

---

---

**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**

---

**CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS**

---

---

**DIVISIÓN DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
COORDINACIÓN DE POSGRADO**



**“DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y ÁREAS  
POTENCIALES DE DIVERSIDAD DEL  
FRIJOL SILVESTRE (*Phaseolus spp.*)”**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**MAESTRO EN CIENCIAS  
AGRÍCOLAS Y FORESTALES**

PRESENTA:  
**JOSÉ LUIS LÓPEZ SOTO**

DIRECTOR DE TESIS:  
**Dr. JOSÉ ARIEL RUIZ CORRAL**

LAS AGUJAS, MPIO. ZAPOPAN, JAL.

OCTUBRE DE 2005

# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS  
DIVISIÓN DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
COORDINACION DE POSGRADO



Esta tesis titulada "Distribución geográfica y áreas potenciales de diversidad del frijol silvestre (*Phaseolus spp.*)" fue realizada bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para la obtención de grado de:

## MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES CONSEJO PARTICULAR:

Tutor:

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. José Ariel Ruiz Corral**

Asesor:

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. José de Jesús Sánchez González**

Asesor:

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Rogelio López Hedefonso**

Asesor:

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Eduardo Rodríguez Guzmán**

Asesor:

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Juan Francisco Casas Salas**

## **AGRADECIMIENTOS**

Un especial agradecimiento a las siguientes personas e instituciones que con su participación y colaboración hicieron posible el buen logro del presente trabajo.

Al Dr. José Ariel Ruiz Corral quien con su dedicación, colaboración y aportación en la dirección de mi programa de maestría y trabajo de investigación hizo posible la conclusión del mismo.

Al Dr. José de Jesús Sánchez González por su colaboración en el trabajo de investigación, la revisión del presente documento y por sus comentarios positivos que me impulsaron a llegar al final de esta etapa de preparación.

Al Dr. Rogelio Lépiz Ildelfonso por su colaboración en el trabajo de investigación, sus recomendaciones y su paciente y empeñosa participación en la revisión del presente documento.

A mis compañeros de la Subdirección de Supervisión y Validación de información Geográfica del INEGI, especialmente a aquellos que asumieron parte de mis responsabilidades, a efecto de que pudiera concluir con esta etapa.

Al Ing. Juan Osuna del INEGI por su ayuda oportuna e incondicional en las etapas finales del presente trabajo.

A la Sra. Ana María, secretaria de la coordinación del posgrado en la Universidad de Guadalajara, por su trato amable y sus palabras de apoyo y quien como ángel guardián estuvo siempre pendiente de los trámites a realizar.

A la Universidad de Guadalajara y a sus profesores, quienes me dieron la oportunidad de formarme como maestro a través del posgrado de Ciencias Agrícolas y Forestales.

## **DEDICATORIA**

A mi esposa Aída, quien, como siempre, nuevamente estuvo ahí con su apoyo, amor y comprensión en este nuevo reto de mi vida.

A mis hijas, Aída y Adriana, por quienes seguimos adelante tratando de inspirarles el espíritu de lucha y el empeño en el trabajo, como medio para lograr las metas.

A mi nieto Darío Michell, el ángel de la familia.

## INDICE

	Pagina
<b>Resumen</b>	1
<b>I. Introducción.</b>	4
<b>II. Objetivo.</b>	6
<b>2.1 Objetivo general.</b>	6
<b>2.2 Objetivos particulares.</b>	6
<b>III. Hipótesis.</b>	7
<b>IV. Revisión de literatura.</b>	8
<b>4.1 Biodiversidad y recursos fitogenéticos.</b>	8
<b>4.1.1 Recursos fitogenéticos.</b>	9
<b>4.1.2 Biodiversidad.</b>	11
<b>4.1.3 Diversidad de especies.</b>	12
<b>4.1.4 Proteger la biodiversidad.</b>	12
<b>4.2 El género <i>Phaseolus</i>.</b>	13
<b>4.2.1 Especies silvestres.</b>	14
<b>4.3 Situación en México.</b>	15
<b>4.3.1 Conservación <i>In Situ</i>.</b>	15
<b>4.3.2 Conservación <i>Ex Situ</i>.</b>	16
<b>4.4 Rangos ambientales, distribución geográfica y niveles de diversidad.</b>	16

<b>V. Materiales y métodos.</b>	19
<b>5.1 Área de estudio.</b>	19
<b>5.2 Materiales genéticos.</b>	19
<b>5.3 Bases de datos y sistemas de información geográfica.</b>	19
<b>5.4 Metodología.</b>	22
<b>5.4.1 Conformación de matriz datos georreferenciados.</b>	22
<b>5.4.2 Caracterización de rangos climáticos de adaptación de <i>Phaseolus</i> spp.</b>	22
<b>5.4.3 Obtención de áreas de distribución geográfica de <i>Phaseolus</i> spp.</b>	23
<b>5.4.4 Determinación de índices de diversidad de <i>Phaseolus</i> spp.</b>	23
<b>VI. Resultados y discusión.</b>	26
<b>6.1 Caracterización de los rangos climáticos.</b>	26
<b>6.2 Ubicación real y potencial de <i>Phaseolus</i>.</b>	34
<b>6.3 Índices de diversidad de especies de <i>Phaseolus</i></b>	56
<b>VII. Conclusiones y recomendaciones.</b>	62
<b>7.1 De la caracterización de los rangos climáticos.</b>	62
<b>7.2 De la ubicación real y potencial.</b>	62
<b>7.3 De los índices de diversidad.</b>	64
<b>VIII. Bibliografía.</b>	66

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue la de caracterizar los rasgos ambientales de adaptación y desarrollo de 25 especies de frijol silvestre para determinar la distribución geográfica y potencial, así como las áreas de diversidad de *Phaseolus*, en la República Mexicana, mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG).

El estudio se realizó utilizando una escala anual y estacional de datos climáticos considerando dos periodos: el periodo mayo-octubre y el periodo noviembre-abril, los cuales corresponden a los ciclos agrícolas primavera-verano y otoño-invierno, respectivamente.

La información utilizada para la conformación de las bases de datos se obtuvo de dos fuentes, una de ellas corresponde al catálogo del banco de germoplasma del INIFAP y la otra, a información de Freytag y Debouck publicada en el 2002.

A partir de esta información se conformó una matriz con las siguientes variables: especie, localidad, municipio, Entidad Federativa, longitud, latitud y altitud. Luego se procedió a una caracterización ambiental de los sitios de accesión con base a las siguientes variables: Tipo climático, temperatura promedio anual, temperatura máxima promedio anual, temperatura mínima promedio anual, altitud y precipitación acumulada promedio para los periodos mayo-octubre y noviembre-abril. La fuente de información para estas variables fue el sistema de información ambiental nacional en formato digital del INIFAP (Medina *et al.*, 1998), el cual está constituido por imágenes temáticas raster con resolución de 900 x 900 m, y compilado en el sistema de información geográfica (SIG) IDRISI32 (Eastman, 1999).

La caracterización ambiental se realizó mediante el reconocimiento de cada uno de los sitios de accesión en cada imagen temática, a través de sus respectivas coordenadas. Los resultados de esta caracterización se integraron en la matriz de datos de *Phaseolus* spp. De esta forma, para cada especie se determinaron los valores máximos y mínimos encontrados para cada variable ambiental, determinándose así los rangos ambientales de adaptación de cada especie.

A partir de los rangos ambientales de adaptación de cada especie se determinaron las áreas potenciales de distribución de las especies bajo estudio. El procedimiento consistió en buscar que áreas se encuentran dentro de los rangos ambientales de adaptación de cada especie. Estos rangos de adaptación se buscaron a nivel país mediante el SIG IDRISI32. Esta búsqueda consistió en un análisis espacial de reclasificación y sobreposición de imágenes temáticas, lo cual dio como resultado la determinación de las áreas potenciales de distribución de *Phaseolus* spp. Estas áreas potenciales de distribución se compararon contra la distribución geográfica actual de especies obteniéndose áreas potenciales de colecta futura.

Con el propósito de determinar la diversidad y abundancia de las especies, se obtuvieron los índices de diversidad de *Phaseolus* spp. A partir de las accesiones se generaron matrices para alimentar el software SDR II (Species Diversity and Richness) versión 2.65, este programa calcula y compara la diversidad y estima la riqueza de especies. Las matrices de datos que alimentan al programa contienen las variables de número y frecuencia de especies por Estado, adicionalmente se agruparon las Entidades Federativas para generar regiones, el resultado fue la obtención de índices de diversidad por Estado y por Región. Entre los índices de diversidad que se consideraron para el análisis están Margalef, Shannon y Simpson.

Los resultados muestran que el género *Phaseolus* se encuentra prácticamente en todas las variantes climáticas del país, ya que de los 28 climas de la Republica Mexicana (Medina *et al.*, 1998) en 26 de ellos se observó por lo menos una especie del género. Los climas subtropicales son los más propicios para el genero *Phaseolus* (Delgado-Salinas, 1985) ya que 22 de las 25 especies fueron ubicadas en este tipo climático. En contraparte, los climas templado-fríos parecen ser restrictivos para *Phaseolus*, ya que sólo 10 de las 25 especies se ubicaron en estos climas.

Respecto a las áreas potenciales se observó que las cinco especies que han sido domesticadas en Mesoamerica *P. acutifolius*, *P. coccineus*, *P. leptostachyus*, *P. lunatus* y *P. vulgaris*, encuentran terreno propicio en la Republica Mexicana para su potencial desarrollo. Destacan *P. acutifolius* y *P. leptostachyus*, ya que su potencialidad o áreas donde se pueden encontrar, se extienden prácticamente a todo



el país. Todos los Estados presentan condiciones favorables para el desarrollo potencial de *Phaseolus*, con excepción de Tabasco que presenta alta restricción para el género, sólo *P. lunatus*, *P. leptostachyus* y *P. coccineus*, encuentran en este Estado algunas pequeñas áreas potenciales para su desarrollo. Entre las especies del estudio destacan *P. tuerckheimii* y *P. filiformis*, por su alta especialización en el hábitat ya que el primero ubica sus áreas potenciales en las laderas de las cadenas montañosas del Occidente, del Oriente y del Sur del país. La segunda especie ubica sus áreas potenciales en las zonas con poca precipitación del Norte del país.

El análisis de la diversidad (riqueza) de las especies en estudio, arrojó que es mayor en Durango y Jalisco, destacando también Michoacán, Nayarit, Chiapas y Zacatecas. Los índices se obtuvieron a partir de los datos totales por especie y por Estado utilizando el programa Species Diversity and Richness II. Se trabajó con los índices de Shannon, Simpson y Margalef.

## I. INTRODUCCION

Aún 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.

El conocimiento de estos aspectos permitirá desarrollar varias aplicaciones importantes. Tal es el caso de la planificación de una búsqueda o exploración dirigida de recursos fitogenéticos, la cual permita garantizar al investigador, las mayores posibilidades de encontrar nichos en los que habite la especie buscada. Esta exploración dirigida y sustentada por una base objetiva de conocimiento, además de significar una mayor probabilidad de éxito en la colecta de materiales, conlleva también un ahorro significativo de dinero, tiempo y esfuerzo.

Esto es importante, porque por lo general, los estudios y proyectos que se desarrollan enfocados hacia el manejo y conservación de recursos fitogenéticos, implican un costo y presupuesto importantes para las instituciones e investigadores que se desempeñan en esta área. Aunado a ello, la cantidad de recursos que se destinan a la investigación en países en vías de desarrollo, es cada vez más escasa, obligando al diseño y establecimiento de estrategias que tiendan a eficientar el uso de tales recursos.

Recientemente, los sistemas de información geográfica, han probado ser una herramienta de excelente aplicación en diversas áreas del manejo y conservación de recursos genéticos. Dentro de las aplicaciones desarrolladas se pueden citar los trabajos de caracterización de rangos ambientales de adaptación de especies y la delimitación de la distribución geográficas de taxas (Ruiz *et al*, 2001), así como, la cuantificación de la diversidad y abundancia de especies y el trazo de posibles rutas de colecta de recursos genéticos (Sánchez *et al*, 1998).

El presente estudio se considera estratégico por un lado, debido a las aportaciones que puede realizar bajo este marco de necesidades, y de manera complementaria, por la propuesta metodológica, la cual una vez probada con los taxas considerados en este trabajo, podría ser utilizada para aplicarse a otros recursos fitogenéticos.

Otro aspecto significativo del estudio es que permitirá iniciar la integración de sistemas de información ambiental enfocados hacia el manejo y conservación de recursos fitogenéticos a nivel nacional, incorporando el uso de herramientas modernas y eficientes como son los sistemas de información geográfica.

## II. OBJETIVO

### 2.1. Objetivo general

Caracterizar los rangos ambientales de adaptación y desarrollo para 25 especies de frijol, y determinar la distribución geográfica y niveles de diversidad de *Phaseolus* en la República Mexicana.

### 2.2. Objetivos particulares

- 1) Caracterizar las condiciones altitudinales y climáticas de diversos sitios de recolección de especies de frijol silvestre.
- 2) Determinar los límites altitudinales y climáticos para el desarrollo de 25 especies de frijol.
- 3) Delimitar la distribución geográfica potencial de 25 especies de *Phaseolus*, mediante el uso de sistemas de información geográfica.
- 4) Calcular índices de diversidad de *Phaseolus* spp., de acuerdo con el número y frecuencia de especies por Entidad Federativa y por región (agrupando las Entidades Federativas).

### **III. HIPOTESIS**

Mediante la caracterización de los rangos ambientales de adaptación de especies y la utilización de sistemas de información geográfica ambiental, es posible determinar la distribución geográfica potencial y áreas de diversidad de *Phaseolus* spp.

## IV. REVISION DE LITERATURA

### 4.1. Biodiversidad y recursos fitogenéticos.

Actualmente, la conservación de recursos genéticos es considerada área prioritaria no sólo en México sino en todo el mundo, debido a las implicaciones tan significativas que tiene la conservación de la diversidad, sobre el mantenimiento y generación de poblaciones de plantas, que constituyen la base para programas de mejoramiento genético de las principales especies de cultivo. Desde este punto de vista, poner en riesgo la conservación de recursos genéticos, es atentar incluso contra la práctica de una agricultura sostenible. México posee una gran diversidad biológica y cultural. Existen aproximadamente 22,000 especies de plantas que producen flor, pertenecientes a aproximadamente 2500 géneros. Más del 10% de los géneros y 50 a 60% de las especies, son endémicas de nuestro país (Rzedowski, 1993).

El frijol ha sido tradicionalmente un alimento básico en la dieta del mexicano y en la actualidad se cultivan un gran número de variedades en nuestro país. Estudios realizados con marcadores moleculares han sugerido que algunas especies de *Phaseolus* pudieron haber sido domesticados en el estado de Jalisco; Garvin y Weeden (1994) indican que los estados de Sinaloa y Jalisco son áreas geográficas potenciales para el origen de *Phaseolus acutifolius*, mientras que para el caso de *Phaseolus vulgaris* se ha propuesto la región Centro-Occidente (Jalisco-Guanajuato) como lugar de domesticación (Gepts y Debouck 1991).

La producción de frijol de América Latina ha aumentado en un 25 por ciento durante la última década como resultado de rendimientos más altos, mientras que el área sembrada ha aumentado apenas un 2 por ciento. La tasa anual de aumento de la producción, 2.7 por ciento, ahora supera la tasa de crecimiento de la población, con el resultante aumento del consumo per cápita. Sin embargo, en muchas zonas donde los agricultores han intensificado la producción de frijol, el uso excesivo de plaguicidas se ha convertido en un problema grave. Otro reto para la investigación es el cultivo extensivo de frijol en suelos de baja fertilidad (Acosta, *et al.*, 1996).

Hay evidencia de que algunas especies consideradas como silvestres han sido utilizadas en tiempos prehistóricos por poblaciones indígenas del Noroeste de México y Suroeste de los Estados Unidos; tal es el caso de *P. maculatus* y *P. metcalfei*. Algunos de los ejemplos de la utilización de cruza inter específicas 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 (Sánchez *et al.*, 1998).

En referencia a las especies silvestres, Acosta *et al.* (1991) indican que su valor potencial es grande pero sólo han sido estudiadas esporádicamente en el extranjero.

La utilidad real y potencial de las formas silvestres del género *Phaseolus* se ha mostrado en años recientes. 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*) que causan pérdidas en almacenamiento calculadas en 13-15% de la producción total en América Latina (CIAT 1998).

Después de haber evaluado más de 8000 muestras de variedades cultivadas de frijol común sin haber encontrado niveles satisfactorios de resistencia, la búsqueda se amplió a frijoles silvestres de origen mexicano. Los estudios del CIAT (Cardona *et al.*, 1989) han demostrado que las semillas de algunas accesiones 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). En accesiones altamente resistentes, las colonias de insectos ni siquiera pueden desarrollarse y mueren a las dos o tres generaciones. En colaboración con el CIAT, la Universidad de Wisconsin identificó una proteína presente solo en las accesiones resistentes al brúquido, la cual se nombró arcelina en honor a Arcelia, un pueblo del estado de Guerrero en cuyas cercanías se encontraron las accesiones silvestres con genes de resistencia (Acosta *et al.*, 1998).

#### **4.1.1. Recursos fitogenéticos.**

Se identifican como recursos fitogenéticos al material genético de las especies de plantas de valor económico para el presente y futuro de la humanidad. Las

plantas han sido y siguen siendo fundamentales para la vida y el desarrollo del género humano. A través del tiempo además de alimento, han sido utilizadas en múltiples formas, como vestido, medicina, construcción, recreación, transporte, etc.

El uso inteligente de los recursos fitogenéticos puede contribuir a erradicar el hambre y la pobreza, tanto a través de un incremento en el volumen de la producción, como mediante la reducción del precio de los alimentos y de otros productos. Al mismo tiempo protegen y mejoran el ambiente, por ejemplo, previniendo la erosión de los suelos y absorbiendo el carbono atmosférico.

Los pueblos precolombinos de México desarrollaron un gran número de plantas domesticadas, siendo las más importantes el maíz (*Zea mays* L.), el chile (*Capsicum annum* L.), el frijol (*Phaseolus* spp.) y la calabaza (*Cucurbita* spp.), (Sánchez *et al.*, 2000).

En el estado de Guanajuato, los campesinos conservan y distinguen 15 variedades de maíz, 45 de frijol, 14 de *Cucurbita* y 70 variantes de *Opuntia* pertenecientes a 15 especies (Colunga y Zizumbo, 1993). Caso similar ocurre en el centro de Chiapas donde los campesinos reconocen y conservan 15 variedades de maíz pertenecientes a 6 razas (Bellon y Brush, 1994).

La multiplicidad de los usos de las plantas depende de una característica crucial de la vida de las mismas, su diversidad. La diversidad se verifica en tres niveles principales: las combinaciones de las especies que forman ecosistemas distintos, el número de las especies diferentes, y las diversas combinaciones de géneros en las especies. Los tres niveles contribuyen a sostener los sistemas agrícolas, y a asegurar su productividad. En particular, la diversidad genética brinda a las especies la capacidad de adaptarse a presiones cambiantes como las pestes y las enfermedades o la sequía (Smith y Smith, 2001). Hoy en día la biodiversidad de las plantas de la Tierra está amenazada como nunca antes. En agricultura, la adopción masiva de algunas variedades mejoradas ha reducido la base genética de importantes cultivos alimenticios y ha llevado a la desaparición de cientos de las formas cultivadas. La conservación y el uso de la diversidad fitogenética son fundamentales para satisfacer las necesidades del desarrollo futuro del mundo (Rosensweig, 1995).



#### **4.1.2. Biodiversidad.**

El término biodiversidad es la contracción de la expresión “diversidad biológica” y expresa la variabilidad o diversidad del mundo biológico. En su sentido más amplio, biodiversidad es casi sinónimo de ‘vida sobre la Tierra’. El término se acuñó en 1985 y se ha utilizado mucho en los años noventa, tanto en los medios de comunicación como en círculos científicos y de las administraciones públicas (Smith y Smith, 2001). Se ha hecho habitual, en parte por comodidad, considerar tres niveles jerárquicos de biodiversidad que afectan de manera especial al hombre: genes, especies y ecosistemas. Pero es importante ser consciente de que ésta no es sino una de las varias formas de evaluar la biodiversidad y que no hay una definición exacta del término ni, por tanto, acuerdo universal sobre el modo de medir la biodiversidad.

El mundo biológico puede considerarse organizado en una serie de niveles de organización de complejidad creciente; ocupan un extremo las moléculas más importantes para la vida y el otro las comunidades de especies que viven dentro de los ecosistemas. Se encuentran manifestaciones de diversidad biológica a todos los niveles. Como la biodiversidad abarca una gama amplia de conceptos y puede considerarse a distintos niveles y escalas, no es posible reducirla a una medida única. En la práctica, la diversidad de especies es un aspecto central para evaluar la diversidad a los demás niveles y constituye el punto de referencia constante de todos los estudios de biodiversidad.

Cada año desaparecen miles de formas cultivadas y decenas de especies nativas y con ellas nuevas posibilidades de culturas agrícolas, productos industriales o medicinas para curar las enfermedades. Con la pérdida de diversidad, aumenta la uniformidad, la dependencia de unas pocas variedades de plantas para alimentarnos, y sobre todo crece la vulnerabilidad ante las plagas y las enfermedades. La biodiversidad se pierde debido al deterioro y fragmentación de los hábitat, a la introducción de especies, la explotación excesiva de plantas, animales y peces, la contaminación, el cambio climático, la agricultura (reducción de las variedades empleadas, plaguicidas) y repoblaciones forestales con monocultivos de rápido crecimiento (Smith y Smith, 2001).

Whittaker (1973) menciona que los organismos reaccionan ante una variedad de factores ambientales y solo pueden ocupar un cierto hábitat cuando los valores de esos factores caen dentro del rango de tolerancia de la especie. El lugar real donde vive un organismo es lo que se conoce como su hábitat. Debido a que el hábitat describe una localización, podemos definirlo a distintos niveles o escalas.

Las ideas de hábitat y nicho están estrechamente relacionadas. Joseph Grinnell en 1917 definió el “nicho” como la unidad de distribución última dentro de la cual una especie se encuentra retenida por las limitaciones de su fisiología y su estructura física.

El medio físico y particularmente la temperatura, la humedad y la luz, cambian con la latitud, el área y la localidad de estudio. Existen, además, variaciones diarias y estacionales, debidas a la variabilidad global de la radiación solar. El rango de condiciones en que puede vivir un organismo tiene límites, determinados por valores mínimos y máximos mas allá de los cuales un organismo no puede sobrevivir. Dentro de ese rango de supervivencia existen otros rangos de condiciones más estrechas dentro de las cuales el organismo puede crecer y reproducirse (Whittaker, 1973).

#### **4.1.3. Diversidad de Especies.**

Por muchas razones, la especie es la moneda básica de la biología y el centro de buena parte de las investigaciones realizadas por ecologistas y conservacionistas. El número de especies se puede contar en cualquier lugar en que se tomen muestras, en particular si la atención se concentra en organismos conocidos (como mamíferos, aves o plantas); también es posible estimar este número en una región o un país (aunque el error aumenta con la extensión del territorio). Esta medida, llamada riqueza de especies, constituye una posible medida de la biodiversidad del lugar y una base de comparación entre zonas. Es la medida general más inmediata y, en muchos aspectos, más útil de la biodiversidad (Ruggiero, 2001).

#### **4.1.4. Proteger la Biodiversidad.**

Existen dos planteamientos para conservar la biodiversidad: proteger las especies y las poblaciones individuales o proteger el hábitat en el que viven. Lo

esencial es la conservación de ecosistemas enteros, asegurando su funcionalidad. Los esfuerzos dirigidos hacia las especies y las poblaciones, aunque son importantes, exigen una gran cantidad de tiempo y esfuerzo; las medidas incluyen la protección legal de las especies individuales, planes de gestión y una conservación *Ex Situ*, es decir, proteger las poblaciones de animales y plantas en zoos y bancos de semillas. La conservación *Ex Situ* sirve tanto de seguro contra la pérdida de la diversidad genética y de especies en la naturaleza, como de semillero para reintroducir o reforzar las poblaciones silvestres. Además, los bancos de semillas son una fuente de diversidad genética para la investigación agrícola (Navarro, 1991).

El Convenio sobre la Diversidad Biológica y de la cual México forma parte, se firmó en junio de 1992 en la Conferencia de Río y entró en vigor el 29 de diciembre de 1993. Su objetivo es cubrir el vacío existente a nivel internacional en el campo de la biodiversidad. El Convenio prevé programas de cooperación y de financiamiento para proteger la biodiversidad, y en su artículo 6 contempla la necesidad de que "cada Parte Contratante... elaborará estrategias, planes o programas nacionales para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica".

La Conferencia de las Partes del Convenio se ha reunido en varias ocasiones, la primera en Nassau, en las Bahamas, del 28 de noviembre al 9 de diciembre de 1994, y la segunda en Yakarta, Indonesia, entre el 6 y el 17 de noviembre de 1995, donde se decidió que Montreal, en Canadá, fuese la sede permanente del Convenio, e igualmente se aprobó desarrollar un protocolo de bioseguridad, que finalmente fue aprobado el 29 de enero de 2000. Dentro del Convenio igualmente debe desarrollarse un problemático protocolo sobre bosques, que fue uno de los temas que quedaron fuera de la Cumbre de Río de 1992, y otro sobre los derechos de los agricultores en el mantenimiento de los recursos genéticos (Conabio, 2002).

#### **4.2. El género *Phaseolus*.**

México está considerado como centro de origen del género *Phaseolus*, mientras que el Occidente de México está considerado como una zona importante de diversidad (Hernández, 1993).

El frijol es una planta fanerógama, ya que tiene sus órganos reproductores bien definidos y además visibles; angiosperma por que sus semillas están envueltas en el pericarpio; dicotiledónea, ya que posee dos cotiledones; dialipétala, porque su corola esta compuesta de pétalos separados. Pertenece a la familia *Leguminosae*, pudiendo encontrar en esta familia árboles, hierbas o enredaderas. Una característica casi general de ella, es que sus raíces poseen nudosidades producidas por la simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*. La clasificación botánica es como sigue:

Sub-familia: *Papilionoidae*

Tribu: *Phaseoleae*.

Subtribu: *Phaseolineae*

Género: *Phaseolus*

Con el nombre de frijol se cultivan varias especies en México, principalmente del género *Phaseolus*, aunque en algunos casos también se les conoce como frijoles a las semillas del género *Vigna* (CIAT, 1980).

#### 4.2.1. Especies silvestres.

Es importante identificar las especies de *Phaseolus* que crecen silvestres en varias regiones de México. En los estados de Chiapas, Oaxaca, en la parte sur del estado de Veracruz, así como también en Guerrero, Michoacán, Jalisco y en Sonora, existen una gran cantidad de especies silvestres algunas de las cuales las dedican al cultivo; su comercialización es muy limitada, pues se realiza solamente en regiones de áreas muy específicas (CIAT, 1980).

A pesar de no tenerse en la actualidad suficiente claridad sobre el número de especies dentro del género *Phaseolus*, Debouck (citado por Sánchez *et al.*, 1998) presenta una lista tentativa de 52 especies distribuidas exclusivamente en el Continente Americano, cinco de estas especies incluyen a las formas cultivadas *P. vulgaris* (frijol común, caraota, habichuela, alubia, poroto), *P. acutifolius* (frijol tépari o escomite), *P. coccineus* (frijol ayocote, petaco, piloy, frijol de vida), *P. polyanthus* (frijol acalete, botil) y *P. lunatus* (frijol lima, pallar, haba lima), (CIAT, 1980).

### **4.3. Situación en México.**

Aún 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 filogenéticos, así como, la cuantificación o la estimación de la diversidad de especies y la abundancia de cada especie por región geográfica o agroecológica (Acosta *et al.*, 1991).

#### **4.3.1. Conservación *In Situ*.**

La conservación *In Situ* requiere que las poblaciones sean mantenidas en sus ambientes agrícolas o ambientes naturales. A pesar de que se reconoce por la comunidad científica el papel complementario de la conservación *In Situ* y *Ex Situ*, las personas que han propuesto los métodos *In Situ* enfatizan los siguientes aspectos (Jain, 1990).

- Muchos de los parientes silvestres de los cultivos no son accesibles fácilmente para recolectar semillas, para propagarlas y para uso experimental.
- Podrá ser necesario desarrollar nuevos métodos para romper la dormancia e inducir la floración en algunas especies.
- Los mejoradores probablemente no usarán materiales silvestres y mezclas si no se ha practicado pre-mejoramiento o algún tipo de investigación genética bajo condiciones controladas.
- Las poblaciones silvestres proporcionan materiales que evolucionan de acuerdo a los cambios en clima, enemigos naturales, contaminación, etc.

El principio básico relacionado a una reserva genética es conservar suficiente diversidad genética que permita a las especies llevar a cabo su potencial evolutivo completo. La conservación de un lugar en donde crece una especie no necesariamente implica que se conserva su variación genética, es necesario

disponer de estrategias diseñadas de acuerdo a las necesidades de cada especie o pariente silvestre. Para lograr lo anterior, intervienen muchas disciplinas científicas (Biología de poblaciones, ecología, genética, etc.) (Smith y Smith, 2001).

#### **4.3.2. Conservación *Ex Situ*.**

En México, el estudio y conservación de los recursos fitogenéticos se lleva a cabo por diferentes instituciones, la mayor actividad de conservación es realizada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), el Centro Internacional de mejoramiento de Maíz y Trigo, así como por instituciones educativas como la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), Universidad Autónoma de Sonora (UAS), Universidad de Guerrero (UAG) y Universidad de Guadalajara (UDG).

Otra de las formas de conservación *Ex Situ* en México son los jardines botánicos entre los que destacan:

- El jardín Botánico Exterior de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- El Jardín Agrícola Tropical de la Universidad Autónoma Chapingo.
- El Pinetum "Maximino Martínez" de la Universidad Autónoma Chapingo.

#### **4.4. Rangos ambientales, distribución geográfica y niveles de diversidad.**

Tradicionalmente, los análisis de distribuciones geográficas se basan en localidades individuales y registros puntuales de las especies. Esto en cierto modo limita el conocimiento adecuado de la distribución de los taxones, pues para la mayoría de las especies se carece de un número suficiente de especímenes recolectados o de observaciones fidedignas. Por lo tanto, a menudo nuestro conocimiento es incompleto y fragmentario (Peterson *et al.*, 1998), y se requiere de una multitud de métodos disponibles para delinear con precisión aproximada la distribución de un taxón. Una alternativa para este problema ha sido discutida por varios autores de un tiempo a la fecha (Noss, 1983; Pulliam y Dunning, 1997; Lloyd y Palmer, 1998; Carroll *et al.*, 1999; Manel *et al.*, 1999; Cowley *et al.*, 2000; Ruiz *et al.*, 2001), ellos han resaltado que la relación entre las condiciones ambientales y las

localidades conocidas (el nicho ecológico) de un taxón puede ser una forma de explicar los patrones de distribución. Sin embargo, dado el esfuerzo inmenso que implica conocer con detalle los requerimientos de hábitat particulares de cada especie, nuevos algoritmos y herramientas informáticas han sido desarrolladas recientemente; entre ellas se cuentan las que generan distribuciones potenciales, basadas en un conjunto de registros individuales de una especie, tales registros se relacionan con las variables ambientales presentes en dichas localidades (Carroll *et al.*, 1999; Manel *et al.*, 1999; Cowley *et al.*, 2000). La posibilidad de construir mapas precisos de la distribución de las especies, llenando huecos de conocimiento y muestreo, aumenta enormemente las potencialidades de análisis e interpretación.

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).

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



## V. MATERIALES Y METODOS.

### 5.1 Área de estudio.

El área de estudio comprende a la República Mexicana y específicamente, todos los sitios de acceso de las 25 especies de frijol silvestre (Figura 1).

### 5.2 Materiales genéticos.

Las especies de *Phaseolus* incluidas en el estudio fueron: *acutifolius*, *amblyosepalus*, *coccineus*, *chiapasanus*, *esperanzae*, *filiformis*, *floribundus*, *glaucocarpus*, *grayanus*, *hintonia*, *jaliscanus*, *leptostachyus*, *lunatus*, *maculatus*, *marechalii*, *metcalfei*, *micranthus*, *microcarpus*, *neglectus*, *nelsonii*, *oaxacanus*, *oligospermus*, *parvulus*, *pauciflorus*, *pedicellatus*, *perplexus*, *pluriflorus*, *polyanthus*, *polymorphus*, *ritensis*, *salcifolius*, *scabrellus*, *sempervirens*, *tuerckheimii*, *vulgaris*, *xanthotrichus* y *xolocotzii*.

### 5.3. Bases de datos y sistemas de información geográfica.

Se utilizó información sobre colectas realizadas en la República Mexicana para 25 especies de *Phaseolus*. Esta información se obtuvo de los catálogos del Banco de Germoplasma de Frijol del INIFAP (Cárdenas *et al.*, 1996), así como de los trabajos compilatorios de accesiones de frijol silvestre reportados por Freytag y Debouck (2002) (Cuadro 1). Para verificar la localización geográfica de algunos sitios de colecta se utilizaron cartas topográficas escala 1:50,000 (INEGI-DETENAL, 1974, 2000, 2001) de diversas regiones del país, el Nomenclátor de la Síntesis Geográfica Estatal (SIGE) del INEGI para diversas Entidades Federativas (INEGI, 2000), y el Atlas de Microsoft Encarta (2001). Para caracterizar las condiciones ambientales de los sitios de colecta de *Phaseolus* spp., se utilizó el sistema de información ambiental del INIFAP (Medina *et al.*, 1998), el cual se encuentra compilado en el sistema de información geográfica (SIG) IDRISI32 (Eastman, 1999), en formato raster y bajo una resolución para la República Mexicana de 900 m. La elaboración de los mapas se llevó a cabo con el SIG IDRISI 32 y para la obtención de los índices de diversidad se utilizó el SDR II (Species Diversity and Richness) ver. 2.65.

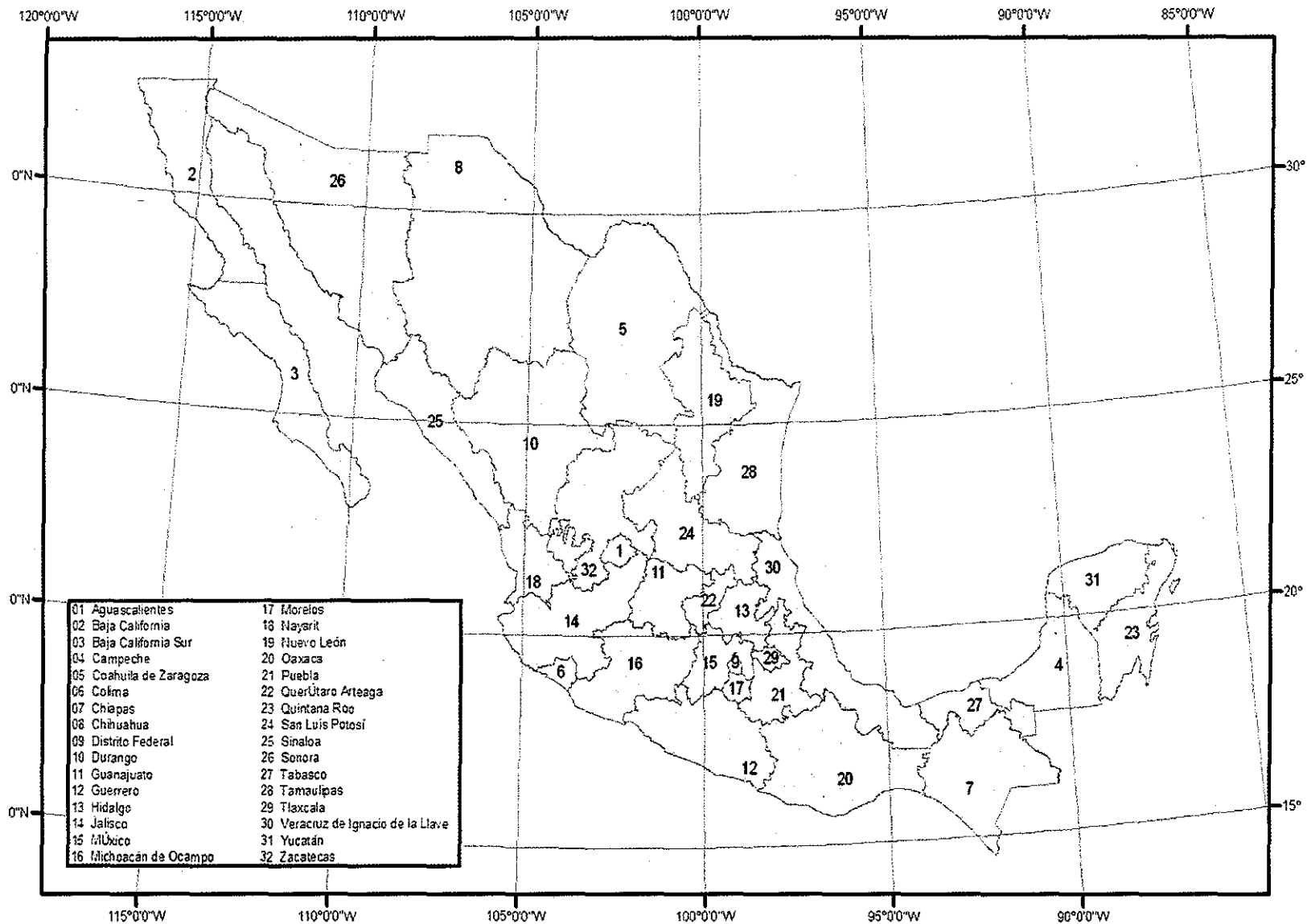


Figura 1. División Política de la República Mexicana.

Cuadro 1. Accesiones de 25 especies de *Phaseolus* en la República Mexicana, consideradas en el estudio.

Especie	Accesiones (Fuentes de datos)			Especie	Accesiones (Fuentes de datos)		
	INIFAP	Freytag y Debouck	Total		INIFAP	Freytag y Debouck	Total
<i>P. acutifolius</i>	117	0	117	<i>P. nelsonii</i>	8	13	21
<i>P. chiapasanus</i>	6	5	11	<i>P. oaxacanus</i>	5	5	10
<i>P. coccineus</i>	424	0	424	<i>P. oligospermus</i>	13	6	19
<i>P. esperanzae</i>	1	13	14	<i>P. parvulus</i>	5	14	19
<i>P. filiformis</i>	1	22	23	<i>P. pauciflorus</i>	10	31	41
<i>P. grayanus</i>	13	28	41	<i>P. pedicellatus</i>	27	35	62
<i>P. jaliscanus</i>	11	8	19	<i>P. pluriflorus</i>	11	3	14
<i>P. leptostachyus</i>	288	0	288	<i>P. polymorphus</i>	7	21	28
<i>P. lunatus</i>	138	0	138	<i>P. ritensis</i>	23	21	44
<i>P. maculatus</i>	39	26	65	<i>P. tuerckheimii</i>	15	6	21
<i>P. micranthus</i>	6	14	20	<i>P. vulgaris</i>	187	0	187
<i>P. microcarpus</i>	24	31	55	<i>P. xanhtotrichus</i>	12	2	14
<i>P. neglectus</i>	14	3	17				

## **5.4. Metodología.**

Para alcanzar los objetivos planteados se desarrollaron las siguientes etapas:

### **5.4.1. Conformación de matriz de datos georreferenciados.**

Consistió en la recuperación de datos referentes a las colectas que se han realizado hasta la fecha de las diversas especies de frijol silvestre en México. Para ello se tomó como base el Catálogo del Banco de Germoplasma de *Phaseolus* spp., del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (Cárdenas et al., 1996) y la información resultado de los trabajos compilatorios de Freytag y Debouck (2002).

Posteriormente se validó la información concerniente a las coordenadas geográficas de cada sitio de colecta. Esto se realizó en parte, mediante visitas a campo para georreferenciar con un geoposicionador GARMÍN XL-12. Sin embargo, la información de coordenadas fue revisada fundamentalmente a través de medios de consulta geográfica como son el Atlas de Microsoft Encarta (2001) y el Nomenclátor de las Síntesis Geográficas Estatales del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEGI). Una vez realizadas estas actividades, se integró una matriz de datos georreferenciados para *Phaseolus* spp., compilada en Microsoft EXCEL y conteniendo las siguientes variables: especie, localidad, municipio, entidad federativa, latitud, longitud y altitud. Esta etapa consistió en la elaboración de una matriz de datos con referencia geográfica (latitud, longitud) de cada uno de los puntos de colecta de *Phaseolus* spp. Para ello se utilizó Excel de Microsoft:

### **5.4.2. Caracterización de rangos climáticos de adaptación de *Phaseolus* spp.**

Esta etapa implicó la localización o búsqueda de las coordenadas de cada uno de los sitios de colecta (de la matriz de la etapa anterior) en el sistema de información ambiental nacional (SIAN) del INIFAP, el cual está compilado en el sistema de información geográfica (SIG) IDRISI32. Las variables que se consideraron en esta caracterización fueron: temperatura media anual, precipitación acumulada promedio anual (separado por periodos mayo-octubre y noviembre-abril), temperatura máxima media anual, temperatura mínima media anual, altitud y tipo

climático, de acuerdo con el esquema de clasificación climática utilizado por el INIFAP (Ruiz *et al.*, 1999), el cual se describe de manera sintética en el Cuadro 2.

La caracterización ambiental se realizó mediante el reconocimiento de cada uno de los sitios de colecta en cada imagen temática, a través de sus coordenadas respectivas. Los resultados de esta caracterización se integraron a la matriz de datos de *Phaseolus spp.* De esta forma, para cada especie se determinaron los valores máximo y mínimo encontrados para cada variable ambiental, determinándose así los rangos ambientales de adaptación de cada especie.

#### **5.4.3. Obtención de áreas de distribución geográfica de *Phaseolus spp.***

En esta etapa se determinaron las áreas potenciales de distribución de las especies bajo estudio. El procedimiento consistió en buscar que áreas se encontraban dentro de los rangos ambientales de adaptación de cada especie. Para esto se utilizó el SIG IDRISI32 y el SIAN del INIFAP. Estos rangos de adaptación se buscaron a nivel país mediante el SIG IDRISI32, alimentado por el sistema de información ambiental nacional arriba mencionado. Esta búsqueda consistió en un análisis espacial de reclasificación y sobreposición de imágenes temáticas, la cual dio como resultado la determinación de las áreas potenciales de distribución de *Phaseolus spp.* Estas áreas potenciales de distribución se compararon contra la distribución geográfica actual de especies y se obtuvieron áreas potenciales de colecta futura.

#### **5.4.4. Determinación de índices de diversidad de *Phaseolus spp.***

El propósito principal de esta etapa fué determinar diversidad y abundancia de especies. Para esto se utilizó el software SDR II (Species Diversity and Richness) ver. 2.65, el cual es un programa que calcula y compara la diversidad y estima la riqueza de especies. Para realizar estos análisis, el programa se alimentó con matrices de datos acerca del número y frecuencia de especies por estado, y por regiones (agrupando los Estados). Entre los índices que se consideraron en el análisis están Margalef, Shannon y Simpson.

Cuadro 2. Posibles tipos climáticos de la República Mexicana, según el esquema de clasificación climática 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°C	0 (< 30 días)	< 5°C
Templado semiárido frío	< 5°C	1 a 3 (30 a 119 días)	< 5°C
Templado subhúmedo frío	< 5°C	4 a 6	< 5°C
Templado húmedo frío	< 5°C	> 6 meses	< 5°C
Subtrópico árido templado	Entre 5 y 18°C	0 (< 30 días)	Entre 5 y 18°C
Subtrópico semiárido templado	Entre 5 y 18°C	1 a 3 (30 a 119 días)	Entre 5 y 18°C
Subtrópico subhúmedo templado	Entre 5 y 18°C	4 a 6	Entre 5 y 18°C
Subtrópico húmedo templado	Entre 5 y 18°C	> 6 meses	Entre 5 y 18°C
Subtrópico árido semicálido	Entre 5 y 18°C	0 (< 30 días)	Entre 18 y 22°C
Subtrópico semiárido semicálido	Entre 5 y 18°C	1 a 3 (30 a 119 días)	Entre 18 y 22°C
Subtrópico subhúmedo semicálido	Entre 5 y 18°C	4 a 6	Entre 18 y 22°C
Subtrópico húmedo semicálido	Entre 5 y 18°C	> 6 meses	Entre 18 y 22°C
Subtrópico árido cálido	Entre 5 y 18°C	0 (< 30 días)	Entre 22 y 26°C
Subtrópico semiárido cálido	Entre 5 y 18°C	1 a 3 (30 a 119 días)	Entre 22 y 26°C
Subtrópico subhúmedo cálido	Entre 5 y 18°C	4 a 6	Entre 22 y 26°C
Subtrópico húmedo cálido	Entre 5 y 18°C	> 6 meses	Entre 22 y 26°C
Trópico árido semicálido	>18°C	0 (< 30 días)	Entre 18 y 22°C
Trópico semiárido semicálido	>18°C	1 a 3 (30 a 119 días)	Entre 18 y 22°C
Trópico subhúmedo semicálido	>18°C	4 a 6	Entre 18 y 22°C
Trópico húmedo semicálido	>18°C	> 6 meses	Entre 18 y 22°C
Trópico árido cálido	>18°C	0 (< 30 días)	Entre 22 y 26°C
Trópico semiárido cálido	>18°C	1 a 3 (30 a 119 días)	Entre 22 y 26°C
Trópico subhúmedo cálido	>18°C	4 a 6	Entre 22 y 26°C
Trópico húmedo cálido	>18°C	> 6 meses	Entre 22 y 26°C
Trópico árido muy cálido	>18°C	0 (< 30 días)	>26°C
Trópico semiárido muy cálido	>18°C	1 a 3 (30 a 119 días)	>26°C
Trópico subhúmedo muy cálido	>18°C	4 a 6	>26°C
Trópico húmedo muy cálido	>18°C	> 6 meses	>26°C

El índice de diversidad de Shannon-Weaver (H), se basa en la teoría de la información y mide el grado de incertidumbre, esto es que, si la diversidad es baja entonces la seguridad de tomar una determinada especie por azar es alta. Si la diversidad es elevada, entonces es difícil predecir a qué especie pertenecerá un individuo tomado al azar. Una elevada diversidad significa una alta impredecibilidad.

El índice de Simpson-Gini (Y), enfoca el problema de una manera diferente, ya que considera el número de parejas de individuos escogidos al azar que deberíamos tomar hasta conseguir una pareja de la misma especie.

Los índices de Shannon y Simpson toman en consideración tanto el número de especies (riqueza), como la abundancia relativa de individuos entre las especies (equitatividad).

Un índice de diversidad mucho más simple que no tiene en cuenta la equitatividad es el de Margalef (Encarta 2001).

## VI. RESULTADOS Y DISCUSION.

### 6.1. Caracterización de los rangos climáticos de adaptación de *Phaseolus spp.*

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 2).

Los climas subtropicales son los más propicios para el género *Phaseolus* (Delgado-Salinas, 1985), ya que 22 de las 25 especies fueron colectadas en el tipo climático subtropical semiárido templado, seguido por los tipos subtropical subhúmedo templado y subtropical 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 2). En contraparte, los climas templado-fríos (Figura 2) parecen ser restrictivos para *Phaseolus*, ya que sólo 10 de las 25 especies se han colectado en estos climas. De 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.



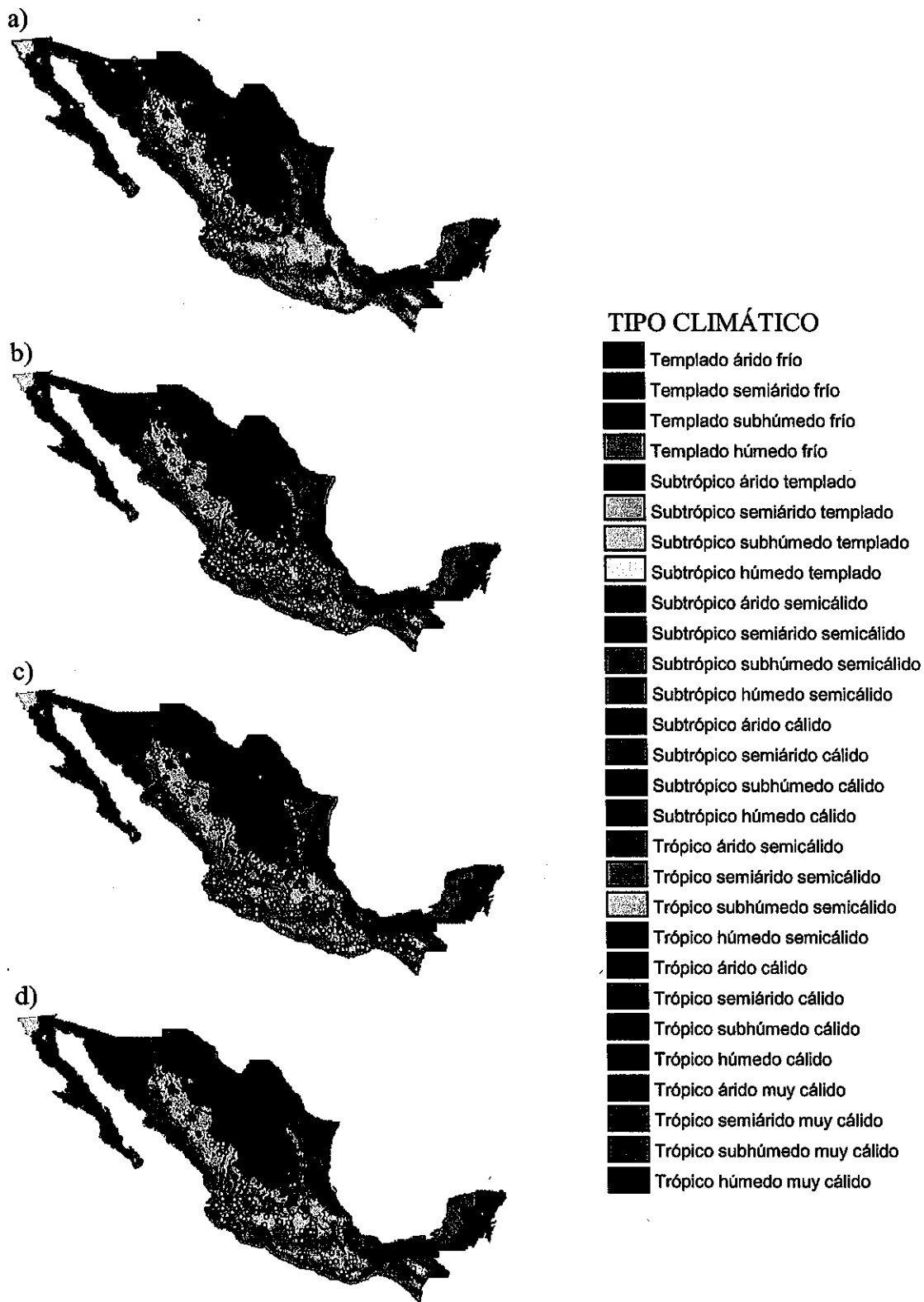


Figura 2. Distribución geográfica y climática de accesiones de a) *P. acutifolius*; b) *P. coccineus*; c) *P. leptostachyus*; y d) *P. vulgaris*.

No obstante, los climas áridos y semiáridos, extremos en temperatura (Figura 2), también cuentan con especies tolerantes a bajas temperaturas, como lo es *P. angustissimus* (Balasubramanian *et al.*, 2002).

Los climas tropicales extremos en las condiciones de temperatura y humedad, parecen ser aún más restrictivos 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 2), 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 2), 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 2).

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

Especie	Tipo climático <sup>†</sup>																																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					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		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																					5			
<i>jaliscanus</i>					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	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				X						7			
<i>parvulus</i>		X			X	X	X			X	X																	X		7			
<i>pauciflorus</i>	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		13			
<i>pluriflorus</i>						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>tuerckheimii</i>							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														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 CLIMATICOS:

- |                                  |                                    |                                 |                                 |
|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 05 Templado árido frío           | 12 Subtrópico húmedo templado      | 19 Subtrópico subhúmedo cálido  | 26 Trópico semiárido cálido     |
| 06 Templado semiárido frío       | 13 Subtrópico árido semicálido     | 20 Subtrópico húmedo cálido     | 27 Trópico subhúmedo cálido     |
| 07 Templado subhúmedo frío       | 14 Subtrópico semiárido semicálido | 21 Trópico árido semicálido     | 28 Trópico húmedo cálido        |
| 08 Templado húmedo frío          | 15 Subtrópico subhúmedo semicálido | 22 Trópico semiárido semicálido | 29 Trópico árido muy cálido     |
| 09 Subtrópico árido templado     | 16 Subtrópico húmedo semicálido    | 23 Trópico subhúmedo semicálido | 30 Trópico semiárido muy cálido |
| 10 Subtrópico semiárido templado | 17 Subtrópico árido cálido         | 24 Trópico húmedo semicálido    | 31 Trópico subhúmedo muy cálido |
| 11 Subtrópico subhúmedo templado | 18 Subtrópico semiárido cálido     | 25 Trópico árido cálido         | 32 Trópico húmedo muy cálido    |

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

Especie	Altitud (msnm)			Temperatura máxima media (°C)			Temperatura mínima media (°C)			Temperatura media (°C)			Precipitación acumulada promedio (mm) período mayo-octubre (A) y período 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

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 acuerdo con los valores altitudinales se puede inferir que las especies *P. acutifolius*, *P. filiformis*, *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 sitios con altitudes mayores a los 1600 m. Atendiendo al valor altitudinal promedio, *P. coccineus*, *P. esperanzae*, *P. grayanus*, *P. maculatus*, *P. nelsonii*, *P. oaxacanus*, *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 cantidad de 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). De 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. oaxacanus*, *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. oaxacanus*, *P. oligospermus*, *P. tuerckheimii* y *P. xanthotrichus*, ya que de estas especies se han obtenido accesiones 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 (Nuñez *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: de tendencia templada (5 a 18 °C, Medina *et al.*, 1998): *P. coccineus*, *P. esperanzae*, *P. nelsonii*, *P. oaxacanus*, *P. pedicellatus* y *P. pluriflorus*; de tendencia semicálida (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*; de tendencia cálida (22 a 26 °C; García, 1988): *P. acutifolius*, *P. filiformis*, *P. micranthus* y *P. microcarpus*; y de tendencia muy cálida (>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).

En contraparte, 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 mayo-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, *P. vulgaris* en su forma silvestre 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 seguramente 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 mayo-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* su 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 2). 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 su tolerancia o escape a la sequía, ya que desarrollan solamente en zonas áridas y semiáridas (Cuadro 3).

## **6.2. Ubicación real y potencial de *Phaseolus*.**

La República Mexicana presenta alta potencialidad de distribución para el género *Phaseolus*, ya que, como se discutió anteriormente y lo muestra el cuadro 4 se encuentra presente en 26 de los 28 tipos climáticos del país.

De las 25 especies incluidas en el estudio, los resultados indican que para cinco de ellas *P. acutifolius*, *P. coccineus*, *P. leptostachyus*, *P. lunatus* y *P. vulgaris*, el territorio nacional es un nicho natural para su potencial desarrollo. De éstas, destaca *P. acutifolius* (Figura 3) ya que de acuerdo con los factores climáticos estudiados, la potencialidad o áreas donde se puede encontrar, se extiende prácticamente a todo el país, con excepción del sur del estado de Veracruz, Tabasco y algunas áreas de la península de Yucatán y Chiapas, igual restricción presenta la zona limítrofe de los estados de Sonora y Baja California Norte. Es de mencionarse respecto a la ubicación real que estas se ubican principalmente en los estados de la



vertiente del Océano Pacífico desde Guerrero hasta la parte Norte de Sonora, con algunas accesiones en Chihuahua, San Luis Potosí y Baja California Norte. Destacan los Estados de Jalisco y Durango con un mayor número de accesiones de la especie. Los estados del Norte, Centro y Sur de la República Mexicana se presentan como áreas potenciales de futuras exploraciones.

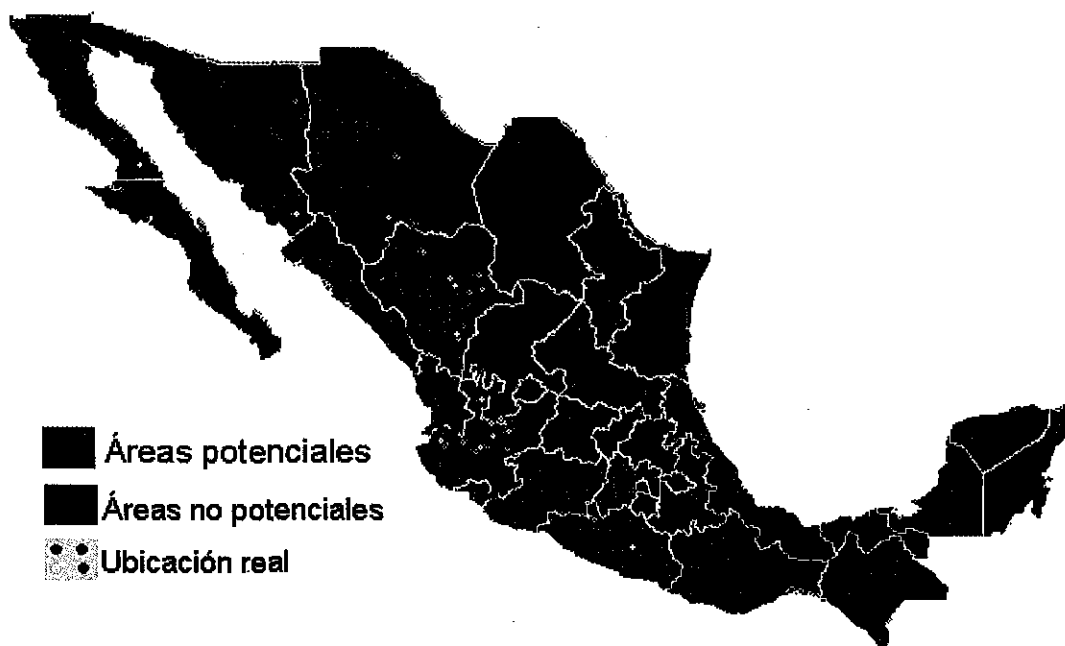


Figura 3. Ubicación real y potencial de *Phaseolus acutifolius*.

Lo mismo sucede con *P. leptostachyus* (Figura 4) ya que presenta similitud con *P. acutifolius*, y es la segunda especie con menor restricción en áreas potenciales. Estas restricciones, se encuentran principalmente en el norte del país. Es de notar, que con excepción de una pequeña área del extremo continental de la Baja California Sur, el resto, incluyendo la Baja California Norte no presenta condiciones para el desarrollo de esta especie, lo mismo sucede con la parte costera de Sonora y el área donde se unen los estados de Durango y Coahuila. En el sur, solo algunas zonas en Tabasco y Campeche presentan restricciones para esta especie. La ubicación real de esta especie indica un mayor trabajo de exploración, sin embargo, los Estados de Nayarit, Zacatecas, Aguascalientes, San Luis Potosí, la Península de Yucatán y

buena parte de los estados de Veracruz, Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila, Chihuahua, Sonora y Sinaloa, se presentan como áreas potenciales de ubicación de la especie.



Figura 4. Ubicación real y potencial de *Phaseolus leptostachyus*.

Las costas del Golfo de México y las del Océano Pacífico presentan restricciones en áreas potenciales para *P. coccineus* (Figura 5), esta especie, prefiere las regiones de tierras altas (Miranda, 1979), sus áreas potenciales se pueden identificar siguiendo la trayectoria de la Sierra madre Occidental y la Sierra Madre Oriental y es en la parte central del país donde se identifica el territorio mas favorable para la búsqueda y ubicación de la especie. *P. coccineus* es junto con *P. leptotachyus* y *P. vulgaris*, las especies que presentan mayor número de accesiones en el país, sin embargo, existen zonas en el Centro y Norte de la República Mexicana como potenciales para la especie, es el caso de áreas en Zacatecas,

Guanajuato, Aguascalientes, Durango, Chihuahua, Sonora, Coahuila, Nuevo León y Baja California sur.

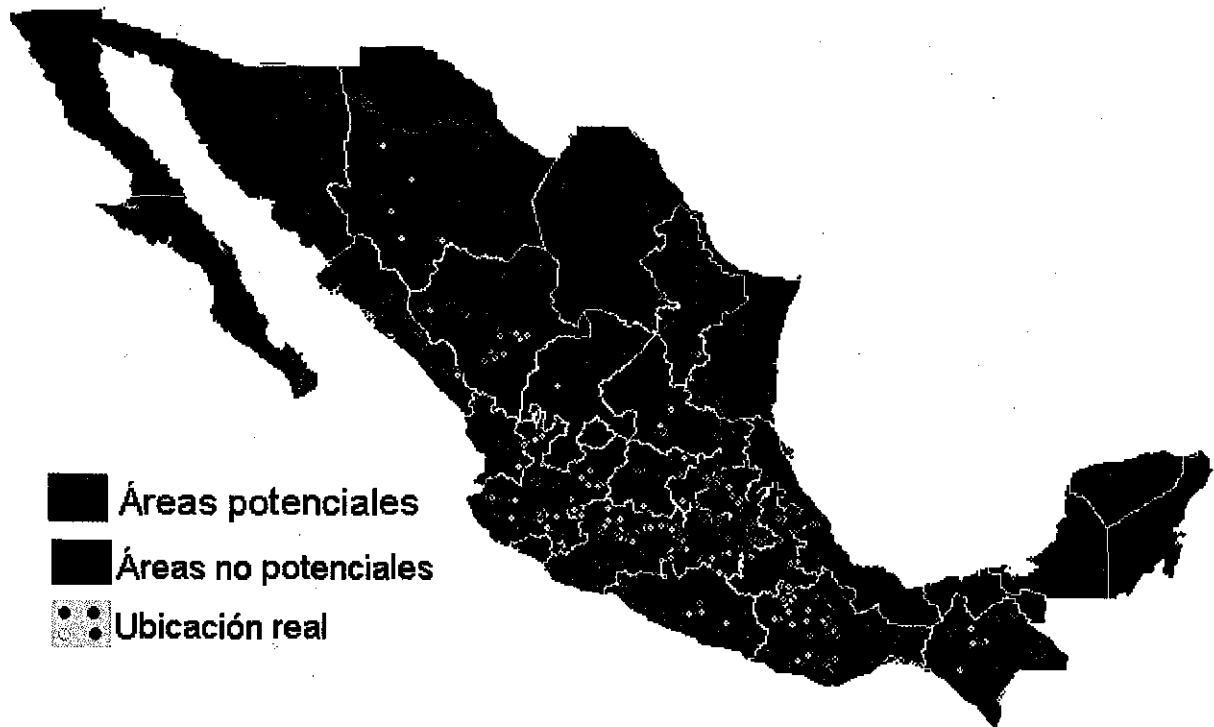


Figura 5. Ubicación real y potencial de *Phaseolus coccineus*.

El caso contrario sucede con *P. lunatus* (Figura 6) ya que potencialmente se ubica desde las costas hasta no más de los 2100 m, evita las zonas con demasiada altitud y los sitios calientes con poca lluvia. Debido a esta característica, las áreas con menos potencial se encuentran en el centro del país generando una franja que va desde Tlaxcala, el Distrito Federal y el Estado de México hasta Chihuahua pasando por Zacatecas. Los lugares menos propicios para encontrar a la especie se extienden a la Baja California Norte y casi toda la Baja California Sur.

*P. lunatus* es, junto con *P. leptostachyus* y *P. coccineus* una de las tres especies que presentan áreas potenciales en el estado de Tabasco. La ubicación de las accesiones nos indica que la exploración ha sido extensa para esta especie ya que se encuentra en casi todas las áreas potenciales, sin embargo, pueden

establecerse nuevas rutas en los estados de San Luis Potosí, Tamaulipas, Nuevo, Coahuila, Sonora y Baja California Sur.

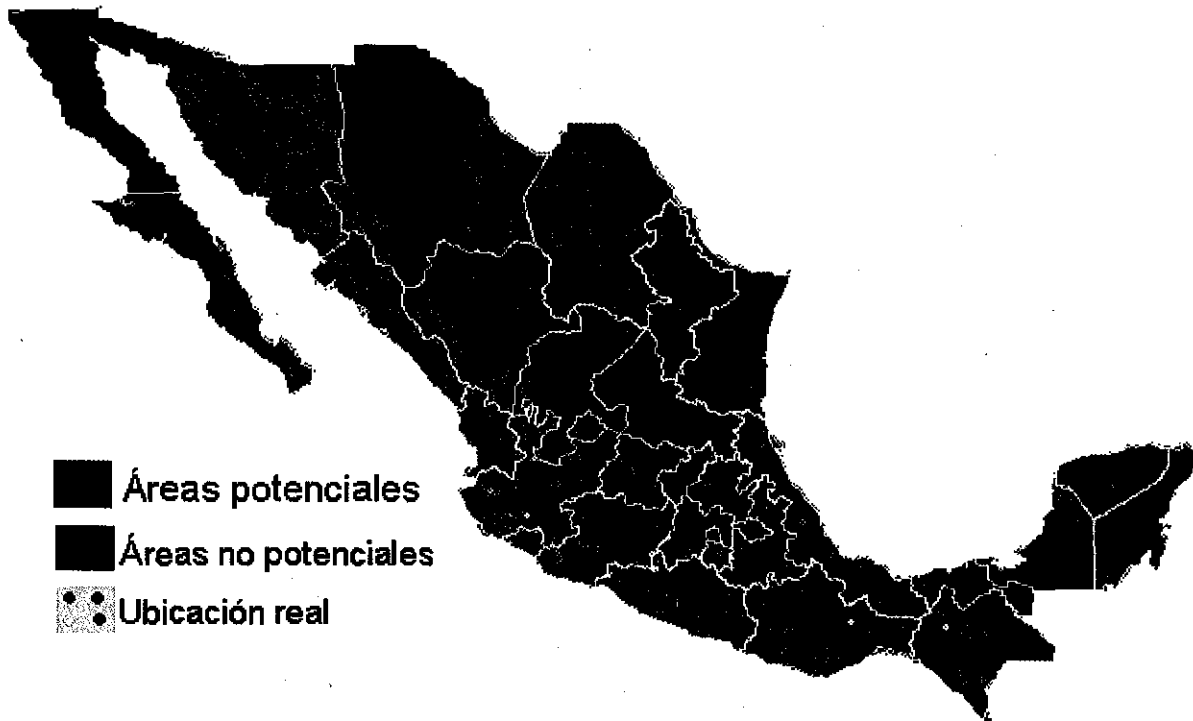


Figura 6. Ubicación real y potencial de *Phaseolus lunatus*.

De las especies domesticadas, *P. vulgaris* (Figura 7) es la que presenta mayor especialización en el hábitat y como resultado, menor cantidad de áreas potenciales en el país.

Como ya se discutió en el apartado de caracterización de rangos climáticos, *P. vulgaris* en su forma silvestre manifiesta un menor rango de adaptación que en su forma domesticada. Tanto el norte como el sur del país, con excepción de algunas áreas bien definidas, son restringidas para el desarrollo de esta especie, lo mismo sucede con las costas, las cuales parece evitar.

Es en el Centro-Occidente del país donde se concentran la mayor parte de las áreas potenciales de la especie, extendiéndose hacia el norte siguiendo el trazo de la Sierra Madre Occidental a través de Durango y Zacatecas y por la Sierra Madre Oriental ocupando pequeños espacios de los estados de San Luis Potosí,

Tamaulipas y Nuevo León. Hacia el sur las áreas potenciales se identifican en Morelos, Puebla, Oaxaca y Chiapas. La ubicación de las accesiones indica que las áreas potenciales han sido exploradas, pero aún quedan áreas dentro de las mismas donde no se ha accedido la especie, es el caso de Guanajuato, Aguascalientes, Zacatecas, Durango, Chihuahua, Sonora, Tamaulipas y Nuevo León.

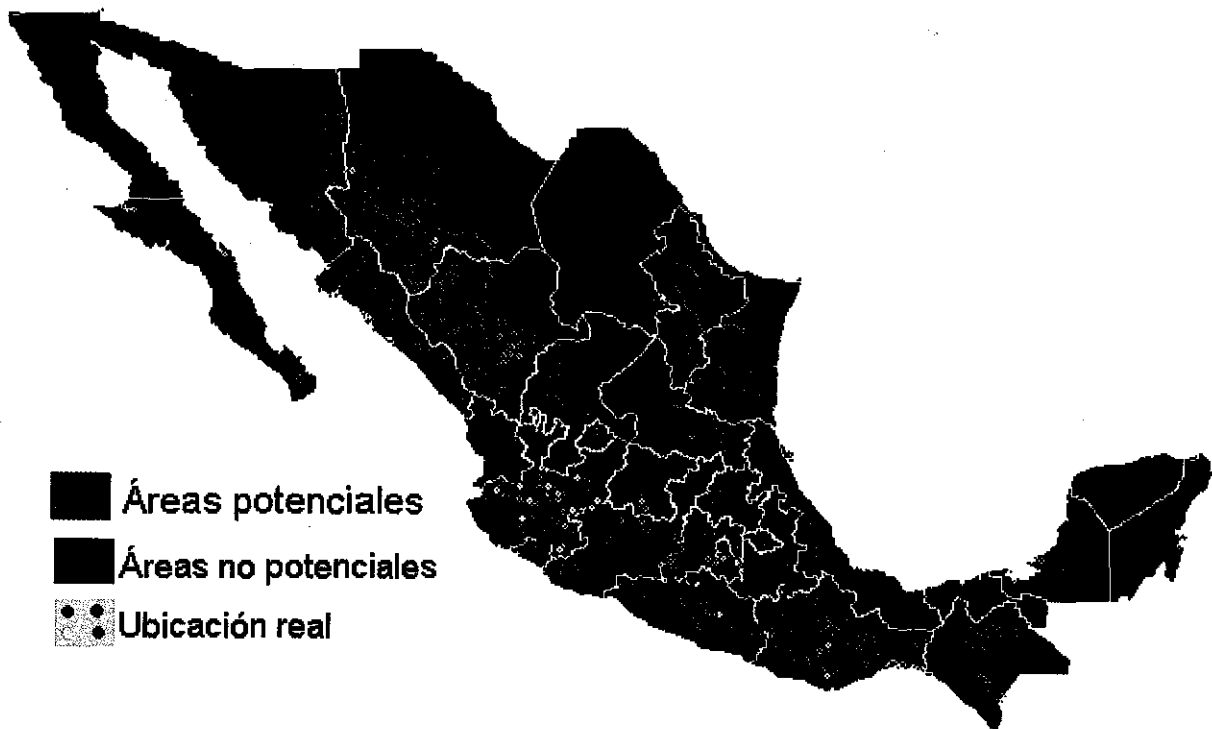


Figura 7. Ubicación real y potencial de *Phaseolus vulgaris*.

Las especies estudiadas, por su hábitat, se pueden dividir de acuerdo a las áreas potenciales obtenidas, en especializadas y altamente especializadas. La especialización resulta de los patrones mostrados en la ubicación de sus áreas potenciales, es decir, mientras que para algunas especies el territorio nacional resulta ser favorable para su desarrollo, mostrando un mosaico homogéneo en la distribución de su potencialidad, para otras, las altamente especializadas, sus áreas potenciales muestran discontinuidad o se muestran en zonas donde las condiciones climáticas son extremosas o bien definidas.

Dentro de las primeras se encuentran *P. acutifolius*, *P. coccineus* *P. leptostachyus*, *P. lunatus*, *P. jaliscanus*, *P. maculatus*, *P. micranthus*, *P. microcarpus*, *P. nelsonii*, *P. parvulus*, *P. pauciflorus*, *P. pedicellatus*, *P. ritensis*, y dentro de las segundas *P. chiapasanus* *P. esperanzae*, *P. filiformis*, *P. grayanus*, *P. neglectus*, *P. oaxacanus*, *P. oligospermus*, *P. pluriflorus*, *P. polymorphus*, *P. tuerckeimii*, *P. vulgaris*, *P. xanthotrychus*.

Por su distribución geográfica, en las especies especializadas se pueden identificar dos grupos: uno que prefiere el Centro-Occidente del país, con derivaciones hacia el Norte siguiendo las vertientes del Océano Pacífico y el Golfo de México, evitando la parte Centro-Norte de la República, en el Pacífico, siguen el trazo de la Sierra Madre Occidental a través de los estados de Nayarit, Durango, Sinaloa y el sur de Chihuahua, en el Golfo se extienden siguiendo el curso de la Sierra Madre Oriental a través de los estados de San Luis Potosí, Tamaulipas, Nuevo León y el sur de Coahuila. Dentro de este grupo (Figuras 8 y 9) se encuentran, *P. jaliscanus*, *P. maculatus*, *P. micranthus*, *P. microcarpus*, *P. nelsonii*, *P. parvulus*. Como excepción, de este grupo resalta *P. maculatus* cuyas áreas potenciales se extienden a través de los estados de Guanajuato, Aguascalientes, Zacatecas, Durango, Coahuila, Chihuahua y el este de Sonora y hacia el sur a través de los estados de Morelos, el sur de Hidalgo y Oaxaca. Las áreas potenciales de esta especie ocupan como en un rompecabezas las áreas no potenciales de las especies *P. micranthus*, y *P. microcarpus*.

El otro grupo (Figuras 10 y 11) presentan una distribución más extensa de áreas potenciales y solo los estados con condiciones extremas en temperatura y precipitación se encuentran excluidos de ellas, como es el caso de la Baja California Norte, la mayor parte de la Baja California Sur y Tabasco. En este grupo se encuentran *P. pauciflorus*, *P. pedicellatus*, y *P. ritensis*, además de cuatro de las cinco especies que han sido domesticadas, *P. acutifolius*, *P. coccineus* *P. leptostachyus*, *P. lunatus*.

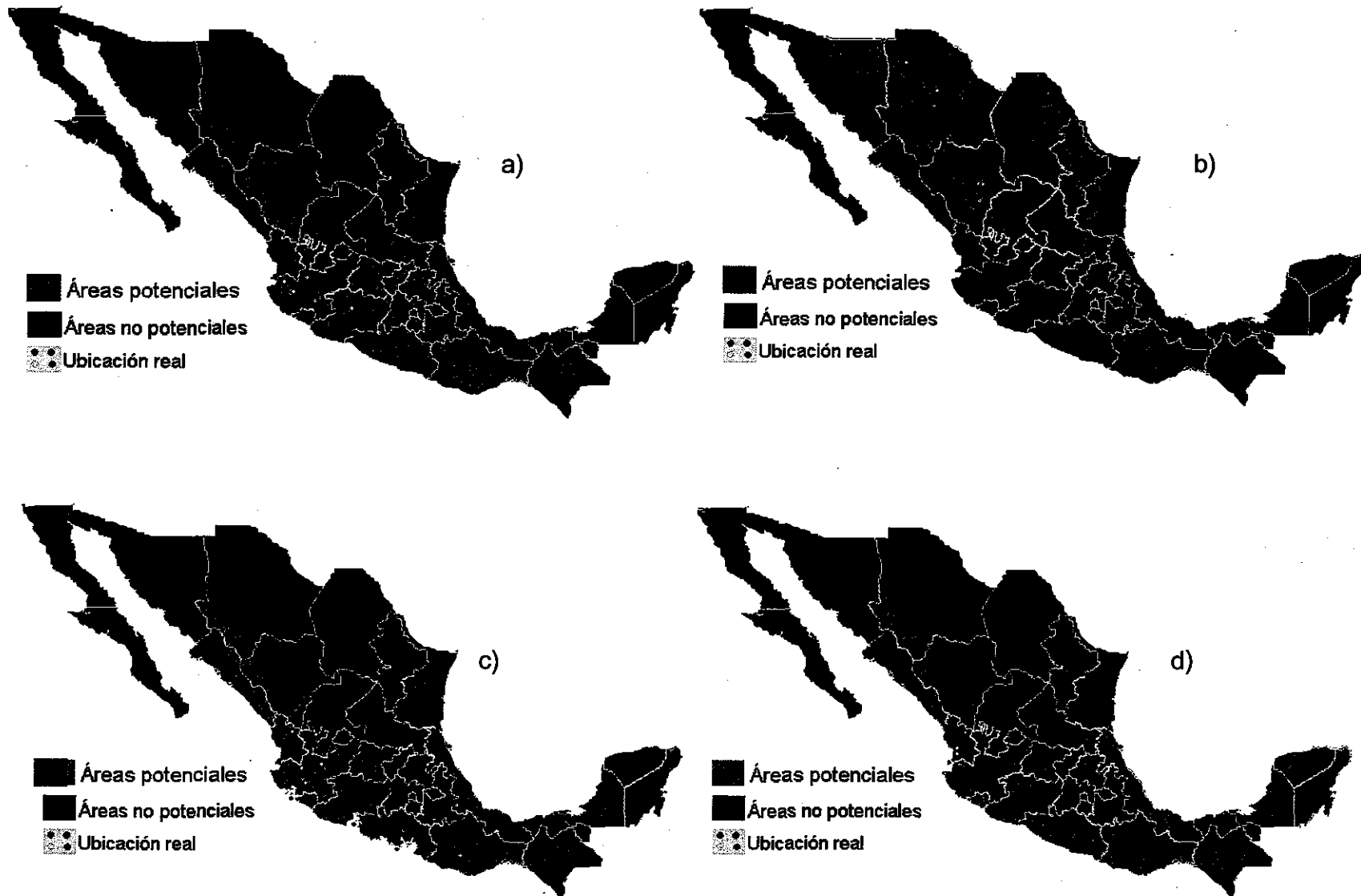


Figura 8. Ubicación real y potencial de *Phaseolus* a) *jaliscanus*, b) *maculatus*, c) *micranthus*, y d) *microcarpus*.

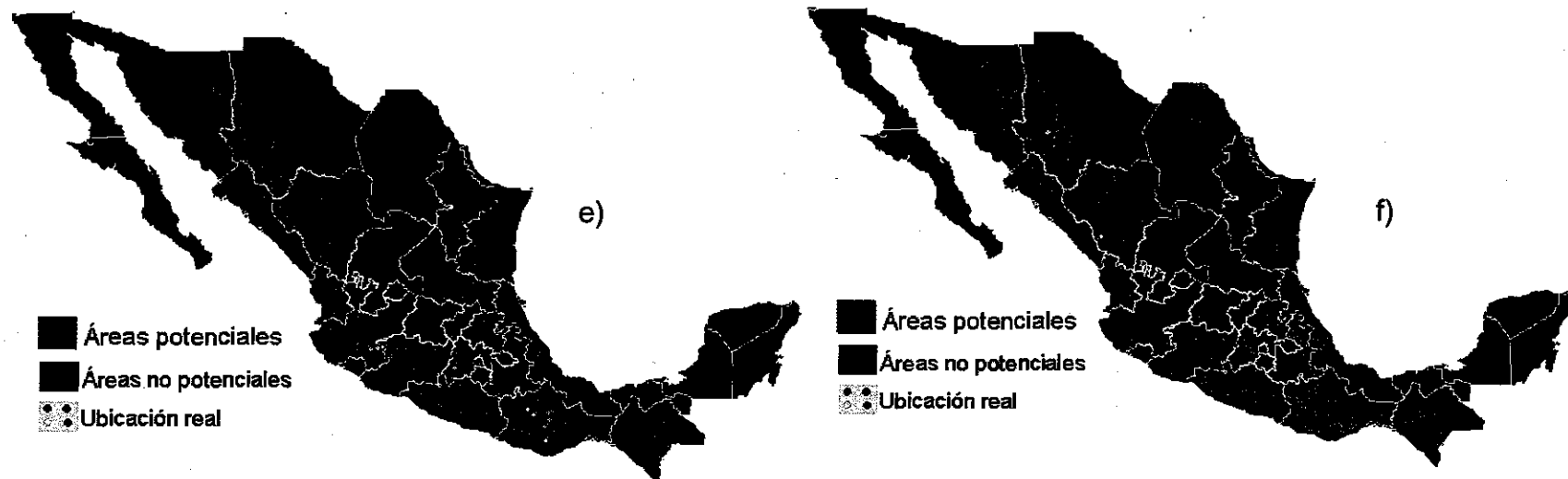


Figura 9. Ubicación real y potencial de *Phaseolus* e) *nelsonii* y f) *parvulus*.



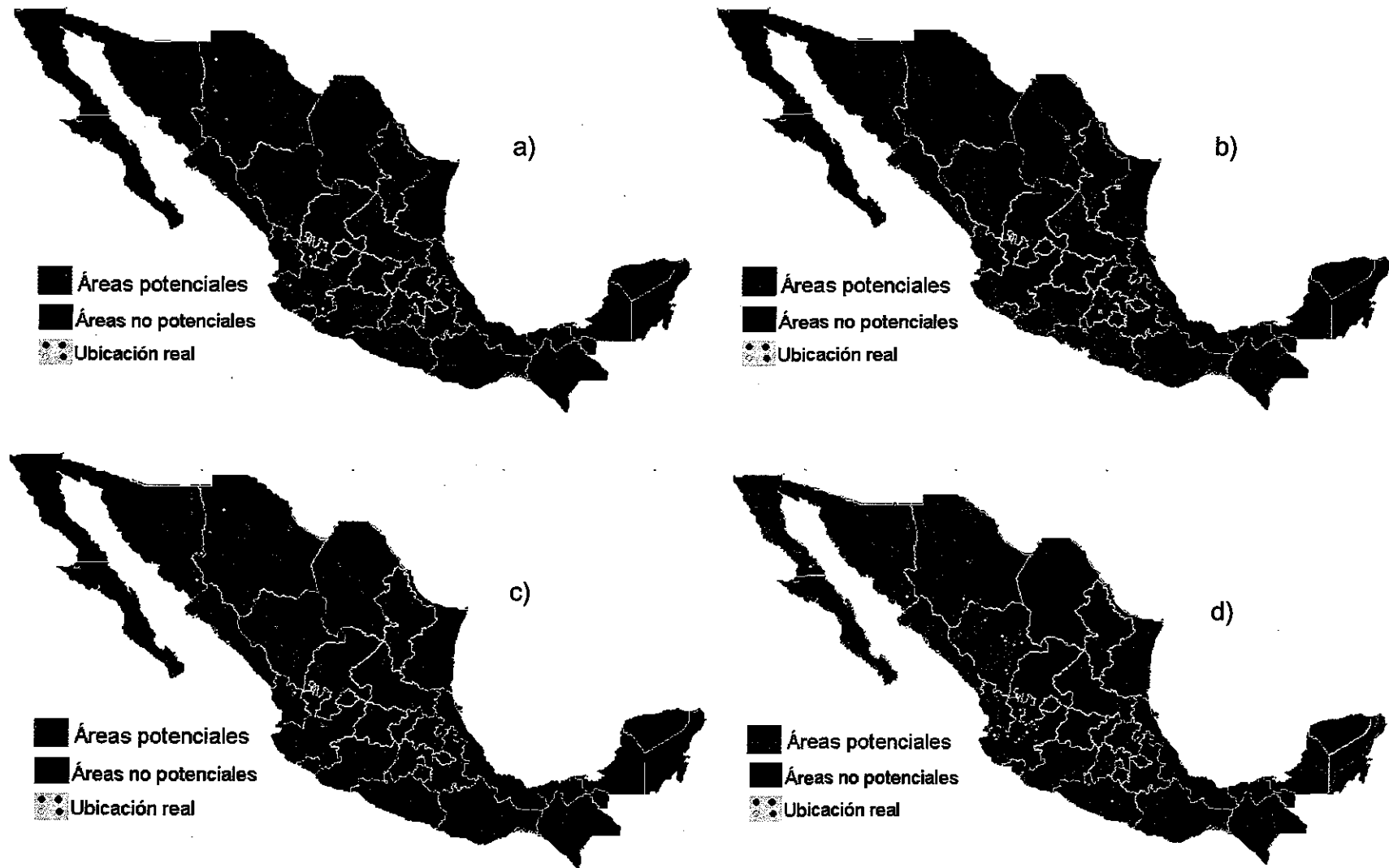


Figura 10. Ubicación real y potencial de *Phaseolus* a) *pauciflorus*, b) *pedicellatus*, c) *ritensis*, d) *acutifolius*.

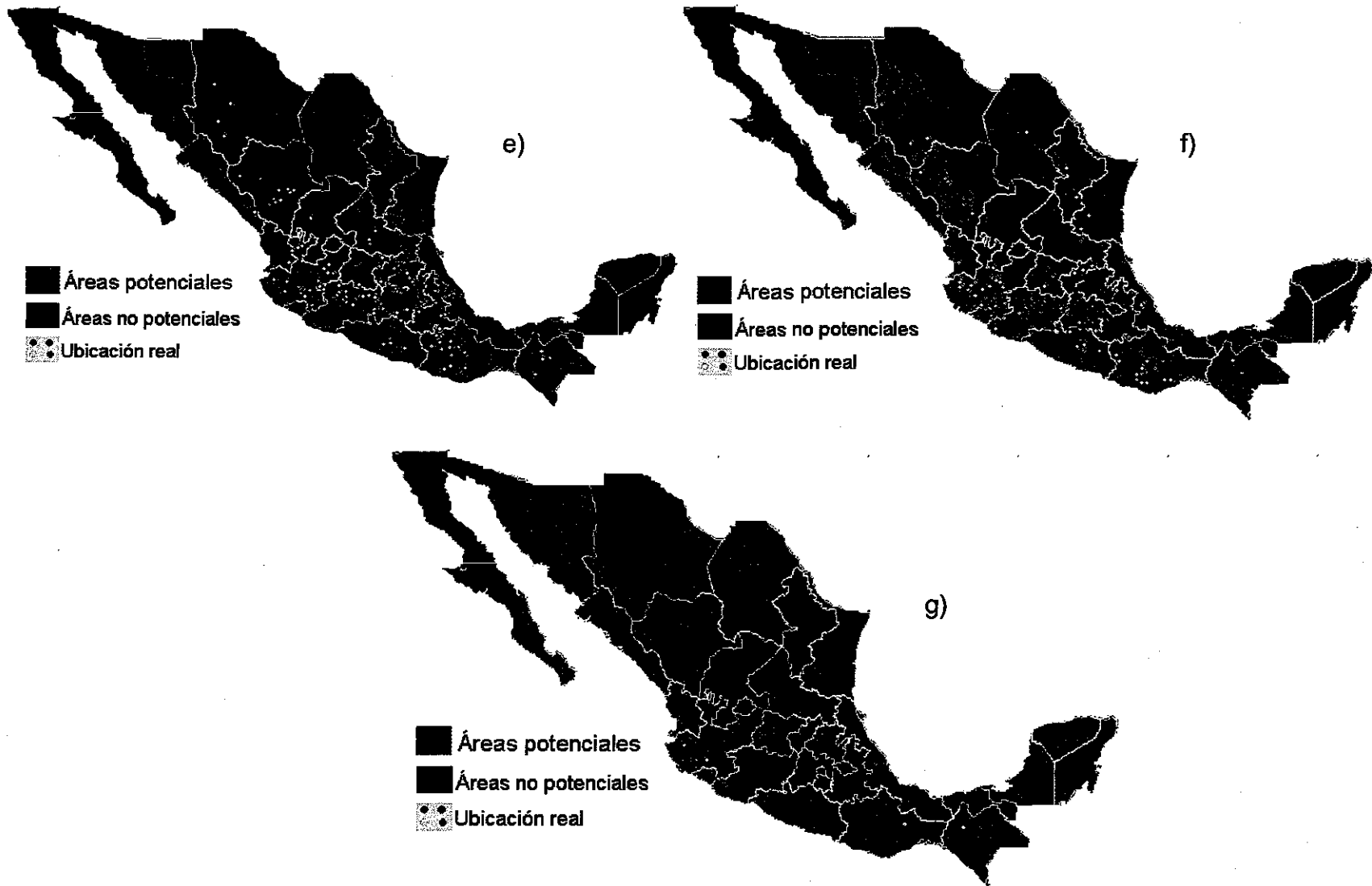


Figura 11. Ubicación real y potencial de *Phaseolus* e) *coccineus*, f) *leptostachyus*, y g) *lunatus*.

Para las especies altamente especializadas son los microclimas o los climas menos representativos en la República Mexicana los nichos naturales en donde encuentran las condiciones necesarias para su desarrollo, en este apartado nos referiremos a algunas de ellas.

*P. chiapasanus* (Figura 12) y *P. oligospermus* (Figura 13) muestran una alta especialización en el hábitat y se refleja geográficamente con los pocos espacios donde se cubren los requisitos climáticos, de estos, resultan las áreas potenciales dispersas donde puede encontrarse la misma. Muestran preferencia por altitudes medias, rehuyen las costas y las altitudes mayores a los 1800 m.



Figura 12. Ubicación real y potencial de *Phaseolus chiapasanus*.



Figura 13. Ubicación real y potencial de *Phaseolus oligospermus*.

La mayor potencialidad de estas especies se encuentra en los estados que presentan climas subtropicales húmedos y subhúmedos, rehuyen los estados con climas tropicales y subtropicales en situación de aridez y con altas temperaturas (López *et al.*, 2005), como es el caso de los estados del Norte de la República y de la Península de Yucatán en el Sur. Comparten espacios con *P. jaliscanus*, *P. neglectus* y *P. xanthotrychus*, que muestran características de distribución similares (Figura 14), con la ventaja de que estas especies desarrollan aún en altitudes mayores a los 2000 m, incluso *P. jaliscanus* se ha detectado en altitudes mayores a los 2800 m, lo que le da mayor presencia en áreas potenciales. Geográficamente establecen su dominio en la región Occidente, siendo Jalisco, Guanajuato, Nayarit y parte de Michoacán donde se presenta su nicho. La característica de este grupo de especies es la focalización o agrupación de las accesiones en áreas determinadas, como por ejemplo: *P. chiapanus*, ubicado en Oaxaca, Chiapas y Veracruz, *P. oligospermus*, principalmente en Chiapas, *P. jaliscanus*, en Jalisco, por lo que se pueden establecer nuevas rutas de exploración en las áreas potenciales donde no se han ubicado.

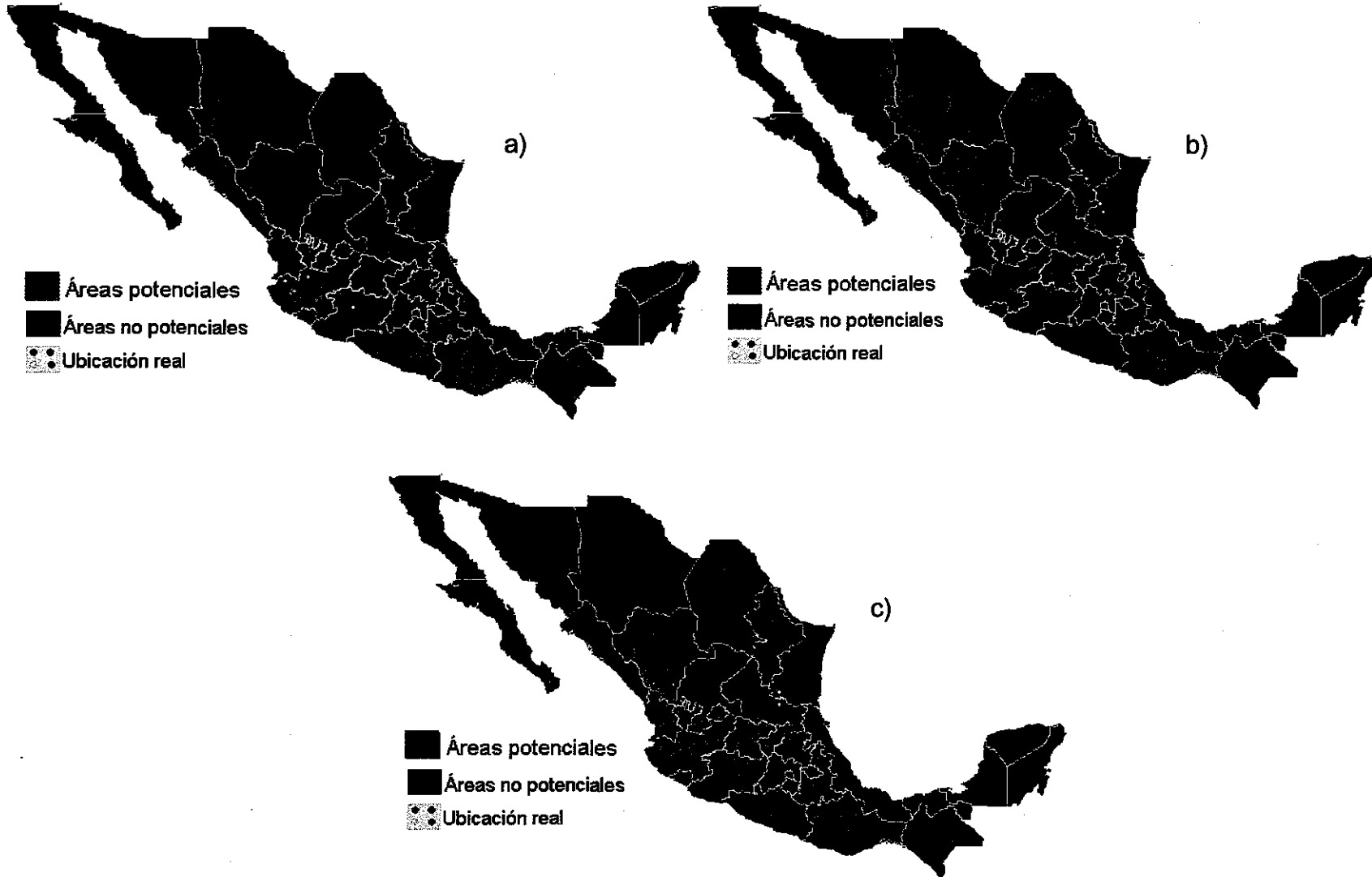


Figura 14. Ubicación real y potencial de *Phaseolus* a) *jaliscanus*, b) *neglectus*, c) *xanthotrychus*.

La alta especialización de *P. esperanzae* (Figura 15) y *P. grayanus* (Figura 16), resulta en su preferencia a las alturas, ya que las accesiones registradas solo se han encontrado en altitudes que van de los 1974 a los 2681 m, y 761 a los 2777 m, respectivamente. Geográficamente su potencialidad se representa en la parte central del país, creando una franja que va de los estados de Oaxaca, Hidalgo y el Distrito Federal, hasta Chihuahua a través de Durango y Zacatecas, siguiendo la ruta de la Sierra Madre Occidental. Potencialmente se desarrolla en los estados que tienen climas subtropicales áridos y semiáridos templados como es el caso de algunas zonas en los estados mencionados. Debido principalmente a su mayor rango en la altitud, *P. grayanus*, presenta áreas potenciales mejor definidas, principalmente en el Norte del país donde se extiende hasta alcanzar el estado de Sonora.



Figura 15. Ubicación real y potencial de *Phaseolus esperanzae*

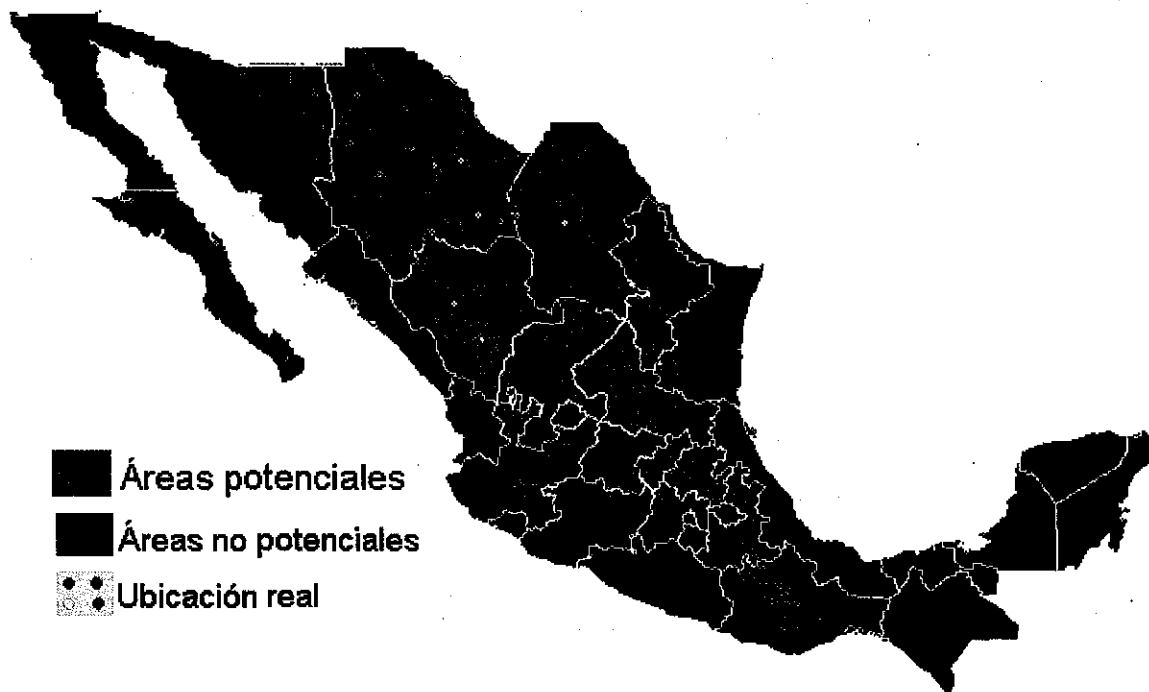


Figura 16. Ubicación real y potencial de *Phaseolus grayanus*

Para *P. oaxacanus* (Figura 17) y *P. pluriflorus* (Figura 18), la República Mexicana presenta pocos espacios potenciales para su desarrollo, es en las regiones Centro, Sur y parte del Occidente donde encuentran las condiciones climáticas necesarias para desarrollarse, sin embargo, esto sucede de manera esporádica, lo que genera una sucesión de puntos geográficamente potenciales sin llegar a establecer con claridad un área específica, las especies prefieren el clima subtropical subhúmedo templado, lo que reafirma la alta especialización climática que requieren para su desarrollo. Debido principalmente a esta preferencia climática la región Norte del país con sus climas áridos y semiáridos, se presenta como una zona no potencial para el establecimiento de estas especies. *P. esperanzae*, *P. grayanus* y *P. pluriflorus*, presentan en los mapas accesiones que aparentan estar fuera de las áreas potenciales, esto se explica por la existencia de microclimas representados por puntos mas pequeños que el utilizado como símbolo para la accesión.

Dentro de las especies altamente especializadas en el hábitat destacan tres, *P. polymorphus*, *P. tuerckeimii* y *P. filimorfis*.



Figura 17. Ubicación real y potencial de *Phaseolus oaxacanus*.



Figura 18. Ubicación real y potencial de *Phaseolus pluriflorus*.



*P. polymorphus* (Figura 19), presenta una distribución de áreas potenciales diferente al resto de las especies, ya que, éstas, se distribuyen en la parte Centro-Norte del país, en zonas prohibidas para el resto de las especies.

Prefiere los climas subtropicales con poca precipitación y frescos por lo que las regiones áridas y semiáridas de los estados de Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Estado de México, Tlaxcala, e Hidalgo se presentan como nichos naturales para localizar a la especie.

Sus áreas potenciales ocupan la meseta delimitada al Este por la Sierra Madre Oriental y al Oeste por la Sierra Madre Occidental, extendiéndose hacia el Sur por la parte central finalizando en el Norte de Oaxaca, hacia el norte, el límite es el propio límite del país ya que el estudio utiliza únicamente datos relativos a la República Mexicana.

Aún y cuando destaca entre las especies altamente especializadas, existen zonas geográficas dentro de su área de influencia potencial que son vedadas para la especie, tal es el caso de la región donde convergen los límites de los estados de Coahuila, Durango y Chihuahua y el área geográfica donde se ubica la localidad de Ciudad Juárez en el estado de Chihuahua.



Figura 19. Ubicación real y potencial de *Phaseolus polymorphus*.

*P. tuerckheimii* (Figura 20), se especializa en regiones de tierras altas ya que la mayoría de sus accesiones, han sido localizadas entre los 1500 y los 2708 m, sin embargo, también puede desarrollar en climas tropicales húmedos muy cálidos, ya que se tienen datos de accesiones a los 94 m, lo que puede indicar alta tolerancia a condiciones de humedad y temperatura diversas y adversas para algunas especies.

Los patrones potenciales obtenidos también son únicos ya que muestran la Sierra de Cacoma en Jalisco, la Sierra madre del Sur en Guerrero y Oaxaca, la Sierra Madre Oriental desde Tamaulipas y a través de las Huastecas Potosina, Hidalguense y Veracruzana, cruzando el eje Neovolcánico y el Istmo de Tehuantepec hasta entroncar con la Sierra de Chiapas, como zonas aptas para el desarrollo de la especie. La ubicación real indica la focalización de la especie en Chiapas, por lo que falta establecer nuevas rutas de exploración en las áreas potenciales.

Es potencialmente probable encontrar esta especie en las laderas de estas elevaciones eludiendo las cimas.



Figura 20. Ubicación real y potencial de *Phaseolus tuerckheimii*.

Entre las especies altamente especializadas destaca *P. filiformis* (Figura 21), ninguna como ella para desarrollarse en condiciones climáticas extremas y en sitios que no sólo para las demás especies de *Phaseolus* resulta imposible sobrevivir, sino para muchas otras especies vegetales. Los patrones climáticos obtenidos muestran que sus áreas potenciales ocupan los sitios que las demás especies eluden, tal es el caso de la región ubicada en la convergencia de los límites entre los estados de Coahuila, Durango y Chihuahua y el área geográfica donde se ubica la localidad de Ciudad Juárez, sitios vedados incluso para especies especializadas como *P. polymorphus*. Las Bajas Californias y parte de la zona desértica de Sonora también se incluyen dentro del nicho potencial para la especie. Es notoria la delimitación de las áreas potenciales en el país para *P. filiformis* ya que fuera de los puntos mencionados el resto del territorio desde el punto de vista de los factores climáticos estudiados, no es apto para el desarrollo de la especie. Se ha ubicado la especie en la Baja California Norte y Sur, el Este de Sonora y el Norte de Durango, sin embargo, existen zonas donde se pueden establecer nuevas rutas de ubicación de la especie, es el caso del Sur de Coahuila y el Norte de Chihuahua.



Figura 21. Ubicación real y potencial de *Phaseolus filiformis*.

Respecto a la ubicación real de *Phaseolus* (Figura 22), utilizadas para este estudio, se observa que es la región Centro-Occidente del país la que aporta mas datos, seguida de las regiones Centro y Sur donde también existe una buena cantidad de accesiones.

Por Estado tenemos que el que mas aporta es Jalisco con 347 de las 1712 accesiones utilizadas para el presente estudio. En contraparte, tenemos que son tres los Estados que menos aportan, en cuanto a datos se refiere y son, Baja California Norte, Yucatán y Quintana Roo, ya que solo presentan una accesión en cada uno de ellos.

En los Estados de Chiapas, Durango, Jalisco, México, Michoacán y Oaxaca, se concentran 1014 de las 1712 accesiones. Existe una mayor concentración en la vertiente del Océano Pacífico respecto del Golfo de México. El Norte del país muestra escasez de accesiones, notoriamente marcada en el norte de Tamaulipas y Nuevo León y las Bajas Californias.



Figura 22. República Mexicana y ubicación de accesiones de *Phaseolus* spp., utilizadas en el estudio.

### 6.3 Índices de diversidad de especies de *Phaseolus*.

El cuadro 5 muestra el número de accesiones por Estado y por especie. En este estudio se incluyeron 1712 accesiones, de las cuales 1405 provienen de información del INIFAP (Cuadro 1) y el resto de la información corresponde a la publicación de Freytag y Debouck (2002). De las 25 especies incluidas en este trabajo, *P. coccineus*, *P. leptostachyus* y *P. vulgaris* presentan el mayor número de accesiones, las cuales se colectaron predominantemente en Oaxaca y Jalisco. Por su parte, *P. oaxacanus*, *P. chiapasanus*, *P. esperanzae*, *P. pluriflorus* y *P. xanthotrychus* son las especies que aportaron el menor número de accesiones al estudio con un rango de 10 a 14; Oaxaca, Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí fueron las Entidades Federativas donde se ubican la mayoría de las accesiones para estas especies.

Por otra parte, en el Cuadro 5, se puede encontrar que Jalisco, Oaxaca, Durango, Michoacán y Chiapas son los Estados en que se han llevado a cabo más actividades de recolección y exploración. Dichos estados han aportado un poco más del 50% de las 1712 accesiones consideradas para este trabajo. En contraparte Baja California Norte, Quintana Roo y Yucatán son los Estados que menos datos aportan en la muestra con una accesión cada uno de ellos.

El cuadro 6 muestra el número de accesiones (N), el número de especies (S) y tres índices de diversidad para cada estado de la República, con base en 25 especies de *Phaseolus* y 1712 accesiones. Los índices fueron obtenidos a partir de los datos totales por especie y por Estado (Cuadro 5), utilizando el programa Species Diversity and Richness II. En este punto es importante señalar que las estimaciones del número de especies y los índices de diversidad se ven afectados por el tamaño de muestra.

La riqueza de especies, indicada por el número de especies (S) fue mayor en Durango y Jalisco, destacando también Michoacán, Nayarit, Chiapas y Zacatecas. El índice de Margalef que también es un indicador de riqueza de especies, reporta resultados similares que el número de especies. Margalef incluye los estados listados para S y además considera a San Luis Potosí y Sonora.

Por su parte, Simpson y Shannon, índices que involucran tanto aspectos de riqueza (número de especies) como de dominancia (número de individuos dentro de una especie), consideran a Nayarit y a Zacatecas como los estados con mayor diversidad de especies. Como se podrá notar, tanto en Nayarit como en Zacatecas se observaron 11 especies con base en menos de 40 accesiones, mientras que en Chiapas, Estado de México y Michoacán, se detectaron los mismos números de especies que en Nayarit y Zacatecas pero con base en cerca de 100 muestras. De acuerdo a los datos disponibles y los índices empleados, los estados con menor diversidad son Baja California Norte, Campeche, Tabasco y Yucatán.

Adicionalmente a la estimación de diversidad para cada estado, la República Mexicana se dividió en 10 regiones, siguiendo el modelo establecido por el INEGI en 1980 (Figura 23). El Cuadro 7 muestra el número de accesiones (N) por región, el número de especies (S) y tres índices de diversidad; los cálculos para obtener los índices de diversidad se basaron en datos acumulativos de las accesiones de cada uno de los Estados que conforman cada región.

La mayor riqueza de especies, medida por el número de especies (S) y por el índice de Margalef fue mayor en la región Norte conformada por los Estados de Chihuahua, Durango y Zacatecas y en la región Occidente conformada por los estados de Colima, Jalisco, Michoacán y Nayarit. En contraparte la región Sureste conformada por los Estados de Yucatán, Quintana Roo y Campeche (Figura 23) es la de menor diversidad con tan sólo 17 accesiones y dos especies.

Por su parte los índices de Simpson y Shannon, que involucran tanto aspectos de riqueza como de dominancia consideran a las regiones Norte (Chihuahua, Durango y Zacatecas) y Noreste (Nuevo León, Tamaulipas y Coahuila) como las de mayor diversidad de especies. Cabe resaltar el caso del valor del índice de Simpson para la región Noreste en que el número de especies es 12 e índice de 7.36, significativamente mayor que el de la región Occidente (6.58) en que se detectaron 20 especies. Esta última situación es debido a que la proporción de número de especies respecto al tamaño de muestra es 0.16 en la región Noreste contra 0.04 en la región Occidente.

Cuadro 5. Número de accesiones por especie y Entidad Federativa para 25 especies de *Phaseolus* en la República Mexicana.

Especie	Número de accesiones por Entidad Federativa																																Total	
	1	2	3	4	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>P. acutifolius</i>		1	2	1				13		44			1		32	2		3					1	4	10						2		3	117
<i>P. chiapasanus</i>							3													6											2			11
<i>P. coccineus</i>					1		24	7	21	13	49	7	10	28	65	41	22	3		68	17	8		13	2			7	9	8		1	424	
<i>P. esperanzae</i>										1	2			3		1					7													14
<i>P. filiformis</i>			16		1					1																	5							23
<i>P. grayanus</i>					6				19	9														3		2							2	41
<i>P. jaliscanus</i>						1				2					13	1		2																19
<i>P. leptostachyus</i>						2	21	7	8	23	9	3	21	2	50	41	8	2	10	51	6	2		4	5	1		5		4		3	288	
<i>P. lunatus</i>			1	14		5	8				3		6		30	6	3	3		13			1		9		8	1		26	1		138	
<i>P. maculatus</i>	3				1				14		14		6		2				3		5	1		3		1			2			10	65	
<i>P. micranthus</i>															11	1		6							1	1								20
<i>P. microcarpus</i>							2			6	1	1	4		18	2		1			13	4										3	55	
<i>P. neglectus</i>																				13														17
<i>P. nelsonii</i>						2					1				6	1												4					2	21
<i>P. oaxacanus</i>							1																											10
<i>P. oligospermus</i>							16	1							2																			19
<i>P. parvulus</i>								9		4	1							1							1	3								19
<i>P. pauciflorus</i>								5	1	3	1		2		15	4	1	3							2	2							2	41
<i>P. pedicellatus</i>				1					3	1	9	2	3	16	1	2	1		4		4	4		4				4		1		2	62	
<i>P. pluriflorus</i>									1	2	8				3																			14
<i>P. polymorphus</i>	2				8							5			1					1			1		6			1				3	28	
<i>P. ritensis</i>									11		13				1				4							2	5					8	44	
<i>P. tuerckheimii</i>							21																											21
<i>P. vulgaris</i>						2	2	2			18	11	3	10		91	12	15	3			14	1	2		1							187	
<i>P. xanthotrichus</i>							2								3																			14
Total	5	1	19	15	18	10	102	88	34	154	95	27	57	54	339	114	50	31	34	183	44	20	1	38	26	30	8	23	11	41	1	39	1712	

1	Aguascalientes	12	Guanajuato	23	Quintana Roo
2	Baja California Norte	13	Guerrero	24	San Luis Potosí
3	Baja California Sur	14	Hidalgo	25	Sinaloa
4	Campeche	15	Jalisco	26	Sonora
5	Coahuila	16	Michoacán	27	Tabasco
6	Colima	17	Morelos	28	Tamaulipas
7	Chiapas	18	Nayarit	29	Tlaxcala
8	Chihuahua	19	Nuevo León	30	Veracruz
9	Distrito Federal	20	Oaxaca	31	Yucatán
10	Durango	21	Puebla	32	Zacatecas
11	Estado de México	22	Querétaro		



Cuadro 6. Índices de diversidad de *Phaseolus* spp en los 32 estados de la República Mexicana.

Estado	Accesiones por Estado (N)	Nº de Especies (S)	Margalef	Simpson (Y)	Shannon (H)
Aguascalientes	5	2	0.62133	2.5	0.67301
Baja California Norte	1	1	0	1	0
Baja California Sur	19	3	0.67925	1.4132	0.53666
Campeche	15	2	0.36927	1.1538	0.24493
Chihuahua	88	10	2.0101	7.9091	0.21016
Chiapas	102	11	2.1622	6.0529	1.9389
Coahuila	18	6	1.7299	3.5581	1.3689
Colima	10	4	1.3029	3.75	1.2206
Distrito Federal	34	5	1.1343	2.3278	1.0597
Durango	154	15	2.7795 *	7.0927	2.203
Guerrero	57	8	1.7314	4.9108	1.7454
Guanajuato	27	7	1.8205	6.6226	1.7996
Hidalgo	54	6	1.2535	2.8281	1.2663
Jalisco	339	15	2.403 *	6.5543	2.1146
Estado de México	95	11	2.1959	3.3446	1.6282
Michoacán	114	12	2.3225 *	3.7231	1.624
Morelos	50	6	1.2781	3.3379	1.3409
Nayarit	31	11	2.9121 *	12.237 *	2.2873 *
Nuevo León	34	6	1.4179	4.1556	1.5114
Oaxaca	183	8	1.3437	4.2843	1.7046
Puebla	44	7	1.5855	4.8763	1.7007
Querétaro	20	7	2.0028	5.1351	1.6788
Quintana Roo	1	1	0	1	0
Sinaloa	26	8	2.1485	5.9091	1.8148
San Luis Potosí	38	9	2.1993 *	6.1667	1.9251
Sonora	30	9	2.3521 *	6.2143	1.8949
Tabasco	8	1	0	1	0
Tamaulipas	23	7	1.9136	5.8837	1.7112
Tlaxcala	11	2	0.41703	1.4865	0.47414
Veracruz	41	5	1.0771	2.2778	1.0727
Yucatán	1	1	0	1	0
Zacatecas	39	11	2.7296 *	8.3258 *	2.1664

\*Valor del índice significativamente mayor ( $P < 0.05$ )

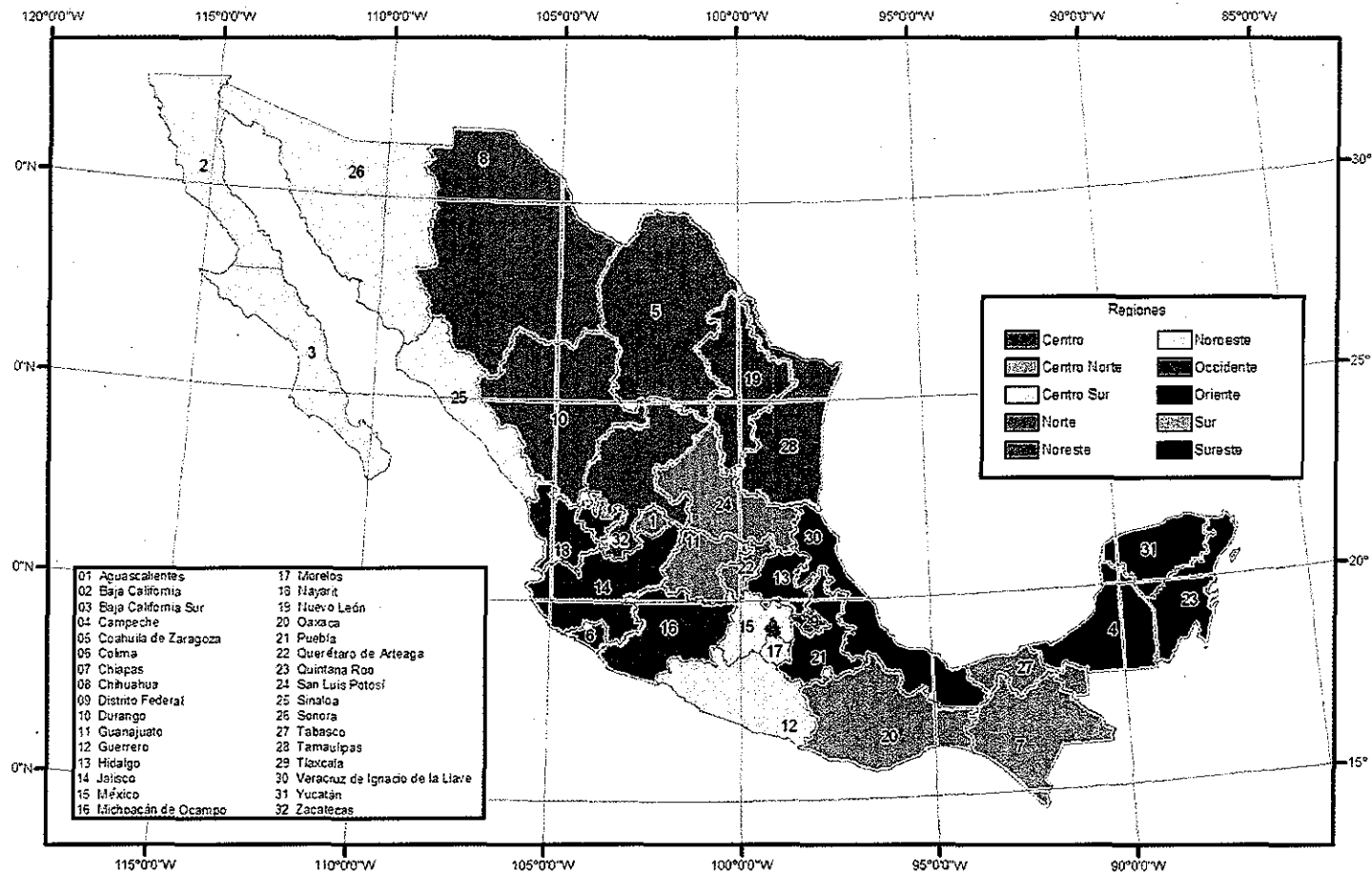


Figura 23. Regiones que conforman la República Mexicana, INEGI, 1980.

Cuadro 7. Índices regionales de diversidad de *Phaseolus* en la República Mexicana.

Región	Accesiones por Región (N)	Nº de Especies (S)	Margalef	Simpson	Shannon
NORESTE	75	12	2.0845	7.3607 *	2.05
NOROESTE	76	14	2.3091	6.448	2.0314
CENTRO-SUR	202	16	2.0722	4.2631	1.754
SUR	293	14	1.9366	5.4745	1.9958
SURESTE	17	2	0.35296	1.1333	0.22372
OCCIDENTE	494	20	2.5796 *	6.579	2.1306
CENTRO-NORTE	90	12	2.0001	6.1052	1.9611
ORIENTE	150	12	1.7962	4.3264	1.7615
NORTE	281	21	3.0151 *	8.7422 *	2.3538 *
CENTRO	34	5	1.1343	2.3278	1.0597

\*Valor del índice significativamente mayor ( $P < 0.05$ )

## VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 7.1. De la caracterización de los rangos climáticos.

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 contraparte, 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 representativas 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.

### 7.2 De las áreas potenciales.

Las cinco especies explotadas comercialmente son las que encuentran condiciones más favorables para su desarrollo y son las que dominan potencialmente el Territorio Nacional.

De estas sobresale *P. acutifolius*, del cual, se presentan áreas potenciales en 31 de los 32 estados del país. Esto se explica debido a que *P. acutifolius*, se encuentra potencialmente en los climas con mayor dominancia en el Territorio Nacional.

Algunos estados pueden ser potencialmente aptos para más de una especie, como es el caso de los estados del Centro-Occidente del país.

Existe mayor potencialidad para *Phaseolus* en la vertiente del Pacífico respecto con la vertiente del Golfo.

El plasmar geográficamente las áreas potenciales de *Phaseolus*, posibilita el trazado de rutas de exploración, optimizando tiempo y recursos económicos valiosos para el investigador y los proyectos.

Tabasco destaca por su baja potencialidad para *Phaseolus* ya que sólo presenta condiciones favorables para *P. coccineus*, *P. leptostachyus* y *P. lunatus* de las 25 especies estudiadas, presentándose como una zona restrictiva para el resto.

Otros casos de estados con baja potencialidad para *Phaseolus* aunque menos drásticas, son la península de Yucatán en el Sur y la Baja California en el Norte.

Existen áreas específicas dentro de algunos de los estados del país, que guardan condiciones de baja potencialidad para *Phaseolus*, debido principalmente a su baja precipitación y altas temperaturas, excepto para *P. filiformis*, entre éstas, se encuentran la región cercana al vértice donde se unen los estados de Durango, Coahuila y Chihuahua, y la región donde se ubica la localidad de Ciudad Juárez en el estado de Chihuahua.

En contraparte existe alta potencialidad para *Phaseolus* en la Sierra de San Lázaro entre las localidades de La Paz y Cabo San Lucas en la Baja California Sur, ya que esa área presenta condiciones favorables para 19 de las 25 especies estudiadas.

La representación real de las accesiones puede verse desde diversos puntos de vista, desde aquel que nos dice que existen zonas del Territorio Nacional restringidas, no sólo a las especies de *Phaseolus*, sino a la vida en general, hasta el que cuestiona, que no se ha desarrollado suficiente trabajo de campo, en las áreas que presentan pocas accesiones.

Es posible que estas dos ideas encontradas tengan parte de la verdad cada una de ellas y sólo se sabrá explorando las áreas potenciales, aprovechando los resultados del conocimiento de su hábitat obtenido a través del análisis de los factores climáticos, lo que daría la ventaja de saber a donde dirigir los esfuerzos de trabajo.

### **7.3 De los índices de diversidad y riqueza.**

No se tiene conocimiento de estudios previos relacionados con estimaciones de diversidad de especies de *Phaseolus* en las diferentes regiones de su distribución natural en México por lo que este trabajo aporta las bases para la planeación de actividades de exploración, recolección, definición de áreas de protección de los recursos naturales y programas de monitoreo. De forma particular sería deseable estimular los trabajos de exploración y recolección en aquellos estados y regiones de México en donde dichos trabajos han sido escasos como en Aguascalientes, Baja California, Campeche, Coahuila, Colima, Guanajuato, Hidalgo, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán.

De las 5 especies que han sido domesticadas en Mesoamérica, las especies silvestres de *P. coccineus*, *P. Lunatus*, *P. acutifolius* y *P. vulgaris*, aparecen como las que más recolección de germoplasma se ha llevado a cabo, sin embargo, no ocurre lo mismo con *P. polyanthus*. Afortunadamente, estados como Jalisco en donde se han recolectado un gran número de muestras se considera de acuerdo a Gepts y Debouck (1991) como lugar de domesticación de *P. vulgaris*.

Es importante señalar que existen especies que aún cuando se dedicaran esfuerzos en la exploración, éstas son difíciles de encontrar y no han sido debidamente ubicadas en su hábitat natural, como es el caso de *P. oaxacanus*, *P. chiapasanus*, *P. neglectus*, *P. pluriflorus* y *P. xantotrichus*.

Con los resultados de este trabajo, la abundancia y diversidad de especies no puede asociarse con claridad con aspectos relacionados con diversidad climática, con la destrucción de algunos ecosistemas o con prácticas agrícolas tradicionales.

Es posible observar que algunos Estados han logrado conservar su diversidad a pesar de las prácticas agrícolas actuales y de otros factores como el pastoreo libre

y el crecimiento de las ciudades, todas relacionadas con actividades económicas humanas. Los resultados de este estudio y de otros similares podrían ayudar a incluir algunas entidades en áreas protegidas o ampliar las ya existentes con base en el conocimiento de la diversidad y las áreas potenciales.

Lo presentado en este estudio, así como las referencias utilizadas, apuntan al entendimiento de un campo emergente que puede ser llamado informática de la biodiversidad, este conjunto de ideas, recursos y herramientas permite avances notables en una variedad de campos que requieren del manejo preciso de áreas de distribución. Por ejemplo: la Biogeografía, la Bioconservación, el manejo de especies de importancia económica, el entendimiento de la distribución de taxones, el establecimiento de áreas naturales protegidas o la redefinición de las ya establecidas, la promulgación de leyes de protección a la biodiversidad, el reconocimiento de bancos naturales de germoplasma, el trazado de rutas específicas para la colecta de germoplasma, en fin, su uso es limitado sólo por la imaginación y los requerimientos específicos de cada investigador.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA.

- 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.
- Acosta G J A, S Padilla R, J Z Castellanos R, y J Argaéz P (1996)** Época de siembra del frijol de riego en el altiplano de México. Revista Fitotecnia Mexicana, 19: 131-140.
- 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.
- Balasubramanian P, A Vanderberg, P Huel, L Gusta (2002)** Physiology of freezing resistance in the genus *Phaseolus*. Bean Improv. Coop.IC 45:6-7.
- 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.
- Bellón M R, y S Brush (1994)** beepers of maize in Chiapas, México. Econ. Bot. 48: 196-209.
- 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.
- Buhrow R (1983)** The wild beans of southwesterns, North Am. 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, C E Posso, J Kornegay, J Valor, and M Serrano (1989)** Uso de *Phaseolus vulgaris* silvestre para mejorar frijol por resistencia a los bruchidos. In: Documento de trabajo Núm. 47. Memoria del Taller Internacional del Frijol 1988, F Beebe (ed.) Cali, Colombia. pp. 94-99.



- Carroll C, W J Zielinski y R F Noss (1999)** Using presence-absence data to build and test spatial habitat models for the fisher in the Klamath Region, USA. *Conserv. Biol.*, 13: 1344-1359.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) (1998)** Informe Técnico CIAT. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) (1980)** Diversidad genética de las especies cultivadas del género *Phaseolus*. Guía de estudio 52 p. Cali Colombia.
- Cocks PS, TAM Ehrman (1987)** The geographic origin of frost tolerance in Siberian pasture legumes. *Journal of Applied Ecology* 24:673-683.
- Colunga G P, y D Zizumbo V (1993)** Evolución bajo agricultura tradicional y desarrollo sustentable, p 123-163. In: E. Leff y J. Carabias (coordinadores). *Cultura y manejo sustentable de los recursos naturales*. Vol. 1. Grupo editorial M. A. Porrúa, México.
- Cowley M J R, R J Wilson, J L León-Cortés, D C Gutiérrez, R Bulman, y C D Thomas (2000)** Habitat-based statistical models for predicting the spatial distribution of butterflies and day-flying moths in a fragmented landscape. *J. Appl. Ecol.*, 37: 60-72
- CONABIO (Consejo Nacional para la Biodiversidad) (2002)** Informe de cooperación internacional. Convenio sobre diversidad biológica, México D.F.
- Delgado-Salinas A (1985)** Systematics of the genus *Phaseolus* (leguminosae) in Mexico and Central America. PhD Dissertation. The University of Texas, Austin. USA. 363 p.
- 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. United States of America. 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)** Izozyme evidence supporting a single geographic origin for domesticated tepary bean. *Crop Sci.* 34: 1390-1395.
- Gepts P, and D Debouck (1991)** Origin, domestication, and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) p. 7-53. In A. Van Schoonhoven and O. Voysest (eds) Common beans: Research for crop improvement. C.A.B. Intl., Wallingford , UK and CIAT, Cali, Colombia.
- 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.
- Hernández X E (1993)** Aspect of plants in México: A personal view. 733-753 p, in: T.P. Raammoorthy, R. Bye, A.Lot and J.FA. Biological Diversity. Press.
- Hijmans J R, D M Spooner (2001)** Geographic distribution of wild potato species. *American Journal of Botany* 88 (11): 2101-2112.
- INEGI (2000)** Síntesis de información geográfica de los estados. Publicación única. Edición 1999. Aguascalientes, Aguascalientes, México. 100 pp.
- INEGI (2003)** Carta topográfica escala 1:50000 serie 3. Edición individual 2003, primera impresión. Dirección general de geografía. Aguascalientes, Aguascalientes, México.

- Jain S (1990)** In situ conservación of genetic resources. Plant genetic resources short course. University of California, Davis. June 10 1990.
- Lloyd P, y A R Palmer (1998)** Abiotic factors as predictors of distribution in southern African Bulbuls. *Auk*, 115: 404-411.
- Lobo B M, C M Torres C, J R Fonseca, R A Martins P de M, R de Belem N A and T Abadie (2003)** Characterization of germplasm according to environmental conditions at the collecting site using GIS—two case studies from Brazil. *Plant Genetic Resources Newsletter* 135:1-11
- López S J L, J A Ruiz C, J J Sánchez G, y R Lépez I (2005)** Adaptación climática de 25 especies de frijol silvestre (*Phaseolus* spp) en la República Mexicana. En *Fitotecnia Mexicana* vol. 28 (3): 221-230.
- Manel L, Brooks T M y Pimm S L (1999)** Relative risk of extinction of passerine birds on continents and islands. *Nature*, 399: 258-261.
- Maquet A, B J P (1997)** A survey of the neotropical distribution of *Phaseolus lunatus*. *Belgian Journal of Botany*. v. 130, no. 1. p. 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 (2001)** Encarta: Interactive World Atlas. Software y base de datos interactiva. London, England.
- Microsoft (2001)** Hoja de cálculo Excel para Office XP. London, England.
- Miranda C S (1979)** Evolución de *Phaseolus vulgaris* y *P. coccineus*. En *Contribuciones al conocimiento del frijol* (Engleman E.M., Editor). Colegio de Postgraduados. Rama de Botánica. Chapingo, México. Pp. 83-99.
- Navarro A G, y J Llorente (1991)** Museos, colecciones científicas y la conservación de la Biodiversidad: una perspectiva para México. *Memorias, seminario de*

- conservación de la Biodiversidad en México. World Wildlife, Fundación-UNAM, 3: 1-31.
- Noss R F (1983)** A regional landscape approach to maintain diversity. *BioScience* 33: 700-706.
- Núñez G S, L A Ledesma G, V Alemán M, P Alemán R, M Chuela B y F Monjaras A (1990)** Guía para cultivar frijol en Jalisco. Folleto para productores Núm. 2. INIFAP-CIFAP Jalisco. Guadalajara, Jalisco, México. 14 p.
- Peterson A T, A G Navarro-Sigüenza y H Benitez-Diaz (1998)** The need for continued scientific collecting: A geographic analysis of Mexican bird specimens, *Ibis*, 140: 288-294.
- Pulliam H R, y J B Dunning (1997)** Demographic processes. Population dynamics on heterogeneous landscapes, pp 203-232. En: Meffe G.K. y C.R. Carroll (eds), principles of conservation biology, Sinauer associates. Inc. Sunderland.
- Qi A, J B Smithson and 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. *Experimental Agriculture* (1998), 34:153-170.
- Rosensweig M. (1995)** *Especies diversity in space and time*. New York , Cambridge University Press.
- Ruggiero A (2001)** Interacciones entre la Biogeografía Ecológica y la Macroecología aportes para comprender los patrones espaciales en la diversidad biológica, 81- 94 pp. En Llorente-Bousquets J y JJ Morrone (eds), introducción a la Biogeografía en Latinoamérica. Teorías, conceptos, métodos y aplicaciones. Las prensas de ciencias. Facultad de Ciencias UNAM, México D.F.
- Ruiz C J A, G Medina G, I J González A, C Ortiz T, H E Flores L, R Martínez P y K F Byerly M (1999)** Requerimientos agroecológicos de cultivos. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP-CIRPAC. 1ª. Ed. Conexión Gráfica. Guadalajara, Jalisco, México. 324p.
- 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.

- Rzedowski J. (1993)** Diversity and origins of the Phanerogamic flora in México. pages 129-143, In: T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot and J. Fa eds., Biological Diversity in México, origins and distribution. Oxford Univ. Press.
- 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.
- Sánchez G J J, M M Goodman, C W Stuber (2000)** Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of México. Economic Botany 54 (1) 43-59.
- Sánchez G J J., T A Kato Y., M Aguilar S., J M Hernández C., A López R., J A Ruiz C (1998)** Distribución y caracterización del teocintle. Libro técnico núm. 2. INIFAP-CIRPAC. Ed. Conexión Gráfica. Guadalajara, Jalisco. México. 149 p.
- Smith R L, T M Smith. (2001)** Ecología cuarta edición, Person educación, S. A., Madrid, España 664 p.
- Whittaker R H., S A Levi, y R B Root (1973)** Niche, Habitat and Ecotope. American Naturalist 107: 321-338.