso de *L. villaregalis*.

Generar información sobre la distribución, las condiciones del hábitat y los factores de deterioro poblacional de *L. villaregalis*, permitirá dar pautas para su conservación. En este contexto, los objetivos del presente trabajo fueron: 1) analizar la distribución conocida y potencial de *L. villaregalis* en el Bosque La Primavera, 2) evaluar el estado de conservación y las amenazas de la especie y 3) determinar su distribución con respecto a las zonas de manejo en esta ANP de Jalisco.

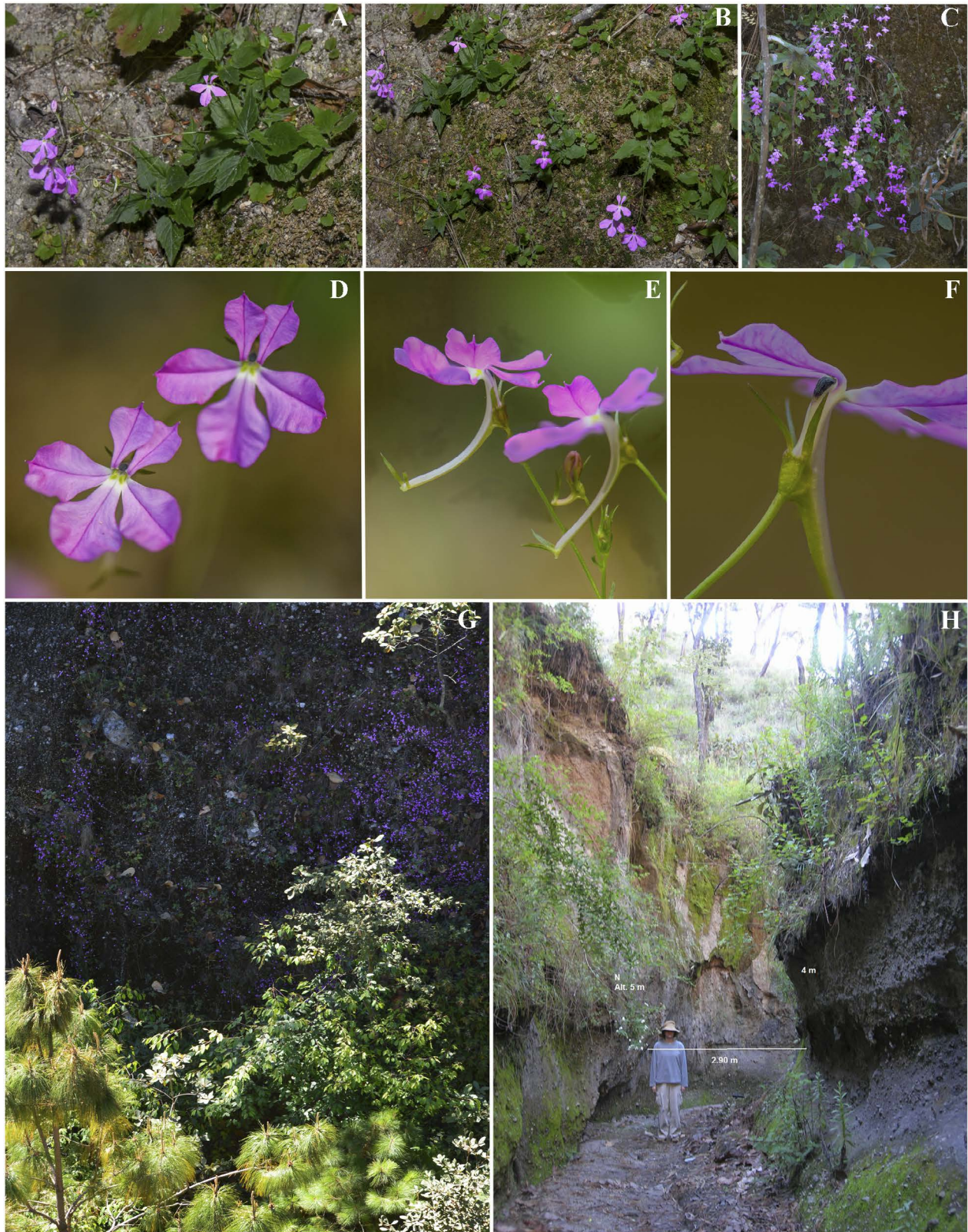


Figura 1. Características morfológicas de *Lobelia villaregalis* (A, B, C, D, E, F); condiciones de su hábitat (G, H). Fotografías de Darío Figueroa García (C, G), Ernesto Sánchez Proal (A, B, D-F) y Mollie Harker (H).

Materiales y métodos

Área de estudio. El trabajo se realizó en el Área de Protección de Flora y Fauna Bosque La Primavera la cual forma parte de la Sierra de La Primavera. Se ubica en la región central de Jalisco y al oeste de la zona metropolitana de Guadalajara (Figura 2), ocupa una superficie de 30,500 has en los municipios de Tlajomulco de Zúñiga, Tala y Zapopan, donde el 54 % corresponde a este último (CONANP 2000). Forma parte del Eje Volcánico Transmexicano y su relieve consta de mesetas, montañas y colinas irregulares donde la erosión ha jugado un papel importante. Presenta un rango de elevación de 1,400 a 2,200 m snm. Las unidades de suelo representadas en el área son del tipo regosol y litosol con 92 y 8 % respectivamente. Los tipos de clima predominantes son templado subhúmedo y semicálido subhúmedo con lluvias en verano, también se presentan lluvias en invierno, pero éstas representan sólo el 5 % de la precipitación total (CONANP 2000). En cuanto a la vegetación, se registran cuatro tipos de acuerdo con la clasificación de Rzedowski (1978): bosque de encino, bosque de encino-pino, bosque de pino, bosque tropical caducifolio y con menor superficie otras comunidades vegetales como vegetación acuática y subacuática y vegetación secundaria. La flora vascular, consta de 961 especies (CONANP 2000) aunque todavía se registran novedades como el hallazgo de el álamo, *Populus primaveralepis* A.Vázquez, Muñiz-Castro & Zuno (Vázquez-García *et al.* 2019). En un contexto de ordenamiento espacial del territorio, la zonificación en áreas naturales protegidas es la delimitación de sitios definidos en función de la vocación natural del terreno y de su uso actual y potencial. Se toman en cuenta las características físicas, biológicas, valores paisajísticos, usos actuales y potenciales en el aspecto productivo y de recreación. Lo anterior permite definir y diferenciar el esquema de manejo y las actividades que pueden permitirse o no en cada una de las zonas, además de la intensidad o modalidades de las actividades (SEMARNAP 2000, CONANP s.f.). De esta forma, las zonas definidas para el manejo en el ANP Bosque La Primavera son: 1) Protección, 2) Uso restringido, 3) Aprovechamiento sustentable de recursos naturales, 4) Aprovechamiento sustentable de agroecosistemas, 5) Aprovechamiento especial, 6) Uso público y 7) Recuperación (CONANP 2000).

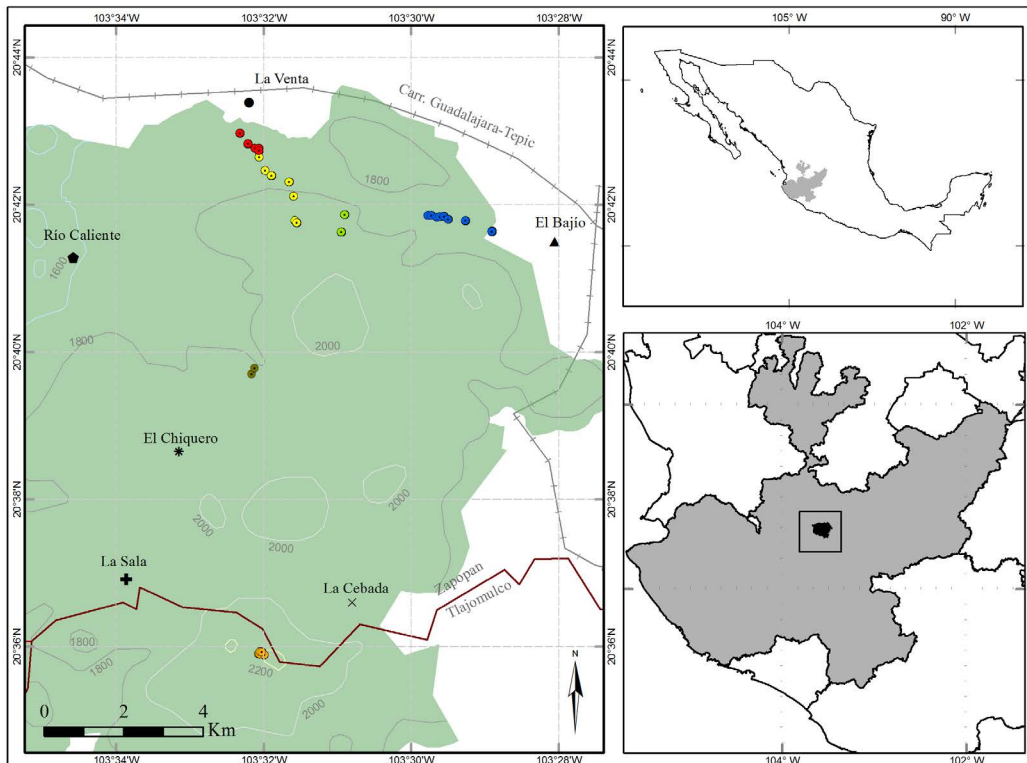


Figura 2. Ubicación del área de estudio y de las localidades de *Lobelia villaregalis*. Rojo) Cañada La Venta 1; Amarillo) Cañada La Venta 2; Azul) Villa Panamericana; Anaranjado) El Espinazo; Verde limón) Pinar de La Venta; Verde olivo) Zona geotérmica.

Distribución geográfica. Se realizaron exploraciones en campo para localizar nuevas poblaciones de la especie, las cuales se planearon tomando en cuenta la información de ejemplares de herbario, referencias bibliográficas y la fenología de la planta, tratando de encontrarla en floración para facilitar su ubicación en campo y confirmar su identidad taxonómica. Primeramente, se visitaron las dos localidades ya registradas (Villa-Galaviz *et al.* 2020) y posteriormente otros sitios que presentan condiciones ambientales similares en el ANP. Las nuevas localidades encontradas se referenciaron geográficamente con un GPS y se recolectaron muestras de la planta, las cuales se procesaron y los ejemplares de respaldo se depositaron en el herbario IBUG. Para fines de análisis, los sitios con presencia de *L. villaregalis* se delimitaron tomando en cuenta el año de su hallazgo, de modo que cada sitio puede incluir varias subpoblaciones ya que la planta generalmente se distribuye de forma discontinua.

Modelado de distribución potencial. Los datos de presencia de *L. villaregalis* se obtuvieron de varias fuentes: exploraciones en campo en el Bosque La Primavera, revisión del herbario IBUG y del Herbario Nacional del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (MEXU). También se consultó la plataforma Global Biodiversity Information Facility (GBIF). El modelo de nicho se construyó con el algoritmo de máxima entropía implementado en el programa Maxent versión 3.4.4 (Phillips *et al.* 2006). Para ello, se utilizó la latitud y longitud de 37 registros de *L. villaregalis* los cuales fueron depurados a uno por pixel para evitar la autocorrelación espacial y ambiental. Se utilizaron 31 variables con una resolución de 30 arcos segundos y la extensión geográfica de México. Se incluyeron 19 variables climáticas (Hijmans *et al.* 2005), nueve edáficas y tres topográficas (López-Mata *et al.* 2012, Cruz-Cárdenas *et al.* 2014). Para obtener variables no correlacionadas se generó una base de datos con latitud y longitud de *L. villaregalis*. Esta matriz de datos fue convertida a un formato de valores separados por comas (.csv), el archivo fue transformado en QGIS 3.4.8 (QGIS 2019 qgis.osgeo.org) a un archivo shape. Posteriormente se extrajeron los valores de los ráster de las 31 variables con la herramienta Point Sampling Tools. A estos resultados, se les aplicó un Análisis de Componentes Principales (ACP) en la plataforma R v. 3.2.2 (R Core Team 2015). Tres componentes fueron seleccionados, siguiendo el criterio de raíz latente (Hair *et al.* 1999). Cinco variables de cada componente fueron seleccionadas, para ello se consideraron los valores absolutos. Los modelos finales se realizaron con 11 variables y 10 puntos de ocurrencia. La distribución geográfica de *L. villaregalis* está restringida a Jalisco en la provincia biogeográfica de la Faja Volcánica Transmexicana (Morrone *et al.* 2017), por ello se utilizó el área de la Faja Volcánica Transmexicana en Jalisco como área accesible. Del total de registros, 25 % se utilizó para validar el modelo y 75 % para el entrenamiento del mismo. La importancia de cada variable fue calculada con la prueba de Jackknife (Phillips *et al.* 2006, Baldwin 2009). Para evaluar el modelo, se obtuvieron curvas ROC y se calculó el área bajo la curva (AUC). Se obtuvieron 10 modelos independientes más un modelo promedio. El modelo con el AUC más alto fue seleccionado. Como el modelo se realizó con 10 registros de ocurrencia de la especie, el umbral de corte fue “10 percentile training presence”. El modelo obtenido fue transformado en un mapa binario de presencia-ausencia en el programa ArcMap Gis 10 (ESRI 2010). Los pixeles con valores de 0.524 a 1.0 fueron seleccionados y convertidos a vectores. Pixeles con valores de 0 a 0.523 no fueron seleccionados. Finalmente se estimó el área de cada polígono y se sumó.

Estado de conservación. La categoría de riesgo de *L. villaregalis* se estimó con base en el criterio de distribución geográfica (B) de la Lista Roja de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN 2019, 2022). Para ello se evaluaron los siguientes parámetros: 1) la extensión de presencia (EOO, B1), representada por un polígono convexo mínimo y 2) el área de ocupación (AOO, B2), representada por una cuadrícula de 2×2 km² (Willis *et al.* 2003, Vargas-Amado 2013, Munguía-Lino *et al.* 2015, IUCN 2019, 2022). Se eligieron estos parámetros para garantizar el uso válido de los criterios y mantener la coherencia de las evaluaciones de la Lista Roja en todos los taxones (IUCN 2022). Dado que el AOO es muy sensible a la escala espacial en la que se mide, es posible llegar a estimaciones diferentes a partir de los mismos datos, por ello se utilizó un tamaño de celda de 2×2 km² como lo establece la IUCN (2022). Estos parámetros fueron evaluados en el programa GeoCat (Bachman *et al.* 2011). Finalmente, el área de ocupación fue traslapada con el polígono de zonificación del APFFLP (CONANP 2017). La cartografía y el geoprocésamiento de los datos se realizó en ArcMap Gis 10 (ESRI 2010).

Características e impactos en el hábitat. Se registraron datos en campo sobre las características del hábitat y de las condiciones de los sitios que representan factores de amenaza (campos agrícolas, asentamientos humanos, evidencia de incendios, entre otros). Los asentamientos humanos se diferencian aquí de manera general como áreas urbanas y áreas suburbanas, tratándose en el primer caso de la expansión de centros urbanos establecidos, como La Venta del Astillero. Mientras que, las áreas suburbanas se refieren como viviendas aisladas habitadas de forma permanente (en ocasiones en zonas de riesgo) o pequeños ranchos ocupados ocasionalmente. Dado que estos aspectos no siempre pudieron visualizarse estando en las cañadas, la información se complementó mediante sistemas de información geográfica (SIG), midiendo en línea recta la distancia de los sitios con respecto de los factores mencionados. También con el uso de SIG se estimó el área ocupada por la especie en cada sitio, para ello se tomaron los puntos extremos en cada sitio, dado que *L. villaregalis* crece en cañadas y en ocasiones se observaron individuos de un lado de la cañada y no del otro, se generó un buffer de 5 m de diámetro. El área fue estimada con la calculadora de área de QGIS 3.4.8 (QGIS 2019 qgis.osgeo.org).

Distribución actual en la zonificación. Con el fin de documentar el grado de protección que *L. villaregalis* tiene al interior del APFFLP, se analizó su representación en las diferentes zonas de manejo. Los sitios con presencia de la especie se representan como puntos, y mediante SIG se sobrepusieron en el mapa de zonificación vigente (CONANP 2000).

Estimación del área potencial de L. villaregalis por zona de manejo. El polígono del APFFLP incluye siete zonas de manejo (CONANP 2000). Los polígonos de EOO, AOO y del modelo de distribución potencial (MDP) fueron recortados con las zonas de manejo: 1) Protección, 2) Uso restringido, 3) Aprovechamiento sustentable de recursos naturales, 4) Aprovechamiento sustentable de agroecosistemas, 5) Aprovechamiento especial, 6) Uso público y 7) Recuperación (CONANP 2000) para estimar el área de los polígonos dentro de cada una de ellas.

Resultados

Distribución geográfica. Previo a este trabajo se tenían documentadas dos poblaciones de *L. villaregalis* en el Bosque La Primavera. Con las exploraciones realizadas entre 2018 y mediados de 2020 se adicionaron cuatro poblaciones más, la mayoría en Zapopan y sólo una en los límites con Tlajomulco de Zúñiga, dentro del ANP ([Apéndice 1](#)). Tres de las localidades se encontraron contiguas a la localidad tipo, en la porción norte del APFFLP ([Tabla 1](#), [Figura 2](#)). La superficie total que ocupan las seis poblaciones fue de 849.765 m², la población con menor área fue de 39.27 y de 235.62 m² la de mayor tamaño ([Tabla 2](#)). La distribución actual de la especie con respecto de la zonificación del ANP muestra que las poblaciones Cañada La Venta 1 y Cañada La Venta 2 se ubican en la zona Uso restringido. El Espinazo, Pinar de La Venta y Villa Panamericana se encuentran en la zona Recuperación. Las dos últimas están muy próximas a la zona Aprovechamiento sustentable de agroecosistemas ([Figura 2](#), [Tabla 2](#)).

Modelado de distribución potencial. La prueba de Jackknife mostró que la variable conductividad eléctrica (mexce) fue la más importante con un porcentaje de contribución de 56.5, seguida de temperatura mínima promedio del periodo más frío (Bio 06) con 20.9 % y oscilación diurna de la temperatura (Bio 02) con 10.6 %. El resto de variables incluidas en el modelo tuvieron menos del 10 % de contribución ([Tabla 3](#)). Los modelos tuvieron valores de AUC entre 0.958 y 0.999. El área de distribución potencial para *L. villaregalis* fue de 160.051 km² en el polígono del ANP Bosque La Primavera ([Figura 3](#)).

Estado de conservación. *Lobelia villaregalis* tuvo una extensión de presencia (EOO) de 39.922 km², de acuerdo con este índice la especie se encuentra en la categoría En Peligro Crítico (CR) dado que el valor fue < 100 km². Mientras que, el área de ocupación (AOO) resultó en 28 km², por lo que la especie está En Peligro (EN) debido a que esta superficie fue >10 km², pero < 500 km². El polígono del APFFLP incluyó 37 puntos, mientras que uno quedó fuera ([Tabla 4](#), [Figura 3](#)).

Tabla 1. Relación de localidades y condiciones del hábitat de *Lobelia villaregalis* en el Bosque La Primavera.

| Número de sitio | Nombre del Sitio | Año hallazgo | Elevación (msnm) | Topografía | Coordenadas extremas |
|-----------------|--------------------|--------------|------------------|------------------------------------|--|
| 1 | Cañada La Venta 1 | 1987 | 1,530-1,565 | Paredón en cañada estrecha | (20.71222, -103.53444) (20.71623, -103.53872) |
| 2 | El Espinazo | 2006 | 2,159-2,187 | Paredón de 17 m en cañada estrecha | (20.59817, -103.53322) (20.59889, -103.53419) |
| 3 | Pinar de La Venta | 2018 | 1,795-1,842 | Paredón en cañada abierta | (20.69386, -103.51575) (20.69777, -103.51505) |
| 4 | Cañada La Venta 2 | 2018 | 1,760-1,850 | Paredón en cañada estrecha | (20.69596, -103.5259) (20.71076, -103.53438) |
| 5 | Villa Panamericana | 2018 | 1,592-1,691 | Paredón de 4-5 m en cañada abierta | (20.69761, -103.49622) (20.694, -103.48173) |
| 6 | Zona geotérmica | 2020 | 1,818 | Paredón en cañada estrecha | (20.661725, -103.53606) (20.66298, -103.5354) |

Características e impactos en el hábitat. Las localidades de *L. villaregalis* presentaron un rango de elevación que oscila entre 1,530 y 2,187 m snm y el tipo de vegetación que predominó fue el bosque mixto de encino-pino, entre las plantas no vasculares, el musgo se observó con frecuencia. En todas las poblaciones las plantas se desarrollan en paredes de cañadas y la altura de éstas, así como lo ancho de las cañadas fue variable (Tabla 1). En áreas que circundan todas las poblaciones registradas hubo evidencias de actividad humana y otros factores de amenaza a la especie; los indicios de incendios forestales, presencia de cultivos y asentamientos humanos prevalecen, aunque la distancia con respecto de éstos fue variable. La distancia promedio en línea recta de las localidades de la especie con respecto de áreas urbanas y suburbanas fue de 1.30 km, la de El Espinazo fue la más alejada con 4.43 km y le siguió Pinar de La Venta con 2.19 km. Mientras que, cuatro se encontraron a menos de 750 m. El sitio de la Villa Panamericana, en particular la porción este, es el más cercano a una zona suburbana con una distancia de 20 m, donde algunas viviendas se encuentran prácticamente en el borde de la cañada en cuya pared crecen varias plantas de *L. villaregalis* (Figura 2, Tabla 2). Las áreas de cultivo se ubicaron a 0.65 km en promedio, la máxima cercanía es de 0.01 km y la más alejada a 1.31 km, que corresponden a las poblaciones de Villa Panamericana y Pinar de La Venta, respectivamente. En la población El Espinazo no se registraron cultivos cercanos. Los indicios de incendios forestales se apreciaron en la cercanía a todos los sitios donde crece *L. villaregalis*, no obstante, dos de ellos fueron impactados directamente en abril de 2019; Cañada La Venta 1 fue el sitio más afectado (Figura 4J, K, L). Otras actividades humanas obser-

vadas fueron paseantes en caballos, visitantes con perros, ciclismo de montaña, acumulación de basura, aunque no propiamente como vertederos permanentes y erosión. Esta última se apreció en gran magnitud en el sitio El Espinazo durante la primera temporada de lluvias después del incendio (Figura 4I).

Estimación del área potencial de L. villaregalis por zona de manejo. La zona de manejo con mayor superficie de EOO fue Uso restringido (17.948 km²), seguida de la zona Recuperación (11.463 km²). Caso contrario, Aprovechamiento sustentable de recursos naturales tuvo la menor superficie (0.719 km²). Las demás zonas de manejo tuvieron menos de 5 km². En cuanto al AOO, la zona con mayor superficie fue Uso restringido (14.14 km²) seguida de Recuperación (7.481 km²). Las zonas restantes tuvieron menos de 5 km² y Uso público no tuvo superficie con potencial para *L. villaregalis* (Tabla 4). El MDP mostró resultados similares, Uso restringido fue la zona con mayor

Tabla 2. Factores antropogénicos observados en las localidades de *Lobelia villaregalis*.

| Sitio | Área (m ²) | Actividad productiva | Cercanía a poblados(km) | Tipo de ganado o cultivo |
|--------------------|------------------------|------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Cañada La Venta 1 | 98.175 | Área urbana | 0.43 | Maíz |
| | | Área suburbana | 0.82 | |
| | | Cultivo | 0.22 | |
| | | Paseantes con perros | | |
| | | Paseantes en caballo | | |
| | | Acumulación de basura | | |
| | | Incendios | | |
| El Espinazo | 235.62 | Área urbana | 4.43 | |
| | | Infraestructura (Torre vigilancia) | 1.15 | |
| | | Paseantes en bicicleta | | |
| | | Erosión | | |
| | | Incendios | | |
| | | | | |
| Pinar de La Venta | 39.27 | Área urbana | 2.19 | Maíz |
| | | Cultivo | 1.31 | |
| | | Erosión | | |
| | | Indicios de incendios | | |
| | | Pastoreo | | |
| Cañada La Venta 2 | 137.445 | Área suburbana | 0.72 | Maíz |
| | | Cultivo | 0.43 | |
| | | Indicios de incendios | | |
| Villa Panamericana | 176.715 | Área suburbana | 0.02 | Maíz |
| | | Cultivo | 0.01 | |
| | | Acumulación de basura | | |
| | | Paseantes en caballo | | |
| Zona geotérmica | 162.54 | Cultivo | 1.28 km | Maíz |
| | | Zona suburbana | 0.52 km | |
| Área total | 849.765 | Distancia promedio | 1.05 km | |

superficie de MDP (70.375 km²), seguida de Recuperación (36.779 km²) y Protección (28.951 km²). El resto de las zonas mostraron valores entre 4 y 12 km², y Uso público tuvo la menor superficie (0.972 km²).

Discusión

A través de nuestra exploración en el ANP Bosque La Primavera, el conocimiento de la distribución de *L. villaregalis* ha incrementado, ya que de dos poblaciones conocidas (Ayers 1987, Hernández-López *et al.* 2008, Villa-Galaviz *et al.* 2020) pasó a seis. Sin embargo, existe cierta incertidumbre respecto a los límites espaciales entre una población

Tabla 3. Variables utilizadas en el análisis de componentes principales y en el modelado de nicho ecológico de *Lobelia villaregalis*. * Variables utilizadas en el modelo.

| Tipo | Variable | % de contribución | Importancia de Permutación |
|---------------------------------------|---|-------------------|----------------------------|
| Climática | Estacionalidad de la precipitación (Bio 15) | - | - |
| | Estacionalidad de la temperatura (Bio 04) | - | - |
| | Isotermalidad (Bio 03) | - | - |
| | Oscilación anual de la temperatura (Bio 07) | - | - |
| | *Oscilación diurna de la temperatura (Bio 02) | 10.6 | 7.4 |
| | Precipitación anual (Bio 12) | - | - |
| | Precipitación del cuatrimestre más cálido (Bio 18) | - | - |
| | Precipitación del cuatrimestre más frío (Bio 19) | - | - |
| | Precipitación del cuatrimestre más húmedo (Bio 16) | - | - |
| | Precipitación del cuatrimestre más seco (Bio 17) | - | - |
| | Precipitación del mes más húmedo (Bio 13) | - | - |
| | Precipitación del periodo más seco (Bio 14) | - | - |
| | Promedio de la temperatura del cuatrimestre más frío (Bio 11) | - | - |
| | *Temperatura máxima promedio del periodo más cálido (Bio 05) | - | - |
| | *Temperatura mínima promedio del periodo más frío (Bio 06) | 20.9 | 14.9 |
| | *Temperatura promedio anual (Bio 01) | - | - |
| | *Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido (Bio 10) | - | - |
| | *Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso (Bio 08) | - | - |
| | Temperatura promedio del cuatrimestre más seco (Bio 09) | - | - |
| | Edáfica | Calcio (mexca) | - |
| Carbono orgánico (mexco) | | - | - |
| *Conductividad eléctrica (mexce) | | 56.5 | 69 |
| *Magnesio (mexmg) | | 4 | 2.7 |
| Materia orgánica (mexmo) | | - | - |
| pH (mexph) | | - | - |
| Potasio (mexk) | | - | - |
| *Radio de absorción de sodio (mexras) | | 8.1 | 6 |
| Sodio (mexna) | - | - | |
| Topográfica | Elevación (mexdem) | - | - |
| | *Orientación de 0 a 359° (aspect) | - | - |
| | *Pendiente (de 0 a 90°) (mexslope) | - | - |

Distribución, conservación y amenazas de *Lobelia villaregalis*

y otra, en particular en el caso de la Cañada La Venta 1 y Cañada La Venta 2. Aquí asumimos que se trata de dos poblaciones diferentes de la especie, además se muestran por separado con el fin de documentar cronológicamente su hallazgo (Tabla 1). Es probable que existan otras poblaciones en sitios de difícil acceso y que no han sido explorados aún o que han pasado desapercibidas debido a la preferencia de la especie por crecer en paredones de cañadas (Villa-Galaviz *et al.* 2020) ya que las plantas son conspicuas generalmente en periodo de floración. Otro aporte de este trabajo son los datos georeferenciados de las poblaciones de *L. villaregalis* con el fin de que los administradores del ANP cuenten con información precisa que pueda tomarse en cuenta en las acciones de manejo.

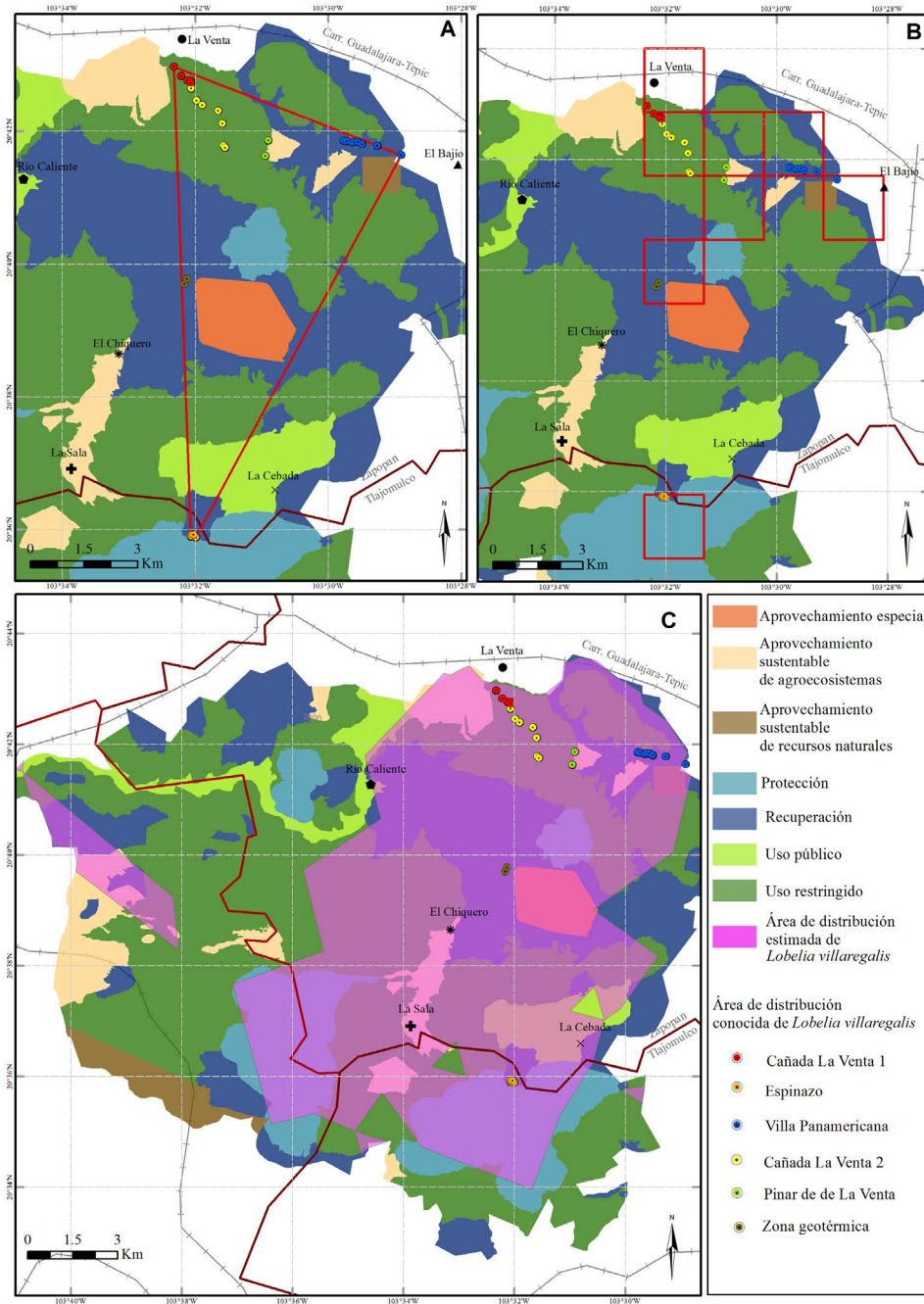


Figura 3. Extensión de presencia (A), área de ocupación (B) y distribución potencial (C) de *Lobelia villaregalis* en el Bosque La Primavera.

La distribución actual de *L. villaregalis*, tomando en cuenta la zonificación en el APFFLP, refleja que las zonas Uso restringido y Recuperación albergan las seis poblaciones conocidas. La primera zona tiene como objetivo principal “la preservación de los ecosistemas a mediano y largo plazo”, mientras que la segunda contempla programas de rehabilitación y recuperación de los recursos naturales que han sido alterados o modificados (SEMARNAP 2000). Según esta normativa, teóricamente las poblaciones de Cañada La Venta 1, Cañada La Venta 2 y parcialmente Pinar de la Venta, tendrían el máximo grado de protección. Mientras que, las actividades permitidas en las poblaciones Villa Panamericana, Zona Geotérmica y El Espinazo, a pesar de no ubicarse en una zona de manejo con alto grado de protección, contribuirían a la mejora de la calidad del hábitat. Sin embargo, la realidad muestra que los impactos ambientales en el ANP rebasan cualquier zona de manejo (Figura 4, Tabla 2) y aunque este panorama se ha registrado desde hace mucho tiempo (Hernández-López 1991), el crecimiento continuo de la zona metropolitana de Guadalajara agudiza la problemática. De forma lamentable, en otras ANP's de Jalisco y del país también se enfrentan múltiples factores de deterioro de sus recursos naturales (Arriola Padilla *et al.* 2014, Jardel-Peláez *et al.* 2017). Entre los factores antropogénicos registrados en las seis poblaciones de *L. villaregalis* o en áreas contiguas a estas, los indicios de incendios ya sea recientes o de años atrás, la apertura de áreas para cultivo y la presencia de áreas urbanas y suburbanas fueron las más frecuentes. De estos, los incendios forestales son los que representan una mayor amenaza a la permanencia de las poblaciones de *L. villaregalis* ya sea por el impacto directo del fuego o por los procesos erosivos generados después de los incendios, debido a que durante las lluvias el arrastre de tierra y troncos impacta los paredones de cañadas donde la planta crece. Se ha reconocido que los incendios forestales representan una seria amenaza para la biodiversidad en toda el APFFLP. Según E. Jardel-Peláez (pers. comm.), el número de incendios y su intensidad es variable, sin embargo, en las últimas décadas (1998-2019) casi el 90 % de la superficie del Bosque La Primavera se ha quemado alguna vez. A pesar de eso, todavía es posible encontrar microhábitas que albergan especies como la que analizamos en este trabajo. De forma reciente, en respuesta a la problemática de los incendios en el ANP, se propuso un Programa de Manejo del Fuego (E. Jardel-Peláez pers. comm.) aunque su implementación ha sido incipiente, limitándose a realizar acciones preventivas. Con el fin de conservar a *L. villaregalis* es urgente que sus poblaciones sean definidas como sitios de exclusión previo a la ejecución de dicho plan, tomando en cuenta la información precisa de las localidades que aquí aportamos. También sería recomendable implementar un programa de monitoreo poblacional de la especie.

Lobelia villaregalis no se encuentra en ninguna lista de especies en riesgo tales como la NOM-059 (SEMARNAT 2010, 2019) o la lista de especies amenazadas de la IUCN. El área de ocupación (AOO) es un predictor muy importante del riesgo de extinción (Leao *et al.* 2014, Maes *et al.* 2015), en este sentido, *L. villaregalis* con un AOO de 28 km², se ubica En Peligro de Extinción (EN). Esta superficie es bastante restringida si se compara con la registrada para *Populus primaveralepensis* (48.29 km²), especie también endémica del Bosque La Primavera (Vázquez-García *et al.* 2019). Aunque no es tan reducida con respecto a otras especies de *Lobelia* como es el caso de *L. rzedowskii* Art. Castro & I. Gut. que tiene un AOO de 12 km² o *L. saturninoi* Art. Castro & I. Gut. con 16 km² (Gutiérrez-Sánchez *et al.* 2018). Por lo anterior y con los datos que ahora se dispone, sería factible implementar el MER en *L. villaregalis* para ser incluida en la NOM-059.

Las cuatro nuevas localidades de *L. villaregalis* permitieron estimar mejor su área de distribución geográfica. En este sentido, la precisión de los modelos de nicho ecológico es variable y depende del tamaño de muestra, el umbral de corte y las condiciones del área de estudio, se ha documentado una precisión alta utilizando muestras de 5, 10 y 25 registros (van Proosdij *et al.* 2015). En el modelo de *L. villaregalis* se incluyeron 10 registros que representan seis poblaciones, sin embargo, la distancia máxima entre los registros incluidos fue de 13 km y la mínima de 4m. El área de distribución estimada con variables climáticas fue de 160.051 km², lo que representa el 52.475 % de la superficie del ANP (Figura 3). Estos resultados deben tomarse con precaución, el área estimada representa los sitios con las condiciones climáticas idóneas para que la especie ocurra y de acuerdo con la hipótesis de colonización, los sitios óptimos para el establecimiento de las especies cambian en el espacio y tiempo, por lo cual entre mayor sea el número de sitios propicios para su establecimiento mayor será la probabilidad de establecimiento de la especie (Martínez-Orea *et al.* 2009). Los sitios con probabilidades de uno fueron validados en campo y no se encontró la

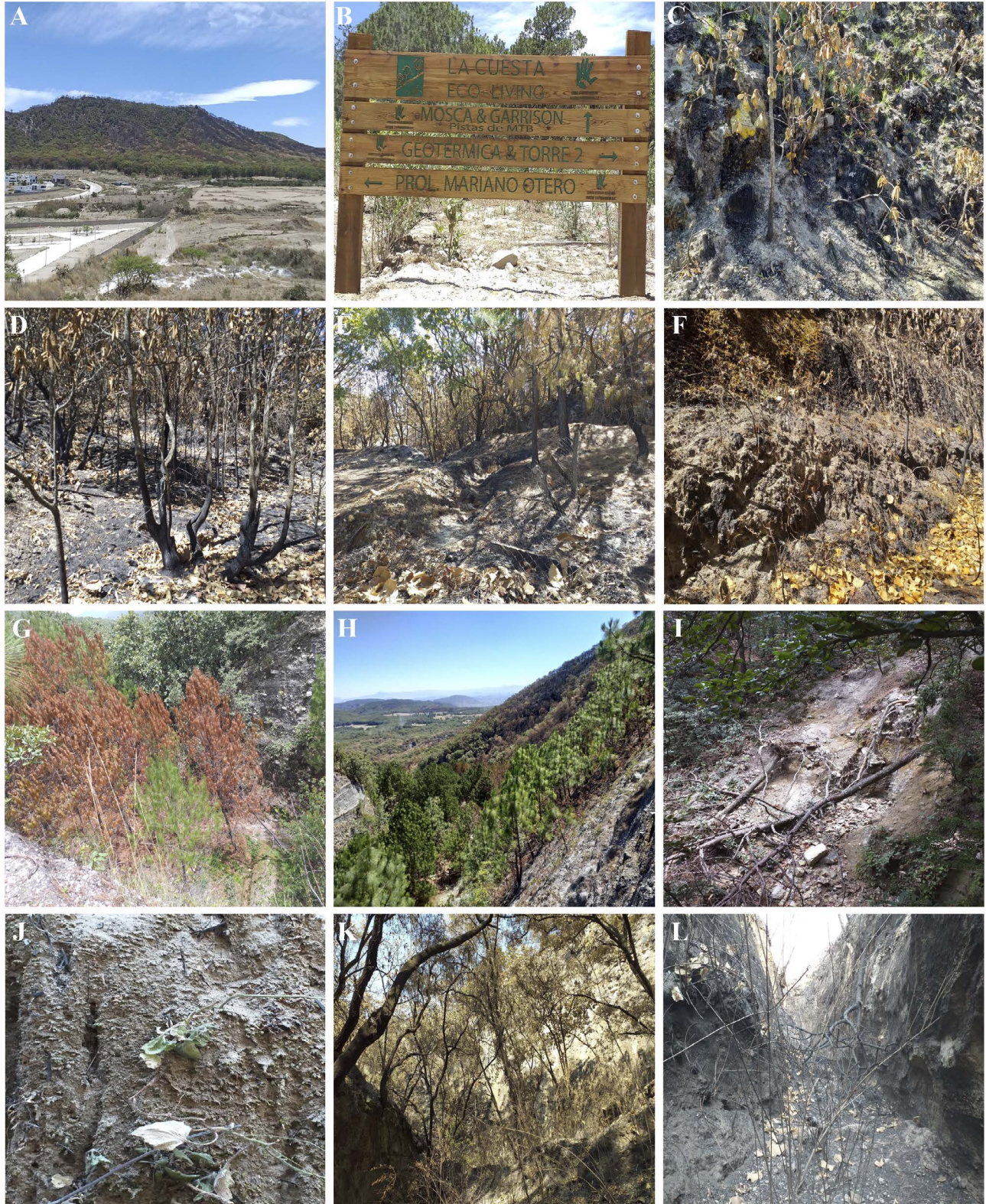


Figura 4. Impactos antropogénicos en el Bosque La Primavera (F, G) y en el hábitat de *Lobelia villaregalis* (A, B, D, E, H, I, J, K, L). Fotografías de Darío Figueroa García (A, C-H, J-L) y Leticia Hernández López (B, I).

especie. Es posible que se trate de sitios aislados a los que *L. villaregalis* no se ha dispersado. La distribución de una especie está determinada por factores bióticos y abióticos como la capacidad de adaptación a nuevos hábitats, las interacciones con otras especies y los mecanismos de dispersión (Wiens & Donogue 2004). Los frutos de *L. villaregalis* son cápsulas con cientos de semillas que miden 0.1 mm, su presencia en paredones podría favorecer su dispersión por el viento. Sin embargo, estos paredones se encuentran en cañadas estrechas, excepto en las poblaciones Pinar de La Venta y Villa Panamericana que son abiertas (Tabla 1). Otro mecanismo probable de dispersión es por corrientes de agua o escorrentías, el ANP Bosque La Primavera consta de colinas irregulares, mesetas, montañas y cañadas que drenan principalmente al Río Caliente, después se convierte en el Río Salado que concluye en la Presa La Vega, en el municipio de Teuchitlán, fuera del ANP. Los mecanismos de dispersión, propagación y polinización de *L. villaregalis* son poco conocidos. La especie pertenece a un grupo dentro de la sección *Stenotium*, que se caracteriza por tener flores espolonadas, esto indica la presencia de néctar, que junto con el polen son recompensas florales para polillas y colibríes (Simpson & Neff 1981). De forma preliminar se encontró que hay producción de néctar en *L. villaregalis* con un volumen promedio de 0.15 μL por flor y se ha observado que los visitantes florales diurnos más frecuentes son 17 morfoespecies de las cuales 13 son mariposas de las familias Hesperidae y Papilionidae, lo que sugiere un síndrome floral de psicofilia (Hernández-López *et al.* 2019). Esta información debe considerarse en la generación de estrategias de conservación *in situ* y *ex situ* de la especie.

Las variables que más contribuyeron al modelo de *L. villaregalis* fueron conductividad eléctrica (56.5 %), temperatura mínima promedio del periodo más frío (20.9 %) y oscilación diurna de la temperatura (10.6 %). Una variable está relacionada con el suelo y dos con la temperatura. La mayoría de los modelos de nicho ecológico incluyen variables de temperatura y humedad, son pocos los que consideran variables edáficas (por ejemplo, López-Mata *et al.* 2012, Munguía-Lino *et al.* 2017, Franco-Estrada *et al.* 2022). El suelo es un factor importante en la distribución de las especies vegetales, sus propiedades físicas y químicas como textura, humedad, cantidad de materia orgánica, pH, contenido de nitrógeno, carbono, fósforo y potasio determinan el microhábitat de dichas especies. En *L. villaregalis* la variable conductividad eléctrica fue la que más contribuyó al modelo, esta es un indicador del contenido de sales en la solución del suelo. Está correlacionada con la textura, humedad, capacidad de intercambio catiónico, pH, drenaje, contenido de materia orgánica, sodio, calcio y magnesio. El impacto que la conductividad eléctrica puede tener en las plantas se ha evaluado con un enfoque productivo, en particular en la agricultura de precisión, con el objetivo de mejorar la productividad. Se ha encontrado que la medida de la conductividad eléctrica aparente o superficial es un buen indicador de la fertilidad de éste (Corwin & Lesch 2005, Moral *et al.* 2010, Terrón *et al.* 2011). También se ha documentado que se puede modificar fácilmente por cambios en el uso y manejo del suelo, como son las prácticas de labranza, deforestación o cambio climático (Batjes 2012). Sin embargo, en especies silvestres este parámetro ha sido escasamente estudiado (Rosas & Iannacone 2020). Al respecto, Franco-Estrada *et al.* (2022) mencionan que la distribución de *Pilosocereus leucocephalus* (Poselg.) Byles & G.D. Rowley (Cactaceae) está relacionada con la precipitación y la conductividad eléctrica.

Tabla 4. Área de distribución potencial de *Lobelia villaregalis* por Zonas de Manejo en el ANP Bosque La Primavera. Extensión de presencia (EOO), área de ocupación (AOO), modelo de distribución potencial (MDP).

| Zona de manejo | EOO (km ²) | AOO (km ²) | MDP (km ²) |
|---|------------------------|------------------------|------------------------|
| Aprovechamiento especial | 4.684 | 0.819 | 4.669 |
| Aprovechamiento sustentable de agroecosistemas | 1.024 | 0.475 | 11.512 |
| Aprovechamiento sustentable de recursos naturales | 0.719 | 0.396 | 0.972 |
| Protección | 2.428 | 4.689 | 28.951 |
| Recuperación | 11.463 | 7.481 | 36.779 |
| Uso público | 1.656 | 0 | 6.793 |
| Uso restringido | 17.948 | 14.14 | 70.375 |
| Total | 39.922 | 28 | 160.051 |

También el radio de absorción de sodio contribuyó al modelo de nicho ecológico (Tabla 3). Los tipos de clima predominantes en el ANP Bosque La Primavera son templado subhúmedo y semicálido subhúmedo con lluvias en verano. Las áreas con clima húmedo y semihúmedo presentan bajo contenido de sodio, debido a que este elemento tiene un radio de absorción bajo y es lixiviado con las lluvias. *Lobelia villaregalis* se encuentra en paredones donde el proceso de lixiviación es frecuente. Se le ha observado creciendo en suelos franco arenosos, poco profundos con pH de 4.5 y 5.5 (Villa-Galaviz *et al.* 2020). Dada la naturaleza arenosa de los suelos, son altamente permeables, por lo cual la capacidad de retener agua y nutrientes es baja (Castellanos *et al.* 2000). Villa-Galaviz *et al.* (2020) analizaron las propiedades del suelo en las localidades de Cañada La Venta 1 y El Espinazo, encontraron que la planta crece en suelos con porcentajes bajos de agua aprovechable, nitrógeno nítrico, nitrógeno amoniacal, calcio y magnesio; niveles medios de fósforo y niveles altos y medios de potasio y manganeso. Sin embargo, el contenido de sodio no fue obtenido en esos análisis. La determinación de otras propiedades fisicoquímicas del suelo permitiría documentar mejor el papel que la conductividad eléctrica, el radio de absorción de sodio y el magnesio tienen en la distribución de *L. villaregalis*. Además, sería conveniente evaluar esas propiedades del suelo en todas las poblaciones, dado que los factores de riesgo antropogénicos observados son variables en las localidades y podrían afectar de forma distinta el microhábitat de la especie. De igual forma, la temperatura mínima promedio del periodo más frío (diciembre, enero y febrero) favorece la distribución de la especie, este periodo coincide con la floración de *L. villaregalis*. Ayers (1987) reporta su floración de noviembre a enero. Mientras que, Hernández-López *et al.* (2008) la observaron con flores hasta abril y al parecer la floración termina a principios de mayo. *Lobelia villaregalis* tiene tolerancia a temperaturas frías. La temperatura media anual en el APFFLP es semicálida y templada, el área predicha por el modelo se encuentra dentro de esta última. De acuerdo con García-CONABIO (1998) esta área tiene una temperatura mínima absoluta muy fría. Otras lobelias espolonadas como *L. aurita* (Brandege) T.J. Ayers, *L. flexuosa* (C. Presl) A. DC., *L. knoblochii* T.J. Ayers, *L. mcvaughii* T.J. Ayers y *L. saturninoi* Art. Castro & I. Gut. se distribuyen en sitios con la misma temperatura mínima que *L. villaregalis*, este patrón debe retomarse en futuros estudios. La zona de manejo con la mayor área probable estimada de *L. villaregalis* fue Uso restringido (EOO = 17.948 km², AOO = 14.14 km², MDP = 160.051 km²). Los sitios Cañada La Venta 1, Cañada La Venta 2 y Pinar de La Venta se encuentran dentro de esta zona. Sin embargo, las poblaciones *L. villaregalis* se encuentran bajo presión antropogénica por la cercanía al área urbana y suburbana, cultivos de maíz, paseantes con perros y a caballo, acumulación de basura, incendios, erosión y pastoreo. Esta información se puede extrapolar a otras áreas de esta categoría de manejo. En el otro extremo, el MDP infiere 8.531 km² con las condiciones idóneas para que crezca la especie en la zona de manejo Recuperación. Estas áreas podrían ser sitios potenciales de conservación de *L. villaregalis* y otras especies de flora y fauna. Al respecto Vargas-Amado *et al.* (2019) encontraron un nodo biogeográfico en el APFFLP para el género *Cosmos* sustentado por siete especies (*C. bipinnatus* Cav., *C. crithmifolius* Kunth, *C. landii* var. *landii* Sherff, *C. landii* var. *achalconensis* Melchert, *C. montanus* Sherff, *C. parviflorus* Pers., *C. scabiosoides* Kunth y *C. sulphureus* Cav.). De igual forma la importancia biogeográfica de esta área está sustentada por el género *Bletia* Ruiz & Pav., ya que de las 37 especies descritas 13 se localizan en el ANP (Gutiérrez-Rodríguez 2019).

Cardillo & Meijaard (2012) sugieren que los estudios comparativos sobre riesgo de extinción deberían considerarse principalmente como un ejercicio académico con escaso valor práctico para la conservación. Sin embargo, en este trabajo se pretende crear conciencia sobre el riesgo de extinción en el que se encuentra *L. villaregalis* y motivar la acción de los administradores del ANP Bosque La Primavera para que esta información no quede confinada a la comunidad académica. La brecha que en muchos casos existe entre la investigación-implementación (Knight *et al.* 2008) puede reducirse, a pesar de las limitaciones financieras de muchos proyectos de conservación. Los resultados de este trabajo responden a preguntas básicas que los manejadores de ANP's seguramente se plantean para poder operar en pro de la conservación de una especie, en este caso: ¿cuál es el estado de conservación de *L. villaregalis* en el Bosque La Primavera?, ¿dónde se encuentran las poblaciones de *L. villaregalis*?, ¿cuáles son las principales amenazas o los factores de disturbio de esas poblaciones?, ¿cuáles son las acciones de manejo inicial que pueden tomarse? Si bien la respuesta a la primera pregunta es preliminar y la especie no se encuentra oficialmente listada en riesgo en la NOM-059 (SEMARNAT 2010), los elementos que aquí se aportan pueden justificar acciones de manejo sin demora para lograr la conservación de *L. villaregalis*.

Agradecimientos

Mollie Harker, Darío Figueroa, Felipe Viera, Héctor Mariscal, Marco Anguiano, Karen Rostro, Carolina Báez, Edith Villa, Jesús Moreno, Daniel Ruiz, Pilar Zamora, Jesús González y Sofía Monroy contribuyeron en el trabajo de campo. Agradecemos a Darío Figueroa, Ernesto Sánchez Proal y Mollie Harker por las fotografías proporcionadas. También, nuestra gratitud a los curadores y personal de los herbarios consultados. Reconocemos a Maricruz Carrillo del OPD Bosque La Primavera por el apoyo logístico para explorar algunos sitios en el ANP. Nuestro agradecimiento a dos revisores anónimos cuyas aportaciones enriquecieron el manuscrito.

Literatura citada

- Arriola Padilla VJ, Estrada Martínez E, Ortega-Rubio A, Pérez Miranda R, Gijón Hernández AR. 2014. Deterioro en áreas naturales protegidas del centro de México y del Eje Neovolcánico Transversal. *Investigación y Ciencia* **22**: 37-49.
- Ayers TJ. 1987. Four species from western Mexico new to *Lobelia* (Campanulaceae: Lobelioideae). *Brittonia* **39**: 419-420. DOI: <https://doi.org/10.2307/2807317>
- Bachman S, Moat J, Hill AW, de la Torre J, Scott B. 2011. Supporting red list threat assessments with GeoCAT: geospatial conservation assessment tool. *Zookeys* **150**: 117-126. DOI: <https://doi.org/10.3897/zookeys.150.2109>
- Baldwin RA. 2009. Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy* **11**: 854-866. DOI: <https://doi.org/10.3390/e11040854>
- Batjes NH. 2012. ISRIC-WISE derived soil properties on a 5 by 5 arc-minutes global grid (ver. 1.2) (Report 2012/01). ISRIC-World Soil Information, Wageningen. https://www.isric.org/sites/default/files/isric_report_2012_01.pdf (accessed February 2, 2023).
- Cardillo M, Meijaard E. 2012. Are comparative studies of extinction risk useful for conservation? *Trends in Ecology & Evolution* **27**: 167-171. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.09.013>
- Castellanos JZ, Uvalle-Bueno JX, Aguilar-Santelises A. 2000. *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. DF México: Colección del Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA).
- CONANP [Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas]. 2000. *Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera*. DF: México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
- CONANP [Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas]. 2017. Áreas Naturales Protegidas Federales de México, digital map. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. http://sig.conanp.gob.mx/website/pag-sig/info_shape.htm (accessed October 28, 2020).
- CONANP [Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas]. S.f. Términos de referencia para la elaboración de programas de manejo de las áreas naturales protegidas competencia de la federación. https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/TERMINOS%20DE%20REF-PAGINA.pdf (accessed October 28, 2022).
- Corwin DL, Lesch SM. 2005. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* **46**: 11-43 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.10.005>
- Cruz-Cárdenas G, López-Mata L, Ortiz-Solorio CA, Villaseñor JL, Ortiz E, Silva JT, Estrada-Godoy F. 2014. Interpolation of Mexican soil properties at a scale of 1: 1,000,000. *Geoderma* **213**: 29-35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.07.014>
- ESRI [Environmental Systems Research Institute]. 2010. ArcGIS 10.0. Redlands, California.
- Franco-Estrada D, Ortiz E, Villaseñor JL, Arias S. 2022. Species distribution modeling and predictor variables for species distribution and niche preferences of *Pilosocereus leucocephalus* group s.s. (Cactaceae). *Systematics and Biodiversity* **20**: 2128928. DOI: <https://dx.doi.org/10.1080/14772000.2022.2128928>
- García-CONABIO [Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad]. 1998. Climas (Clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1 000 000. México. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (accessed February 03, 2023).

- Gutiérrez-Rodríguez B. 2019. *Riqueza, distribución geográfica, distribución potencial, endemismo y conservación del género Bletia* (Orchidaceae). BSc Thesis. Universidad de Guadalajara.
- Gutiérrez-Sánchez RI, Castro-Castro A, González-Gallegos JG, López-Enríquez IL, Frías-Castro A. 2018. Synopsis of the spurred species of *Lobelia* section *Stenotium* (Campanulaceae) in Sierra Madre Occidental, Mexico, and the description of two new species. *Phytotaxa* **338**: 033-048. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.338.1.3>
- Hair J, Anderson R, Tatham R, Black W. 1999. *Análisis multivariante*. Barcelona, España: Prentice Hall. ISBN: 84-8322-035-0
- Hernández-López L. 1991. *Análisis y evaluación de las áreas silvestres protegidas en los estados de Jalisco y Colima*. BSc Thesis. Universidad de Guadalajara.
- Hernández-López L, Harker M, Ramírez-Delgado R. 2008. Nuevas localidades de *Lobelia villaregalis* (Campanulaceae: Lobelioideae), especie endémica de Jalisco. In: Carvajal S, Pimienta-Barrios E, eds. *Avances en la Investigación en el CUCBA, XIX Semana Nacional de La Investigación Científica*. Zapopan: Jalisco. pp. 213-215. ISBN: 978-607-00-2083-4
- Hernández-López L, Muñoz-Urias A, Figueroa-García D. 2019. Visitantes florales de *Lobelia villaregalis* (Campanulaceae: Lobelioideae), especie endémica de Jalisco, México. Memorias del XXI Congreso Mexicano de Botánica. Aguascalientes, Aguascalientes, Ags. 20-25 de octubre de 2019. Sociedad Botánica de México. pp. 681. https://cmb2019.weebly.com/uploads/1/1/1/8/111802539/memorias_xxi_cmb_2019.pdf (accessed November 10, 2022).
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* **25**: 1965-1978. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Isaac JB, Cowlshaw G. 2004. How species respond to multiple extinction threats. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **271**: 1135-1141. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2004.2724>
- IUCN [Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza]. 2019. Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria. Version 14. Standards and Petitions Committee, 113 pp. <http://www.iucnredlist.org/documents/RedListGuidelines.pdf> (accessed April 16, 2020).
- IUCN [International Union for Conservation of Nature]. 2022. Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria. Version 15.1. Standards and Petitions Committee. 114 pp. <https://www.iucnredlist.org/documents/RedListGuidelines.pdf> (accessed January 26, 2023).
- Jardel-Peláez EJ, Santana-Castellón E, Graf-Montero SH, Hernández-López L, Valencia C, González-Franco R, Meiners M. 2017. Conservación y Restauración. In: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial, eds. *La Biodiversidad de Jalisco: Estudio de Estado volumen I*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial. (CONABIO-SEMADET). Cd. Mx: México, pp. 275-316. ISBN: 978-607-8328-93-2
- Knight AT, Cowling RM, Rouget M, Balmford A, Lombard AT, Campbell BM. 2008. Knowing but not doing: selecting priority conservation areas and the research-implementation gap. *Conservation Biology* **22**: 610-7. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00914.x>
- Lammers TG. 2011. Revision of the infrageneric classification of *Lobelia* L. (Campanulaceae: Lobelioideae). *Annals of Missouri Botanical Garden* **98**: 37-62. DOI: <https://doi.org/10.3417/2007150>
- Leao TC, Fonseca CR, Peres CA, Tabarelli M. 2014. Predicting extinction risk of Brazilian Atlantic Forest angiosperms. *Conservation Biology* **28**: 1349-1359. DOI: <https://doi.org/10.1111/cobi.12286>
- López-Mata L, Villaseñor JL, Cruz-Cárdenas G, Ortiz E, Ortiz-Solorio C. 2012. Predictores ambientales de la riqueza de especies de plantas del bosque húmedo de montaña de México. *Botanical Sciences* **90**: 27-36. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.383>
- Maes D, Isaac NJB, Harrower CA, Collen B, van Strien AJ, Roy DB. 2015. The use of opportunistic data for IUCN Red List assessments. *Biological Journal of the Linnean Society* **115**: 690-706. DOI: <https://doi.org/10.1111/bj.12530>
- Martínez-Orea Y, Castillo-Argüero S, Guadarrama-Chávez P. 2009. La dispersión de frutos y semillas. *Ciencias* **96**: 38-41.
- Moral FJ, Terrón JM, Marques da Silva JR. 2010. Delineation of management zones using mobile measurements of

- soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. *Soil & Tillage Research* **106**: 335-343. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.12.002>
- Morrone JJ, Escalante T, Rodríguez-Tapia G. 2017. Mexican biogeographic provinces: map and shapefiles. *Zootaxa* **4277**: 277-279. DOI: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4277.2.8>
- Munguía-Lino G, Vargas-Amado G, Anguiano-Constante MA, Rodríguez A. 2017. Distribución geográfica y estado de conservación del género *Colima* (Tigridieae: Iridaceae). *Ibugana* **8**: 65-78.
- Munguía-Lino G, Vargas-Amado G, Vázquez-García LM, Rodríguez A. 2015. Riqueza y distribución geográfica de la tribu Tigridieae (Iridaceae) en Norteamérica. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **86**: 80-98. DOI: <https://doi.org/10.7550/rmb.44083>
- Niskanen AKJ, Niittynen P, Aalto J, Väre H, Luoto M. 2019. Lost at high latitudes: Arctic and endemic plants under threat as climate warms. *Diversity and Distributions* **25**: 809-821. DOI: <https://doi.org/10.1111/ddi.12889>
- Pérez-Pérez MA, Ayers TJ, Amith JD. 2022. A new species of *Lobelia* (Campanulaceae: Lobelioideae) from the Sierra Madre Oriental, Mexico. *Phytotaxa* **568**: 001-007. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.568.1.1>
- Peterson AT, Soberón J, Sánchez-Cordero V. 1999. Conservatism of ecological niches in evolutionary time. *Science* **285**: 1265-1267. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.285.5431.1265>
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* **190**: 231-259. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Phillips SJ, Dudík M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* **31**: 161-175. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>
- Reyna-Bustos OF. 1989. *Estudio de la vegetación de la reserva forestal de La Primavera, Jalisco*. BSc Thesis. Universidad de Guadalajara.
- Ricketts TH, Dinerstein E, Boucher T, Brooks TM, Butchart SHM, Hoffmann M, Lamoreux JF, Morrison J, Parr M, Pilgrim JD, Rodrigues ASL, Sechrest W, Wallace GE, Berlin K, Bielby J, Burgess ND, Church DR, Cox N, Knox D, Loucks C, Luck GW, Master LL, Moore R, Naidoo R, Ridgely R, Schatz GE, Shire G, Strand H, Wetzel W, Wikramanayake E. 2005. Pinpointing and preventing imminent extinctions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **102**: 18497-18501. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0509060102>
- Rosas J, Iannaccone J. 2020. Bioacumulación de elementos potencialmente tóxicos (EPT) por *Sarcocornia neei* en un humedal costero del Perú. *Ciencia del Suelo* **38**: 343-354.
- Rzedowski J. 1978. *Vegetación de México*. DF, México: Limusa. ISBN: 968-18-0002-8
- Rzedowski J. 2019. Inventario actualizado de las especies mexicanas de la familia Campanulaceae. *Botanical Sciences* **97**: 110-127. DOI: <http://dx.doi.org/10.17129/botsci.2085>
- SEMARNAP [Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca]. 2000. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de áreas naturales protegidas. Publicado el 30 de mayo de 2000. *Diario Oficial de la Federación*. Última reforma publicada DOF 21 de mayo de 2014.
- SEMARNAT [Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales]. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres - Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*. 2da Sección, 30 de diciembre de 2010.
- SEMARNAT [Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales]. 2019. Modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres - Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo, publicada el 30 de diciembre de 2010. Cd. Mx. México.
- Simpson BB, Neff JL. 1981. Floral rewards: alternatives to pollen and nectar. *Annals of the Missouri Botanical Garden* **68**: 301-322. DOI: <https://doi.org/10.2307/2398800>
- Terrón JM, Marques da Silva JR, Moral FJ, García-Ferrer A. 2011. Soil apparent electrical conductivity and geographically weighted regression for mapping soil. *Precision Agriculture* **12**: 750-761. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-011-9218-5>

- R Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/> (accessed January 13, 2023).
- van Proosdij ASJ, Sosef MSM, Wieringa JJ, Raes N. 2015. Minimum required number of specimen records to develop accurate species distribution models. *Ecography* **39**: 542-552. DOI: <https://doi.org/10.1111/ecog.01509>
- Vargas-Amado G, Castro-Castro A, Harker M, Vargas-Amado ME, Villaseñor JL, Ortiz E, Rodríguez A. 2019. Western Mexico is a priority area for the conservation of *Cosmos* (Coreopsidae, Asteraceae) based on richness and track analysis. *Biodiversity and Conservation* **29**: 545-569. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01898-2>
- Vargas-Amado G, Castro-Castro A, Harker M, Villaseñor JL, Ortiz E, Rodríguez A. 2013. Distribución geográfica y riqueza del género *Cosmos* (Asteraceae, Coreopsidae). *Revista Mexicana de Biodiversidad* **84**: 536-555. DOI: <http://dx.doi.org/10.7550/rmb.31481>
- Vázquez-García A, Muñoz-Castro MA, Martínez-González RE, Nieves-Hernández G, Pulido-Ávila MG, Hernández-Vera G, Zuno-Delgadillo O. 2019. *Populus primaveralebensis* sp. nov. (Salicaceae, Malpighiales), a new species of white poplar from the Bosque La Primavera Biosphere Reserve in western Mexico. *European Journal of Taxonomy* **498**. DOI: <https://doi.org/10.5852/ejt.2019.498>
- Villa-Galaviz E, Hernández-López L, Harker M, Neri-Luna C. 2020. Descripción de aspectos del suelo y composición florística del hábitat de *Lobelia villaregalis* (Campanulaceae), especie endémica de Jalisco, México. *Polibotánica* **49**: 30-49. DOI: <https://doi.org/10.18387/polibotanica.49.3>
- Wiens JJ, Donoghue MJ. 2004. Historical biogeography, ecology and species richness. *Trends in Ecology & Evolution* **19**: 639-644. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2004.09.011>
- Willis F, Moat J, Paton A. 2003. Defining a role for herbarium data in Red List assessments: a case study of *Plectranthus* from Eastern and Southern tropical Africa. *Biodiversity and Conservation* **12**: 1537-1552. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1023679329093>

Editor de sección: Monserrat Vázquez Sánchez

Contribución de los autores: LHL diseñó la investigación, realizó trabajo de campo, revisó ejemplares de herbario y redactó el manuscrito. GML diseñó la investigación, participó en el trabajo de campo, realizó los análisis de distribución y redactó el manuscrito. Ambas autoras revisaron y contribuyeron a la versión final del documento.

Apéndice 1. Ejemplares examinados de *Lobelia villaregalis*.

***Lobelia villaregalis* T.J. Ayers.** JALISCO. ZAPOPAN: Cerro Las Planillas, Bosque de La Primavera, 1950 m, 01 feb 1988, *O. Reyna B.* 625 (IBUG); Bosque La Primavera, paraje “El Espinazo” de talud vertical por la vereda que va a la torre de detección de incendios # 1; 2065-2070 m, 9 feb 2010, *L. Hernández L. et al.* 1000 (IBUG); Bosque La Primavera, paraje “El Espinazo” de talud vertical por la vereda que va a la torre de detección de incendios # 1, 2070 m, 13 feb 2009, *L. Hernández L. y M. Harker* 1031 (IBUG); Arroyo al SE de La Venta del Astillero, saliendo de la calle La Primavera, en una cañada muy estrecha, 1550-1565 m, 22 feb 2008, *L. Hernández L. et al.* 1070 (IBUG); 12 mar 2008, *L. Hernández L. y M. Harker* 1072 (IBUG, MEXU); 22 abr 2008, *L. Hernández L. y P. Zamora* 1077 (IBUG); 9 feb 2010, *L. Hernández L. et al.* 1011 (IBUG); Bosque La Primavera, Sierra La Venta, arroyo al SE de La Venta del Astillero saliendo de la calle La Primavera, 1530 m, 4 jun 2009, *E. Villa G. y M. Harker* 17 (IBUG); Bosque La Primavera, en una cañada, ingreso cercano a la Villa Panamericana, 1590 m, 2 mar 2018, *L. Hernández L. et al.* 2322 (IBUG); Bosque La Primavera, en una cañada, ingreso cercano a la Villa Panamericana, 1690 m, 11 mar 2018, *L. Hernández L. y D. Ruíz*, 2331 (IBUG); Bosque La Primavera, ingreso por el fraccionamiento Pinar de La Venta, hacia el sur, 1842 m, 16 mar 2018, *L. Hernández L. et al.* 2344 (IBUG); Bosque La Primavera, cañada estrecha al sur de La Venta del Astillero, 1850 m, 13 abr 2018, *L. Hernández L. et al.* 2346 (IBUG); Sierra de la Primavera a lo largo del arroyo El Caracol, entre el Pozo 2 de la CFE y El Playón, 1850 m, 10 nov 1990, *A. García M. y N. Becerra* 5400 (MEXU); Geoterminas, Sierra de La Primavera, 1650 m, 2 dic 2006, *M. Cházaro B. et al.* 8627 (MEXU).