

Estado de conservación de once especies de frijol silvestre (*Phaseolus* spp. Fabaceae) en el noreste de México

Efraín Acosta-Díaz¹
Alma Delia Baez-González^{2§}
Ismael Hernández-Torres¹
José Saúl Padilla-Ramírez²
Isidro H. Almeyda-León¹
Francisco Zavala-García³

¹Campo Experimental General Terán-INIFAP. Carretera Montemorelos-China km 31, General Terán, Nuevo León, México. ²Campo Experimental Pabellón-INIFAP. Carretera Aguascalientes-Zacatecas km 32.5, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. ³Facultad de Agronomía-Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Zuazua-Marín km 17.5, Marín, Nuevo León, México.

§Autor para correspondencia: baez.alma@inifap.gob.mx.

Resumen

Las plantas raras y endémicas, como las especies silvestres de *Phaseolus* (Fabaceae) en el noreste de México, merecen una alta prioridad en los esfuerzos de conservación debido a su singularidad y utilidad como recurso fitogenético. Esto es particularmente importante debido a que, durante las últimas décadas, algunas de estas especies se han puesto en peligro debido a factores antropogénicos y naturales. El estudio tuvo como objetivo determinar el estado de conservación actual de 11 especies de frijol reportadas en el noreste de México, utilizando datos de frijol silvestre de 77 expediciones a los estados de Nuevo León y Tamaulipas durante el período 1869-2013. El estado de conservación de las diferentes especies fue determinado de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Las categorías de riesgo se basaron en cuatro indicadores: amplitud de la distribución, estado del hábitat, vulnerabilidad biológica e impacto de la actividad humana. Las siguientes ocho especies silvestres de *Phaseolus* no están en riesgo de extinción: *P. albiflorus*, *P. glabellus*, *P. leptostachyus*, *P. maculatifolius*, *P. neglectus*, *P. pedicellatus*, *P. vulgaris* y *P. zimapanensis*. Por otro lado, *P. altimontanus* Freytag & Debouck está categorizado como amenazada, *P. novoleonensis* Debouck, en peligro de extinción y *P. plagiocylix* Harms, posiblemente extinta. Los actuales programas de conservación *in situ* y *ex situ* deben ser fortalecidos y ampliados para la protección a mediano y largo plazos de las especies de frijol silvestre en el noreste de México.

Palabras clave: erosión genética, especies en peligro de extinción, frijol silvestre, mejoramiento de frijol, noreste de México.

Recibido: enero de 2019

Aceptado: febrero de 2019

La mayoría de las especies silvestres conocidas de *Phaseolus* (Fabaceae) en el mundo crecen en México (Delgado-Salinas, 2012), y la mayoría de ellas son endémicas (Delgado-Salinas 2012; Porch *et al.*, 2013). Se distribuyen principalmente en la región central, desde el estado de Jalisco hasta el Estado de México, y en la región sur, en el estado de Chiapas (Freytag y Debouck, 2002). El número de especies en otras regiones es más pequeño, pero no menos importante (Acosta-Gallegos, 2012).

El noreste de México es una de las regiones reconocidas por la diversidad de especies silvestres de *Phaseolus*. Desafortunadamente, con el tiempo, las poblaciones de algunas de estas especies silvestres se han reducido o fragmentado debido a factores antropogénicos y naturales. La urbanización, la tala inmoderada, el pastoreo excesivo y los incendios forestales tienen un impacto negativo sobre estas especies (Brush, 2000; Acosta-Gallegos, 2012). El cambio climático es otro factor de riesgo para *Phaseolus*.

Los estudios de modelación de distribución de especies (Villers-Ruiz y Trejo-Vázquez, 2000; Torres-Meza *et al.*, 2009; Torres-Meza *et al.*, 2014) indican que a medida que aumenta la temperatura, los hábitats de *Phaseolus* en bosques templados fríos (bosque de coníferas y encinos) y los bosques húmedos (bosques mesófilos montañosos) probablemente desaparezcan, mientras que los bosques caducifolios tropicales y los bosques espinosos tenderán a ocupar una superficie mayor que en la actualidad.

El matorral xerófilo, que es también considerado como uno de los hábitats del frijol silvestre, muestra un menor grado de perturbación antropogénica, pero con el impacto del cambio climático, su área superficial también podría reducirse (Gómez-Mendoza y Arriaga 2007; Rojas-Soto *et al.*, 2012). Con 80 especies de flora en Nuevo León consideradas en peligro de extinción (Alanis, 2016), la riqueza de las especies de *Phaseolus* en el noreste de México podría verse afectada negativamente por el declive de las comunidades vegetales en las áreas donde actualmente se distribuye el mayor número de especies silvestres.

La seguridad alimentaria mundial en el contexto del cambio climático requiere mayores rendimientos de frijol, particularmente del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), para que coincida con la tasa de crecimiento de la población (Porch *et al.*, 2013). El frijol común es una fuente vital de nutrición en todo el mundo y un cultivo básico en los países de bajos ingresos (Petry *et al.*, 2015). Para abordar el problema de los bajos rendimientos actuales del frijol común y las limitaciones proyectadas por el cambio climático (por ejemplo, alta temperatura y estrés por sequía), la mejora genética aprovechando la diversidad genética ofrecida por parientes silvestres de cultivos, como los del noreste de México, y las especies relacionadas debe ser explorada. Las variantes genéticas que puedan soportar factores adversos y enfermedades relacionadas con el clima y producir mayores rendimientos deben ser identificadas y utilizadas por los programas de mejoramiento de frijol (Porch *et al.*, 2013).

Mientras que algunas especies han sido estudiadas al respecto (ejemplo, *P. maculatus* para la tolerancia al frío, *P. acutifolius* para tolerancia a la sequía y altas temperaturas y *P. coccineus* para resistencia a la pudrición radical) (López-Soto *et al.*, 2005), otras no han sido aprovechadas debido

a la falta de conocimiento sobre ellas. La información sobre poblaciones de frijol silvestre existentes y potenciales es por lo tanto importante para la detección de posibles fuentes de genes de tolerancia a factores adversos (altas temperaturas, sequías, etc).

El objetivo de este trabajo fue determinar el estado de las poblaciones de 11 especies silvestres de *Phaseolus* en el noreste de México, a fin de orientar el desarrollo y la priorización de los planes de conservación para estos recursos fitogenéticos importantes.

Área de estudio

El estudio utilizó datos de varias expediciones de recolección a los estados de Nuevo León y Tamaulipas en el noreste de México. El área se encuentra en el extremo noreste de la República Mexicana entre los paralelos 22° 30' este y 25° 45' de latitud norte y 99° 00' y 100° 30' de longitud oeste. Los climas predominantes son: (1) semicálido, subhúmedo con una temperatura media anual >18 °C, temperatura <18 °C en el mes más frío y >22 °C, en el mes más cálido, una precipitación total anual de 500-2 500 mm, con 0-60 mm durante el mes más seco y 5-10.2% de la lluvia anual durante el verano; (2) templado, semihúmedo con una temperatura media anual entre 12 y 18 °C, temperatura de -3 y 18 °C durante el mes más frío y <22 °C durante el mes más cálido, una precipitación total anual de 200-1 800 mm, con 0-40 mm durante el mes más seco y 5-10.2% de la lluvia anual durante el verano clasificación de Köppen modificada por García (1973).

El área de estudio tiene colinas bajas (500-700 msnm) y picos montañosos (>3 000 msnm). La vegetación es principalmente bosque de coníferas, roble y pino-roble, llanuras con pastizales y matorrales desérticos (INEGI, 2013). Los tipos de suelo predominantes son litosoles, rendzinas, regosoles calcáricos y vertisoles crómicos (INIFAP-CONABIO, 1995).

Base de datos

Se generó una base de datos que contiene la siguiente información: año de colecta, número de accesiones y número de poblaciones observadas y lugar de colecta para cada una de las once especies bajo estudio. Esta base de datos fue derivada de las recolecciones de 77 expediciones a los estados de Nuevo León y Tamaulipas durante el período 1869-2013. Se desarrolló y analizó para determinar el estado de 11 especies silvestres de *Phaseolus* (Cuadro 1).

Cuadro 1. Poblaciones de especies silvestres de *Phaseolus* reportadas en la región noreste de México (Nuevo León y Tamaulipas).

Especie	Año-colector-colección, accesiones	Estado	Fuente	Núm. de poblaciones
<i>P. albiflorus</i> Freytag & Debouck	1936, Taylor 194. 1978, D'Arcy 11801.	Nuevo León	Freytag y Debouck (2002)	12
	1985, Debouck <i>et al.</i> 1503, 1506, 1510, 1520, 1522 y 1527. 1989, Estrada-Castillón 1869. 1982, Grimes <i>et al.</i> 2355. 1948, Meyer <i>et al.</i> 3046. 1981, Poole 2401.	Nuevo León	Acosta-Díaz <i>et al.</i> (2015)	24
	2010, 2011 y 2012, Hernández y Acosta 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 611, 612, 614, 615, 616, 617, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 656, 657 y 659.			

Espece	Año-colector-colección, accesiones	Estado	Fuente	Núm. de poblaciones
	2013, Hernández y Acosta 701.	Tamaulipas	Acosta-Díaz <i>et al.</i> (2015)	1
	1964, Webster <i>et al.</i> 87.	Tamaulipas	Freytag y Debouck, (2002)	1
<i>P. altimontanus</i>	1984, Lavin 4889. 1985, Debouck <i>et al.</i> 1525 y 1523.	Nuevo León	Freytag y Debouck, (2002)	3
Freytag & Debouck	2004, Estrada-Castillón S. N.	Nuevo León	Estrada-Castillón <i>et al.</i> (2004)	1
	2013, Hernández y Acosta 653.	Nuevo León	Acosta-Díaz <i>et al.</i> (2015)	1
<i>P. glabellus</i>	1941, Standford <i>et al.</i> 1016. 1950, Sharp 50235. 1956, Martínez <i>et al.</i> F-1925. 1957, Dressler 1993. 1960 Duke M3625.	Tamaulipas	Freytag and Debouck (2002)	5
Piper	2013, Hernández y Acosta 732.	Tamaulipas	Acosta-Díaz <i>et al.</i> (2015).	1
<i>P. leptostachyus</i>	1937, White <i>et al.</i> 130. 1939, Muller 2829.	Nuevo León	Freytag y Debouck (2002)	9
var.	1947, Lacas 544. 1979, Hinton <i>et al.</i> 17697. 1985, Debouck <i>et al.</i> 1505, 1519, 1521 y 1524. 1986, Debouck <i>et al.</i> 2062.			
<i>leptostachyus</i>	2004, Estrada-Castillón <i>et al.</i> S. N.	Nuevo León	Estrada-Castillón <i>et al.</i> (2004)	1
Benth	2010, 2011 y 2012, Hernández y Acosta 610, 619, 620, 621, 622, 623, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641 y 658.	Nuevo León	Acosta-Díaz <i>et al.</i> (2015)	15
	1930, Bartlett 10137. 1959, Johnston <i>et al.</i> 4115. 1986, Debouck <i>et al.</i> 2066.	Tamaulipas	Freytag y Debouck (2002)	3
	2013, Hernández y Acosta 702, 712, 715, 717, 723 y 734.	Tamaulipas	Acosta-Díaz <i>et al.</i> (2015)	6
<i>P. maculatifolius</i>	1985, Debouck <i>et al.</i> 1509.	Nuevo León	Freytag Debouck (2002)	1
Freytag & Debouck	2004, Estrada-Castillón <i>et al.</i> 13238.	Nuevo León	Estrada-Castillón <i>et al.</i> (2004)	1
	2010 y 2012, Hernández y Acosta 654, 671 y 672.	Nuevo León	Acosta-Díaz <i>et al.</i> (2015)	3
	2013, Acosta y Hernández 709 y 710.	Tamaulipas	Acosta-Díaz <i>et al.</i> (2015)	2
<i>P. neglectus</i>	1985, Debouck <i>et al.</i> 1510, 1517, 1520, 1522 y 1527.	Nuevo León	Rodríguez <i>et al.</i> (1987)	5
Hermann	1939, Muller 2881. 1980, Villanueva 9.	Nuevo León	Freytag and Debouck, (2002)	2
	2004, Estrada-Castillón <i>et al.</i> S. N.	Nuevo León	Estrada-Castillón <i>et al.</i> (2004)	1
	2010, Hernández y Acosta 609.	Nuevo León	Acosta-Díaz <i>et al.</i> (2015)	1

Especie	Año-colector-colección, accesiones	Estado	Fuente	Núm. de poblaciones
<i>P. novoleonensis</i> Debouck	1965, Webster <i>et al.</i> 223. 1986, Martínez 1346.	Tamaulipas	Freytag y Debouck (2002)	2
	2013, Hernández y Acosta 703, 704, 705, 708, 711, 735 y 737.	Tamaulipas	Acosta-Díaz <i>et al.</i> (2015)	7
	1985, Debouck <i>et al.</i> 2061.	Nuevo León	Salcedo <i>et al.</i> (2006)	1
	2004, Estrada-Castillón <i>et al.</i> 633.	Nuevo León	Estrada-Castillón <i>et al.</i> (2004)	1
<i>P. pedicellatus</i> Benth	2010 y 2011, Hernández y Acosta 650 y 651.	Nuevo León	Acosta-Díaz <i>et al.</i> (2015)	2
	1948, Meyer <i>et al.</i> 3029. 1869, Hinton <i>et al.</i> 17107. 1977, Wells <i>et al.</i> 313. 1985, Debouck <i>et al.</i> , 1508, 1512 y 1516.	Nuevo León	Freytag y Debouck (2002)	6
	2010, 2011, 2012 y 2013, Hernández y Acosta 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648 y 649.	Nuevo León	Acosta-Díaz <i>et al.</i> (2015)	8
<i>P. plagiocylis</i> Harms	2013, Hernández y Acosta 706, 707 y 736.	Tamaulipas	Acosta-Díaz <i>et al.</i> (2015)	3
	1895, Seler, 1042. 1967, Weedon 4074.	Nuevo León	Freytag y Debouck (2002)	2
<i>P. vulgaris</i> L.	2004, Estrada-Castillón <i>et al.</i> S.N.	Nuevo León	Estrada-Castillón <i>et al.</i> (2004)	1
	1931, Von Rozynski 139.	Tamaulipas	Freytag y Debouck (2002)	1
<i>P. zimapanensis</i> Delgado	2013, Hernández y Acosta 724, 725, 726.	Tamaulipas	Acosta-Díaz <i>et al.</i> (2015)	3
	1985, Debouck <i>et al.</i> 1504, 1511 y 1515.	Nuevo León	Freytag y Debouck (2002)	3
	2011 y 2012, Hernández y Acosta 655 y 670.	Nuevo León	Acosta-Díaz <i>et al.</i> (2015)	2
	1941, Stanford <i>et al.</i> 774. 1986, Debouck <i>et al.</i> 2065.	Tamaulipas	Freytag y Debouck, (2002)	2
	2013, Hernández y Acosta 713, 714, 716, 720, 721, 722, 728 y 733.	Tamaulipas	Acosta-Díaz <i>et al.</i> (2015)	8

La información se obtuvo a partir de compilaciones de accesiones de frijol silvestre reportadas en la literatura por (Rodríguez *et al.*, 1987; Hinton y Hinton., 1995; Freytag y Debouck., 2002; Estrada-Castillón *et al.*, 2004; Salcedo *et al.*, 2006) así como del trabajo realizado recientemente por Acosta-Díaz *et al.* (2015).

Determinación del estado de las especies

Las siguientes 11 especies de *Phaseolus* se incluyeron en el estudio: *P. albiflorus*, *P. altimontanus*, *P. glabellus*, *P. leptostachyus*, *P. maculatifolius*, *P. neglectus*, *P. novoleonensis*, *P. pedicellatus*, *P. plagiocylis*, *P. vulgaris* y *P. zimapanensis*.

El estado de conservación de la especie se determinó de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010), que define las categorías de riesgo de la siguiente manera.

Las especies posiblemente extintas en el medio silvestre son aquellas especies nativas cuyas poblaciones han desaparecido en la naturaleza, como se ha demostrado hasta ahora mediante documentación y estudios y de los cuales existen especímenes conocidos en bancos nacionales de germoplasma o fuera del territorio nacional.

Especies en peligro son aquellas especies cuyas áreas de distribución o tamaño poblacional en el territorio regional se han reducido drásticamente, poniendo en riesgo su viabilidad en todo su hábitat natural, debido a factores como la destrucción o modificación drástica del hábitat, enfermedades o depredadores.

Las especies amenazadas son aquellas especies que podrían estar en peligro de desaparecer a corto plazo si continúan operando los factores que afectan negativamente su viabilidad, causando el deterioro o modificación de su hábitat o reduciendo directamente el tamaño de sus poblaciones.

Las especies sin riesgo de extinción son aquellas especies cuyas poblaciones y áreas de distribución no son vulnerables a peligro en el futuro cercano.

A cada especie se le asignó una categoría de riesgo basada en estos cuatro indicadores (SEMARNAT, 2010): a) amplitud de distribución (de muy amplio= 1 a muy restringido= 4); b) estado del hábitat (de ligeramente limitante= 1 a muy limitante= 3); c) vulnerabilidad biológica (de bajo= 1 a alto= 3); d) impacto de la actividad humana (desde bajo= 2 a alto= 4).

Los valores categóricos de los indicadores 1 y 2 se asignaron principalmente en base al número y distribución de las poblaciones observadas contenidas en la base de datos y presentadas en el Cuadro 1. Los valores para los indicadores 3 y 4 se asignaron en función también del número de poblaciones observadas, así como, de las observaciones sobre el grado de perturbación del hábitat por causas como la urbanización, pastoreo o deforestación, que fueron constatadas visualmente (Figura 1).

La suma de los cuatro indicadores se utilizó para asignar la categoría de riesgo de la especie, que se determinó de la siguiente manera: 5-9= sin riesgo de extinción; 10-11= amenazado; 12-13= en peligro de extinción y más de 13= posiblemente extinto.

Poblaciones sin riesgo

Los resultados del estudio indican que las siguientes ocho especies de *Phaseolus* no están en riesgo; es decir, sus poblaciones y áreas de distribución no son vulnerables a peligro en el futuro cercano: *P. albiflorus*, *P. glabellus*, *P. leptostachyus*, *P. maculatifolius*, *P. neglectus*, *P. pedicellatus*, *P. vulgaris* y *P. zimapanensis*. Sin embargo, *P. maculatifolius* y *P. vulgaris*, que acumularon valores de 9 (Cuadro 2) están cerca de encontrarse en la categoría de amenazada debido al impacto de la actividad humana en sus hábitats.



Figura 1. A) erosión genética de *P. altimontanus* debido a la tala inmoderada y los incendios forestales en el sitio El Manzano, Santiago, Nuevo León; B) erosión genética de *P. novoleonensis* debido al mantenimiento de caminos de la carretera intermunicipal de Allende-Rayones, Allende, Nuevo León; C) erosión genética de *P. plagiocylix* por pastoreo intensivo de bovinos y caprinos en Las Grutas de García, Nuevo León; y D) erosión genética de *P. plagiocylix* en Cerro del Obispo. Imagen de 2016 que muestra el centro de Cerro, donde la asta de la bandera mexicana fue erigida en el 2000.

P. vulgaris se considera una leguminosa de grano importante porque es una fuente significativa de nutrición en todo el mundo (Mederos, 2006). Es la principal fuente de hierro para las poblaciones de África oriental y América Latina que supera los 300 millones de habitantes (Petry *et al.*, 2015). Como cultivo básico, contribuye a la seguridad alimentaria en países de bajos ingresos y con déficit de alimentos. México tiene 110 poblaciones conocidas de *P. vulgaris*, aunque se estiman 420 poblaciones posibles. Desafortunadamente, solo unas pocas de estas poblaciones se encuentran en áreas protegidas (Porch *et al.*, 2013).

Se encontró que *Phaseolus altimontanus* Freytag & Debouck está en la categoría de amenazada (Cuadro 2). Endémica del estado de Nuevo León (Delgado-Salinas, 2012), esta especie de flores blancas con un blanco-lila muy claro (Freytag y Debouck, 2002) crece en suelos pedregosos ricos en materia orgánica en ambientes semiabiertos de *Pinus* y *Quercus* que son de difícil acceso. Se recolectó creciendo simpátricamente con *P. leptostachyus*. No comparte el hábito de crecimiento trepador de otras especies silvestres (Freytag y Debouck, 2002; Acosta-Díaz *et al.*, 2015).

Cinco poblaciones de *P. altimontanus* fueron reportadas en cuatro expediciones (Cuadro 1). La primera población fue reportada hace más de 30 años, por Lavin (1984); (4889), 24.1 km al norte del sitio turístico Cola de Caballo, en el municipio de Santiago (Freytag y Debouck, 2002). Otras

dos poblaciones fueron reportadas un año después, en 1985, por Debouck *et al.*, uno (1525) se encontraba a 2.5 km al sur de Laguna de Sánchez, en la ruta al Puerto de El Tejocote (25° 20' latitud norte, 100° 15' longitud oeste, 1 850 msnm) en el municipio de Santiago y otro (1523), 2.5 km al norte de la Ciénega de González, en el Manzano (25° 22' latitud norte, 100° 12' longitud oeste, 1 460 msnm), en la ruta a Laguna de Sánchez, también en el municipio de Santiago.

La cuarta población de *P. altimontanus*, pequeña y con pocos individuos presentes, fue reportada por Hernández y Acosta (2013), en un solo sitio a lo largo de la Carretera Federal 85 - ruta Laguna de Sánchez, en la zona turística de El Manzano (25° 21' latitud norte, 99° 11' longitud oeste, 1 550 msnm), en el municipio de Santiago (Acosta-Díaz *et al.*, 2015).

Aunque solo han pasado treinta años desde el primer informe sobre la presencia de *P. altimontanus*, actualmente hay evidencia de una sola población existente (653), colectada en 2013 por Acosta-Díaz *et al.* (2015) (Cuadro 1) en la vertiente oriental de la Sierra Madre Oriental, donde la vegetación natural ha sido perturbada por la tala inmoderada de *Pinus* y por los incendios forestales (Figura 1A). En vista de estos hallazgos, este taxón se encuentra en la categoría de amenazada (Cuadro 2).

Cuadro 2. Categorías de riesgo de especies silvestres de *Phaseolus* reportadas en el noreste de México.

Especies	A) amplitud de distribución [†]	B) estado del hábitat [‡]	C) vulnerabilidad biológica [§]	D) impacto de la actividad humana [¶]	Total ^{††}	Categoría de riesgo ^{‡‡}
<i>P. albiflorus</i>	1	1	1	2	5	Sin riesgo de extinción
<i>P. altimontanus</i>	4	2	2	2	10	Amenazada
<i>P. glabellus</i>	3	1	1	2	7	Sin riesgo de extinción
<i>P. leptostachyus</i>	1	1	1	2	5	Sin riesgo de extinción
<i>P. maculatifolius</i>	3	2	2	2	9	Sin riesgo de extinción
<i>P. neglectus</i>	1	1	1	2	5	Sin riesgo de extinción
<i>P. novoleonensis</i>	4	3	2	4	13	En peligro de extinción
<i>P. pedicellatus</i>	1	1	1	2	5	Sin riesgo de extinción
<i>P. plagiocylis</i>	4	3	3	4	14	Posiblemente extinta
<i>P. vulgaris</i>	2	2	2	3	9	Sin riesgo de extinción
<i>P. zimapanensis</i>	1	1	1	2	5	Sin riesgo de extinción

[†]ampliamente distribuido= 1; moderadamente restringido= 2; restringido= 3; muy restringido= 4; [‡]propicio o ligeramente limitante= 1; intermedio o limitante= 2; hostil o muy limitante = 3; [§]baja vulnerabilidad= 1; vulnerabilidad media= 2; alta vulnerabilidad = 3; [¶]bajo impacto= 2; impacto medio= 3; alto impacto= 4; ^{††}total de los indicadores A, B, C y D indicadores; ^{‡‡}basada en el valor total de los indicadores y categorías definidas por SEMARNAT (2010).

Especie en peligro

Phaseolus novoleonensis Debouck es de tipo rastroero con hábito de crecimiento indeterminado que se considera parte de la sección de *Corycei* Freytag debido a sus folíolos de cuero. Aunque esta especie está cerca de la subespecie de *P. maculatus*; es decir, *subsp. maculatus* y *subsp. ritensis*, se diferencia fácilmente de otras especies de *Phaseolus* por sus hojas trifoliadas en los primeros nudos, pequeñas valvas redondas, racimos con pocas inserciones y semillas color crema y planas.

También endémica del estado de Nuevo León (Delgado-Salinas, 2012), *P. novoleonensis* se recolectó en la vertiente oriental de la Sierra Madre Oriental del estado de Nuevo León (Salcedo *et al.*, 2006). Su rango de distribución está limitado a esta área, donde cuatro poblaciones han sido reportadas por diferentes autores (Cuadro 1). La primera población, reportada en 1986 por la colección Debouck y Muruaga Martínez número 2061, fue encontrada 2 km al este de Los Altares y 0.5 km al oeste del puente Santa Rosa (99° 50' latitud norte, 24° 43' longitud este 970 msnm), cerca del pueblo de El Ebanito, en el municipio de Iturbide.

La segunda población, reportada en 2005 por la colección número 633 de Estrada Castellón (comunicación personal, Universidad Autónoma de Nuevo León, México), fue descrita como una población abundante en el mismo sitio. Sin embargo, cuando Acosta-Díaz *et al.* (2015) realizaron varias expediciones a los sitios referidos, no encontraron evidencia de la presencia de esta especie. En cambio, encontraron dos nuevas poblaciones en dos sitios relativamente cerca. La primera población (colección 650) se localizó en 25° 05' latitud norte, 99° 59' longitud oeste, 1 150 msnm y la segunda colección (651), en 25° 05' latitud norte, 99° 59' longitud oeste y 1 291 msnm.

Al igual que otras especies de frijol silvestre en Nuevo León, *P. novoleonensis* se ha visto seriamente afectada por la tendencia histórica hacia la cría de cabras en pastos de montaña, el estado ocupa el décimo lugar en la producción de carne de cabras en México SIAP (2017), que ha causado un gran daño a la flora nativa. También ha tenido efectos adversos el establecimiento de carreteras por parte de los consejos locales que ha afectado a dos pequeñas poblaciones de *P. novoleonensis* encontradas al borde de la carretera entre los municipios de Allende y Rayones (Acosta-Díaz *et al.*, 2014; Acosta-Díaz *et al.*, 2015), exponiéndolos a daños irreversibles (Figura 1B). El pequeño número de poblaciones de *P. novoleonensis* coloca a este taxón en la categoría en peligro (Cuadro 2).

Especie posiblemente extinta

Phaseolus plagiocylix Harms también es endémico en el noreste de México (Delgado-Salinas, 2012). Esta especie ha sido reportada en al menos tres expediciones en el estado de Nuevo León (Cuadro 1). Freytag y Debouck (2002) mencionan que esta especie, que se encuentra en las montañas occidentales de Monterrey, Nuevo León, en suelos rocosos y calizos, es muy difícil de recolectar y solo se conocen algunas accesiones.

Estos autores se refieren a dos especímenes de herbario, uno recolectado en Cerro del Obispado el 12 de octubre de 1895 por Seler 1 042 (25° 45' latitud norte, 100° 30' longitud oeste, 652 msnm) y otro, a 4.2 km al norte de Grutas de García, recolectado el 5 de septiembre de 1967 por Weedon número de acceso 4 074 (25° 52' latitud norte, 100° 3' longitud oeste, 914 msnm). El primer espécimen fue recolectado hace 122 años en un sitio que ahora es parte del centro de la ciudad,

donde el desarrollo urbano ha causado la desaparición de las poblaciones de plantas. El segundo espécimen fue recolectado mucho más tarde, hace 50 años. Sin embargo, durante las exploraciones recientes, la especie ya no se encontraba en el sitio de recolección, que ha sufrido un deterioro considerable debido al pastoreo excesivo de cabras (Figura 1 C).

Otros informes que indican la presencia de *P. plagiocylix* en Nuevo León son los de Estrada-Castillón *et al.* (2004) en el municipio de Linares. Sin embargo, su informe sugiere que los especímenes revisados pueden haber provenido de muestras de herbarios.

Resultados de las exploraciones recientes llevadas a cabo por Acosta-Díaz *et al.* (2015) en la región sugieren que *P. plagiocylix* posiblemente se haya extinguido porque no se encontraron evidencias de esa especie en áreas donde se habían recolectado las seis poblaciones de esta especie. El sitio de la primera colección de *P. plagiocylix* realizada hace casi doscientos años ha sido seriamente perturbado por la actividad humana, ahora es parte de un área urbana en la ciudad de Monterrey (Figura 1 D). La perturbación se ha intensificado a pesar de que el Cerro del Obispado y Loma Larga, que son parte de la Sierra Madre de las Mitras, fue designado como áreas naturales protegidas en 2015, y un programa de gestión ha estado en vigor desde 2008.

Implicaciones para los esfuerzos de conservación

P. altimontanus, *P. novoleonensis* y *P. plagiocylix*, las especies que muestran diversos grados de erosión genética, comparten las siguientes características: endémica de la región noreste de México, poblaciones con bajo número de individuos, tallos delicados y raíces tubérculos, recolectados hace mucho tiempo. Además, presentan daños debido a la sequía recurrente, pastoreo intensivo de cabras, ganado, plagas y enfermedades que atacan a los frijoles domesticados. El crecimiento acelerado de las áreas urbanas, el aumento de tierras de cultivo y ganadería, la agricultura intensiva y la destrucción de los ambientes naturales han contribuido a la pérdida de poblaciones silvestres de *Phaseolus* (Brush, 2000; Acosta-Gallegos, 2012).

En vista de estos hallazgos, los esfuerzos de conservación de *Phaseolus* deben dar alta prioridad a estas tres especies que muestran erosión genética. Es necesario, realizar más exploraciones en sus sitios conocidos, así como en áreas adyacentes y áreas con condiciones edafoclimáticas similares para determinar la existencia de sus poblaciones y recolectar germoplasma. Es importante señalar que *P. leptophyllus*, una de las 52 especies silvestres de *Phaseolus* reportadas en territorio mexicano (aunque no en la región noreste), ya se considera posiblemente extinguida.

Primera recolectado en el siglo XVIII en las montañas que rodean Chilpancingo, Guerrero, no se ha encontrado nuevamente, a pesar de varias búsquedas en esa región (Freytag y Debouck, 2002).

Por lo anterior, se considera que los programas actuales de conservación *in situ* y *ex situ* en el noreste de México deben ser fortalecidos y ampliados para la protección a mediano y largo plazos de todas las especies de frijol silvestre, especialmente las tres especies que sufren de erosión genética. Las principales acciones de conservación para las especies de *Phaseolus* deberán ser la protección de las poblaciones silvestres existentes y la expansión de sus hábitats actuales, así como el establecimiento de poblaciones en lugares donde las condiciones ambientales favorables para las especies amenazadas y en peligro prevalecerán en el futuro.

Conclusiones

Tres de las 11 especies estudiadas muestran diversos grados de erosión genética. *P. altimontanus* está amenazado debido a su distribución muy restringida (solo una población) y el impacto de la tala de *Pinus* y los incendios forestales en su hábitat. *P. novoleonensis* está, en peligro de extinción debido a su distribución muy restringida (dos poblaciones pequeñas) y al alto impacto de la actividad humana y el pastoreo de animales en su hábitat, que lo ha hecho hostil al desarrollo natural. *P. plagiocylix* posiblemente se haya extinguido porque no se encontraron poblaciones durante exploraciones recientes en antiguos sitios de recolección.

Ocho de 11 especies silvestres de *Phaseolus* estudiadas continúan prosperando en el noreste de México, y no se consideran en peligro de extinción. Sin embargo, *P. maculatifolius* y *P. vulgaris* están cerca de la categoría amenazada debido al impacto de la actividad humana en sus hábitats.

Es urgente intensificar los esfuerzos de exploración y la recolección sistemática de germoplasma del género *Phaseolus* en el noreste de México para evitar pérdidas irreversibles debido a la erosión genética y la consecuente pérdida de diversidad.

Agradecimientos

Los autores(as) agradecen al Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) que financió el proyecto ‘Recolección de semillas de especies de frijol silvestre en Nuevo León, México’ a través del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI). También agradecen a Elvira Tabobo-Aranda por editar el manuscrito.

Literatura citada

- Acosta, D. E.; Hernández, T. I.; Amador, R. M. D.; Padilla, R. J. S. y Zavala, G. F. 2014. Las especies silvestres de *Phaseolus* (Fabaceae) en Nuevo León, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 8:1459-1465.
- Acosta, D. E.; Hernández, T. I.; Amador, R. M. D.; Padilla, R. J. S.; Zavala, G. F. and Báez, G. A. D. 2015. Collection and characterization of wild species of *Phaseolus* (Fabaceae) in northeastern Mexico for ex situ conservation. *Plant Ecol. Evol.* 148:119-127. Doi <https://doi.org/10.5091/plecevo.2015.1009>.
- Acosta, G. J. A. 2012. Los frijoles silvestres *Phaseolus* spp. en el Estado de Guanajuato. *In: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (Ed.). La biodiversidad en Guanajuato: estudio de Estado México-Instituto de ecología del estado de Guanajuato (IEE). México, DF. vol. II. 350-353 pp.*
- Alanís, G. 2016. Comunicado de prensa. NUM. 800/14. ¡En peligro de extinción!, 80 especies de flora en NL. <https://www.unotv.com/noticias/estados/nuevo-leon/detalle/en-peligro-de-extincion-80-especies-flora-nl-673822/>.
- Brush, S. B. 2000. Genes in the field: on-farm conservation of crop diversity. USA, International Plant Genetic Resources Institute, Lewis Publishers, International Development Research Center.
- Delgado, S. A. O. 2012. La historia natural del frijol (*Phaseolus*). *In: Fundación Herdez. (Ed.) El frijol. Un regalo de México al mundo. www.fundacionherdez.com.mx.*

- Estrada, C. A. E.; Yen, M.C.; Delgado, S. A. O. y Villareal, Q. J. A. 2004. Leguminosas del centro del estado de Nuevo León, México. Anales del Instituto de Biología, UNAM. Serie Botánica 75:73-85.
- Freytag, G. F. and Debouck, D. G. 2002. Taxonomy, distribution, and ecology of the genus *Phaseolus* (*Leguminosae-Papilionoideae*) in North America, Mexico and Central America. Number 23. Botanical Miscellany. Editor BRIT.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 2nd (Ed.). Inst. de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, DF.
- Gómez, M. L. and Arriaga, L. 2007. Modelling the effect of climate change on the distribution of oak and pine species of Mexico. Conservation Biology. 21:1545-1555. Doi: 10.1111/j.1523-1739.2007.00814. x.
- Hinton, J. and Hinton, G. S. 1995. Checklist of Hinton's collections of the flora of south-central Nuevo Leon and Coahuila. Acta Botánica Mexicana 30:41-112.
- INEGI. 2013. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Carta de uso de suelo y vegetación. Escala 1:250000 Serie IV. Digital format.
- INIFAP. 1995. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Carta digitalizada de Edafología. Escala 1:250000. México. www.conabio.gob.mx/informacion/gis/.
- López, S. J. L.; Corral, J. R.; González, J. S. and Lépiz, I. R. 2005. Climatic adaptation of 25 wild bean species (*Phaseolus* spp.) in Mexico. Rev. Fitotec. Mex. 28:221-230.
- Mederos, Y. 2006. Indicadores de la calidad en el grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Revisión bibliográfica. Cultivos Tropicales, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 27:55-62.
- Petry, N.; Boy, E.; Wirth, J. P. and Hurrell, R. F. 2015. Review. The potential of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) as a vehicle for iron biofortification. Nutrients. 7:1144-1173. <http://doi.org/10.3390/nu7021144>.
- Porch, T. G.; Beaver, J. S.; Debouck, D. G.; Jackson, S. A.; Kelly, J. D. and Dempewolf, H. 2013. Use of wild relatives and closely related species to adapt common bean to climatic change. Agronomy. 3:433-461. Doi:10.3390/agronomy3020433.
- Rodríguez, C. M.; Rodríguez, T. S.; Aguilar, S. M. and Debouck, G. D. 1987. *Phaseolus* germplasm collection in Mexico. Plant Genetic Resources Newsletter. 69:30-38.
- Rojas, S. O. R.; Sosa, V. and Ornelas, J. F. 2012. Forecasting cloud forest in eastern and southern Mexico: conservation insights under future climate change scenarios. Biodiversity Conservation. 21:2671-2690. Doi:10.1007/s10531-012-0327-x.
- Salcedo, C.; Arroyave, J. A.; Toro, Ch. O. and Debouck, G. D. 2006. *Phaseolus novoleonensis*, a new species (*Leguminosae, Phaseolinae*) from the Sierra Madre Oriental, Nuevo León, México. Novon 16:105-111.
- SEMARNAT. 2010. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 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. México, DF. 77 p.
- SIAP. 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Avance comparativo por producto de la producción pecuaria. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria>.

- Torres, M. M. de J.; Báez, G. A. D.; Maciel, P. L. H.; Quezada, G. E. and Sierra, T. J. S. 2009. GIS-based modeling of the geographic distribution of *Quercus emoryi* Torr. (Fagaceae) in México and identification of significant environmental factors influencing the species' distribution. *Ecological Modelling* 220:3599-3611. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.01.018>.
- Torres, M. M. de J.; Báez, G. A. D. and Ramos, G. J. L. 2014. Climatic indices for determining risks to the distribution and maintenance of *Quercus emoryi* Torr. (Fagaceae) in Mexico. *The Rangeland Journal*. 36:483-492. Doi: <http://dx.doi.org/10.1071/RJ14047>.
- Villers, R. L. y Trejo, V. I. 2000. El cambio climático y la vegetación en México. *In*: García, C. G. (Ed.). *Una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*. México. Instituto Nacional de Ecología- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). US Country Studies Program. 57-72 pp.