

POTENCIAL PRODUCTIVO EN EL DISTRITO FEDERAL PARA ÁRBOLES DE NAVIDAD Y ARBUSTOS DE USO MÚLTIPLE

Ceferino Ortíz Trejo¹, Francisco Camacho Morfín²,
Eulogio Flores Ayala³ y Pilar de la Garza López de Lara²

RESUMEN

El Distrito Federal conserva una superficie rural que abarca cerca de 50% de su territorio. Para apoyar a su preservación mediante el desarrollo forestal, en el presente estudio se determinaron áreas de buena productividad para establecer especies utilizadas como árboles de Navidad (*Abies religiosa*, *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*, *Pinus cembroides*, *Pinus greggii* y *Pinus maximartinezii*), tutores hortícolas (*Dodonaea viscosa*) y forraje (*Atriplex numularia* y *Eysenhardtia polystachya*). Lo anterior se realizó mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG), para relacionar los requerimientos agroecológicos de las especies con características del medio físico (topografía, altura sobre el nivel del mar, precipitación pluvial, temperatura máxima, mínima, media, evaporación, unidades de suelo, pH del mismo, contenido de materia orgánica, textura, profundidad, pendiente y exposición geográfica). Los resultados indican que más de 80% de la superficie forestal de la entidad estudiada reúne características favorables para la producción de árboles tales como el *Pinus greggii*, *Abies religiosa* y *Pinus cembroides*. Para *Pinus ayacahuite* y *Pinus maximartinezii* el área es menor (68 y 33%, respectivamente). Las zonas en que los arbustos de uso múltiple *Dodonaea viscosa*, *Atriplex numularia* y *Eysenhardtia polystachya* pueden tener buena productividad, se ubican la zona rural de la Delegación Tláhuac.

Palabras clave: Árboles de Navidad, arbustos de uso múltiple, desarrollo forestal, Distrito Federal, potencial productivo, territorio rural.

Fecha de recepción: 19 de octubre de 2005.

Fecha de aceptación: 18 de febrero de 2008.

¹ Campo Experimental Valle de Toluca, Centro de Investigación Regional Centro, INIFAP. Correo-e: ortiz.ceferino@inifap.gob.mx

² Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF), INIFAP.

³ Campo Experimental Valle de México, Centro de Investigación Regional Centro, INIFAP.

ABSTRACT

Distrito Federal has a rural area that covers near 50% of its territory. In order to support its conservation through forests, through this project were determined the production areas for the establishment of species used as Christmas trees (*Abies religiosa*, *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*, *Pinus cembroides*, *Pinus greggii* and *Pinus maximartinezii*), horticultural stalks (*Dodonaea viscosa*) and forage (*Atriplex numularia* and *Eysenhardtia polystachya*). The study was carried out by using GIS (geographical information system) in order to relate agroecological requirements of the forest species with physical characteristics of the environment (topography, altitude above sea level, precipitation, maximal, minimal and average temperature, evaporation, soil units, pH, organic matter content, texture, soil depth, slope and geographic exposition). Results show that over 80 percent of the forest surface of the study area has good conditions for the Christmas trees species (*Pinus greggii*, *Abies religiosa* and *Pinus cembroides*). On the other hand, for *Pinus ayacahuite* (68 per cent) and *Pinus maximartinezii* (33 per cent) the area is smaller. The zones in which the multiple use shrubs (*Dodonaea viscosa*, *Atriplex numularia* and *Eysenhardtia polystachya*) can have good productivity are located in the rural zone of Tlahuac.

Key words: Christmas trees, multiple use shrubs, forest development, Distrito Federal, productive potential, rural territory.

INTRODUCCIÓN

La productividad de las especies vegetales depende de muchos factores, tanto del ambiente (topografía, clima y suelo) como del manejo controlado. Los edáficos varían notoriamente en el espacio, mientras que a través del tiempo y por su interacción con los elementos climáticos, las modificaciones son lentas y, por lo tanto, menos evidentes; sin embargo, algunas características del suelo pueden ser ajustadas favorable o desfavorablemente mediante prácticas culturales, a corto o mediano plazo.

Los elementos del clima cambian en el espacio y a través del tiempo, pero únicamente pueden ser estudiados para conocer su variación de un lugar a otro y durante el año a fin de aprovechar sus beneficios al máximo, o bien, evitar los efectos dañinos que acarrearán. Las plantas que se explotan comercialmente tienen que estar en las condiciones más adecuadas del medio físico para que se logre obtener la máxima productividad en forma sostenida y, como consecuencia, las mayores utilidades respecto a las inversiones que se realizan, alcanzar una eficiencia energética, para redundar, finalmente, en la conservación de los recursos naturales.

Desafortunadamente en México es frecuente que las bases de datos de clima y suelo no estén disponibles ni sistematizadas para su fácil manipulación por parte de las entidades que realizan la planeación rural. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) con el apoyo del Grupo Produce A. C. Distrito Federal, realizó una serie de trabajos que pretenden cubrir estas necesidades para la entidad capitalina (Ortiz *et al.*, 2006). El presente estudio se deriva de estas actividades y se enfocó a conocer el potencial productivo de especies forestales, que está determinado por sus interrelaciones con el clima, el suelo y el manejo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio

El denominado Valle de México, una cuenca cerrada aledaña al Eje Neovolcánico, puede dividirse en tres zonas con base en dos pequeñas sierras que penetran de forma transversal en sus planicies: al norte de la sierra de Guadalupe está la región de Zumpango y Xaltocan, al sur de dicho relieve y al norte de la Sierra de Santa Catarina, la región centro o de México y Texcoco y al sur de la misma, la región de Xochimilco y Chalco; la altitud del fondo de la cuenca es cercana a los 2250 m (Figura 1) (Camacho, 2003).

El Distrito Federal (D. F.) con coordenadas cercanas a los 19° 20' de latitud norte y 99° 05' de longitud oeste, está ubicado en la parte oeste del Valle de México, en sus secciones media y sur; orográficamente comprende planicies que estuvieron ocupadas por lagos y las montañas que las cercan en su periferia norte, poniente y sur. El área denominada de conservación del Distrito Federal, se extiende sobre casi la mitad de su territorio y sus límites se indican en el Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal 2001 (PAOT, 2001a; PAOT, 2001b).

Esta entidad, a pesar de contener a la Ciudad de México que es una de las metrópolis más grandes del mundo (PAOT, 199), posee una superficie rural amplia que incluye bosques, suelos de uso pecuario y agrícola, tanto de temporal como de riego, además de la chinampería practicada en las delegaciones de Xochimilco y Tláhuac, la cual consiste de parcelas rodeadas por anchos canales llenos de agua, en las que aún se emplean técnicas prehispánicas de producción vegetal intensiva (Gutiérrez y Camacho, 2002; Camacho, 2003 y 2004).

Área montañosa.- El relieve supera en muchos casos los 3000 msnm y básicamente es resultado de la actividad volcánica, que ha tenido diferentes etapas:

1ª) Vulcanismo antiguo, que es responsable de la formación de las montañas de la parte norte (Sierra de Guadalupe) y la poniente (Sierra de las Cruces); sus

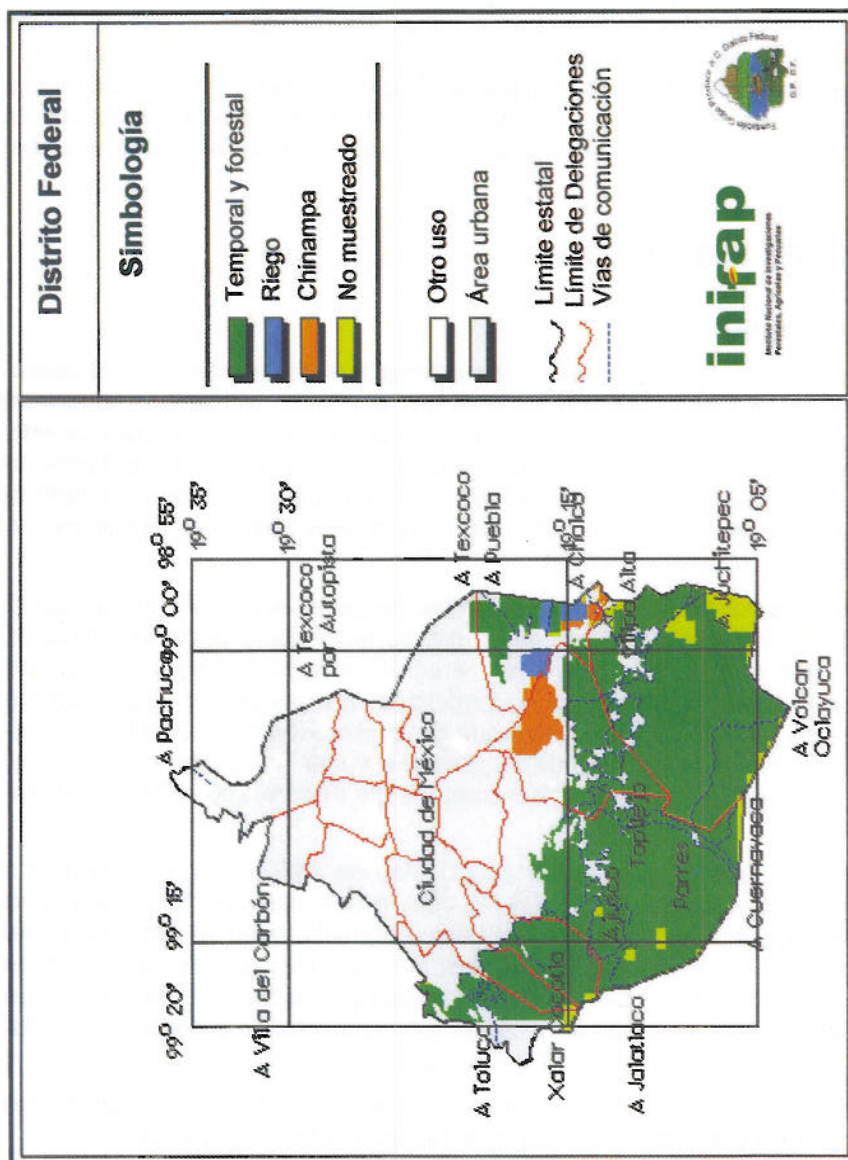


Figura 1. Uso actual del suelo en el Distrito Federal.

materiales rocosos con frecuencia consisten en tobas que forman masas continuas de gran tamaño, conocidas como tepetates, con bajo poder de absorción de agua. Sobre este material se despliegan suelos arcillosos, muy susceptibles a la erosión, por lo que es común la exposición de toba y su desgaste.

2ª) Vulcanismo reciente, que produjo el relieve del sur de la entidad (Sierra del Ajusco) y el de la Sierra de Santa Catarina, caracterizado por la presencia de basaltos y ceniza volcánica. En la mayor parte del área se tiene una mezcla de estos materiales, lo que forma suelos pedregosos que hacen posible una gran infiltración de agua. Hay derrames de lava, como el Pedregal de San Ángel, que forman capas más o menos continuas de basalto, con muy escaso suelo.

Área de planicie.- Las partes planas del Distrito Federal se originan principalmente, de cuerpos de agua que fueron desecados. Tienen suelos profundos y salitrosos, sobre todo los provenientes del Lago de Texcoco, y en menor medida, de los lagos de Xochimilco y Chalco.

Climatología.- Por su localización latitudinal, el D. F. se encuentra dentro de la zona intertropical, aunque debido a su altitud el clima es templado, con temperaturas medias anuales que van de cerca de 17°C en la planicie, y 12°C a unos 2800 msnm en las montañas, lo cual define la zona templada; a mayor altitud se tiene una zona semifrías. En todo caso se presenta un período libre de heladas que comprende desde finales de marzo a finales de septiembre.

Recibe un poco menos de 600 mm anuales de precipitación en la parte oriental de la planicie y unos 700 mm en la base de las montañas a unos 2300 msnm; a mayores elevaciones se pueden alcanzar más de 1300 mm en las montañas del este y el sur. Lo más característico del régimen de lluvias es una acentuada temporada de sequía que va de octubre a abril.

Desde el punto de vista de la disponibilidad de agua para las plantas, aportada por las lluvias, se pueden distinguir diversas condiciones:

a) El área subhúmeda incluye las montañas que circundan la cuenca y las que se tienen en su interior, así como la llanura ubicada al oeste y sur de la Sierra de Guadalupe. Dentro de ella hay sitios como el Pedregal de San Ángel en las que la falta de suelo no permite aprovechar el agua que aporta la precipitación pluvial.

b) El área semiárida localizada básicamente en la parte plana del Valle de México, en sus porciones norte y oriente de la Sierra de Guadalupe, incluye las estaciones climatológicas de Aragón, Aeropuerto e Iztacalco en el Distrito Federal y los Reyes en el Estado de México, puede considerarse una extensión de la zona árida chihuahuense. Aquí la salinidad del suelo acentúa la aridez, a pesar de que algunos sitios son inundables.

En cuanto a los vientos, predominan las calmas, pero en ocasiones se producen

meteoros fuertes que levantan tolvaneras, especialmente en la parte oriente del Distrito Federal. El tipo de clima que predomina en la zona rural es templado subhúmedo, del subtipo más húmedo con un cociente precipitación/temperatura (P/T) > de 55 (García, 1987).

Mapeo del potencial productivo

La importancia de la determinación del potencial productivo de especies vegetales debe fundamentarse en el análisis de necesidades para la elaboración de planes y proyectos de desarrollo agropecuario y forestal, en cualquier nivel jerárquico, regional, estatal, distrito de desarrollo, municipio o área específica. En principio es indispensable el análisis económico de los productos deficitarios, y conocer la balanza de mercado nacional e internacional, así como las tendencias de comercialización y exportación de los mismos. En la planeación de áreas específicas se debe determinar cuáles son los cultivos que tienen mejores perspectivas ecológicas y mínimo riesgo, en función de recursos biofísicos en el área (García, 1979).

En la actualidad existen numerosos trabajos de investigación que aplican los sistemas de información geográfica (SIG), sensores remotos y modelos de simulación. Han sido utilizadas para resolver problemas que involucran el procesamiento de una gran cantidad de información tanto georreferenciada como bases de datos relacionales. En la mayoría de los casos la solución a un problema ha sido alcanzada mediante interfaces que incluyen el uso de un SIG y un programa de simulación, o bien un SIG y sensores remotos.

Los tópicos adicionales que se están estudiando con estas técnicas son diversos pero están relacionados con la conservación de recursos naturales como: evaluación de la erosión y conservación de suelos, fuentes no localizadas de contaminación de agua y suelos dentro de cuencas hidrológicas, identificar áreas con alto potencial para cultivos para reorganizar el uso del suelo basado en un incremento de la productividad así como en la evaluación y manejo de ecosistemas forestales, entre otros (Medina *et al.*, 1994).

Estudios asociados

Los SIG también pueden ser usados para reducir la demanda de datos obtenidos de bases de datos ya existentes, como es el caso de la estimación de la variación de la pendiente, que es un factor crítico en la estimación de pérdida de suelos y movimiento de elementos químicos (Srinivasan y Engel, 1991).

Jamagne *et al.* (1995) elaboraron la base de datos espacial de suelos para la Comunidad Económica Europea y concluyeron que es de suma importancia la información, ya que puede dar respuesta a gran cantidad de preguntas sobre diferentes problemas de la producción agrícola, así como la protección al ambiente.

Scheleub *et al.* (1995) aplicaron técnicas de SIG para evaluar los suelos con fines de planeación ecológica; para ello obtuvieron datos de clima y de características edáficas con las correspondientes unidades, contenido de metales pesados en los mantos acuíferos, pH, clase de textura, contenido de materia orgánica y sesquioxidos, nivel freático, relieve y uso actual. Mediante este procedimiento y la información definida fue posible tener valores aceptables sobre el potencial y el grado de contaminación de los mantos freáticos, así como el riesgo de contaminación de los mismos, que es alto en Gleysol e Histosol, el cual estuvo relacionado con las propiedades de los suelos. Finalmente recomiendan la construcción de mapas de estas variables y áreas con características potenciales y de riesgo ecológico.

Con la finalidad de apoyar la política de uso de suelo y proponer alternativas de aprovechamiento de tierras en Taiwán, Lin *et al.* (1995) indicaron la necesidad de desarrollar un SIG para toma de decisiones en las políticas agrícolas y aplican los SIG (GRASS, ARC/INFO, etc.) y modelos (cultivos, suelo, clima, etc.) para integrar y procesar gran cantidad de información y poder definir una clasificación más exacta del uso de tierras.

Para el caso de México, Bravo *et al.* (1995) describieron los suelos del estado de Tabasco, utilizando el modelo de elevación digital (MED) con precisión de 81 ha (900 m x 900 m) y la carta edafológica en escala 1:250,000 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Encontraron que en más del 85% de la entidad las pendientes son inferiores a 5%, una altitud <100 m y la profundidad de suelo <1m, además de que la textura arcillosa es la más común, pues cubre 69.66% del territorio estatal; se detectó la presencia de 645,327 ha con suelos gleysoles, lo que corresponde a 26.80% del total.

Moreno *et al.* (1994) realizaron un estudio mediante SIG para determinar las áreas con potencial para establecer plantaciones forestales. De los resultados obtenidos se desprende que, a pesar de las ventajas que ofrece esta herramienta, se requiere ponderar varios factores y objetivos de manejo que puedan o no tener una dimensión espacial; entonces, se deben incorporar modelos económicos, de optimización, simulación y sistemas expertos, la integración de lo cual llevaría a la creación de sistemas de apoyo más completos para la toma de decisiones.

Con respecto al desarrollo sustentable agropecuario y forestal del área de conservación del Distrito Federal, Ortíz *et al.* (2006) generaron un sistema de consulta que contiene datos de suelo, topografía, clima y tecnología de producción, así como la cartografía sobre uso actual de suelo, microcuencas, monografías por delegación política y conceptos sobre el medio físico y reconversión productiva.

En lo referente a los estudios de cantidad y calidad de agua en las cuencas hidrológicas, Srinivasan *et al.* (1992) llevaron acabo el proyecto Hydrologic Unit Model for the United States con el propósito de mejorar las tecnologías

existentes para el manejo nacional y regional de las fuentes de agua con ayuda de un SIG y una base de datos relacionales.

Los SIG han sido exitosamente integrados con modelos que manejan datos puntuales (sin tomar en cuenta la variación en el tiempo), eventos aislados y modelos de calidad de agua tal como la propuesta de Agricultural Nonpoint Source Watershed Environmental (Srinivasan y Engel, 1994); sin embargo, para que los modelos tomen en cuenta el tiempo (variable continua) e integren modelos de calidad del agua de varias cuencas a gran escala, se han diseñado interfaces entre SIG y otras herramientas de simulación (Srinivasan y Arnold, 1994) para construir Sistemas de Soporte de Decisiones (Srinivasan y Engel, 1994).

Secuencia Metodológica

La secuencia de pasos seguida para la obtención de la cartografía y por ende las áreas con potencial productivo para árboles de Navidad y arbustos de uso múltiple, se inició con la definición de los requerimientos agroecológicos de las especies incluidas y continuó con la construcción de bases de datos y su procesamiento, para terminar con el recorte por uso forestal (Figura 2); en las siguientes secciones se detallan las acciones realizadas.

Especies de interés

Como opciones productivas en el área se eligió a las plantaciones para árboles navideños (Flores *et al.*, 1997) con varias especies de coníferas: una nativa (*Abies religiosa* (HBK.) Schltdl. et Cham.) y cuatro introducidas al área (*Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw, *Pinus cembroides* Zucc., *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus maximartinezii* Rzedowski). También se incluyeron arbustos de uso múltiple, que pueden ser útiles en las porciones más secas y pedregosas como tutores hortícolas (*Dodonaea viscosa* (L) Jacq.) y forraje (*Eysenhardtia polystachya* (Ortega) Sarg.), e incluso con la capacidad de prosperar en suelos salitrosos (*Atriplex numularia* Lindl.) y ayudar a su mejora (Camacho, 2003).

Para la definición de las áreas con potencial productivo se utilizaron los requerimientos agroecológicos presentados en los Cuadros 1 y 2, los cuales se obtuvieron tanto por consulta bibliográfica como de información generada por los autores del presente dentro del proyecto "Determinación del potencial productivo de especies vegetales para la transferencia de tecnología y la planeación del desarrollo integral agropecuario y forestal en el Distrito Federal", financiado por el Grupo Produce A.C., Distrito Federal.



Figura 2. Esquema metodológico para la determinación de zonas con potencial productivo para árboles de Navidad y arbustos de uso múltiple.

Cuadro 1. Requerimientos agroecológicos para árboles de Navidad.

Características	<i>Abies religiosa</i>	<i>Pinus ayacahuite</i>	<i>Pinus cembroides</i>	<i>Pinus greggii</i>	<i>Pinus maximartinezii</i>
Altitud (msnm)	2600-3500	2000-3000	1500-3000	1400-3100	1800-2200
Precipitación pluvial (mm)	900-1600	700-1400	> 400	450-1200	> 500
Temperatura máxima (°C)	20.0	35.0	40.0	29.0	23.0
Temperatura media (°C)	15.0	14.0	17.0	14.0	10.0
Temperatura mínima (°C)	-3.0	-5.0	7.0	-1.0	4.0
Materia orgánica (%)	> 2.0	> 2.0	> 2.0	> 2.0	> 2.0
Profundidad de suelo (m)	> 1.0	> 1.0	> 1.0	> 1.0	> 1.0
Textura	Migajón arenoso, arenosa	Migajón arenoso, arenosa	Migajón arenoso, arenosa	Migajón arenoso, arenosa	Migajón arenoso, arenosa
Unidad de Suelo	Andosol, Feózem	Andosol, Feózem	Andosol, Feózem	Andosol, Feózem	Andosol, Feózem
Clima	Templado húmedo	Templado húmedo	Templado seco	Semiseco a húmedo	Templado subhúmedo

Fuente: (Flores et al., 1997; González et al., 2005.)

Cuadro 2. Requerimientos agroecológicos para arbustos de uso múltiple.

Características	Chapultitlle	Numularia	Palo dulce
Altura (msnm)	0-2400	0-2300	1000-2400
Precipitación pluvial (mm)	400-800	250-1000	400-800
Temperatura máxima (° c)	45.0	45.0	43.0
Temperatura media (° c)	16.0-23.0	5.0-23.0	16.0-23.0
Temperatura mínima (° c)	-3.0	-12.0	-5.0
Materia orgánica (%)	> 2.0	> 2.0	> 2.0
Profundidad de suelo (m)	> 0.50	> 0.50	> 0.50
Textura	Migajón arenoso	Migajón arenoso	Migajón arenoso
Unidad de suelo	Regosol, Feozem	Vertisol, Feozem	Regosol, Feozem
Clima	Aw, Cw ó BS	BS ó Bw	Aw, Cw ó BS

Fuente: Camacho *et al.*, 1992 y 1993; Flores *et al.*, 1992; INIFAP-SAGAR, 1997 a, b y c; Morfin y Camacho, 1987.

Acopio de datos de suelo y clima

La información climatológica en el área de influencia del estudio, se obtuvo tanto del ERIC (IMTA, 1996) como de los registros diarios de estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (período 1985 - 1993) y la Comisión Nacional del Agua, las cuales se ubicaban tanto Distrito Federal como en los Estados de México y Morelos, las variables consideradas fueron: temperatura máxima, mínima, precipitación pluvial y evaporación.

A partir de la delimitación del Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal 2001 (PAOT, 2001 a y b) y recorridos de campo, se establecieron los linderos del área rural de la entidad (Figura 1), con base en los cuales se procedió a obtener la información pertinente del Modelo de Elevación Digital (MED), estructurado por grado de latitud y longitud, con un valor de cada 3 segundos de arco (aproximadamente una cuadrícula de 90 m x 90 m), es decir, una resolución espacial de 0.81 ha en el terreno (INEGI, 2000).

Se utilizaron las cartas edafológicas, topográficas y de uso de suelo de INEGI a escala 1:50,000 (INEGI, 1997) que describen la zona rural del Distrito Federal para obtener usos de suelo, cuerpos de agua y principales zonas urbanas, así como las unidades de suelo dominantes, fases físicas y fases químicas.

Para completar esta información, dentro de las zonas forestales y las que mantienen agricultura de temporal y de riego (incluyendo la chinampería), que se presenta en la Figura 1, se trazó una cuadrícula con un kilómetro de separación entre líneas, para geolocalizar en sus intersecciones 1,133 puntos en los que se tomaron muestras de suelo para determinar en ellas el pH, porcentaje de materia orgánica y textura, así como datos del uso actual del área. Para realizar el trabajo campo, se contó con el apoyo de técnicos del Distrito de Desarrollo Rural de Xochimilco, el cual pertenece a la Delegación de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación en el Distrito Federal.

Base de datos de suelo y clima

Se utilizó el software ARC/INFO (ESRI, 1991) para digitalizar la cartografía de suelo y uso de suelo, lo que se facilitó con el empleo del MED (INEGI, 2000). La captura de la información de los análisis de suelos se llevó a cabo con el software editor de C y la información de clima con el software SICA V.2 (Medina y Corral, 1992) y con el programa DECEARCH (Mejía, 1993) se generó la base de datos decenal de temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y evaporación.

Interpolación de base de datos

El procesamiento de la base de datos conjunta (modelo de elevación digital, clima y suelo), la delimitación de áreas potenciales para la producción de especies forestales y cuantificar sus superficies se realizó empleando IDRISI (Ronald, 1993).

La generación de los mapas a partir de variables de los suelos y de características del paisaje se efectuó por la interpolación espacial de los datos por medio del comando INTERPOL de dicho programa. El caso de las temperaturas máxima y mínima, se llevó a cabo con programas elaborados en Quick Basic y lenguaje C, respectivamente, utilizando el compilador del turbo C, en lo cual intervino el MED como parte de la generación de información cartográfica, ya que el gradiente altimétrico influye sobre la variación de la temperatura (Ortíz, 1984). Los mapas de precipitación pluvial y evaporación se determinaron a partir de los archivos numéricos en formato vector, que se procesaron con el comando INTERPOL del IDRISI (Ronald, 1993).

Delimitación de zonas con potencial productivo

Se llevó a cabo a través de la reclasificación de la cartografía de variables básicas de topografía, elementos climatológicos y suelo, que se relacionó con los requerimientos agroecológicos de cada especie, para determinar las zonas de buena productividad para árboles y arbustos. Posteriormente, con el mapa de uso de suelo se diseñó el recorte del área con uso forestal en el que es posible realizar las plantaciones, es decir se eliminaron áreas urbanas y cuerpos de agua (Figura 1).

RESULTADOS

Relieve de la zona rural

La altura sobre el nivel del mar presenta un gradiente desde más de 2200 m hasta cerca de los 4000 m. Casi la totalidad de la superficie está bajo los 2800 m; menos del 10% rebasa esta cota (Cuadro 3), las condiciones orográficas originan una diversidad de alturas y pendientes de los terrenos al interior de la zona propiciando características diferentes en la adaptación de especies vegetales, así como en el manejo, conservación y restauración de los recursos naturales.

En virtud de que la mitad de la zona rural del Distrito Federal está integrada por terrenos muy abruptos en las sierras que bordean la cuenca por el sur y poniente, la recomendación para su uso es forestal, de bienes y servicios ambientales, así como para recreación. La otra mitad corresponde a laderas con inclinación media, y por lo tanto, factibles de ser aprovechadas en cultivos con surcado al contorno y en terrazas. Existe un poco más de 12,000 ha de tierras casi planas

Cuadro 3. Distribución del gradiente altimétrico en la zona rural del Distrito Federal.

Gradiente (msnm)	Superficie (ha)	Delegaciones
2200 a 2800 m	24, 750.36	Xochimilco, Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan, Magdalena Contreras y Cuajimalpa.
2801 a 3400	41, 045.94	Milpa Alta, Tlalpan, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras y Cuajimalpa;
> 3400 m	6, 015.06	Tlalpan, Milpa Alta, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras y Cuajimalpa.

y están ubicadas, básicamente, en lo que sería el lecho de los antiguos lagos y, en menor proporción, algunas mesetas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Distribución de la pendiente de los terrenos de la zona rural del Distrito Federal.

Pendiente	Superficie (ha)	Delegaciones
pendientes menores al 4%	12, 468.33	Xochimilco, Tláhuac, Milpa Alta y Tlalpan
de 4 a 12%	28, 328.94	Milpa Alta, Tlalpan, Tláhuac y Xochimilco
> 12%	31, 014.09	Milpa Alta, Tlalpan, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras y Cuajimalpa

En cuanto a la orientación de los terrenos, más de 40 mil ha de esta zona agropecuaria y forestal estuvieron orientadas hacia el Sur y el Este (Cuadro 5).

Condiciones de temperatura

La temperatura media anual en la zona rural osciló desde el intervalo de 0 a 5°C al de 15 a 20°C, sin embargo en gran parte de la superficie predomina la

Cuadro 5. Orientación geográfica de terrenos en el área rural del Distrito Federal.

Exposiciones geográficas	Superficie (ha)
Norte	11,147.22
Sur	25,961.31
Este	15,460.47
Oeste	8,293.59
Noreste	3,291.03
Noroeste	3,879.90
Sureste	3,165.48
Suroeste	612.36

correspondiente a los 5 y 15°C. Más del 50% del área presentó valores máximos de 15 a 20°C, distribuidos en las siete delegaciones (Cuadro 6). En cuanto a la temperatura mínima anual tienen áreas donde fue menor a 0°C (1,980.45 ha), predominando más hectáreas con temperaturas mínimas que fluctúan de 0 a 5°C (47,254.59 ha).

Cuadro 6. Distribución de la temperatura máxima anual en la zona rural del Distrito Federal.

Temperatura máxima	Hectáreas	Ubicación
5 a 10°C	19.44	Tlalpan
10 a 15°C	9,724.86	Álvaro Obregón
15 a 20°C	49,836.06	Tlalpan, Milpa Alta, Magdalena Contreras y Cuajimalpa
20 a 25°C	12,231.00	Xochimilco y Tláhuac

Condiciones de humedad

La cantidad de lluvia presente fue muy variable. En la mayor parte de las llanuras y sierras bajas de Tláhuac durante el año se presentaron de 500 a 750 mm de lluvia, en el resto de las delegaciones y bajo la influencia de sierras que superan los 2700 msnm se reunieron cantidades mayores. En Álvaro Obregón, Milpa Alta y Xochimilco variaron de 500 a 1000 mm, mientras que en Tlalpan alcanzaron 1250 mm/año. En las Delegaciones Magdalena Contreras y Cuajimalpa, ubicadas en la zona montañosa sur, se registraron entre 1000 y 1250 mm/año en gran parte de su área.

La evaporación potencial en 63,371.16 ha superó los 1200 mm, lo cual indica que naturalmente puede perderse más agua que la que en promedio entra y que se acentúa en la temporada de estiaje. El cociente anual de la precipitación entre la evaporación (Cuadro 7), indica que sólo aproximadamente el 24% del área es favorable para la recarga de los mantos freáticos, no obstante que en la época de lluvias puede haber excedentes en el resto del área.

Cuadro 7. Cociente anual de la precipitación entre la evaporación (Índice P/E).

Índice P/E	Hectáreas	Porcentaje
menor a 0.7	38,645.10	53.81
0.7 a 0.9	16,275.33	22.66
mayor de 0.9	16,890.93	23.52

Características de los suelos

Para el desarrollo, crecimiento y producción de las plantas se requiere que los suelos guarden condiciones químicas y físicas que hagan posible que las especies vegetales puedan tener una nutrición balanceada; ya que, por medio de sus raíces encuentran un punto de anclaje, un medio de nutrición, absorción de agua y utilización de oxígeno.

En la zona rural, la principal unidad de suelo que se encontró fue Andosol, con 30,013.74 ha, distribuidos en parte de las Delegaciones de Tlalpan, Milpa Alta, Magdalena Contreras, Álvaro Obregón, Cuajimalpa y Xochimilco; estos suelos por su origen, composición química y condición ambiental en que se encuentran, presentan problemas de acidez; es decir, fijación de fósforo y molibdeno por caracterizarse con un alto contenido de aluminio activo, el cual es tóxico a las plantas e interfiere en la movilización de calcio en el tejido vegetal, se debe evitar la aplicación de fertilizantes que bajen el pH del suelo (Núñez, 1985).

Por otra parte, se tuvieron 19,934.10 ha con suelos denominados Litosoles, los cuales se caracterizan por ser muy delgados y pedregosos, con baja capacidad para producción vegetal; estos se encontraron principalmente en las Delegaciones de Milpa Alta, Tlalpan y Xochimilco. Otra unidad de suelos importante son los Feózem, los cuales totalizaron una superficie de 17,268.39 hectáreas y se ubicaron principalmente en las delegaciones de Milpa Alta, Xochimilco, Tláhuac y Tlalpan. Se detectaron suelos salinos y sódicos (Solonchak y Gleysol) en las delegaciones de Tláhuac y Xochimilco con 2,221.83 ha y 187.92 ha respectivamente, en ellos se requieren opciones productivas que pudieran reducir el problema, una de ellas son plantaciones de especies del género *Atriplex*, que son plantas extractoras de sal (Camacho, 2003).

Referente al porcentaje de materia orgánica, casi 60,000 ha tuvieron contenidos por arriba de 2%, (Cuadro 8); esto puede obedecer a que se trata de áreas forestales y a la aportación tradicional de estiércol en las parcelas agrícolas.

Cuadro 8. Distribución del porcentaje de materia orgánica en los suelos de la zona rural del Distrito Federal.

Clasificación	Porcentaje de materia orgánica	Superficie (ha)	Ubicación
Muy rico	Más de 4	42, 252.03	Álvaro Obregón, Milpa Alta, Tlalpan, Xochimilco, Magdalena Contreras y Tláhuac
Rico	3-3.99	7, 858.62	Milpa Alta, Tlalpan, Xochimilco, Magdalena Contreras y Tláhuac
Mediano	2-2.99	13, 910.13	Milpa Alta, Tlalpan, Xochimilco, Tláhuac y Magdalena Contreras
Pobre	1-1.99	7, 447.95	Milpa Alta, Xochimilco, Tlalpan y Tláhuac
Muy pobre	< 1	342.63	Milpa Alta, Tláhuac Magdalena Contreras y Tlalpan

La mayor parte de los terrenos manifestaron una textura ligera de migajón arenoso (30,123.09 ha), arena migajonosa (23,242.14 ha) y arena (6,231.33 ha);

es decir, que la textura del suelo tiene condiciones de filtración rápida del agua y, por lo tanto, en épocas de escasa precipitación, los terrenos no ofrecen un contenido favorable de agua para los cultivos. Los suelos con estas características se ubicaron en gran parte de las siete Delegaciones. En 7,286.76 ha ubicadas en las Delegaciones de Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan, Xochimilco y Cuajimalpa los suelos son de textura franca, así como 4,868.10 ha con migajón arcilloso.

La profundidad de los suelos en la zona rural es variable en cada una de las Delegaciones, al respecto se concentraron 20,371.50 ha donde la profundidad de los terrenos es menor a los 30 cm, 46,022.58 ha con profundidad de suelo entre 31 y 90 cm y 5, 417.28 ha con más de 90 cm de profundidad de suelo.

Zonas con potencial productivo para árboles de Navidad

En la parte de uso forestal, se determinaron las áreas potenciales de muy buena productividad para cinco especies forestales en la zona rural del Distrito Federal, que se listan a continuación, siguiendo el orden de la superficie potencial para este efecto: *Pinus greggii*, *Abies religiosa*, *P. cembroides*, *P. ayacahuite* y *P. maximartinezii*. Su distribución geográfica se muestra en la Figura 3, en la que son evidentes las intersecciones de las áreas cubiertas por cada especie. En el Cuadro 9 se indican las superficies por entidad política y conífera.

La amplitud de los requerimientos de *P. greggii* explican la importante superficie potencial que se le asigna, en correspondencia con los resultados de González *et al.* (2005), en cuanto a *A. religiosa* no es sorprendente la gran área en que podría tener muy buena productividad, ya que es una especie nativa de la zona. *P. maximartinezii* es una especie introducida al Distrito Federal, que ha manifestado gran valor ornamental y adaptación, pues ha llegado a producir semillas (Arteaga *et al.*, 2000), no obstante el área que pudiera serle productivamente adecuada es pequeña.

Zonas con potencial productivo para arbustos de uso múltiple

Para chapulixtle (*Dodonaea viscosa*), palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*) y numularia (*Atriplex numularia*), las áreas de mayor potencial se encontraron únicamente en la Delegación Tláhuac (Figuras 4 y 5), que para las primeras dos especies correspondió a los lomeríos de la sierra de Santa Catarina, mientras que la numularia podría emplearse en el lecho salitroso del lago. Además, esta última especie podría tener uso ornamental dentro del área urbana.

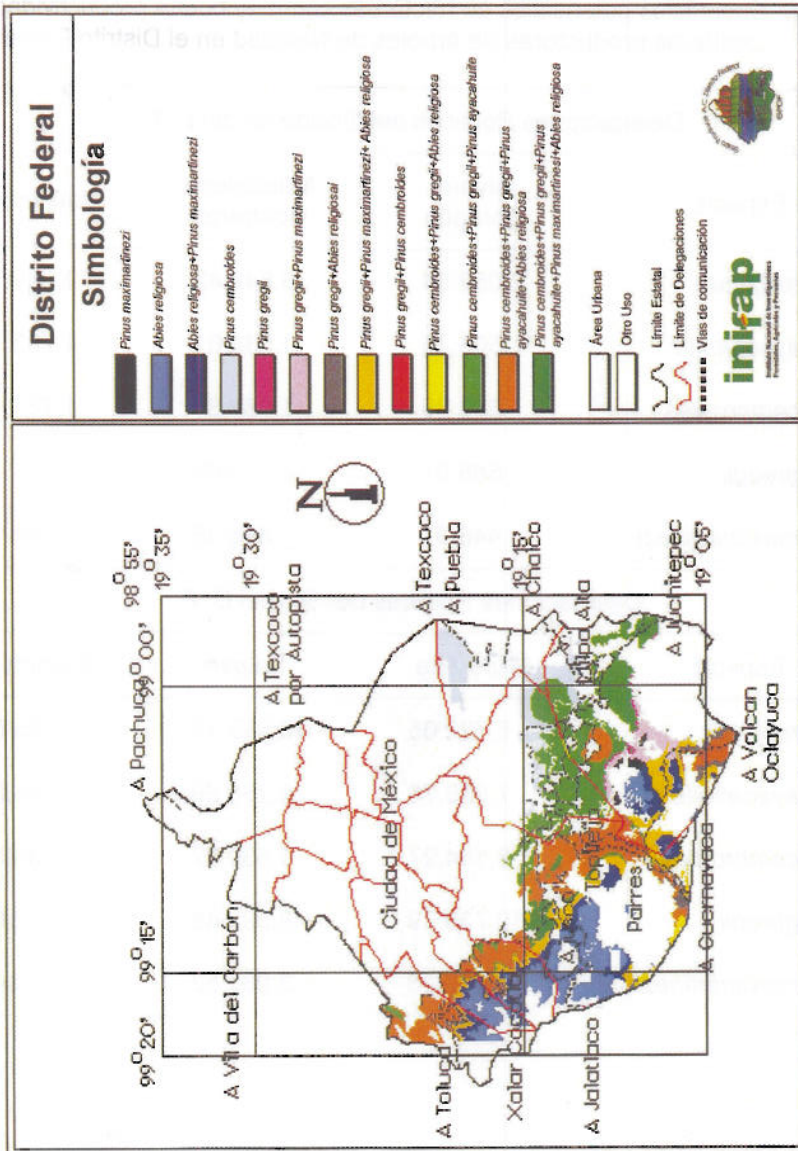


Figura 3. Áreas del Distrito Federal con potencial productivo para árboles de Navidad.

Cuadro 9. Superficies potenciales en hectáreas con muy buena productividad para coníferas productoras de árboles de Navidad en el Distrito Federal.

Delegaciones Políticas del Occidente del D. F.			
Especie	Álvaro Obregón	Magdalena Contreras	Cuajimalpa
<i>Abies religiosa</i>	2,052.54	3,549.42	2,699.73
<i>Pinus ayacahuite</i>	506.25	1,539.81	1,783.62
<i>Pinus cembroides</i>	506.25	1,539.81	1,787.67
<i>Pinus greggii</i>	686.07	2,013.66	2,131.11
<i>Pinus maximartinezi</i>	446.31	855.36	501.39
Delegaciones Políticas del Sur del D. F.			
Especie	Milpa Alta	Tlalpan	Xochimilco
<i>Abies religiosa</i>	5,722.65	12,533.13	85.86
<i>Pinus ayacahuite</i>	7,026.75	6,268.59	85.86
<i>Pinus cembroides</i>	8,154.27	6,530.22	5,539.59
<i>Pinus greggii</i>	10,739.79	8,592.48	4,122.09
<i>Pinus maximartinezi</i>	4,467.15	3,962.52	4.05

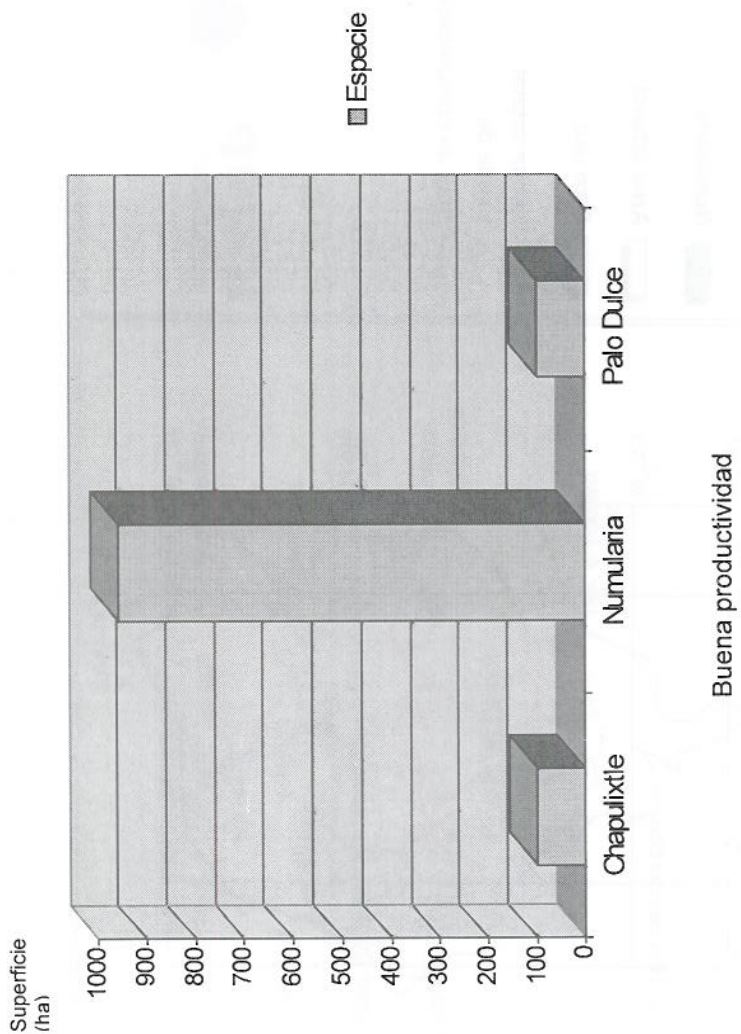


Figura 4. Superficie (ha) potencial para arbustos de uso múltiple en la zona rural del Distrito Federal.

CONCLUSIONES

La zona rural del Distrito Federal tiene características agroecológicas adecuadas para el establecimiento, desarrollo, crecimiento y producción de árboles de Navidad y arbustos de uso múltiple. Se calcularon 26,643.33 ha para plantaciones de *Abies religiosa*; 21,318.39 ha para *Pinus ayacahuite*; 26,053.65 ha para *P. cembroides* y 28,374.30 ha para *P. greggii*. Con respecto al potencial productivo por especie, esta última tiene la mayor superficie, 8,592.48 ha en la Delegación Tlalpan, y 10,739.79 ha en Milpa Alta; la segunda especie, sería la de mayor cobertura (1,995.84 ha) en la Delegación Tláhuac, y Álvaro Obregón, Magdalena Contreras y Cuajimalpa, correspondería a *A. religiosa*.

RECOMENDACIONES

En un futuro, este estudio complementado con un análisis económico y otro de mercado hará posible identificar las ventajas comparativas de esta zona rural y definir las especies forestales (árboles de Navidad y arbustos de uso múltiple) que sean más rentables y competitivas a nivel local, regional, nacional e internacional. Por lo tanto, habrán de analizarse factores adicionales, como rentabilidad, impacto social, infraestructura, impacto ecológico, etc., elementos que contribuyen a la planeación del desarrollo forestal, conservación de los recursos y mejoramiento de los ingresos socioeconómicos de los productores. Se considera, además, que puede ser un valioso apoyo para planear el desarrollo integral agropecuario y forestal de la zona rural del Distrito Federal (PAOT, 2001a y PAOT, 2001 b).

REFERENCIAS

- Arteaga M., B., H. García R. y J. G. Rivera M. 2000. Piñón grande: *Pinus maximartinezii* Rzedowski. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. Texcoco, Edo. de Méx., México. 134 p.
- Bravo, A., G. Medina, R. Martínez P and V. González. 1995. Description of Tabasco, Mexico soils, using Geographic Information Systems. 15th International Symposium of Soils/Congreso Nacional de Suelos. Acapulco, Guerrero. México. pp. 331-332.
- Camacho M., F. 2003. Arbustos para la reforestación del Distrito Federal. INIFAP-CENID-COMEF. Fundación Grupo Produce A. C. Folleto para Productores No. 8. México. 32 p.
- Camacho M., F. 2004. Comentarios para la estructuración de un plan de manejo de la vegetación de la delegación Iztacalco. Arbórea. Asoc. Mexicana de Arboricultura. 6(11): 27-34.

- Camacho, M., F., V. González K. y A. Mancera O. 1993. Guía tecnológica para el cultivo del chapulixtle (*Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.), arbusto útil para producción de tutores hortícolas, control de erosión y setos urbanos. INIFAP CENID-COMEF. Guía Tecnológica No. 1. México, D. F. México. 35 p.
- Camacho M., F., V. González K. y M. A. Olivera Toro M. 1992. Germinación y manejo en vivero de chapulixtle (*Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.). Memoria de la Reunión Científica Forestal y Agropecuaria del Campo Experimental Coyoacán. Publicación Especial No. 1. SARH. INIFAP. México, D. F. México. pp. 145-154.
- ESRI, 1991. ARC/INFO. Starter kit. User's Guide. Version 3.4 D Plus. 380 Environmental Systems Research Institute. New York Street, Redlands, CA. USA.
- Flores A., E., J. Islas G., F. Islas G. y F. Carrillo A. 1997. Plantaciones comerciales de árboles de Navidad con *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*. Nota Técnica No.1. Tecnologías Llave en Mano. División Forestal. INIFAP. México, D. F. México. pp. 29-30.
- Flores, S., L. Morfin L., D. Camacho M. y F. Camacho M. 1992. Nutritional value in nine cuts of fodder shrub of *Atriplex numularia* from March 1990 to December 1990 growing in Ex-lago de Tezcoco, México. Pre-Conference Proceedings Abstracts of Contributory Papers V International Conference of Goats. New Delhi. India. Vol. I. 221 p.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. Edición del Autor, Larios. México, D. F. México. 246 p.
- García, B. J. 1979. Estructura metodológica para la caracterización agroecológica de áreas por procedimientos cuantitativos de análisis y su posterior zonificación. Colegio de Postgraduados. Tesis de Doctor en Ciencias. Chapingo, Edo. de México. México. 451 p.
- González H., A., G. M. Cruz B., F. Moreno S. y E. Velasco B. 2005. Comparación de distribuciones probabilísticas para generar información climática en análisis de aptitud del terreno. Ciencia Forestal en México 30 (98): 9-24.
- Gutiérrez G., M. V. y F. Camacho M. 2002. Aprovechamiento de plantas medicinales en el Distrito Federal. INIFAP-CENID-COMEF. Fundación Grupo Produce A. C. Folleto para Productores No. 7. México, D. F. México. 15 p.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 1996. Extractor rápido de información climatológica de 1920 a 1998 (ERIC). Manual del usuario. Colección Proyectos IMTA. Serie Programa. Jiutepec, Mor. México. Disponible en CD <http://cenca.imta.mx/cd.htm>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1987. Síntesis geográfica del Estado de México. Anexo cartográfico. México, D. F. México. 223 p.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2000. Modelos Digitales de Elevación. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México D. F. http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/normatividad/mde/menu_cfm?c=198 <http://mapserver.inegi.gob.mx/SIAG/inicio1.jsp>
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 1997a. Aprovechamientos del palo dulce (*Eysenhardtia polystachya* (Ortega) Sarg.) como planta forrajera para zonas áridas del estado de Hidalgo. Tecnologías Llave en Mano. Dirección Forestal. SAGAR. México, D. F. México. p.179.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 1997b. Plantaciones de numularia (*Atriplex numularia* Lindl.) para apoyar la alimentación del ganado menor durante la temporada seca, en el estado de Hidalgo. Tecnologías Llave en Mano. Dirección Forestal. SAGAR. México, D. F. México. p. 131.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 1997c. Producción de tutores hortícolas con chapulixtle (*Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.). Tecnologías Llave en Mano. Dirección Forestal. SAGAR. México, D. F. México. p.177.
- Jamagne, M. C., J. Le Bas, P. Daroussin, P. Vossen and A. Burril. 1995. Elaboration and use of the European Soil Geographical Data Base. 15th International Symposium of Soils. Congreso Nacional de Suelos. Acapulco, Gro. Mexico. pp. 393-394.
- Lin C., Y. W. Lin, T. H. Tsai and T. S. Liv. 1995. Land Resource Information System and its application to classify land importance in Taiwan. International Symposium of Soils. Congreso Nacional de Suelos. Acapulco, Gro. México. pp. 341-342.
- Medina, G., G. y J. A. Corral. 1992. Sistema de Información para caracterizaciones agroclimáticas V.2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Calera, Zac. http://www.inifap.gob.mx/pagina_web/campos/500/bajio/archclima/sicain_ag.htm
- Medina G., G., A. Bravo L., R. Martínez P. y L. Pérez S. 1994. Growth potential of plant species in Sonora, México. XV Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. Acapulco, Gro. México. pp. 25-34.
- Mejía, C. 1993. *Programa Decearch*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Centro. Campo Experimental Bajío. Celaya, Gto. México. Correo-e: mejia.carlos@inifap.gob.mx
- Morfin L., L. y F. Camacho M. 1987. El palo dulce (*Eysenhardtia polystachya* (Ortega) Sarg.) una alternativa para la explotación forrajera de áreas tepetatosas. In: Ruiz F., F. (Ed). Uso y manejo de tepetates para el desarrollo rural. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. México. pp. 192-198.

- Moreno S., R., F. Moreno S. y G. Cruz B. 1994. Determinación de áreas potenciales para plantaciones forestales. Memoria de la IV Reunión Nacional. Plantaciones Forestales. INIFAP. México, D. F. México. pp. 180-186.
- Núñez E., R. 1985. Efectos de la acidez del suelo sobre la producción de cultivos y su corrección mediante encalado. Serie: Cuadernos de Edafología, No. 2. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx. México. 20 p.
- Ortiz S., C. A. 1984. Elementos de agrometeorología cuantitativa con aplicaciones en la República Mexicana. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. México. pp. 46-50.
- Ortiz T., C., H. García N. y A. A. Aguilar Z. 2006. Sistema de consulta de la reconversión productiva del Distrito Federal (SICOREP-DF). INIFAP. Campo Experimental Valle de Toluca y Campo Experimental Bajío. Grupo Produce A. C. - D. F. Disponible en C. D. <http://www.grupoproducedf.org.mx>
- Procuraduría de Ordenamiento Ambiental y Territorial. (PAOT) 1998. Descripción de la zona Metropolitana del Valle de México. Gobierno del Distrito Federal. <http://www.paot.org.mx/centro/sma/inventario98/02.pdf>. 6 p.
- Procuraduría de Ordenamiento Ambiental y Territorial. (PAOT) 2001a. Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal. Gobierno del Distrito Federal. <http://www.paot.org.mx/centro/programas/pgdudf/completo.PDF>.
- Procuraduría de Ordenamiento Ambiental y Territorial. (PAOT). 2001b. Descripción de la línea de Conservación Ecológica. Gobierno del Distrito Federal. <http://www.paot.org.mx/centro/programas/pgdudf/anexo1.PDF>
- Ronald, E. J. 1993. IDRISI. Technical Reference. Version 4.0. Clark University. Graduate School of Geography. Worcester, MA. USA. 229 p.
- Schleub, B., W. Reiche, U. Heinrich, D. Scholle and R. Zölitz-Möller. 1995. Assessment proceedings using a geographical information system for ecological planning. 15th International Symposium of Soils. Congreso Nacional de Suelos. Acapulco, Gro. México. pp. 322-323.
- Srinivasan, R., J. Arnold and R. S. Muttiah. 1995. Continental Scale Hydrologic Modeling using GIS. International Symposium on Water Quality Modeling, Kissimmee, Florida. April 2-5, 1995. ASAE, St. Joseph, MI. USA.
- Srinivasan, R., J. Arnold, R. S. Muttiah, C. Walker and P. T. Dyke. 1993. Hydrologic Unit Model for United States (HUMUS). In: Proceedings of Advances in Hydro-Science and Engineering. CCHE, School of Engineering, The University of Mississippi, MS. USA. Vol. 1, Part A. 120 p.
- Srinivasan, R., and J. G. Arnold. 1994. Integration of a Basin-Scale Water Quality Model with GIS. Water Resources Bulletin. AWRA 30 (3): 453-462.
- Srinivasan, R. and B. A. Engel. 1994. A spatial decision support system for assessing agricultural nonpoint source pollution. Water Resources Bulletin. AWRA 30(3): 441-452.
- Srinivasan, R., and B. A. Engel. 1991. Effect of slope prediction methods on slope and erosion estimates. Journal of Applied Engineering in Agriculture. Vol. 7. (6): 779-783.