

Aptitud relativa agrícola del municipio de Tuxpan, Nayarit, utilizando el modelo Almagra del Sistema MicroLEIS

José López García*
Diego de la Rosa Acosta**
José Irán Bojórquez Serrano***

Recibido: 15 de junio de 2005
Aceptado en versión final: 18 de octubre de 2005

Resumen. Se realizó la evaluación de tierras para uso agrícola en la llanura fluvio-marina dentro del municipio de Tuxpan, Nayarit, con base en un levantamiento de suelos semidetallado. Se evaluó la aptitud relativa agrícola, mediante la modificación del modelo Almagra del sistema MicroLEIS 4.1, el cual permite definir la aptitud relativa agrícola, de lo cual resulta el Almagra-Tuxpan, al crearse una base de datos con las condiciones específicas de esta región.

Con base en el modelo Almagra-Tuxpan se determinó la aptitud relativa agrícola para cada una de las unidades de mapeo de suelos y se evaluaron los niveles de aptitud de 12 cultivos tradicionales (fríjol, sorgo, maíz, tabacos (Virginia y Burley), chile, jitomate, melón, sandía, jícama, cacahuete y algodón).

El 21.73% presenta una aptitud buena para la mayoría de los cultivos evaluados, el 59.98%, una aptitud moderada y el 18.43% nula capacidad. En general excluyendo las unidades de aptitud nula, los suelos de este municipio tienen una aptitud para algodón, maíz y sorgo. Los dos últimos se cultivan intensamente y el primero sería una alternativa para la región.

Palabras clave: Aptitud relativa agrícola, evaluación de tierras, Almagra, MicroLEIS, Tuxpan, Nayarit, México.

Relative agricultural aptitude of the Tuxpan municipality, Nayarit, using Almagra Model of the MicroLEIS System

Abstract. Agricultural land evaluation in the fluvial-marine plain within the municipality of Tuxpan, Nayarit, was carried out based onto a semi-detailed soil survey. Relative agricultural aptitude was evaluated, through out a modified Almagra's model of MicroLeis 4.1 system, defining a new model: the Almagra-Tuxpan, based on the specific conditions of the zone.

Using the Almagra-Tuxpan model, a software routine was written to evaluate the agricultural aptitude of twelve traditional crops (bean, sorghum, maize, tobacco (Virginia and Burley), chili, tomato, melon, watermelon, jícama,

*Instituto de Geografía, UNAM, Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, 04510 Coyoacán, México, D. F. E-mail: jlopez@servidor.unam.mx

** Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Sevilla, España.

*** Coordinación de la Investigación Científica, Universidad Autónoma de Nayarit, Nayarit, México.

peanut, and cotton), after that, the relative agricultural aptitude was determined for every one of the mapped soils units.

21.73 % of the soils have a very good aptitude for the majority of the evaluated farming, 59.98 % have a moderate aptitude, and the remaining 18.43 % have no capacity at all. Generally speaking, excluding the units with null capacity, the soils of this municipality are suitable for farming cotton, maize and sorghum. The last two, are already intensely cultivated, meanwhile cotton will be a very good alternative for the region.

Key words: Relative agricultural aptitude, Land evaluation, Almagra, MicroLEIS, Tuxpan, Nayarit, Mexico.

INTRODUCCIÓN

Los levantamientos edafológicos son la base para la definición de las unidades de mapeo a partir de las características y propiedades de los suelos, lo que permite llegar a la evaluación de tierras, las cuales son áreas de terreno distintivamente diferentes unas de otras en sus atributos y con suficiente uniformidad interna en sus características para su manejo (Ponce, 1993). La importancia de evaluar las tierras consiste en determinar el potencial agrícola, mediante el análisis de las características del clima, suelo y manejo, con el fin de mejorar los sistemas productivos agrícolas y apoyar la toma de decisiones. El tamaño de las unidades y el grado de detalle dependen de la escala y el propósito del trabajo; pueden definirse a partir de estudios a pequeña escala para importantes extensiones, y estudios a escalas grandes, orientados a superficies pequeñas (Sims, 1993). Conforme se pasa de los levantamientos de pequeña a grandes escalas, los criterios de definición de las unidades de evaluación van desde los climáticos, fisiográficos, la distribución de clases de suelos, hasta la definición de celdas (como pixel o reticular) para el mapeo de propiedades del suelo.

Las unidades de evaluación corresponden a "unidades de tierra", dado que la definición se realiza mediante un análisis fisiográfico (Botero, 1978; Ortíz y Cuanalo, 1984), en el cual se genera una leyenda fisiográfica como un sistema jerárquico que abarca diferentes niveles de generalización del paisaje. Se entiende por "paisaje" una porción tridimensional de la superficie terrestre, pertenecien-

te a una sola unidad climática, que tiene una relación definida con las áreas que la rodean y dentro de la cual posiciones comparables conllevan un alto grado de homogeneidad geogenética, además, tienen una relación espacial y genética (Villota y Forero, 1986).

La planeación del uso de la tierra pretende mostrar una base lógica de lo que la tierra puede ofrecer al usuario, es decir, la evaluación es una herramienta para la planificación estratégica, que predice su comportamiento bajo usos determinados, en términos de beneficios, costos y efectos ambientales, de aquí se deduce que sin clientes que utilicen los resultados de estudios de evaluación de tierras no tiene sentido realizarlos (Rossiter, 1996).

Las cualidades son atributos de la tierra que corresponden a niveles de generalización de los valores de las características y propiedades identificados en el paisaje o en el perfil del suelo, las cuales están directamente relacionadas a requerimientos de los cultivos (Verheye, 1993). Lo que significa que se correlacionan las características y propiedades de los suelos y las necesidades de los cultivos bajo condiciones climáticas específicas. La confrontación es el procedimiento analítico y comparativo de los requerimientos de los cultivos con las cualidades de las unidades de evaluación, generando diferentes niveles de limitación por cultivo, de acuerdo con las variables consideradas en la evaluación; posteriormente, los niveles definidos son convertidos a clases de aptitud mediante métodos paramétricos o con la ley del mínimo (*Ibid.*).

Los modelos computacionales para realizar la evaluación de tierras se basan en el conocimiento de las características y propieda-

des de los suelos, condiciones climáticas, adaptabilidad de los cultivos, disponibilidad de agua o riego y manejo de suelos. El Sistema MicroLEIS constituye una herramienta para transferir e interpretar la información agroecológica mediante datos georreferenciados y se basa en modelos computarizados de evaluación de tierras (De la Rosa, 1996). La versión 4.1 del sistema MicroLEIS está integrada por tres módulos; el primero incluye las bases de datos de suelos, clima y de manejo; el segundo está orientado a la evaluación de la calidad de las tierras, con base en modelos como *Cervatana* (capacidad general de uso), *Terraza* (deficiencia bioclimática), *Almagra* (aptitud relativa agrícola), *Sierra* (aptitud relativa forestal), *Albero* (productividad agrícola y FCCAS (fertilidad natural agrícola), y el tercero está dedicado a la evaluación de la vulnerabilidad de las tierras, mediante modelos como *Raizal* (erosión hídrica y eólica), *Arenal* (contaminación general) y *Pantanal* (contaminación específica; De la Rosa, 1996). Actualmente el sistema MicroLEIS ha evolucionado hacia un sistema de apoyo a la decisión (DSS) para el uso y protección de los suelos, incorporando nuevas herramientas de optimización, especialización y aplicaciones Web, y encontrándose totalmente disponible, tanto el software como la documentación, en www.microleis.com (De la Rosa *et al.*, 2004).

El modelo *Almagra* define la aptitud relativa agrícola utilizando matrices de gradación para indicar el grado mínimo al que se deben ajustar las distintas variables para corresponder a una determinada clase de aptitud; con base en este planteamiento, para cada criterio o característica del suelo, se establece una comparación entre los diferentes niveles de generalización y las necesidades específicas de cada uso agrícola. De acuerdo con las gradaciones consideradas para cada uno de los criterios seleccionados (matrices de gradación) y en relación con los diferentes usos agrícolas, se establecen cinco clases de aptitud relativa, que van desde los suelos con ap-

titud óptima (S1), elevada (S2), moderada (S3), marginal (S4) y nula (S5), (De la Rosa, 1996).

Este estudio se llevó a cabo en el municipio de Tuxpan, localizado en la llanura costera norte de Nayarit (Figura 1), con una superficie de 30 958 ha, de las cuales 19 781 fueron evaluadas, el resto corresponde al sistema lagunar, cuerpos de agua, elevaciones con pendientes de más de 8° y poblados. La actividad económica más importante es la agricultura. De las 13 505 ha cultivadas durante el ciclo agrícola 1996-1997, el 91.5% es ocupada por frijol, sorgo y tabaco, siendo el primero el de mayor participación con un 62.6%. Los rendimientos son de 1.0 ton/ha de frijol y 4.5 de sorgo, valores relativamente bajos al compararse con otras zonas del país esto debido, entre otros aspectos, por el establecimiento de los cultivos en parcelas que no reúnen las características más adecuadas para su desarrollo. (Bojórquez y López, 1997).

Para los ciclos 1999-2003 según SAGARPA (2003) la superficie promedio cultivada fue de 15474 ha. Los cultivos de frijol y sorgo ocuparon en promedio el 87% de la superficie, con 86% para 1999 y un aumento creciente hasta un 93% en 2003. Por otra parte, los cultivos de tabaco, melón, maíz, jícama y chile, en promedio 8.9%, han tenido una disminución creciente de un 12% de la superficie cultivada en 1999 a un 4% en 2003. Por último, el restante 3.75% de la superficie se distribuye en una gran variedad de cultivos.

METODOLOGÍA

Las unidades de mapeo de suelos del municipio de Tuxpan (Figura 2), definidas por Bojórquez y López (1997; Cuadro 1), fueron convertidas a cualidades de la tierra, relacionadas con el suelo, asignando los niveles de generalización para ser utilizados por el modelo Almagra-Tuxpan.

El modelo *Almagra* fue generado en MS-DOS Basic y orientado a evaluar 12 cultivos de clima mediterráneo (De la Rosa, 1996). Con base en la estructura de este modelo, se utilizaron

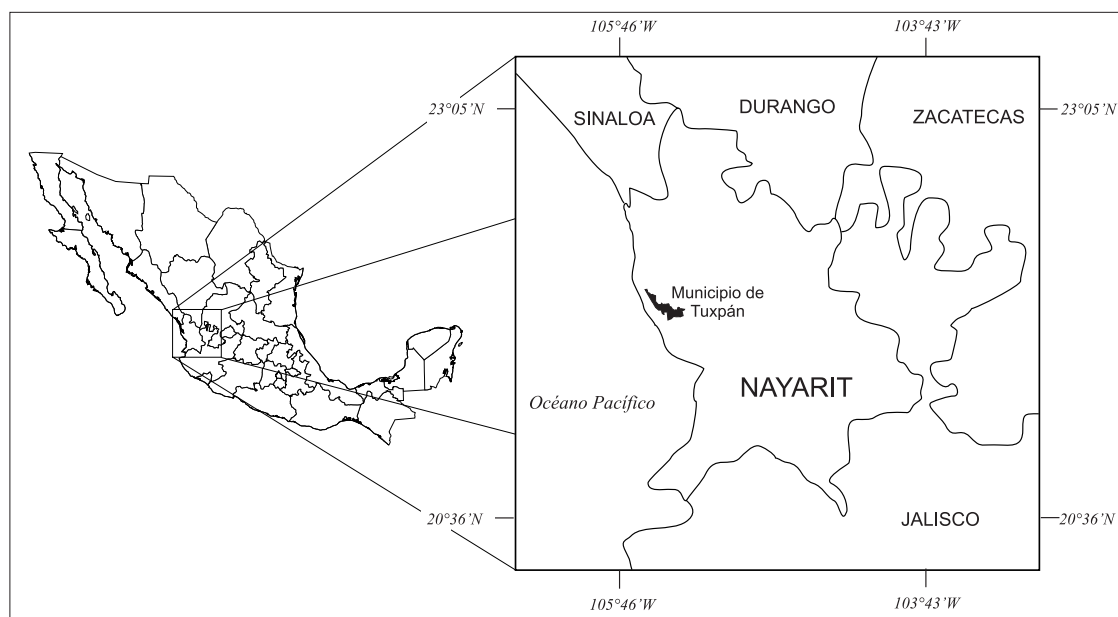


Figura 1. Localización del municipio de Tuxpan, Nayarit, México.

parámetros con las condiciones de la llanura fluvio-marina de Tuxpan y con los requerimientos de los cultivos típicos de esta región. Esta modificación se desarrolló en Visual Fox Pro para Windows 95. Esta versión fue denominada *Almagra-Tuxpan*.

Se definieron rangos de aptitud para 12 cultivos agrícolas adaptados climáticamente en el municipio de Tuxpan, Nayarit. Se modificaron los rangos de los diferentes parámetros en función de los rendimientos y de las experiencias acumuladas en esta región. Siguiendo un proceso semicuantitativo y estableciendo cinco niveles de generalización para cada criterio de diagnóstico edáfico.

La sección de control en donde medir las variables, textura, carbonatos, salinidad y carácter sódico se estableció con base en los criterios desarrollados para la diferenciación de familias y series en el Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975). Para cultivos anuales entre 25 y 50 cm y para cultivos perennes entre 25 y 100 cm, respectivamente.

El programa Almagra es una aplicación automatizada de este método de evaluación biofísica, que hace corresponder las características de una unidad suelo con los requerimientos edáficos de cada cultivo analizado y que da como resultado el grado de limitaciones respectivas.

En primer lugar toma en cuenta las limitantes para el desarrollo de las raíces, en este caso como el material parental son depósitos aluviales se considera que no hay limitantes por este concepto.

Respecto a la profundidad útil, todos los suelos son profundos (> 120 cm), por tanto, este aspecto es favorable, así como la ausencia de pedregosidad no es un factor limitante.

Los tipos de uso agrícola seleccionados corresponde a 12 cultivos tradicionales en la región de Tuxpan, Nayarit, como son: frijol (*Phaseolus vulgaris*), sorgo (*Sorghum vulgare*), maíz (*Zea mays*), tabaco (tipo Virginia y Burley), (*Nicotiana tabacum*), chile (*Capsicum annuum*), jitomate (*Lycopersicon esculentum*), melón (*Cucurbita melo*), sandía (*Citrullus vulgaris*),

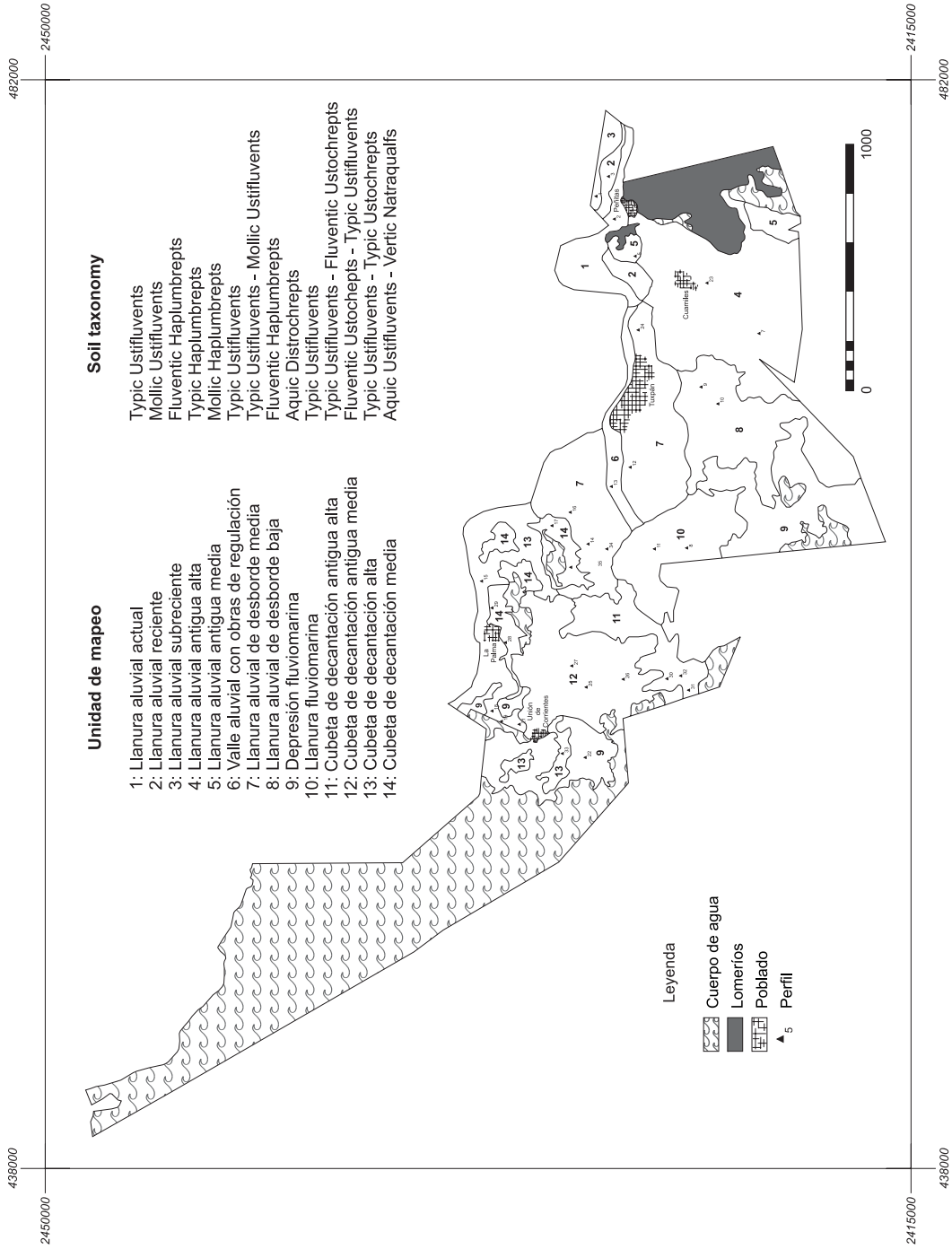


Figura 2. Unidades de mapeo de suelos, Municipio de Tuxpan, Nayarit, México.

Cuadro 1. Características de las unidades de mapeo de suelos del municipio de Tuxpan, Nayarit

ID	Unidades de Mapeo	Profundidad útil (cm)	Clase Textural	Drenaje	Salinidad dS/m	Saturación de sodio %	Contenido de carbonatos %	Desarrollo del perfil
1	Llanura aluvial actual	100	Arena francosa	Excesivo	0.3	2.9	0.1	Sin desarrollo
2	Llanura aluvial reciente	145	Franca	Bueno	0.5	0.6	0.2	Sin desarrollo
3	Llanura aluvial subreciente	100	Franco arcillosa	Deficiente	0.4	5.2	0.1	Moderado
4	Llanura aluvial antigua alta	100	Franco arcillo arenosa	Excesivo	2.1	2.9	0.3	Sin desarrollo
5	Llanura aluvial antigua media	110	Franco limosa	Muy pobre	38.4	27	0.2	Moderado
6	Valle aluvial con obras de regulación	100	Franco arcillosa	Pobre	0.4	3.4	0.2	Moderado
7	Llanura aluvial de desborde media	200	Franca	Moderado	0.3	1.2	0.2	Moderado
8	Llanura aluvial de desborde baja	120	Franco limosa	Bueno	0.6	0.9	0.1	Sin desarrollo
9	Depresión fluvio-marina	100	Franca	Bueno	1.3	2.3	0.1	Sin desarrollo
10	Llanura fluvio-marina	130	Franco limosa	Bueno	8	19	0.5	Sin desarrollo
11	Cubeta de decantación antigua alta	140	Franco limosa	Bueno	1.5	1.5	0.2	Moderado
12	Cubeta de decantación antigua media	120	Franco limosa	Bueno	4.8	6.6	0.1	Moderado
13	Cubeta de decantación alta	120	Franca	Bueno	1.7	2	0.2	Moderado
14	Cubeta de decantación media	140	Franco arenosa	Excesivo	1.2	8.3	0.2	Sin desarrollo

Fuente: Bojórquez y López, 1997.

jicama (*Pachyrhizus erosus*), cacahuete (*Arachis hypogaea*) y algodón (*Gossypium hirsutum*).

Se establecieron las cualidades que serán introducidas en el modelo Almagra-Tuxpan (Cuadro 2), las cuales surgen a partir de los rangos de características de las unidades de mapeo establecidas en el levantamiento de suelos del municipio de Tuxpan, Nayarit (Bojórquez y López, 1997) y de los parámetros utilizados en el modelo Almagra (De la Rosa, 1996).

La determinación de los requerimientos de los cultivos seleccionados se realizó con apoyo en la literatura (FAO, 1979; 1986 y 1987) y la experiencia agronómica local, para su compilación se apoyó en tablas, en las cuales se definieron los valores óptimos y extremos que afectan la germinación, crecimiento y maduración de los cultivos. Se consideraron varia-

bles relacionadas con el lugar, el clima, el suelo y con el cultivo mismo.

Tanto el modelo original como la nueva versión, se basan en el análisis de las características edáficas que inciden más directamente sobre el desarrollo productivo de diferentes cultivos, como son la facilidad de penetración de raíces, disponibilidad de agua, oxígeno y nutrimentos, a través de un proceso en cadena (Figura 3).

Las principales ventajas del modelo Almagra-Tuxpan son que no tiene restricción en el número de cultivos y que genera un reporte de los resultados de la evaluación de las unidades de mapeo de suelos, con respecto a los niveles de aptitud para los cultivos seleccionados, tanto en forma global como por unidad individual. Así como la versatilidad

Cuadro 2. Cualidades relacionadas con el suelo para el modelo Almagra-Tuxpan

Característica	Tipo	Niveles de generalización
Drenaje	Muy pobre	La capa freática permanece en la superficie casi todo el año
	Pobre	El agua se retira lentamente, permanece mojado parte del año
	Moderado	El perfil permanece húmedo por poco tiempo
	Bueno	El agua se mueve con facilidad, pero no con rapidez
	Rápido	El agua se mueve rápidamente
	Excesivo	El agua se mueve con gran rapidez
Contenido de Carbonatos %	< 0.5	Nulo
	0.5 - 10	Ligero
	10 - 30	Moderado
	30 - 50	Elevado
	> 50	Muy elevado
Salinidad (ds/m)	< 2	No afectado
	2 - 4	Muy ligeramente afectado
	4 - 6	Ligeramente afectado
	6 - 8	Moderadamente afectado
	8 - 10	Elevadamente afectado
	10 - 15	Fuertemente afectado
	> 16	Muy fuertemente afectado
Saturación de Sodio (%)	< 5	Libre de sodio cambiante
	5 - 10	Muy ligeramente afectado
	10 - 15	Ligeramente afectado
	15 - 20	Moderadamente afectado
	20 - 25	Altamente afectado
	> 25	Muy altamente afectado
Desarrollo del Perfil	Grado 1	Suelos con escaso desarrollo de perfil genético
	Grado 2	Suelos con moderado desarrollo de horizontes, B cámbico
	Grado 3	Suelos con horizonte B argílico, con iluviación de arcilla
	Grado 4	B argílico muy desarrollado y fuertes evidencias de iluviación de arcilla

Fuente: De la Rosa, 1996.

de que puede ser modificado en cualquier momento si las condiciones cambian.

Se siguió la idea de Beek y Bennema (1977) de utilizar matrices de gradación para indicar el grado mínimo al que se deben ajustar las distintas variables para corresponder a una determinada clase de aptitud. Con base en este planteamiento, para cada criterio o característica del suelo, se establece una comparación entre los diferentes niveles de gene-

ralización y las necesidades específicas de cada cultivo.

Las matrices de gradación establecidas permiten calificar los diferentes parámetros para cada uno de los cultivos seleccionados, adaptados climáticamente a esta región, en función de las características y propiedades de los suelos, resultado del levantamiento de suelos (Cuadros 3 al 9). Los niveles de generalización se basaron en las características y

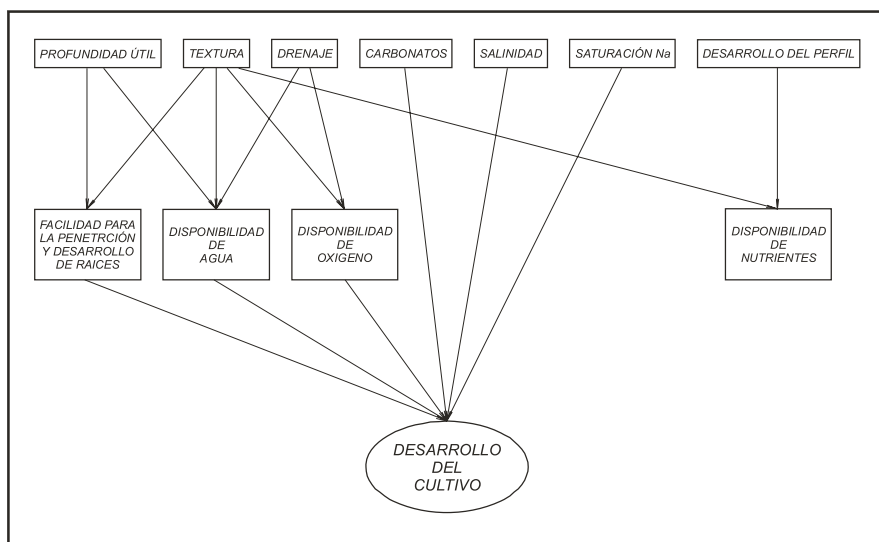


Figura 3. Influencia directa e indirecta de los criterios seleccionados.

propiedades que más influyen en el desarrollo de estos cultivos.

La profundidad útil del suelo es determinante para el espacio y la facilidad para el desarrollo de raíces y disponibilidad de agua, de acuerdo con las exigencias de cada cultivo. De la profundidad del suelo depende el volumen de agua que puede ser almacenada para las plantas, con un cierto porcentaje de arcilla y es esencial para el desarrollo de las plantas. La profundidad determina el espacio radical, en donde el volumen de suelo con

favorables relaciones de agua y aire determina el buen desarrollo de la raíces (Cuadro 3).

La clase de textura se correlaciona con el espacio poroso, por tanto las exigencias en la disponibilidad de oxígeno dependen de la textura. Expresa la distribución del tamaño de partículas, que repercute sobre la disponibilidad de agua, oxígeno y nutrimentos para las plantas (Cuadro 4).

La textura como determinante en distintas cualidades fundamentales del suelo, de acuerdo con las exigencias de cada cultivo.

Cuadro 3. Matriz de gradación de la profundidad útil

Niveles de generalización (cm)		Cultivos											
		Fr	So	Ma	Tv	Tb	Ch	J	Me	Sa	Ji	Ca	Al
> 90	Muy profundo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
60 - 90	Profundo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
45 - 60	Moderadamente profundo	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	3	2
35 - 45	Ligeramente profundo	3	3	2	2	2	3	3	2	3	3	3	3
25 - 35	Ligeramente somero	4	4	3	3	3	4	4	3	4	4	4	4
10 - 25	Somero	5	5	4	4	4	5	5	4	5	5	5	5
< 10	Muy somero	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Cultivos: Fr = frijol, So = sorgo, Ma = maíz, Tv = tabaco Virginia, Tb = tabaco Burley, Ch = chile, J= jitomate, Me = melón, Sa = sandía, Ji = jícama, Ca = cacahuete, Al = algodón.
 Limitaciones: 1 = ninguna, 2 = ligera, 3 = moderada, 4 = severa, 5 = muy severa.

Cuadro 4. Matriz de gradación de la textura

Niveles de generalización		Cultivos											
		Fr	So	Ma	Tv	Tb	Ch	J	Me	Sa	Ji	Ca	Al
Ligera	Arenosa y areno francosa	3	3	3	4	2	2	4	4	2	3	1	4
Media-ligera	Franco-arenosa	2	3	2	3	1	1	3	3	1	1	1	3
Media-equilibrada	Franca, franco-limosa y limosa	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1
Media-pesada	Franco-arcillo-arenosa, franco-arcillosa y franco-arcillo-limosa	2	2	1	1	3	3	1	1	3	2	3	1
Pesada	Arcillo-arenosa, arcillo-limosa y arcillosa	3	3	3	2	4	4	2	2	4	4	4	2

Cultivos: Fr = frijol, So = sorgo, Ma = maíz, Tv = tabaco Virginia, Tb = tabaco Burley, Ch = chile, J= jitomate, Me = melón, Sa = sandía, Ji = jícama, Ca = cacahuate, Al = algodón.

Limitaciones: 1 = ninguna, 2 = ligera, 3 = moderada, 4 = severa, 5 = muy severa.

Los niveles definidos se refieren a la clase textural más ampliamente representada en el solum. El drenaje es un resultado de la clase textural, que crea cierto espacio poroso, por tanto, es determinante en la disponibilidad de agua y oxígeno del suelo, de acuerdo con las exigencias de cada cultivo, en relación con la disponibilidad de agua y oxígeno en el suelo (Cuadro 5).

La presencia de carbonatos es necesaria para el desarrollo de los cultivos de acuerdo con la tolerancia de cada cultivo. Los niveles expresan porcentaje en peso, se refieren al contenido medio en el solum. De acuerdo con su influencia directa en el desarrollo de los cultivos (Cuadro 6).

La salinidad es un factor limitante para la mayoría de los cultivos, de acuerdo con la tolerancia de cada cultivo. Los niveles están expresados en función de la conductividad eléctrica del extracto de saturación y se refieren al contenido medio del solum. Por su influencia en el desarrollo de los cultivos o por toxicidad (Cuadro 7).

La saturación de sodio es un factor demeritante para la mayoría de los cultivos, pero está en función de la tolerancia de cada cultivo. Los niveles están expresados en porcentaje de saturación del sodio intercambiable y se refieren al contenido medio en el solum. Por su influencia en el crecimiento de los cultivos o por toxicidad (Cuadro 8).

Cuadro 5. Matriz de gradación del drenaje

Niveles de generalización		Cultivos											
		Fr	So	Ma	Tv	Tb	Ch	J	Me	Sa	Ji	Ca	Al
Muy pobre	El agua permanece en la superficie	4	4	3	4	5	4	4	4	4	4	5	3
Pobre	El agua se retira lentamente,	3	3	2	3	4	4	3	3	3	3	4	2
Moderado	El agua se mueve con cierta lentitud	1	1	1	2	2	3	1	1	2	2	3	1
Bueno	El agua se mueve con facilidad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Excesivo	El agua se mueve rápidamente	2	2	2	1	2	1	2	2	1	1	1	3
Muy excesivo	El agua se mueve muy rápidamente	4	4	4	2	3	2	3	3	2	2	1	4

Cultivos: Fr = frijol, So = sorgo, Ma = maíz, Tv = tabaco Virginia, Tb = tabaco Burley, Ch = chile, J= jitomate, Me = melón, Sa = sandía, Ji = jícama, Ca = cacahuate, Al = algodón.

Limitaciones: 1 = ninguna, 2 = ligera, 3 = moderada, 4 = severa, 5 = muy severa.

Cuadro 6. Matriz de gradación del contenido total de carbonato de calcio

Niveles de generalización (%)	Cultivos											
	Fr	So	Ma	Tv	Tb	Ch	J	Me	Sa	Ji	Ca	Al
< 0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.5-10	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1
10-20	2	1	2	3	3	2	1	2	2	2	2	1
20-40	3	2	3	4	4	3	2	3	3	3	3	2
40-50	4	3	4	5	5	4	3	4	4	4	4	3
> 50	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4

Cultivos: Fr = frijol, So = sorgo, Ma = maíz, Tv = tabaco Virginia, Tb = tabaco Burley, Ch = chile, J= jitomate, Me = melón, Sa = sandía, Ji = jícama, Ca = cacahuate, Al = algodón.

Limitaciones: 1 = ninguna, 2 = ligera, 3 = moderada, 4 = severa, 5 = muy severa.

Cuadro 7. Matriz de gradación de la salinidad

Niveles de generalización (dS/m)	Cultivos											
	Fr	So	Ma	Tv	Tb	Ch	J	Me	Sa	Ji	Ca	Al
< 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2 - 4	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1
4 - 6	3	1	2	3	3	2	2	2	2	2	2	1
6 - 8	4	2	3	4	4	3	3	3	3	3	3	2
8 - 10	5	3	4	5	5	4	4	4	4	4	4	3
10 - 16	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4
> 16	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Cultivos: Fr = frijol, So = sorgo, Ma = maíz, Tv = tabaco Virginia, Tb = tabaco Burley, Ch = chile, J= Jitomate, Me = Melón, Sa = sandía, Ji = jícama, Ca = cacahuate, Al = algodón.

Limitaciones: 1 = ninguna, 2 = ligera, 3 = moderada, 4 = severa, 5 = muy severa.

Cuadro 8. Matriz de gradación de la saturación en sodio

Niveles de generalización (%)	Cultivos											
	Fr	So	Ma	Tv	Tb	Ch	J	Me	Sa	Ji	Ca	Al
< 5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
5-10	2	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1
10-15	3	2	3	3	3	2	2	2	2	3	3	1
15-20	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	2
20-25	4	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4	3
> 25	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Cultivos: Fr = frijol, So = sorgo, Ma = maíz, Tv = tabaco Virginia, Tb = tabaco Burley, Ch = chile, J= jitomate, Me = melón, Sa = sandía, Ji = jícama, Ca = cacahuate, Al = algodón.

Limitaciones: 1 = ninguna, 2 = ligera, 3 = moderada, 4 = severa, 5 = muy severa.

El grado de desarrollo del perfil es determinante de la disponibilidad de nutrimentos, de acuerdo con las exigencias de cada cultivo. Se refiere a las reservas minerales alterables y tipo de arcilla presente en el solum, por su influencia en la fertilidad natural del suelo (Cuadro 9).

La nueva herramienta consta de dos secciones de captura: *cultivos* y *unidades*; en la primera se introdujo un código para cada cultivo deseado y sus requerimientos en forma de tablas de gradación relacionados con la profundidad del suelo, textura, drenaje, contenido total de carbonatos, salinidad, saturación de sodio y grado de desarrollo del perfil. En la segunda se capturaron los valores relativos de las cualidades identificadas para cada unidad de mapeo de suelos.

Al ejecutar la sección de *Evaluación* el programa hace una comparación entre los requerimientos de los cultivos seleccionados y las características de las unidades de evaluación, que siguiendo el criterio de limitación máxima, el valor más desfavorable es el que condiciona cada clase, independientemente de los restantes factores que puedan presentar grados más favorables, resultando cinco clases de tierras de acuerdo con el nivel de aptitud. Finalmente, se determinó la capacidad de uso agrícola de cada unidad de evaluación para los cultivos seleccionados, mediante la suma

de los tipos de uso agrícola posibles, por niveles de aptitud.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Llanura fluviomarina del municipio de Tuxpan, Nayarit, se evaluaron 14 unidades de mapeo de suelos y se determinó la aptitud relativa agrícola para 12 cultivos, por medio del Modelo Almagra-Tuxpan adaptado a las condiciones locales de esta región (Cuadro 10).

Las unidades de mapeo de suelos que tienen la mayor potencialidad para la mayoría de los cultivos evaluados son: la Llanura aluvial reciente (2), la Cubeta de decantación antigua media (12) y la Llanura aluvial de desborde baja (8). Estas unidades cubren 4 500 ha, principalmente para sorgo, maíz, tabaco Virginia, frijón, sandía y melón, que se cultivan en esta región, en el caso del algodón resulta potencialmente apto, aunque actualmente no se cultiva. Por otro lado, las unidades que resultaron no aptas principalmente por problemas de drenaje, salinidad o sodicidad y riesgo de inundación, fueron la Depresión fluviomarina (9) y la Cubeta de decantación media (14). La Llanura aluvial antigua media (5), tiene aptitud 1 para frijón, sorgo, maíz y algodón; en las demás dominan las clases 2 y 3 (Cuadro 10 y Figura 4).

Cuadro 9. Matriz de gradación del grado de desarrollo del perfil

Niveles de generalización	Cultivos											
	Fr	So	Ma	Tv	Tb	Ch	J	Me	Sa	Ji	Ca	Al
Grado 1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
Grado 2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1
Grado 3	2	1	2	2	3	2	2	2	2	2	3	2
Grado 4	2	2	2	3	4	3	3	2	2	3	4	2

Cultivos: Fr = frijón, So = sorgo, Ma = maíz, Tv = tabaco Virginia, Tb = tabaco Burley, Ch = chile, J = jitomate, Me = melón, Sa = sandía, Ji = jícama, Ca = cacahuete, Al = algodón.

Limitaciones: 1 = ninguna, 2 = ligera, 3 = moderada, 4 = severa, 5 = muy severa.

Cuadro 10. Resumen de la evaluación de unidades de tierra para 12 cultivos con el programa Almagra-Tuxpan

ID	Unidades de Mapeo*	Cultivos											
		Fr	So	Ma	Tb	Tv	Ch	J	Me	Sa	Ji	Ca	Al
1	Llanura aluvial actual	3	3	3	2	4	2	4	4	2	1	1	4
2	Llanura aluvial reciente	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	1
3	Llanura aluvial subreciente	2	2	2	3	2	3	2	2	3	3	3	1
4	Llanura aluvial antigua alta	3	1	2	3	2	3	2	2	2	2	3	1
5	Llanura aluvial antigua media	1	1	1	3	2	3	2	2	3	3	3	1
6	Valle aluvial con obras de regulación	2	3	2	2	3	2	3	3	1	2	1	3
7	Llanura aluvial de desborde media	2	2	2	3	1	3	3	3	3	3	3	2
8	Llanura aluvial de desborde baja	1	1	1	1	1	1	2	2	1	3	2	1
9	Depresión fluviomarina	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
10	Llanura fluviomarina	3	3	3	3	3	2	3	3	2	2	3	3
11	Cubeta de decantación antigua alta	3	1	2	3	2	3	2	2	2	3	2	1
12	Cubeta de decantación antigua media	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	1
13	Cubeta de decantación alta	2	2	2	3	2	3	2	2	3	3	3	1
14	Cubeta de decantación media	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

*Modificadas de Bojórquez y López, 1997.

Cultivos: Fr = frijol, So = sorgo, Ma = maíz, Tb = tabaco Burley, Tv = tabaco Virginia, Ch = chile, J = jitomate, Me = melón, Sa = sandía, Ji = jícama, Ca = cacahuete, Al = algodón. Aptitud relativa agrícola: 1 = óptima, 2 = elevada, 3 = moderada, 4 = marginal, 5 = nula.

En general, se puede decir que en el municipio de Tuxpan, de los suelos evaluados, el 17.96% fue considerado no apto para ningún cultivo y el resto, 16 229 ha, presentan aptitudes entre 1 y 3. Los cultivos más prometedores son sorgo, maíz, tabaco Virginia, sandía, frijol y algodón, pero condicionados al mercado.

Los mejores suelos agrícolas, clase 1, del municipio de Tuxpan con aptitud óptima son buenos para algodón, sorgo y tabaco Virginia. La clase 2 para jitomate, melón y maíz. Sí se consideran las clases 1 y 2 como los mejores suelos agrícolas de la región, los cultivos más prometedores serían sorgo, maíz, tabaco Virginia y algodón (Cuadro 11).

CONCLUSIONES

La evaluación de tierras del municipio de Tuxpan, Nayarit, modificación del modelo

Almagra de MicroLEIS, creado para regiones mediterráneas (De la Rosa, 1992), permitió definir los diferentes rangos de aptitud relativa agrícola para 12 cultivos, creando el modelo Almagra-Tuxpan, ambos se basan en esquemas desarrollados por la FAO y en esta modificación fue adaptado a las condiciones locales del municipio de Tuxpan, con la información obtenida y la experiencia de los productores.

El modelo Almagra-Tuxpan permite evaluar cualquier cultivo (sistema abierto), adaptado climáticamente a la región, por lo que constituye una nueva herramienta para el proceso de evaluación de tierras. Se evaluó para algodón como cultivo alternativo en esta región, siendo el cultivo que mayor superficie potencial ocupa como resultado de esta evaluación.

A partir de la problemática específica identificada, se proponen acciones generales para el mejor aprovechamiento de cada unidad de

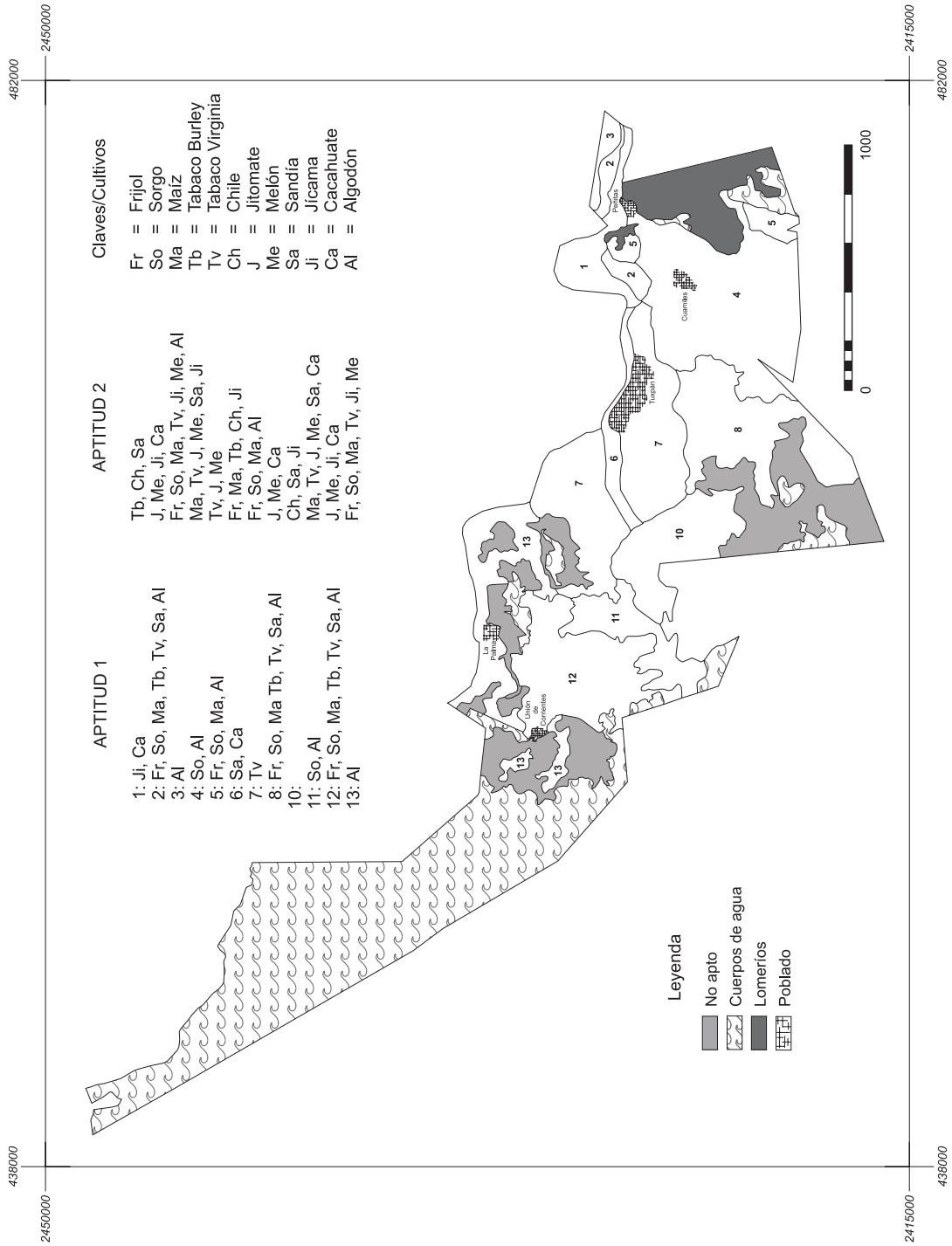


Figura 4. Evaluación de tierras con Almagra-Tuxpan.

Cuadro 11. Superficies resultantes en hectáreas, de acuerdo con las clases de aptitud del Municipio de Tuxpan, Nayarit, México

Aptitud potencial	Frijol	Sorgo	Maíz	Tabaco Burley	Tabaco Virginia	Chile	Jitomate	Melón	Sandía	Jícama	Cacahuete	Algodón
	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha
S1	4 771	9 200	4 771	4 450	7 557	4 450	0	0	4 836	687	1 073	10 851
S2	4 943	4 557	9 372	1 073	6 401	2 472	10 851	10 851	6 515	7 728	5 371	2 907
S3	5 828	1 785	1 399	10 707	1 785	9 308	4 692	4 692	4 879	7 815	9 786	1 785
S4	687	687	687	0	687	0	687	687	0	0	0	687
S5	3 552	3 552	3 552	3 552	3 552	3 552	3 552	3 552	3 552	3 552	3 552	3 552

Nivel de aptitud: óptima (S1), elevada (S2), moderada (S3), marginal (S4) y nula (S5).

tierra, además de haberse integrado un banco de datos con información que apoyará la toma de decisiones para la planeación rural, a nivel municipal.

REFERENCIAS

Beek, K. J. and Bennema (1977), *Expert consultation land evaluation for rural purposes*, Wageningen.

Bojórquez, J. I. y J. López-García (1997), "Levantamiento de suelos del municipio de Tuxpan, Nayarit", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 35, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 85-120.

Botero, P. (1978), *Fisiografía y estudios de suelos*, Centro Interamericano de Fotointerpretación, Bogotá, Colombia.

De la Rosa, D., J. A. Moreno, L. V. García and J. Almorza (1992), "MicroLEIS: a microcomputer-based Mediterranean land evaluation information system", *Soil Use and Management*, no. 8, pp. 89-96

De la Rosa, D. (1996), *MicroLEIS 4.1, Sistema Integrado para la Transferencia de Datos y Evaluación Agroecológica de Tierras*, IRNAS, CSIC, Sevilla, España.

De la Rosa, D., F. Mayol, E. Díaz-Pereira, M. Fernández and D. De la Rosa (2004), "A land evaluation decision support system (MicroLEIS DSS) for agricultural soil protection", *Environmental Modelling and Software*, no. 19, pp. 929-942.

FAO (1979), *Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos*, Estudio FAO: Riego y Drenaje 33, Roma.

FAO (1986), *Early agrometeorological crop yield forecasting*, *Plant production and Protection*, paper 73, Frere, M. and G.F. Popov, Rome, Italy.

FAO (1987), *La calidad del agua para la agricultura*, Estudio FAO: Riego y Drenaje 29, Roma.

Ortiz S., C. A. y H. E. Cuanalo de la Cerda (1984), *Metodología del levantamiento fisiográfico, un sistema de clasificación de tierras*, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México.

Ponce, H. R. (1993), "Land resources inventories for land evaluation and land use planning: a combined approach for Mexico", in *Land Evaluation for Sustainable Agriculture for Mexico*, pp. 65-88.

Rossiter, D. (1996), "Evaluación de tierras: éxitos y retos", *XIII Congreso Latino Americano de Ciencias*

cia do Solo, 2-8 de agosto, Aguas do Lindota, São Paulo, Brasil.

SAGARPA (2003), *Concentrados estadísticos agrícolas del estado de Nayarit*, Subdirección de Planeación, México.

Sims, D. (1993), "A framework for land evaluation and land use planning in Mexico", in *Land Evaluation for Sustainable Agriculture for Mexico*, pp. 99-117.

Soil Survey Staff (1975), *Soil Taxonomy*, Hand 436, USDA, Government Printing Office, Washington, D.C.

Verheye, W. H. (1993), "Matching land and use requirement for land suitability classification", in *Land Evaluation for Sustainable Agriculture for Mexico*, pp. 223-235.

Villota, H. y M. C. Forero (1986), *Actualización de la metodología para levantamientos edafológicos, especificaciones y manual de procedimientos*, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia.