

ADAPTACIÓN CLIMÁTICA DE 25 ESPECIES DE FRIJOL SILVESTRE (*Phaseolus* spp) EN LA REPÚBLICA MEXICANA

CLIMATIC ADAPTATION OF 25 WILD BEAN SPECIES (*Phaseolus* spp) IN MÉXICO

José Luis López Soto¹, José Ariel Ruiz Corral^{2*}, José de Jesús Sánchez González¹
y Rogelio Lépiz Ildefonso¹

¹Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. Km 15.5 Carr. Guadalajara a Nogales. C.P. 45110, Zapopan, Jal. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Universidad de Guadalajara. Apdo. Postal 6-160 Guadalajara, Jalisco. Tel: 01 (333)646-4403. Correo electrónico: ruiz.ariel@inifap.gob.mx

*Autor para correspondencia

RESUMEN

En la presente investigación se determinaron los tipos climáticos de distribución de 25 especies silvestres del género *Phaseolus*, cuestión que resulta indispensable para la descripción de su distribución geográfica en México. Para ello se conformó una base de datos de colectas realizadas en el interior del país en las últimas dos décadas. Esta base de datos se elaboró en formato matricial e incluyó descriptores de sitio, geográficos y topográficos. A partir de las coordenadas geográficas de los sitios de colecta, se caracterizó la climatología de cada punto. Se agregaron a la matriz de datos las variables temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura media, precipitación acumulada promedio y tipo climático, y se determinaron los valores mínimo, máximo y promedio de cada variable climática para cada especie. Se consideraron los valores mínimo y máximo para delimitar los rangos climáticos de distribución de las especies. El género *Phaseolus* presenta adaptación a una amplia gama de tipos climáticos, ya que prácticamente se encuentra en todas las variantes de clima del país, con excepción de los climas templado húmedo frío y trópico árido muy cálido. Las especies *P. leptostachyus* y *P. coccineus* son las que se distribuyen en un mayor número de tipos climáticos. Se discuten los rangos de variables climáticas obtenidos para cada especie y sus posibles implicaciones con respecto a adaptabilidad y tolerancia a condiciones ecológicas particulares.

Palabras clave: *Phaseolus*, rangos ambientales de adaptación, sistemas de información geográfica.

SUMMARY

In this research we determined the climatic types of distribution of 25 wild species of the genus *Phaseolus*, a key aspect to describe their geographical distribution in México. In order to fulfill the aim of the research, a database of field accessions made within the country during the last two decades, was conformed. This database was made in a matrix format and included site, geography and topography descriptors. From the geographical coordinates of the collection sites, climatology of each site was characterized. Thus, information on maximum, minimum and mean temperatures, accumulated mean precipitation and climatic type was incorporated

into the database. The minimum, maximum and average values of each climatic variable were then determined for each species in study. The minimum and maximum values were considered as the species climatic adaptation range. Results showed that the genus *Phaseolus* is adapted to an ample range of climatic types, since practically it is found in all the climatic variants within the country, excluding cold humid temperate and extremely hot arid tropic climates. The species *P. leptostachyus* and *P. coccineus* are distributed in the largest number of climatic types. The range of the climatic variables obtained for each species and their possible implications on adaptation and tolerance to certain particular ecological conditions, are discussed.

Index words: *Phaseolus*, adaptation environmental range, geographical information systems.

INTRODUCCIÓN

La conservación de los recursos fitogenéticos es considerada una actividad prioritaria en el ámbito mundial, debido a las implicaciones tan significativas que la diversidad genética tiene sobre el desarrollo de nuevas variedades de plantas para la alimentación y la agricultura. En México existe una diversidad biológica extraordinaria y se considera uno de los centros más importantes de origen de la agricultura (Vavilov, 1931). En este país se han domesticado más de 100 especies importantes de plantas cultivadas, entre ellas maíz (*Zea mays* L.), chile (*Capsicum* spp.), tomate (*Lycopersicon esculentum*), calabaza (*Cucurbita* spp.) y frijol (*Phaseolus* spp.) (Hernández, 1993).

A pesar de no haber en la actualidad suficiente claridad sobre el número de especies del género *Phaseolus*, Freytag y Debouck (2002) presentan una lista tentativa de 95 especies distribuidas exclusivamente en Mesoamérica y EE. UU., cinco de las cuales incluyen a las formas

cultivadas de *P. vulgaris* (frijol común), *P. acutifolius* (frijol tépari o escomite), *P. coccineus* subsp. *coccineus* (frijol ayocote, patol, botil), *P. polyanthus* (frijol acalete, botil, ibis) y *P. lunatus* (frijol lima, patachete). La región Mesoamericana, que incluye a México, es considerada centro primario de diversidad de las especies cultivadas del frijol, de sus parientes silvestres y de cerca de otras 80 especies de *Phaseolus*. Estudios realizados con marcadores moleculares han sugerido que algunas especies de *Phaseolus* pudieron haber sido domesticadas en el Occidente de México. Garvin y Weeden (1994) indican que los estados de Sinaloa y Jalisco son áreas geográficas potenciales para el origen de *P. acutifolius*, mientras que para el caso de *P. vulgaris* se ha propuesto la región centro-occidente (Jalisco-Guanajuato) como lugar de domesticación (Gepts *et al.*, 1986).

La utilidad que las especies silvestres de *Phaseolus* pueden representar en diferentes áreas, es casi ilimitada. Acosta *et al.* (1991) indican que su valor potencial es grande pero sólo han sido estudiadas esporádicamente en el extranjero. Algunas especies consideradas como silvestres fueron utilizadas en tiempos prehistóricos por poblaciones indígenas del Noroeste de México y Suroeste de los Estados Unidos. Algunos ejemplos de la utilización de cruza interespecíficas en el mejoramiento del frijol común son: *P. metcalfei* para tolerancia al frío, *P. acutifolius* para tolerancia a sequía y altas temperaturas, y *P. coccineus* para la resistencia a pudriciones radicales. En México se han encontrado formas silvestres de *P. vulgaris* con altos niveles de resistencia a los gorgojos o brúquidos *Zabrotes subfasciatus* y *Acanthoscelides obtectus*, plagas que causan pérdidas en almacenamiento calculadas en 13-15% de la producción total en América Latina (Acosta *et al.*, 1998); las semillas de *P. vulgaris* silvestres encontradas en México, tienen un efecto significativamente adverso sobre la biología de los insectos y su capacidad para sobrevivir después de la reproducción (antibiosis) (Cardona y Kornegay, 1989; Acosta *et al.*, 1998). En accesiones altamente resistentes, las colonias de insectos ni siquiera pueden desarrollarse y mueren a las dos o tres generaciones. En colaboración con el Centro Internacional de Agricultura Tropical, la Universidad de Wisconsin identificó una proteína presente sólo en las accesiones resistentes al brúquido, la cual se nombró arcelina en honor a Arcelia, un pueblo del estado de Guerrero, México, en cuyas cercanías se encontraron las accesiones silvestres.

Aun cuando el área de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura es considerada prioritaria en nuestro país, pocos son los estudios que se realizan al respecto, en comparación con otras áreas. Una de las necesidades actuales de investigación es la determinación

confiable de la distribución geográfica de los recursos fitogenéticos, así como la cuantificación o la estimación de la diversidad de especies y la abundancia de cada especie por región geográfica o agroecológica (Sánchez y Ruiz, 1995). Para lograrlo es necesario determinar los requerimientos climáticos de los recursos fitogenéticos, empezando por caracterizar los ambientes de distribución de las especies.

La caracterización agroecológica de los nichos habitados por las especies vegetales para determinar sus requerimientos ambientales es un procedimiento utilizado con frecuencia no sólo en especies silvestres (Ruiz *et al.*, 2001), sino también en especies cultivadas (Ruiz *et al.*, 1999). Con base en sistemas de información geográfica, Hijmans y Spooner (2001) estudiaron la distribución geográfica y riqueza de las especies silvestres de la papa (*Solanum* spp.); Ruiz *et al.* (2001) determinaron los rangos de adaptación climática y topográfica de diversas especies de teocintle (*Zea* spp.) en la República Mexicana, los cuales al ser analizados en un sistema de información geográfica (SIG) dieron como resultado la delimitación de áreas potenciales de distribución de tales especies. Guarino *et al.* (2002) describieron la importancia de los SIG en la conservación y utilización de los recursos fitogenéticos.

La información acerca de las condiciones ambientales de los sitios de colecta de germoplasma puede constituir información adicional importante para las colecciones de germoplasma, dado que normalmente esas condiciones ambientales están asociadas con los diferentes patrones de variabilidad genética, lo cual refleja procesos de adaptación de germoplasma a factores ambientales (Lobo *et al.*, 2003). Muchos estudios apoyan la hipótesis de que la resistencia a diferentes tipos de estrés abiótico puede ser encontrada en accesiones previamente expuestas al estrés ambiental específico (Hawtin *et al.*, 1996). De esta forma Cocks y Ehrman (1987) encontraron que en la mayor parte de las especies nativas de leguminosas de Siberia, había una relación significativa entre la tolerancia a heladas y el grado de frío en los sitios de colecta de las especies (número de días con bajas temperaturas).

La presente investigación tuvo como objetivo caracterizar los tipos climáticos de distribución y desarrollo de 25 especies del género *Phaseolus* en la República Mexicana, como conocimiento básico, previo a la delimitación futura de sus áreas potenciales de distribución en nuestro país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fuentes de información geográfica

El área de estudio comprendió todos los estados de la República Mexicana y la información considerada incluyó los datos geográficos de los sitios de recolección de herbario o semilla para 25 especies de *Phaseolus*. Esta información se obtuvo de los catálogos del Banco de Germoplasma de Frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Cárdenas *et al.*, 1996), así como de los trabajos compilatorios de accesiones de frijol silvestre reportados por Freytag y Debouck (2002). Para cada caso, la localización geográfica de cada uno de los sitios de colecta fue verificada mediante las cartas topográficas con escala 1:50000 (INEGI, 2003), el Nomenclátor de la Síntesis Geográfica Estatal (SIGE) del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática para diversas entidades federativas (INEGI, 2000), y el Atlas Interactivo de Microsoft Encarta (Microsoft, 2000). Para caracterizar las condiciones climáticas de los sitios de colecta de *Phaseolus* spp., se utilizó el sistema de información ambiental del INIFAP (Medina *et al.*, 1998), el que se encuentra compilado en el sistema de información geográfica IDRISI32 (Eastman, 1999), en formato raster (celdas) y bajo una resolución para la República Mexicana de 900 m.

Especies consideradas

Las especies de *Phaseolus* incluidas en el estudio fueron: *P. acutifolius*, *P. chiapasanus*, *P. coccineus*, *P. esperanzae*, *P. filiformis*, *P. grayanus*, *P. jaliscanus*, *P. leptostachyus*, *P. lunatus*, *P. maculatus*, *P. micranthus*, *P. microcarpus*, *P. neglectus*, *P. nelsonii*, *P. oaxacanus*, *P. oligospermus*, *P. parvulus*, *P. pauciflorus*, *P. pedicellatus*, *P. pluriflorus*, *P. polymorphus*, *P. ritensis*, *P. tuerckheimii*, *P. vulgaris*, y *P. xanthotrichus* (Cuadro 1). La elección de estas especies se hizo a partir de un análisis preliminar de los catálogos del banco de germoplasma, y se tomó en consideración de las que existían datos de al menos 10 accesiones por especie para su inclusión.

Metodología

Para alcanzar el objetivo planteado, se integró una matriz de datos georreferenciados en Excel de Microsoft (2001), relativa a los puntos de accesión en la República Mexicana de cada una de las especies de *Phaseolus* en estudio. En la matriz se incluyeron para cada accesión los siguientes datos: género, especie, entidad federativa, latitud, longitud y altitud. A partir de la matriz de datos se procedió a identificar los tipos climáticos de distribución de *Phaseolus* spp; inicia con la localización o bús-

queda de las coordenadas de cada uno de los sitios de colecta, en el sistema de información ambiental nacional del INIFAP (Medina *et al.*, 1998).

Cuadro 1. Accesiones de 25 especies de *Phaseolus* en la República Mexicana.

Especie	Accesiones (Fuentes de datos)		
	INIFAP ¹	Freytag y Debouck	Total
<i>acutifolius</i>	117	-	117
<i>chiapasanus</i>	7	5	12
<i>coccineus</i>	424	0	424
<i>esperanzae</i>	1	13	14
<i>filiformis</i>	1	39	40
<i>grayanus</i>	14	28	42
<i>jaliscanus</i>	11	10	21
<i>leptostachyus</i>	288	0	288
<i>lunatus</i>	138	0	138
<i>maculatus</i>	39	26	65
<i>micranthus</i>	6	14	20
<i>microcarpus</i>	24	33	57
<i>neglectus</i>	14	3	17
<i>nelsonii</i>	8	13	21
<i>oaxacanus</i>	5	5	10
<i>oligospermus</i>	13	6	19
<i>parvulus</i>	5	14	19
<i>pauciflorus</i>	10	32	42
<i>pedicellatus</i>	27	35	62
<i>pluriflorus</i>	11	3	14
<i>polymorphus</i>	7	21	28
<i>ritensis</i>	23	21	44
<i>tuerckheimii</i>	15	6	21
<i>vulgaris</i>	187	0	187
<i>xanthotrichus</i>	12	2	14

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

El sistema de información ambiental se encuentra compendiado en el sistema IDRISI32 y se compone de imágenes "raster" con resolución de 900 m, correspondientes a las variables altitud, tipo climático y las siguientes variables climáticas para el período mayo-octubre: temperatura media, precipitación acumulada promedio, temperatura máxima media y temperatura mínima media. Se consideró el periodo mayo-octubre, porque es la temporada durante la cual ocurre el mayor porcentaje de la lluvia anual, y por tanto el periodo en el que se desarrolla el ciclo vegetativo de la mayoría de las especies silvestres. Adicionalmente se consideró la lluvia noviembre-abril por considerar que existen especies que se reproducen fuera de la época de mayor precipitación. En cuanto a tipo climático, se utilizó el esquema de clasificación climática del INIFAP (Medina *et al.*, 1998), según el cual existen 28 variantes climáticas, las cuales se describen en el Cuadro 2.

De acuerdo con lo anterior, las coordenadas de cada sitio de colecta se identificaron en cada imagen temática, y se obtuvo un valor de cada una de las variables descritas. Estos valores fueron integrados a la matriz de datos georreferenciados, cuyo formato de hoja de cálculo

Cuadro 2. Tipos climáticos de la República Mexicana, según el esquema de clasificación climática del INIFAP (Medina et al., 1998).

Tipo Climático	Temperatura del mes más frío (° C)	Número de meses húmedos	Temperatura media anual (° C)
Templado árido frío	< 5	0 (< 30 d)	< 5
Templado semiárido frío	< 5	1 a 3 (30 a 119 d)	< 5
Templado subhúmedo frío	< 5	4 a 6	< 5
Templado húmedo frío	< 5	> 6 meses	< 5
Subtrópico árido templado	Entre 5 y 18	0 (< 30 d)	Entre 5 y 18
Subtrópico semiárido templado	Entre 5 y 18	1 a 3 (30 a 119 d)	Entre 5 y 18
Subtrópico subhúmedo templado	Entre 5 y 18	4 a 6	Entre 5 y 18
Subtrópico húmedo templado	Entre 5 y 18	> 6 meses	Entre 5 y 18
Subtrópico árido semicálido	Entre 5 y 18	0 (< 30 d)	Entre 18 y 22
Subtrópico semiárido semicálido	Entre 5 y 18	1 a 3 (30 a 119 d)	Entre 18 y 22
Subtrópico subhúmedo semicálido	Entre 5 y 18	4 a 6	Entre 18 y 22
Subtrópico húmedo semicálido	Entre 5 y 18	> 6 meses	Entre 18 y 22
Subtrópico árido cálido	Entre 5 y 18	0 (< 30 d)	Entre 22 y 26
Subtrópico semiárido cálido	Entre 5 y 18	1 a 3 (30 a 119 d)	Entre 22 y 26
Subtrópico subhúmedo cálido	Entre 5 y 18	4 a 6	Entre 22 y 26
Subtrópico húmedo cálido	Entre 5 y 18	> 6 meses	Entre 22 y 26
Trópico árido semicálido	> 18	0 (< 30 d)	Entre 18 y 22
Trópico semiárido semicálido	> 18	1 a 3 (30 a 119 d)	Entre 18 y 22
Trópico subhúmedo semicálido	> 18	4 a 6	Entre 18 y 22
Trópico húmedo semicálido	> 18	> 6 meses	Entre 18 y 22
Trópico árido cálido	> 18	0 (< 30 d)	Entre 22 y 26
Trópico semiárido cálido	> 18	1 a 3 (30 a 119 d)	Entre 22 y 26
Trópico subhúmedo cálido	> 18	4 a 6	Entre 22 y 26
Trópico húmedo cálido	> 18	> 6 meses	Entre 22 y 26
Trópico árido muy cálido	> 18	0 (< 30 d)	> 26
Trópico semiárido muy cálido	> 18	1 a 3 (30 a 119 d)	> 26
Trópico subhúmedo muy cálido	> 18	4 a 6	> 26
Trópico húmedo muy cálido	> 18	> 6 meses	> 26

facilitó la labor de determinar el valor máximo y el valor mínimo de cada variable climática de cada especie. Los valores mínimo y máximo determinados se consideraron como los intervalos climáticos de distribución de cada especie bajo estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El género *Phaseolus* se encuentra representado prácticamente en todas las variantes climáticas del país (Cuadro 2); ya que de los 28 climas de la República Mexicana (Medina et al., 1998), en 26 de ellos se observó por lo menos una especie del género. Sólo en los climas templado húmedo frío (tipo 8) y trópico árido muy cálido (tipo 29), no se registró accesión alguna; estos datos indican la amplia adaptación del género *Phaseolus* a las diferentes condiciones climáticas del país.

Se identificó gran diversidad en la presencia de las especies en los diferentes tipos climáticos. Así, mientras especies como *P. leptostachyus*, *P. coccineus*, *P. lunatus*, y *P. acutifolius* se encuentran presentes en 20, 19, 17 y 14 tipos climáticos, respectivamente (Cuadro 3) otras como *P. esperanzae* y *P. pluriflorus*, sólo se encontraron en tres tipos climáticos. Llama la atención el hecho que de las especies silvestres que han sido domesticadas, *P. vulgaris* es la que se ha reportado en el menor número de variantes climáticas (Figura 1).

Los climas subtropicales son los más propicios para el género *Phaseolus* (Freytag y Debouck, 2002), ya que 22 de las 25 especies fueron colectadas en el tipo climático subtrópico semiárido templado, seguido por los tipos subtrópico subhúmedo templado y subtrópico subhúmedo semicálido, en los cuales se ubicaron un total de 21 y 19 especies, respectivamente (Cuadro 3). Esto concuerda con lo señalado por González (1984) quien estableció la preferencia que tiene *Phaseolus* por condiciones subhúmedas y semiáridas frescas de regiones tropicales y subtropicales (Figura 1).

En contraparte, los climas templado-fríos (Figura 1) parecen ser restrictivos para *Phaseolus*, ya que sólo 10 de las 25 especies se han colectado en estos climas. Entre las especies que se desarrollan en ese clima destaca *P. coccineus*, cuyas accesiones se reportan en tres de las cuatro variantes del clima templado-frío. Esto indica que esta especie podría contribuir al desarrollo de germoplasma tolerante a las bajas temperaturas. No obstante, los climas áridos y semiáridos, extremos en temperatura (Figura 1), también cuentan con especies tolerantes a bajas temperaturas, como lo es *P. angustisimus* (Balasubramanian et al., 2002).

Los climas tropicales extremos en las condiciones de temperatura y humedad, parecen ser aún más restrictivos

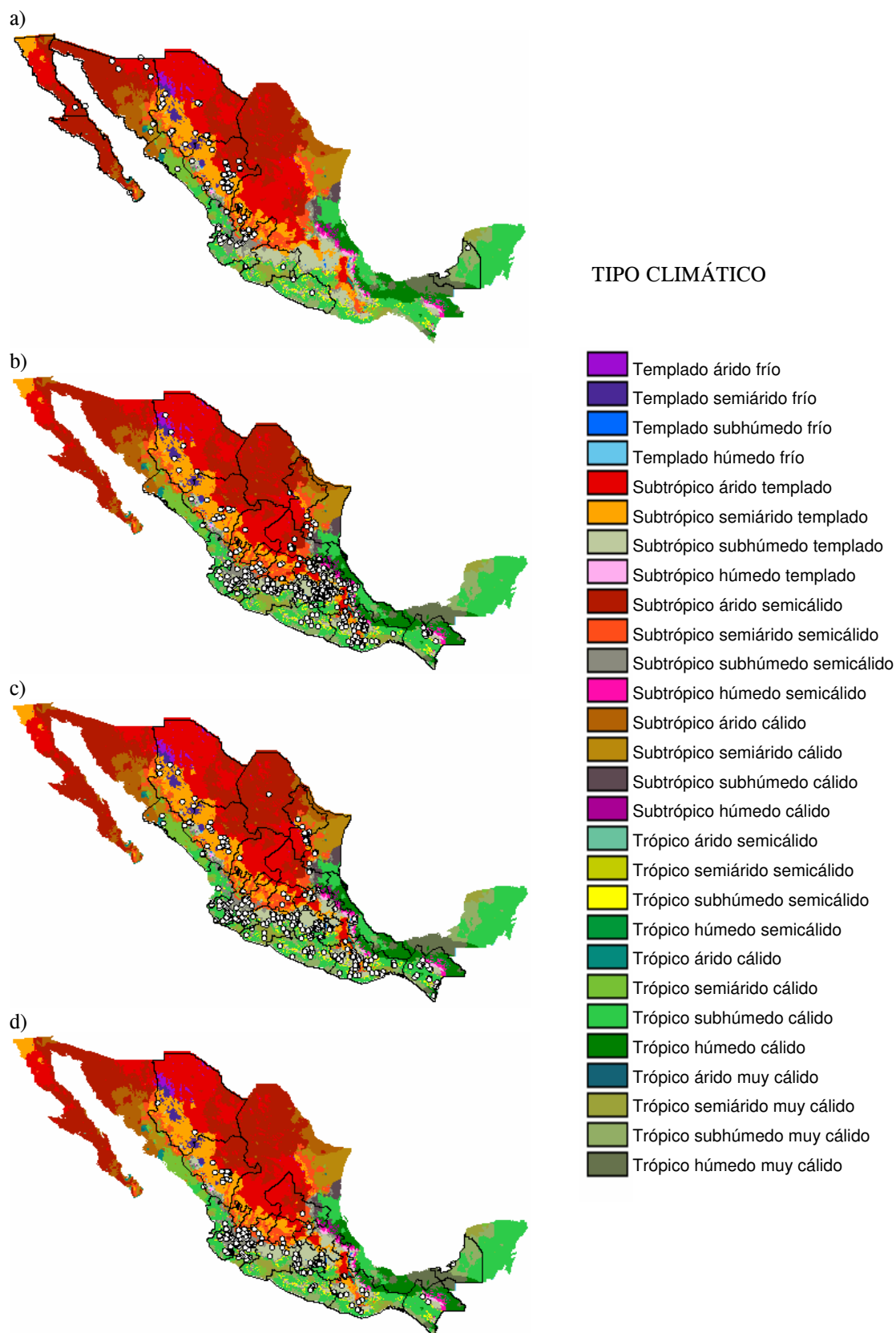


Figura 1. Distribución geográfica y climática de accesiones de a) *P. acutifolius*; b) *P. coccineus*; c) *P. leptostachyus*; y d) *P. vulgaris*.

Cuadro 3. Tipos climáticos en los que han sido colectadas 25 especies de Phaseolus (frijol silvestre) en la República Mexicana.

Especie	Tipo climático																																Suma
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32					
<i>acutifolius</i>		X			X	X	X		X	X	X		X	X			X		X			X	X					X	14				
<i>chiapasanus</i>							X			X	X	X											X	X					6				
<i>coccineus</i>	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X				X				X	X	19				
<i>esperanzae</i>					X	X	X																						3				
<i>filiformis</i>					X	X			X				X								X								5				
<i>grayanus</i>	X	X			X	X			X												X								5				
<i>jaliscanus</i>					X	X				X	X								X				X						6				
<i>leptostachyus</i>		X			X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X		X	X	X	X			X	X	20				
<i>lunatus</i>					X	X	X		X	X	X	X	X		X			X	X	X		X	X	X			X	X	17				
<i>maculatus</i>	X	X			X	X			X	X												X							7				
<i>micranthus</i>						X					X			X					X				X				X		6				
<i>microcarpus</i>						X	X			X	X	X									X	X	X			X	X		10				
<i>neglectus</i>					X	X			X	X	X																		5				
<i>nelsonii</i>					X	X	X				X										X	X							6				
<i>oaxacanus</i>						X	X	X		X									X										5				
<i>oligospermus</i>						X	X				X	X							X	X									7				
<i>parvulus</i>		X			X	X	X			X	X									X							X		7				
<i>pauciflorus</i>	X	X			X	X	X			X	X	X							X			X							8				
<i>pedicellatus</i>	X				X	X	X	X	X	X	X	X							X			X	X	X			X		13				
<i>pluriflorus</i>					X	X	X				X																		3				
<i>polymorphus</i>	X				X	X	X		X	X																			6				
<i>ritensis</i>		X			X	X	X			X	X			X								X							8				
<i>tuercckheimii</i>						X	X	X			X	X	X							X		X	X	X				X	9				
<i>vulgaris</i>					X	X	X			X	X								X		X	X							8				
<i>xanthotrichus</i>					X	X	X	X	X	X	X	X				X													8				
Suma	6	8	1	0	15	22	21	6	10	17	19	9	4	4	2	2	2	3	11	3	3	9	14	5	0	4	8	3					

Tipos climáticos:

05 Templado árido frío
06 Templado semiárido frío
07 Templado subhúmedo frío
08 Templado húmedo frío
09 Subtrópico árido templado
10 Subtrópico semiárido templado
11 Subtrópico subhúmedo templado

- 19 Subtrópico subhúmedo cálido
- 20 Subtrópico húmedo cálido
- 21 Trópico árido semicálido
- 22 Trópico semiárido semicálido
- 23 Trópico subhúmedo semicálido
- 24 Trópico húmedo semicálido
- 25 Trópico árido cálido

12 Subtrópico húmedo templado
13 Subtrópico árido semicálido
14 Subtrópico semiárido semicálido
15 Subtrópico subhúmedo semicálido
16 Subtrópico húmedo semicálido
17 Subtrópico árido cálido

26 Trópico semiárido cálido
27 Trópico subhúmedo cálido
28 Trópico húmedo cálido
29 Trópico árido muy cálido
30 Trópico semiárido muy cálido
31 Trópico subhúmedo muy cálido
32 Trópico húmedo muy cálido

que los climas templado-fríos, dado que son pocas las especies que muestran accesiones en estos ambientes. En climas tropicales cálidos y muy cálidos (Figura 1), con excepción del árido muy cálido, sobresale la presencia de especies tales como *P. lunatus*, *P. acutifolius*, *P. leptostachyus*, *P. microcarpus*, *P. tuerckheimii*, *P. coccineus* y *P. pedicellatus*, lo que señala su capacidad de tolerar condiciones extremas de calor y sequía. En el clima tropical húmedo muy cálido (Figura 1), condición que es considerada muy desfavorable para el desarrollo del frijol libre de enfermedades (Ruiz *et al.*, 1999), destaca la presencia de *P. tuerckheimii*, *P. lunatus* y *P. leptostachyus*, por lo que podría esperarse que estas especies pudieran constituir fuentes de germoplasma tolerante a altas temperaturas y a algunos patógenos. De acuerdo con lo señalado anteriormente, *P. coccineus* podría considerarse como una especie tolerante tanto a condiciones frías como cálidas, lo cual podría explicar su capacidad de distribución en casi todos los tipos climáticos del país (Figura 1).

En el Cuadro 4 se presentan los valores mínimos, máximos y medios de las variables climáticas registradas en el presente estudio. Los valores mínimo y máximo representan las condiciones extremas en que se desarrollan las accesiones de cada especie, mientras que el valor medio equivale al promedio obtenido de los valores de todas las accesiones de la especie en cuestión. No obstante que el tamaño de muestra usado para caracterizar los rangos ambientales puede influir sobre su amplitud, la información del Cuadro 4 indica, de manera aproximada, los nichos climáticos en los que se distribuyen las especies.

De los valores altitudinales se puede inferir que las especies *P. acutifolius*, *P. fliformis*, *P. leptostachyus*, *P. lunatus*, *P. micranthus*, *P. microcarpus*, *P. ritensis* y *P. tuerckheimii*, pueden ser encontradas prácticamente desde el nivel del mar, mientras que el resto de las especies parecen preferir ambientes de mayor altitud. Las especies *P. esperanzae*, *P. oaxacanus* y *P. pluriflorus* sólo registran

Cuadro 4. Rangos y promedios de cinco variables ambientales para 25 especies de *Phaseolus* en la República Mexicana.

Cuadro 4. Rangos y promedios de cinco variables ambientales para 25 especies de tenebroides en la República Mexicana.																		
Especie	Altitud (m)			Temperatura máxima media (° C)			Temperatura mínima media (° C)			Temperatura media (° C)			Precipitación acumulada promedio (mm) periodo mayo-octubre (A) y periodo noviembre-abril (B)					
	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo		Máximo		Media	
													A	B	A	B	A	B
<i>acutifolius</i>	7	2700	1431	18.7	37.5	30.2	5.5	22.3	14.9	12.1	29.4	22.6	38	38	1542	169	619	79
<i>chiapasanus</i>	597	1719	1277	24.6	30.3	26.9	8.2	18.9	13.3	17.4	24.6	20.1	686	73	3068	555	1612	256
<i>coccineus</i>	340	3628	2076	14.7	35.5	24.2	2.4	22.8	11.1	8.9	29.2	17.7	281	66	2490	384	894	112
<i>esperanzae</i>	1974	2681	2455	17.8	32.8	22.6	3.5	22.2	8.0	10.7	27.5	15.3	373	54	1013	778	746	126
<i>filiformis</i>	2	2005	408	26.0	37.0	32.3	9.3	20.5	16.4	18.7	28.4	24.3	33	43	260	51	104	77
<i>grayanus</i>	761	2777	2076	21.8	32.6	27.4	4.8	17.5	11.2	13.3	25.0	19.3	210	60	790	176	398	73
<i>jaliscanus</i>	892	2801	1736	22.9	31.8	27.8	9.7	18.9	14.3	17.8	25.1	21.0	484	68	1674	111	1136	122
<i>leptostachyus</i>	0	2900	1561	17.8	35.6	27.7	5.8	23.0	19.4	12.7	28.8	21.0	227	69	2498	338	916	94
<i>lunatus</i>	0	2059	469	23.0	36.5	31.9	8.6	24.1	20.2	16.2	29.2	26.0	93	35	3306	477	1213	213
<i>maculatus</i>	524	2573	1994	20.6	33.4	26.7	6.9	19.5	11.3	14.8	26.5	19.0	211	60	689	201	451	71
<i>micranthus</i>	6	2188	1073	24.2	34.0	30.7	10.8	22.6	17.4	18.2	28.2	24.0	526	106	1786	91	1232	104
<i>microcarpus</i>	0	2158	1230	21.6	34.9	29.5	8.3	22.5	15.7	15.0	28.1	22.6	288	156	1916	307	840	51
<i>neglectus</i>	800	2074	1465	24.6	31.6	28.4	10.0	18.5	14.2	18.0	25.1	21.2	349	83	1239	175	570	133
<i>nelsonii</i>	1107	2900	2176	19.6	33.1	24.3	6.2	19.0	10.9	12.9	25.8	17.6	429	51	1542	191	846	104
<i>oaxacanus</i>	1613	2572	2285	14.8	26.2	20.2	5.2	14.7	8.7	10.0	20.5	14.5	468	61	2053	202	871	182
<i>oligospermus</i>	796	1762	1318	23.4	33.2	28.1	10.2	20.8	15.8	17.5	27.0	21.9	701	179	2086	96	1253	166
<i>parvulus</i>	491	2769	1977	20.0	36.1	26.8	4.5	21.2	11.0	12.3	28.2	18.9	351	112	1417	15	668	123
<i>pauciflorus</i>	1025	3047	1916	14.9	36.2	27.3	3.6	21.2	12.9	9.4	28.2	20.1	272	73	1634	111	859	90
<i>pedicellatus</i>	271	3093	2065	16.6	34.6	24.3	2.8	23.6	11.1	10.3	28.7	17.7	274	77	1416	414	776	130
<i>pluriflorus</i>	2002	2646	2360	21.9	26.9	24.2	8.0	12.4	10.2	15.6	19.49	17.2	453	71	1115	72	675	82
<i>polymorphus</i>	448	3007	2035	19.3	34.1	26.6	5.6	19.8	11.9	12.7	26.6	19.3	200	55	665	93	400	76
<i>ritensis</i>	43	2601	1926	19.9	36.4	27.7	3.9	21.5	11.3	11.9	28.1	19.5	231	74	1391	67	582	97
<i>tuerckheimii</i>	94	2708	1904	18.4	33.9	24.4	7.2	20.0	12.6	12.8	26.5	18.5	1046	159	3544	684	1701	270
<i>vulgaris</i>	493	2700	1594	19.8	34.9	28.1	5.3	21.9	14.3	12.5	27.9	21.2	406	33	1868	179	864	77
<i>xanthotrichus</i>	519	2081	1531	21.5	30.1	26.6	10.8	20.8	14.4	16.2	25.5	20.5	338	98	2143	332	1033	161

sitios con altitudes mayores a los 1600 m. Según el valor altitudinal promedio, *P. coccineus*, *P. esperanzae*, *P. grayanus*, *P. maculatus*, *P. nelsonii*, *P. oxacanus*, *P. parvulus*, *P. pedicellatus*, *P. pluriflorus* y *P. polymorphus*, abundan más en regiones de tierras altas (>1900 m); mientras *P. jaliscanus*, *P. leptostachyus*, *P. micranthus*, *P. microcarpus*, *P. neglectus*, *P. oligospermus*, *P. pauciflorus*, *P. ritensis*, *P. tuerckheimii*, *P. vulgaris* y *P. xanthotrichus* tienden a predominar en zonas de transición entre tierras altas y tierras bajas. Esta diferencia entre *P. vulgaris* y *P. coccineus*, coincide con lo reportado previamente por Miranda (1979), quien señala que *P. vulgaris* predomina en altitudes de 1200 m y *P. coccineus* en las de 2200 m. El resto de las especies, esto es *P. filiformis* y *P. lunatus*, muestran mayor abundancia en las tierras bajas.

Con respecto a la precipitación promedio, las especies que habitan en regiones de menor precipitación son *P. filiformis*, *P. grayanus*, *P. maculatus*, *P. neglectus*, *P. polymorphus* y *P. ritensis*, se distribuyen en tipos climáticos con precipitación inferior a 600 mm durante el ciclo de lluvias, e inferior a 135 mm en el periodo noviembre-abril. Estas especies podrían ser consideradas como adaptables a condiciones de aridez, sobre todo *P. filiformis*, que se ha encontrado en áreas con menos de 105 mm de lluvia en verano y menos de 80 mm en invierno, lo que coincide con Buhrow (1983) quien afirma que esta especie se adapta a condiciones de extrema aridez, con temperaturas de 38 °C y suelos con pH elevado. Esta especie también ha mostrado tolerancia a salinidad (Bayuelo-Jiménez *et al.*, 2002). Al considerar los intervalos de precipitación del mismo Cuadro 4, destacan *P. acutifolius* y *P. lunatus* pues aunque

prosperan en condiciones favorables de humedad, también están adaptados a condiciones de baja precipitación.

En contraparte, las especies con mayor distribución en áreas de alta precipitación mayo-octubre (Cuadro 4) son *P. chiapasanus*, *P. jaliscanus*, *P. micranthus*, *P. oxacanus*, *P. oligospermus*, *P. pluriflorus* y *P. tuerckheimii*, mientras que las especies que se distribuyen en áreas con mayor precipitación noviembre-abril son *P. chiapasanus*, *P. lunatus*, *P. oxacanus*, *P. oligospermus*, *P. tuerckheimii* y *P. xanthotrichus*, ya que de estas especies se han obtenido accepciones de sitios con más de 150 mm de lluvia en el periodo. Sobresale *P. tuerckheimii*, que se adapta a sitios de 1701 y 270 mm para los periodos mayo-octubre y noviembre-abril, respectivamente. La especie *P. vulgaris*, con una gama de 406 a 1867 mm anuales, parece tener una adaptación a ambientes muy diversos de humedad, lo cual explica en parte la amplia dispersión de su cultivo en el país y en el mundo, y el lugar importante que ocupa entre las leguminosas de mayor consumo global (Núñez *et al.*, 1990).

Con relación a los valores térmicos de las especies estudiadas, y en complemento a la discusión que se estableció acerca de la influencia del tipo climático sobre la distribución de las especies, los valores promedio de la temperatura media de mayo a octubre (Cuadro 4) señalan que en términos generales las especies pueden clasificarse de la siguiente manera: con adaptación a climas templados (5 a 18 °C; Medina *et al.*, 1998): *P. coccineus*, *P. esperanzae*, *P. nelsonii*, *P. oxacanus*, *P. pedicellatus* y *P. pluriflorus*; con adaptación a climas semicálidos (18 a 22 °C; García, 1988): *P. chiapasanus*, *P. grayanus*,

P. jaliscanus, *P. leptostachyus*, *P. maculatus*, *P. neglectus*, *P. oligospermus*, *P. parvulus*, *P. pauciflorus*, *P. polymorphus*, *P. ritensis*, *P. tuerckheimii*, *P. vulgaris* y *P. xanthotrichus*; con adaptación a climas cálidos (22 a 26 °C; García, 1988): *P. acutifolius*, *P. filiformis*, *P. micranthus* y *P. microcarpus*; y con adaptación a climas muy cálidos (> 26 °C; García, 1988) solamente *P. lunatus*.

Tanto las especies de tendencia cálida como de tendencia muy cálida, podrían considerarse como las más tolerantes a altas temperaturas, ya que además son las especies que toleran los más altos niveles de temperatura máxima (mayo-octubre), por arriba de 29 °C; entre ellas destacan *P. filiformis* con 32.3 °C (Cuadro 4).

Las especies más adaptadas al frío podrían considerarse como las especies de tendencia templada y algunas de tendencia semicálida, como *P. pauciflorus* y *P. ritensis*, ya que se distribuyen en climas con una temperatura mínima media entre mayo y octubre, incluso por debajo de 4 °C (Cuadro 4). Llamen la atención *P. coccineus* y *P. pedicellatus*, que registraron una accesión en clima con temperatura media por debajo de 10 °C, temperatura reportada por varios autores como la temperatura base promedio para frijol común (Medina *et al.*, 2004), aunque de acuerdo con Qi *et al.* (1998) la temperatura base se encuentra en el rango de 7.1 a 13.2 °C, según la variedad.

En *P. vulgaris*, la especie de mayor importancia económica en México, se obtuvieron como límites altitudinales 493 y 2700 m, donde el valor inferior coincide con los 500 msnm reportados por Benacchio (1982), y el límite superior con los 2800 msnm señalados por Brücher (citado por Miranda, 1979). El límite inferior de precipitación obtenido (406 mm) coincide con los requerimientos de agua del ciclo del frijol (300-500 mm) reportados por Doorenbos y Kassam (1979). De acuerdo con estos límites de tolerancia climática, la forma silvestre de *P. vulgaris* manifiesta un menor rango de adaptación que en su forma domesticada, lo que se puede deber al mejoramiento genético que se ha realizado sobre *P. vulgaris*, tanto en México como en otros países, que ha modificado aspectos importantes de la planta, como reducción en ciclo biológico y tolerancia a enfermedades, lo que probablemente le ha permitido desarrollarse en un mayor número de ambientes.

Con base en los valores climáticos de las especies (Cuadro 4) se puede inferir que *P. leptostachyus* y *P. coccineus* son las especies que ocurren en una mayor amplitud ambiental, lo cual se manifiesta tanto en el rango altitudinal, como térmico y de precipitación. Las accesiones de *P. coccineus* fueron recolectadas en sitios con altitudes que van de 340 hasta 3628 m, temperatura media entre 8.9 y 29.2 °C, y una precipitación acumulada promedio de 281 a

2490 mm. En cuanto a lluvia, el valor límite de 281 mm es incluso ligeramente inferior a un reporte previo de 300 mm (FAO, 1994); y el valor extremo de 2490 mm (mayo a octubre) y 384 mm (noviembre a abril) mantiene correspondencia con el valor extremo anual de lluvia reportado en Costa Rica para esta especie, que es de 3000 mm (Maquet, 1997). Las accesiones de *P. leptostachyus* reportaron rangos de 0 a 2900 msnm, 12.7 a 28.8 °C y de 227 a 2498 mm de lluvia en el periodo de mayo a octubre. Estos valores confirman que estas dos especies son adaptables a una amplia gama de condiciones climáticas.

Algunas especies como *P. esperanzae*, *P. pluriflorus*, *P. filiformis*, *P. grayanus*, *P. neglectus* y *P. oaxacanus*, mostraron cierto endemismo. En *P. esperanzae* el endemismo parece estar relacionado con condiciones de temperatura, ya que se desarrolla tanto en condiciones áridas como semiáridas y subhúmedas, siempre que se trate de zonas templadas (Cuadro 3). Casos similares son los de *P. pluriflorus*, *P. neglectus* y *P. oaxacanus*, que se circunscriben a zonas templadas y semicálidas. En cambio, *P. filiformis* y *P. grayanus* relacionan su endemismo con la tolerancia o escape a la sequía, ya que se desarrollan solamente en zonas áridas y semiáridas (Cuadro 3).

CONCLUSIONES

El género *Phaseolus* posee gran variabilidad en su capacidad de adaptación climática, por lo que se distribuye en una amplia gama de condiciones climáticas. Este género se encuentra presente en todos los tipos climáticos del país, con excepción del tipo templado húmedo frío y tropical árido muy cálido. Según el criterio de densidad de colectas, los climas subtropicales subhúmedos y semiáridos con régimen de temperatura de templado a semicálido, son los más propicios para *Phaseolus*.

Las especies con menores requerimientos de humedad son *Phaseolus filiformis*, *P. lunatus* y *P. acutifolius*, y las especies adaptables a los climas más húmedos del país son *P. chiapasanus*, *P. jaliscanus*, *P. micranthus*, *P. lunatus*, *P. oligospermus*, *P. xanthotrichus* y *P. tuerckheimii*.

Phaseolus acutifolius, *P. filiformis*, *P. lunatus* y *P. micranthus* son las especies que manifiestan una mayor adaptación a ambientes cálidos, y *P. lunatus* destaca como la de mayor tolerancia al calor. En contraste, las especies más adaptadas al frío son *P. coccineus*, *P. esperanzae*, *P. nelsonii*, *P. oaxacanus*, *P. pauciflorus*, *P. pedicellatus* y *P. ritensis*.

P. leptostachyus y *P. coccineus* constituyen las especies que se adaptan a un mayor número de tipos climáticos

y a un mayor intervalo climático, por lo que son taxas representativos de casi todo el territorio nacional.

De las cinco especies que han sido domesticadas, *P. vulgaris* silvestre presenta una capacidad de adaptación a un menor número de climas y condiciones ambientales.

El conocimiento de los intervalos ambientales en los que se desarrollan las especies en estudio, y con el apoyo de los sistemas de información geográfica, permitirá generar mapas y establecer áreas potenciales de ubicación de las especies, que serán útiles a los programas de conservación *in situ* y recolección de germoplasma.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta G J A, J S Muruaga M, F Cárdenas R (1991) Utilización y disponibilidad de recursos genéticos de *Phaseolus* en México. In: Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México. R Ortega P, G Palomino H, F Castillo G, V A González H, M Livera M (eds). Soc. Mex. de Fitogenética, Chapingo, México. pp:187-196.
- Acosta G J A, C Quintero, J Vargas, O Toro, J Tohme, C Cardona (1998) A new variant of arcelin in wild common bean *Phaseolus vulgaris* L., from southern Mexico. Gen. Res. & Crop Evol. 45:235-242.
- Bayuelo J J S, R Craig, J P Lynch (2002) Salinity tolerance of *Phaseolus* species during germination and early seedling growth. Crop Sci. 42:1584-1594.
- Benacchio S S (1982) Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano. FONAIAP-Centro Nal. de Inv. Agropecuarias. Ministerio de Agricultura y Cría. Venezuela. 202 p.
- Balasubramanian P, A Vanderberg, P Huel, L Gusta (2002) Physiology of freezing resistance in the genus *Phaseolus*. Am. Rep. Bean Improv. Coop. 45:6-7.
- Buhrow R (1983) The wild beans of southwestern North America. Desert Plants 5:67-88.
- Cárdenas R F A, J S Muruaga M, J A Acosta G (1996) Catálogo del Banco de Germoplasma de *Phaseolus* spp. INIFAP-C.E. Valle de México. 421 p.
- Cardona C, J Kornegay (1989) Uso de *Phaseolus vulgaris* silvestre para mejorar frijol por resistencia a los bruchidos. In: Memoria del Taller Internacional del Frijol 1988, S Beebe (ed). Documento de Trabajo Núm. 47. CIAT, Cali, Colombia. pp:94-99.
- Cocks P S, T A M Ehrman (1987) The geographic origin of frost tolerance in Siberian pasture legumes. J. of Appl. Ecol. 24:673-683.
- Doorenbos J, A H Kassam (1979) Efectos del Agua sobre el Rendimiento de los Cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje No. 33. FAO. Roma. 212 p.
- Eastman J R (1999) Idrisi32: Guide to GIS and Image Processing. Volume 2. Clark Labs, Clark University, Worcester, MA, USA. 169 p.
- FAO (1994) ECOCROP 1. The Adaptability Level of the FAO Crop Environmental Requirements Database. Version 1.0 AGLS. Base de datos en formato DBASE. FAO. Rome, Italy.
- Freytag F G, D G Debouck (2002) Taxonomy, Distribution and Ecology of the Genus *Phaseolus* (Leguminosae-Papilionoideae) in North America, México and Central America. Botanical Research Institute of Texas. U.S.A. 297 p.
- García E (1988) Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Offset Larios. México, D.F. 71 p.
- Garvín D F, N F Weeden (1994) Isozyme evidence supporting a single geographic origin for domesticated tepary bean. Crop Sci. 34:1390-1395.
- Gepts P, T C Osborn, K Rashka, F A Bliss (1986) Phaseolin protein variability in wild forms and landraces of the common bean (*Phaseolus vulgaris*): evidence for multiple center of domestication. Econ. Bot. 40:451-468.
- González de C M (1984) Especies Vegetales de Importancia Económica en México. Ed. Porrúa. México, D.F. 305 p.
- Guarino L, A Jarvis, R J Hijmans, N Maxted (2002) Geographic information systems and the conservation and use of plant genetic resources. In: Managing Plant Genetic Diversity. J M M Engels, J R Rao, A H D Brown, M T Jackson (eds). CABI Publishing. New York, USA. pp:387-404.
- Hawtin G, M Iwanaga M, T Hodgkin (1996) Genetic resources in breeding for adaptation. Euphytica 92:255-266.
- Hernandez X E (1993) La agricultura tradicional como una forma de conservar el germoplasma de los cultivos *in situ*. In: Biología, Ecología y Conservación del Género *Zea*. Universidad de Guadalajara. B F Benz (comp). Guadalajara, Jalisco, México. pp:243-256.
- Hijmans J R, D M Spooner (2001) Geographic distribution of wild potato species. Amer. J. Bot. 88 (11):2101-2112.
- INEGI (2000) Síntesis de Información Geográfica de los Estados. Publicación única. Edición 1999. Aguascalientes, Aguascalientes, México. 100 p.
- INEGI (2003) Carta topográfica escala 1:50000 serie 3. Edición individual 2003, primera impresión. Dirección general de geografía. Aguascalientes, Aguascalientes, México.
- Lobo B M, C M Torres C, J R Fonseca, R A Martins P de M, R de Belem N A, T Abadie (2003) Characterization of germplasm according to environmental conditions at the collecting site using GIS—two case studies from Brazil. Plant Gen. Res. Newsl. 135:1-11.
- Maquet A, B J P (1997) A survey of the neotropical distribution of *Phaseolus lunatus*. Belgian J. Bot. 130(1):93-116.
- Medina G G, J A Ruiz C., R A Martínez P (1998) Los Climas de México: Una Estratificación Ambiental Basada en el Componente Climático. Libro técnico núm. 1. INIFAP-CIRPAC. Ed. Conexión Gráfica. Guadalajara, Jalisco. México. 103 p.
- Medina G G, J A Ruiz C (2004) SICA Sistema de Información para Caracterizaciones Agroclimáticas versión 2.5. Documentación y manual del usuario. Tema Didáctico Núm. 2. INIFAP-CIRNOC-C.E. Zacatecas. Calera de V.R., Zacatecas, México. 73 p.
- Microsoft (2000) Encarta: Interactive World Atlas. Software y base de datos interactiva. London, England.
- Microsoft (2001) Hoja de cálculo Excel para Office XP. Manual del usuario. London, England. 274 p.
- Miranda C S (1979) Evolución de *Phaseolus vulgaris* y *P. coccineus*. In: Contribuciones al Conocimiento del Frijol. E M Engleman (ed). Colegio de Postgraduados. Rama de Botánica. Montecillo, México. pp:83-99.
- Núñez G S, L A Ledesma G, V Alemán M, P Alemán R, M Chuela B, F Monjaras A (1990) Guía para Cultivar Frijol en Jalisco. Folleto para productores Núm. 2. INIFAP-CIFAP Jalisco. Guadalajara, Jalisco, México. 14 p.
- Qi A, J B Smithson, R J Summerfield (1998) Adaptation to climate in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.): photothermal flowering responses in the eastern, southern and great lakes regions of Africa. Exp. Agric. 34:153-170.
- Ruiz C J A, G Medina G, I J González A, C Ortiz T, H E Flores L, R Martínez P, K F Byerly M (1999) Requerimientos Agroecológicos de Cultivos. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP-CIRPAC. 1a. Ed. Conexión Gráfica. Guadalajara, Jalisco, México. 324 p.
- Ruiz C J A, J J Sánchez G, M Aguilar S (2001) Potential geographical distribution of teosinte in Mexico: A GIS approach. Maydica 46:105-110.

Sánchez G J J, J A Ruiz C (1995) Teosinte distribution in Mexico. *In*: Gene Flow among Maize Landraces, Improved Maize Varieties, and Teosinte; Implication for Transgenic Maize. J A Serratos, M C Willcox, F Castillo (eds). Mexico, D. F. CIMMYT. pp:18-39.

Vavilov N I (1931) Origen and geography of cultivated plants. *In*: Centros de Origen de Plantas Cultivadas. Centros Vavilov: Teodora Zamudio Prodiversitas Biotetica.org/nota 63-3