

LAS ZONAS POTENCIALES PARA LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN MORELOS, USANDO UN MODELO MULTICRITERIO Y SIG.

*Dr. Alejandro P. Ceballos Silva
Investigador, INIFAP-Tlaxcala*

*Dr. Jorge López Blanco
Investigador, Instituto de Geografía, UNAM*

*MC. Alberto Trujillo Campos
Investigador, Campo Experimental Zacatepec, INIFAP-Morelos*

*Biól. Angélica Gutiérrez Del Valle
Asistente de Investigación, INIFAP-Tlaxcala*

INTRODUCCIÓN

El creciente rezago de la producción de alimentos contra el crecimiento de la población además del deterioro actual del suelo y los recursos naturales en general, nos conducen a buscar alternativas para reordenar el uso del suelo en función de las características de los cultivos. Por anterior el objetivo de este trabajo consiste en determinar las áreas con potencial productivo identificando los requerimientos del medio físico que favorecen el crecimiento y desarrollo del cultivo de Maíz. Para estimar el potencial productivo del medio biofísico, en este trabajo se usó la Evaluación Multicriterio (EMC) y el enfoque Fuzzy en un entorno de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Tal combinación permite identificar áreas potenciales considerando variables relevantes de clima, suelo y relieve además de la identificación de las restricciones físicas en el estado de Morelos.

ANTECEDENTES

La identificación y la caracterización precisa de las áreas de producción actual y potencial, son vitales para la investigación y el desarrollo agrícola, debido a su enorme efecto en la transferencia de las innovaciones agro-tecnológicas (Corbett 1996), además dicha información es necesaria para tomar decisiones de planificación, desarrollo y ordenamiento territorial (FAO 1985).

Los estudios de potencial productivo se han realizado en todo el mundo empleando una diversidad de metodologías que consideran criterios distintos pero con el mismo objetivo, que es delimitar áreas con base en su potencial (Martínez y Lara, 2003). En México el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha realizado estudios para determinar del potencial productivo de especies vegetales desde 1993, información que se ha utilizado para diseñar y poner en marcha estrategias de modernización del campo y reconversión de la agricultura del Plan Nacional de Desarrollo (González *et al.*, 1990, Ruíz *et al.*, 1999, García *et al.*, 2001). Estos estudios han permitido afinar metodologías y niveles de resolución de la cartografía digital, pasando del ámbito nacional al estatal, y de éste al de la parcela del productor (González *et al.*, 1998). Las investigaciones realizadas en el INIFAP se han enfocado al sector agrícola para la siembra de cultivos básicos, en agroforestería con especies arbustivas nativas en el estado de Guanajuato (Terrones *et al.*, 2007), algunos estados como Baja California Sur han realizado estudios en cultivos forrajeros, frutales y especies forestales (Meza y Reygadas, 2001).

La estimación del potencial de la tierra involucra el análisis e interpretación de las variables del medio biofísico (vegetación, topografía, clima, suelo, principalmente) para que se cumpla de manera adecuada con los requerimientos de los cultivos (Ahamed *et al.*, 2000, Ceballos-Silva y López-Blanco, 2003a). Para la determinación del potencial productivo se han integrado los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Percepción Remota, que constituyen una herramienta importante en las tareas de planificación ambiental y ordenamiento del territorio.

Una herramienta analítica incorporada a los SIG son las técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) las cuales permiten involucrar muchas variables, además de jerarquizar cada una de ellas de acuerdo con su importancia relativa para el crecimiento óptimo de los cultivos (Ceballos-Silva y López-Blanco, 2003b). La EMC, que puede aplicarse a valoraciones del medio natural, y específicamente en estudios para identificar áreas potenciales para determinados cultivos, basa su funcionamiento en la evaluación de una serie de alternativas y de criterios en los que se apoya la toma de decisiones, la cual puede ser medida y evaluada. Así pues, la técnica de EMC es útil para inventariar, clasificar, analizar y ordenar convenientemente una serie de alternativas a partir de los criterios pertinentes en determinada evaluación (Barredo, 1996). Un método de asignación de pesos de ponderación es el de la Matriz de Comparación Pareada, desarrollado por Saaty (1980), el cual ha sido implementado en los SIG (Eastman, 1997).

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El estado de Morelos se localiza en el centro de la República Mexicana, al norte 19°08', al sur 18°20' de latitud norte; al este 98°38', al oeste 99°30' de longitud oeste. Colinda al norte con el estado de México y el Distrito Federal; al este con Puebla; al sur con Puebla y Guerrero; al oeste con Guerrero y Estado de México (INEGI, 2000). Cuenta con una superficie de 4964 km², que equivale al 0.2% de la superficie del país (INEGI, 1999).

Predomina un clima cálido sub-húmedo, y en menor proporción el clima semi-cálido sub-húmedo, en una franja que va de este a oeste situada en la región norte, en la zona de transición entre la sierra y los valles. El templado sub-húmedo o mesotérmico, se distribuye en la zona norte, y se localiza en las partes altas de los valles de Cuernavaca y Cuautla, principalmente. Los climas semi-fríos existen sólo en pequeñas áreas en el extremo norte, concentrándose en las partes más altas de la sierra, como son la Cordillera Neovolcánica y la Sierra Nevada o Transversal.

En la Entidad predominan los suelos del tipo Feozem háplico (22% de la superficie), Vertisol pélico (21%), Rendzina (9%) y Litosol (8%). El resto (40%), corresponde a otro tipo de suelos (INEGI, 1981).

De la superficie estatal, el 53% es de uso agrícola, el 31% es selva, el 8% es bosque, la superficie restante tiene otros usos (INEGI sitio web).

En el estado de Morelos la principal actividad es la agricultura. En condiciones de temporal se siembran 79,000 ha en promedio, y en riego 5,479 ha (SAGARPA, 2006). Los principales cultivos son maíz, frijol y jitomate. En el caso del cultivo de maíz de temporal, en el ciclo primavera-verano se sembraron 25,100 ha, en las se obtuvo un rendimiento medio de 2.5 t ha⁻¹, y en riego para el ciclo otoño-invierno se sembraron 1,473 ha con un rendimiento medio de 3.2 t ha⁻¹. La producción se destina principalmente para autoconsumo; sólo una mínima parte se destina al comercio regional.

METODOLOGÍA

La metodología empleada para la obtención de los mapas de las áreas con potencial para la producción de maíz consistió en el acopio, depuración, conformación e integración de varias bases de datos necesarias para realizar la Evaluación Multicriterio bajo ambiente del Sistema de Información Geográfica. Primeramente se conformó la base de datos de los requerimientos agroecológicos del cultivo de maíz, y se procesaron la base de datos de clima a partir de los datos históricos de 33 estaciones en el Estado, y la base de datos de suelos, la cual se construyó con la digitalización de 14 cartas edafológicas escala 1: 50,000. Además, a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT) se obtuvo la información de altitud y pendiente. Posteriormente se utilizó el mapa de uso/cobertura de suelo proveniente de la clasificación de una imagen Landsat tomada en el 2002, y se construyeron los mapas criterios que fueron estandarizados con el enfoque *Fuzzy* para llevar a cabo la EMC (Figura 1). De esta manera se obtuvieron los mapas de las áreas potenciales para la producción de maíz en los ciclos primavera-verano y otoño-invierno, a los cuales se sobrepuso el mapa de uso/cobertura del suelo actual para afinar los resultados.

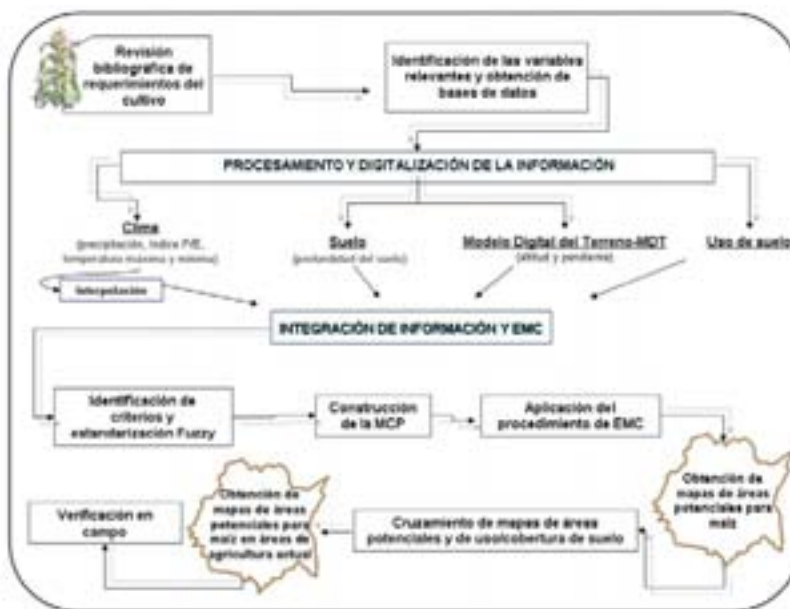


Figura 1. Esquema del proceso para la obtención de los mapas de las áreas potenciales para la producción de maíz en el estado de Morelos.

Base de datos de clima

La información climática se obtuvo de 33 estaciones meteorológicas distribuidas en el Estado y administradas por la CONAGUA con al menos 20 años de registros regulares. Las variables consideradas fueron temperatura máxima, mínima, precipitación y evaporación. La información se depuró, se analizaron las inconsistencias y se estimaron los datos faltantes. La información depurada se capturó en el Sistema de Información para Caracterizaciones Agroclimáticas (Medina *et al.*, 2003) en donde se obtuvieron las medias decenales de cada una de las 33 estaciones para cada variable, lo que dio un total de 144 valores medios decenales por estación. A partir de esta información se obtuvo el primer grupo de mapas interpolados que se emplearon en las etapas posteriores (Figura 2). La interpolación se realizó usando el inverso de la distancia al cuadrado ($1/d^2$).

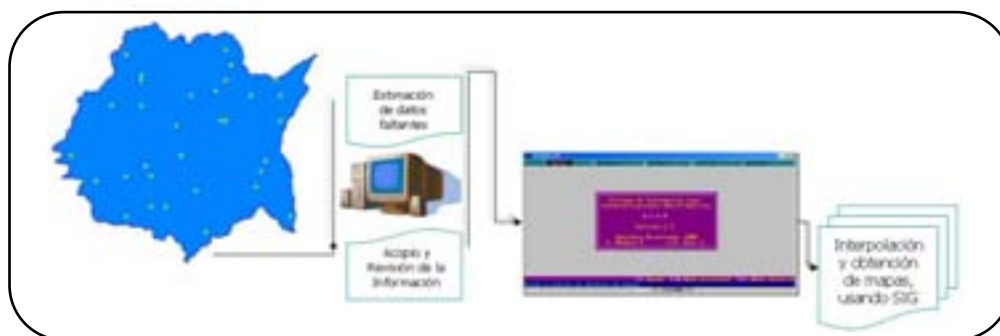


Figura 2. Esquema del procesamiento de la base de datos de clima

Base de datos de suelo

Los datos de suelo se obtuvieron de la digitalización de las 14 cartas edafológicas 1: 50,000 del INEGI que conforman el Estado y permitieron el procesamiento y análisis de los suelos, de donde se generó el mapa de profundidad.

La profundidad del suelo, se obtuvo a partir de las fases físicas presentes en el área de estudio, por lo que a cada tipo de fase física se le asoció una profundidad del suelo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Profundidad del suelo asociada a fases físicas.

Fase física	Profundidad del suelo (m)
Litosol	0 - 0.1
Gravosa, dúrica y lítica somera	0.1 - 0.5
Dúrica y Lítica profunda	0.5 - 1
Suelos sin fase	> 1

Modelo Digital del Terreno (MDT)

Se consideraron las variables altitud y pendiente (%), las cuales se originaron a partir del MDT. La diversidad de altitudes y pendientes crean fuertes contrastes locales que afectan y determinan directa e indirectamente los procesos biológicos y físicos, entre ellos el desarrollo de los cultivos.

Mapa de cobertura/uso del suelo

A partir del mapa de cobertura/uso del suelo (2002) se identificaron las clases de información existentes en el Estado, principalmente la ubicación de las áreas agrícolas de temporal y riego.

Evaluación Multicriterio (EMC)

Para realizar la EMC se utilizó el Sistema de Información Geográfica IDRISI. En la Figura 3 se puede apreciar el diagrama del proceso que se utilizó.

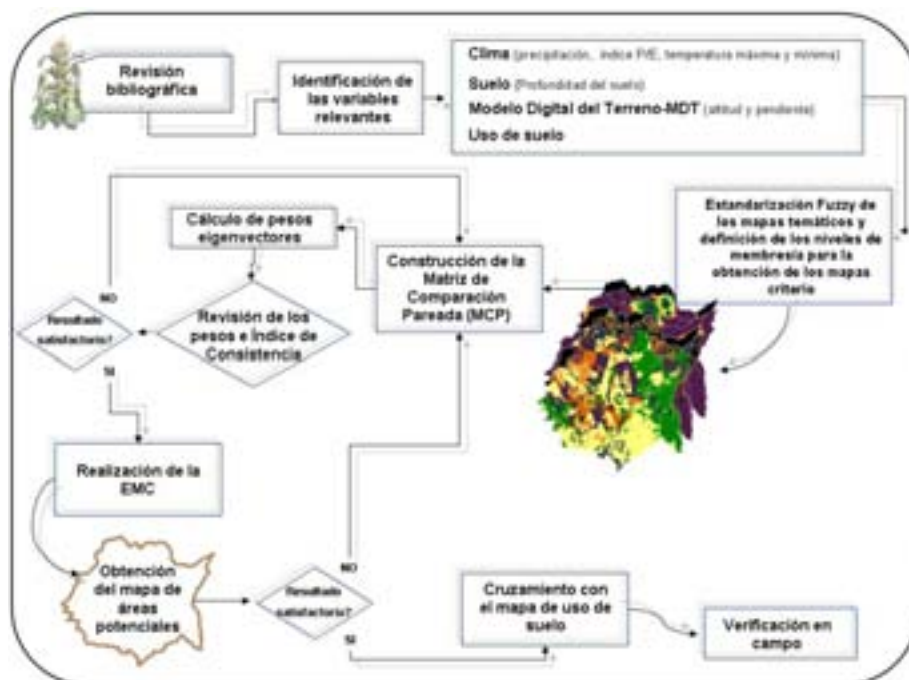


Figura 3. Diagrama del proceso empleado para la Evaluación Multicriterio.

A continuación se describen las fases de la EMC.

Requerimientos agroecológicos del cultivo de maíz

Esta información se obtuvo de fuentes bibliográficas con el fin de fortalecer la decisión de incluir las variables relevantes del medio físico en la definición de las áreas aptas para el cultivo, lo que permitió la identificación de los criterios (factores) a considerar para la EMC. Por otro lado, el objetivo también fue contar con información suficiente para corroborar que los valores mínimos y máximos para cada criterio relevante definidos en asociación con el especialista en maíz, fueran congruentes con la información bibliográfica recopilada.

Estandarización de mapas

Se consideraron los mapas de temperatura máxima, mínima, índice P/E, altitud, pendiente y profundidad del suelo. Debido a que en los mapas se utilizan diferentes escalas de medida, a través de una *estandarización* dentro del IDRISI utilizando el enfoque *fuzzy*, fueron transformados a unidades comparables, lo que permite representar de manera realista el gradiente que se observa en el mundo real, a diferencia de otro tipo de enfoque que representa la información con límites entre una categoría y otra. Los conjuntos *fuzzy* no tienen límites tajantes; la transición se representa de manera gradual (Eastman, 1999; Malczewski, 1999). Un conjunto *fuzzy* está caracterizado por un grado de membresía *fuzzy* (también llamado posibilidad) que varía entre 0.0 y 1.0. El valor 0 corresponde al requerimiento ambiental considerado como de muy baja potencialidad para cada factor, y el valor 1 al requerimiento ambiental considerado como de muy alta potencialidad. La estandarización se realizó con el procedimiento FUZZY del IDRISI.

Construcción de la Matriz de Comparación Pareada (MCP)

Previo a la construcción de la matriz se jerarquizaron las variables del medio físico relevantes para el desarrollo del cultivo, y posteriormente se compararon los criterios mediante la MCP propuesta por Saaty (1980) con la finalidad de conocer la importancia relativa entre dos criterios a la vez. Para la construcción de la MCP se asignaron valores usando la escala de valoración continua, la cual emplea puntajes que se basan en una graduación de nueve puntos, con valores desde 1/9 (extremadamente menos importante) a 9 (extremadamente más importante) (Cuadro 2). Este método ha sido probado teórica y empíricamente en estudios de elección de alternativas, incluyendo la toma de decisiones sobre ubicación de áreas o sitios con diferentes propósitos (Ceballos-Silva y López-Blanco, 2003a). Para la asignación de valores se tomó en cuenta la opinión de los especialistas en maíz.

Cuadro 2. Escala de valoración para la comparación pareada entre factores.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Extremadamente	Fuertemente	Moderadamente	Ligeramente	Igual	Ligeramente	Moderadamente	Fuertemente	Extremadamente	
←		←		→		→			
Menos importante									Más importante

Estimación de pesos relativos (eigenvectores)

Los pesos eigenvectores se obtuvieron a partir de la matriz utilizando el procedimiento WEIGHT disponible en IDRISI.

Una vez que se obtuvieron los mapas factor estandarizados así como sus pesos se realizó la EMC, que dio como resultado los mapas de áreas con potencial para el cultivo, utilizando el procedimiento MCE de IDRISI.

El mapa de cobertura/uso actual de suelo se sobrepuso en el mapa que se obtuvo para ubicar dichas áreas dentro de las zonas agrícolas y obtener las estadísticas precisas sobre las áreas potenciales detectadas para el cultivo. Con el propósito de obtener resultados interpretables, el mapa de áreas con potencial (con valores entre 0 y 255) fue reclasificado en 10 categorías antes de superponerlo con el mapa de cobertura-uso de suelo. Las cercanas al 0 fueron consideradas como de muy bajo potencial, y las cercanas al 10 como de muy buen potencial.

Verificación en campo

A partir del mapa de áreas potenciales se procedió a la verificación de los resultados en campo (marzo a mayo de 2007). Para ello se evaluó la profundidad del suelo, la pendiente, la textura y se midió la altitud.

La distribución de los sitios para la verificación se realizó con base en las áreas con potencial, y la información fue capturada en un formato de campo y fue procesada de la siguiente manera:

Ciclo primavera-verano. Al mapa de áreas potenciales se le sobrepuso una gradícula o malla cada 5000 m con la finalidad de obtener las coordenadas geográficas que interceptaban en las áreas con potencial y de esta manera ubicar sitios de muestreo para aproximarse con el GPS y realizar la verificación correspondiente.

Ciclo otoño-invierno. Debido a que en este ciclo la superficie con potencial fue menor a la del ciclo primavera-verano, al mapa de áreas potenciales se le sobrepuso una malla cada 2000 m para obtener las coordenadas, tomando aquellas donde intersecaban en áreas con potencial.

RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados del procesamiento de la información sobre clima, suelo y relieve.

Clima

Para cada estación meteorológica se obtuvieron las medias decenales por variable (temperatura máxima, mínima, precipitación y evaporación), y de esta manera se obtuvieron 36 mapas interpolados. En total se generaron 144 mapas interpolados debidamente revisados de acuerdo a la base de datos utilizada y al conocimiento del área de estudio, a partir de los cuales se construyeron los mapas criterio.

Además se obtuvieron las medias anuales de las variables precipitación y temperatura máxima y mínima para generar los mapas correspondientes (Figura 4). En la mayor parte del Estado la distribución promedio de la lluvia se encuentra entre los 800-1000 mm; la temperatura máxima entre 21 y 28 °C, y la temperatura mínima entre los 11 y 13 °C. La lluvia y las variaciones de temperatura están interrelacionadas con la altitud, de tal manera que en la zona norte del Estado se registra la mayor cantidad de precipitación y temperaturas más bajas, contrario a lo que se registra en la zona sur.

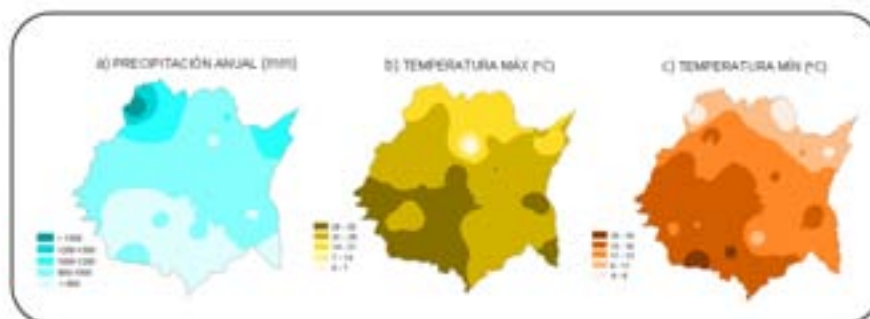


Figura 4. Mapas de precipitación anual, temperatura máxima y temperatura mínima.

Suelos (Profundidad)

El estado de Morelos abarca una superficie de 496,463 ha (4964 km²), de las cuales el 26% presenta una profundidad mayor de 0.50 m (128,671 ha), que comprende la fase dúrica y lítica profunda, así como suelos sin fase, lo cual favorece el desarrollo de los cultivos. El 74% restante (367,792 ha), considerando el factor profundidad del suelo, presenta restricciones para la agricultura (Cuadro 3).

Cuadro 3. Profundidad del suelo y superficie asociada a las fases físicas.

Fase física	Profundidad del suelo (m)	Superficie (ha)	%
Litosol	0 - 0.1	42,843	8.5
Gravosa, dúrica y lítica somera	0.1 - 0.5	324,949	65.5
Dúrica y lítica profunda	0.5 - 1	56,367	11.4
Suelos sin fase	> 1	72,304	14.6

En la Figura 5 se muestra la distribución de la profundidad del suelo en el Estado.

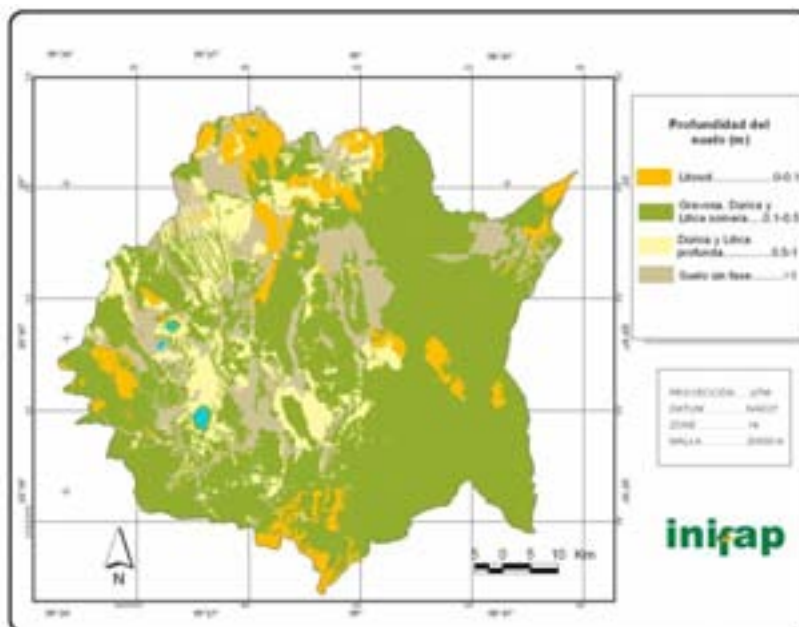


Figura 5. Distribución de superficies de acuerdo con la profundidad del suelo en el estado de Morelos.

Modelo Digital del Terreno (MDT)

Los mapas de altitud y pendiente (%) se generaron a partir del MDT. En el Estado se observa un gradiente altitudinal de mayor a menor altura en dirección norte-sur.

Altitud: En el Cuadro 4 se observa que una superficie de 81,523 ha (16.4%) presenta alturas menores a 1000 msnm, la mayor parte del Estado (274,469 ha) tiene alturas entre 1000-1500 msnm (zona de transición desde el punto de vista agronómico). Sólo 61,139 ha (12.3%) se pueden considerar como de Valles Altos.

Cuadro 4. Superficie y porcentaje de acuerdo con la altitud.

Altitud (m)	Superficie (ha)	%
<1000	81,523	16.4
1000-1500	274,469	55.3
1500-2000	79,342	16.0
2000-2500	26,450	5.3
>2500	34,679	7.0

En la Figura 6 se muestra el relieve en el estado de Morelos.

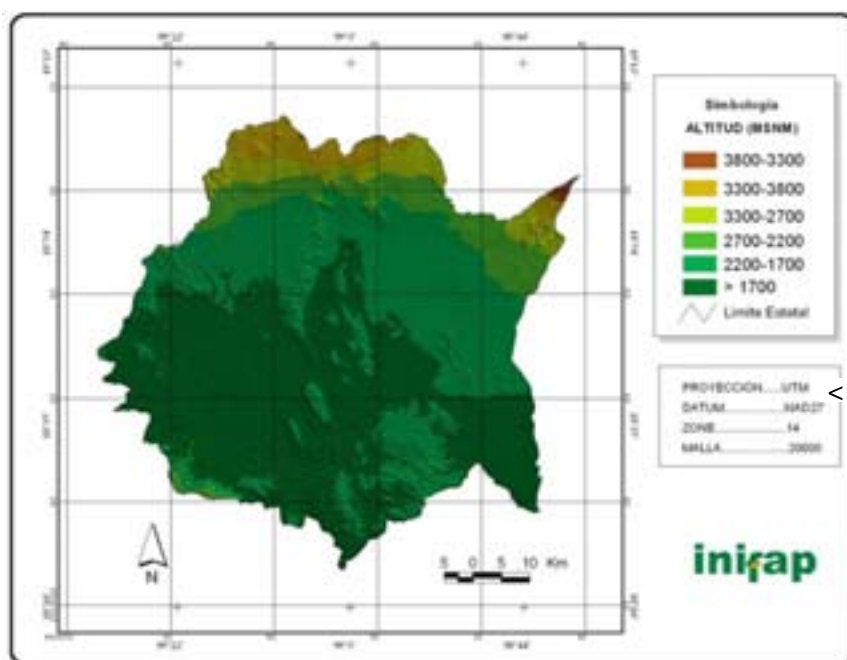


Figura 6. Modelo de elevación digital del estado de Morelos.

Pendiente: Una de las variables que más limita algunas prácticas agronómicas, como la mecanización, es la pendiente, la cual en algunos casos acelera los procesos de erosión. En el estado de Morelos existe una superficie de 172,395 ha con pendientes menores al 5%, altamente favorable para la agricultura; 177,159 ha con pendientes entre de 5-20%, y el resto de la superficie con pendientes mayores al 20%, con severas restricciones para la siembra de maíz (Cuadro 5).

Cuadro 5. Superficie y porcentaje por grado de pendiente.

Pendiente (%)	Superficie (ha)	%
0-5	172,395	34.7
5-10	80,185	16.2
10-15	55,464	11.2
15-20	41,510	8.4
>20	146,909	29.6

Evaluación Multicriterio (EMC)

Requerimientos agroecológicos del cultivo de maíz

Las plantas de maíz ofrecen una buena respuesta al medio natural, lo que ha permitido obtener variedades que se han adaptado a una gran diversidad de condiciones agroecológicas. Por esta razón existen diversos tipos y razas de maíz que se adaptan a condiciones naturales muy distintas a las de su habitat original (Llanos, 1984). Mientras que algunos tipos crecen muy poco, otros crecen más de 5 m; algunos requieren de 70 días de ciclo vegetativo y otros requieren de más de 30 semanas (Shaw, 1988). El cultivo

se produce en climas que varían desde la zona templada hasta la tropical; así mismo, la adaptabilidad de las variedades a distintos climas varía mucho (Doorenbos y Kassam, 1979).

Debido a la diversidad de condiciones climáticas en las que se cultiva el maíz, es difícil establecer los requerimientos precisos de este cultivo. No obstante lo anterior, en el Cuadro 6 se muestra los requerimientos del medio físico reportados en la literatura. Las variables más importantes para el crecimiento y desarrollo óptimo del cultivo son temperatura, precipitación total y humedad almacenada en el suelo disponible para las plantas, puesto que la falta de lluvia y las altas temperaturas constituyen las variables más importantes que limitan el cultivo y el rendimiento del maíz. Estas dos últimas variables tienen distinta influencia sobre el rendimiento final según la etapa fenológica en que se presentan. En el mes de junio la temperatura es más importante que la lluvia; en julio, lo que más influye es la precipitación, y en agosto vuelve a ser la temperatura la variable más influyente sobre el rendimiento del cultivo (Llanos, 1984).

En el Cuadro 7 se presenta la descripción de cada variable tomada de fuentes bibliográficas.

Cuadro 6. Requerimientos del medio biofísico que favorecen el crecimiento y desarrollo óptimo del cultivo de maíz.

Variable	Descripción
Humedad	Las condiciones climáticas óptimas para el desarrollo del cultivo del maíz implican una cantidad limitada de lluvias que humedezcan bien el suelo cada cuatro o cinco días, desde el final del primer mes hasta unas tres semanas después de la floración ¹⁰ . Este cultivo puede desarrollarse bien en climas húmedos sin riego, siempre y cuando el suelo sea profundo y con buena capacidad de retención de humedad, aunque también puede desarrollarse en climas áridos pero con riego ¹ . Se adapta a climas tropicales húmedos y secos, subtropicales y templados ^{9, 10} , y también a climas semiáridos ¹¹ . Un factor muy importante para el rendimiento de este cultivo no sólo es la cantidad de lluvia durante el ciclo vegetativo, sino también su distribución ^{6,3} . Si la cantidad de lluvia es inferior a las necesidades de la planta se estiman pérdidas del 86% en la producción de grano y del 71% en la producción de forraje ⁶ . Por otro lado, si se presentan lluvias excesivas durante el desarrollo vegetativo, sobre todo en suelos arcillosos, inciden perjudicialmente en el desarrollo de las plantas y el rendimiento ⁹ ya que se puede propiciar también la aparición y diseminación de enfermedades ^{6,3} .
Temperatura	La temperatura es el elemento del clima que regula la distribución de las plantas sobre la tierra cuando el agua no es deficiente ² . Para ese cultivo los periodos secos son más perjudiciales para el rendimiento si coinciden con temperaturas superiores a la media sobre todo en fechas cercanas a la floración ⁶ . Aunque parece no haber un límite de temperatura máxima en el verano ⁹ los rendimientos usualmente decrecen con las altas temperaturas.
Suelo	El suelo tiene una gran importancia para la producción agrícola, ya que es en éste en donde las plantas, usando la energía solar, combinan el bióxido de carbono de la atmósfera con los nutrientes y agua para producir tejidos vivos ⁷ . El cultivo prefiere suelos bien drenados para permitir un adecuado desarrollo radicular, con alta capacidad de retención de humedad que permita que el cultivo tenga disponibles los nutrientes necesarios para su desarrollo, de textura media y con alto contenido de materia orgánica ^{1, 3} . El maíz crece en

	suelos con propiedades ampliamente diferentes, desde texturas arenosas hasta arcillosas y desde suelos fuertemente ácidos hasta fuertemente alcalinos; sin embargo, en estas condiciones también hay una gran diferencia en la productividad ^{8, 6} . El maíz se adapta a una amplia variedad de suelos donde puede producir buenas cosechas siempre y cuando se empleen las variedades y técnicas de cultivo adecuadas ⁶ .
Luz	El maíz es una de las plantas cultivadas de mayor respuesta a los efectos de la luz, de lo que depende principalmente su alto potencial productivo. Una disminución de un 90% de la intensidad lumínica por un periodo de pocos días durante la fase de polinización ⁶ ocasiona una reducción severa en el rendimiento en grano. Con respecto a la duración del día, el maíz es una planta neutral o de día corto ⁴ .

¹Shander y Pierre (1967), ²Grimaldi (1969), ³Jugenheimer (1970), ⁴Doorenbos y Kassam (1979), ⁶Llanos (1984), ⁷Foth (1987), ⁸Olson y Sander (1988), ⁹Shaw (1988), ¹⁰Aragón(1995), ¹¹FAO (1998).

Cuadro 7. Requerimientos generales por variable para la producción de maíz.

Variable	Descripción
Humedad	Durante el ciclo de cultivo la cantidad de agua de lluvia debería ser mayor a 300 mm uniformemente distribuida, con una mínima anual de 500 mm ¹⁰ y óptima anual de 800 mm ^{11, 4} . Comúnmente la cantidad de agua que utiliza el cultivo es entre 410 y 640 mm, pero existen partes de cantidades menores a 300 mm y mayores a 840 mm. El umbral mínimo de precipitación desde el cual puede esperarse producción de grano es de 150 mm ^{6,9} , aunque debido al amplio intervalo de condiciones climáticas en las cuales este cultivo se desarrolla, es difícil hacer más específicas las condiciones específicas limitantes ⁹ .
Temperatura	El ciclo del cultivo debe ser de al menos 130 días ¹ , con una temperatura durante ese periodo ^{1,9,6,10,5} entre 21 y 32°C, con una óptima de 25°C ¹¹ durante el verano ⁶ . Temperaturas por encima de 26°C durante el verano pueden producir deficiencias de humedad; además, temperaturas mayores de 35°C reducen el rendimiento y determinan un cambio cualitativo en la composición de las proteínas de este cereal ⁶ . Las temperaturas mayores de 32 °C durante la polinización pueden reducir drásticamente la viabilidad del polen ⁵ . Por otro lado, la temperatura mínima por debajo de la cual el crecimiento puede llegar a detenerse es de 12°C ⁶ .
Suelo	El cultivo prefiere los suelos profundos >1.8 m ^{8,10} , o moderadamente profundos >0.6m ^{11,8} , con alta capacidad de retención de humedad ^{1,6} , de textura media y con alto contenido de materia orgánica y adecuadas cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio ^{3, 6} . Tal suelo debería tener una textura franca o franca-limosa en la superficie y franco-arcilloso-limosa a 30 cm o más de profundidad ^{11, 8} . Los peores suelos son los arcillosos (excesivamente pesados) ¹⁰ y los arenosos (muy sueltos) ^{6,4} . El suelo ideal debería tener un pH alrededor de 6.5 ^{1,11, 6} , aunque este cultivo es tolerante a la salinidad y a la acidez ^{6, 10} .
Altitud	El maíz crece desde el nivel del mar hasta casi los 4000 m; sin embargo, a grandes altitudes (>3000 m) las plantas apenas alcanzan medio metro de altura ⁶ .

¹Shander y Pierre (1967), ²Grimaldi (1969), ³Jugenheimer (1970), ⁴Doorenbos y Kassam (1979), ⁵Félix (1984), ⁶Llanos (1984), ⁸Olson y Sander (1988), ⁹Shaw (1988), ¹⁰Aragón (1995), ¹¹FAO (1998).

Mapas estandarizados

En la Figura 7 se presentan los mapas criterio de las variables temperatura máxima, temperatura mínima, índice P/E, pendiente, altitud y profundidad del suelo consideradas relevantes para realizar la EMC. Con el propósito de que cada mapa tuviera unidades comparables, se estandarizaron con una escala de valores de 0 a 255, donde el valor 0 se asocia a la potencialidad más baja y el 255 a la más alta.

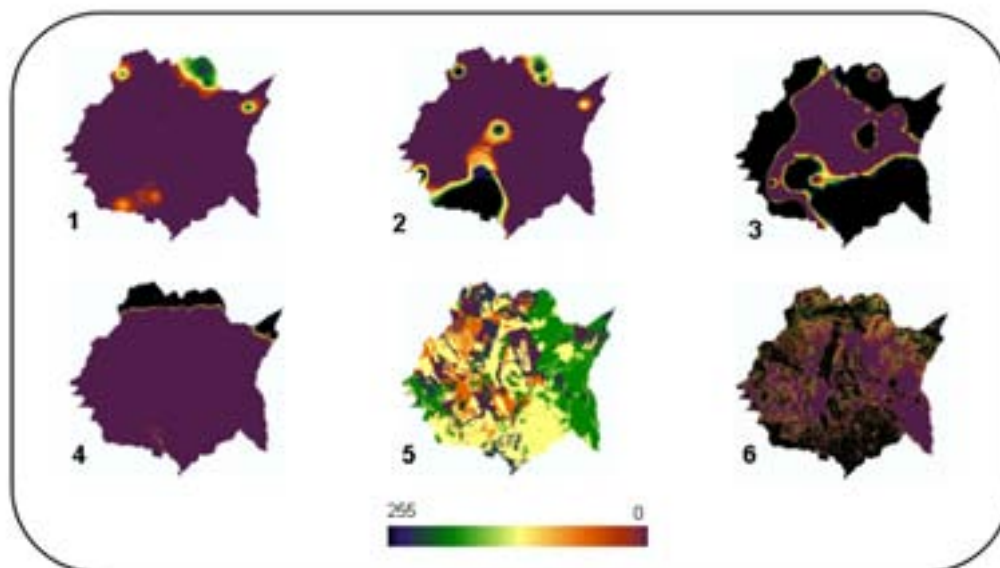


Figura 7. Mapas criterio estandarizados utilizados para la EMC. 1= temperatura máxima, 2= temperatura mínima, 3= índice P/E, 4= altitud, 5= pendiente, 6= profundidad del suelo.

Los criterios identificados para la evaluación de áreas con potencial para el cultivo de maíz fueron precipitación y evaporación, los cuales se utilizaron en forma de índice precipitación/evaporación (Índice P/E) que refleja el aporte total de agua de lluvia en comparación con la demanda atmosférica evaporativa durante el período de crecimiento del cultivo, y toma valores entre 0.10 y 7.0 de manera continua en la República Mexicana.

Construcción de la matriz de comparación pareada (MCP)

Las variables relevantes para la evaluación se convirtieron en los criterios que se utilizaron en la construcción de la MCP, cuya importancia fue valorada por sus pesos específicos. A continuación se describen los procedimientos utilizados para la construcción de la MCP, así como la estimación de pesos eigenvectores para obtener los mapas de áreas potenciales para la producción de maíz en los ciclos primavera-verano y otoño-invierno.

Ciclo primavera-verano

MCP y estimación de pesos. En el Cuadro 8 se presentan los criterios considerados y ordenados con base en la opinión de los especialistas en maíz y los valores asignados de acuerdo con Saaty (1980) para el ciclo primavera-verano.

Cuadro 8. Matriz de comparación pareada de criterios para el cultivo de maíz en el ciclo primavera-verano.

Criterios	Índice P/E	Altitud	Profundidad del suelo	Pendiente	Temperatura máxima	Temperatura mínima
Índice P/E	1					
Altitud	1/3	1				
Profundidad del suelo	1/5	1/3	1			
Pendiente	1/5	1/5	1/3	1		
Temperatura máxima	1/9	1/7	1/5	1/3	1	
Temperatura mínima	1/9	1/9	1/7	1/5	1/3	1

A partir de la MCP se obtuvieron los pesos eigenvectores (Cuadro 9). Los resultados mostraron que de acuerdo con la opinión de los especialistas, los criterios de mayor importancia en la definición de las áreas potenciales para la producción de maíz en condiciones de temporal fueron índice P/E, altitud y profundidad del suelo; y los de menor importancia, temperatura máxima y mínima.

Cuadro 9. Pesos eigenvectores de los criterios para el cultivo de maíz, ciclo primavera-verano.

Criterios	Peso
Índice P/E	0.4513
Altitud	0.2662
Profundidad del suelo	0.1418
Pendiente	0.0781
Temperatura máxima	0.0391
Temperatura mínima	0.0236

Los resultados anteriores muestran cierta lógica al considerar que en una condición de temporal la disponibilidad de humedad es un factor crítico para el desarrollo adecuado del cultivo. Con respecto a las condiciones altitudinales del Estado, la zona norte cuenta con los mayores valores y la zona sur con los menores. Al presentar un gradiente altitudinal de norte a sur, este factor determina la adaptación y desarrollo de especies y variedades, de ahí su importancia relativa, lo cual se reflejó en el cálculo de pesos relativos.

Otro factor importante fue la profundidad del suelo, ya que ésta determina en gran parte la adaptación y el crecimiento del cultivo de maíz (Olson y Sander, 1988). Si hay restricciones en este factor, es muy difícil que el cultivo de maíz exprese su máximo potencial de producción. En opinión del especialista, las temperaturas máximas y mínimas no son variables importantes ni restrictivas, debido a las condiciones que presenta el Estado.

Mapa de áreas potenciales para la producción de maíz y cruzamiento con el mapa de cobertura/uso de suelo. El mapa de áreas potenciales para la producción de maíz contaba con una escala de 0-255; sin embargo, para fines prácticos esta escala se reclasificó en 10 categorías, que son las más altas, es decir, las que presentaban muy buen potencial. Con el propósito de afinar los resultados, al mapa de potencial productivo se sobrepuso el mapa de uso/cobertura de suelo proveniente de una imagen Landsat. Las áreas con muy buen potencial estuvieron caracterizadas por temperaturas mínimas superiores a los 6.5 °C durante el ciclo del cultivo, disponibilidad de agua (índice P/E) mayor de 1.4, suelos profundos y de textura media, con pendientes menores de 3%, temperaturas máximas entre 10 y 16 °C durante el ciclo del cultivo y alturas entre 800-2200 msnm.

En la Figura 8 se muestran las áreas con muy buen potencial para la producción de maíz de temporal (categorías 8, 9 y 10), que abarcan 71,791 ha, cifra que supera ampliamente la superficie que se sembró en el 2006 con este cultivo (25,100 ha) en el ciclo primavera-verano (SAGARPA, 2006).

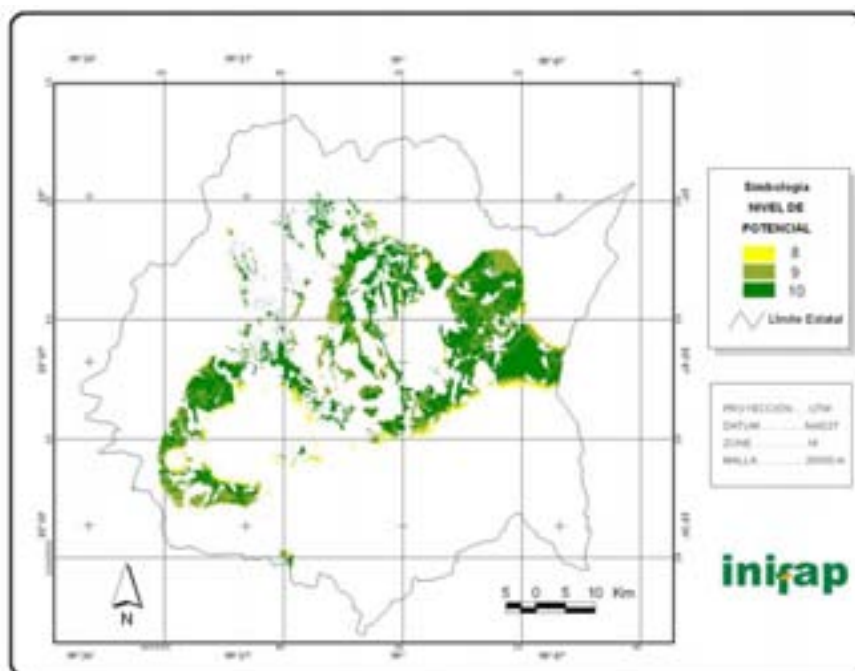


Figura 8. Áreas con potencial para la producción de maíz en Morelos, ciclo primavera-verano.

Verificación en campo. Para la verificación en campo se ubicaron 24 sitios en total. Dieciocho de ellos corresponden a uso agrícola de temporal; los sitios 6, 19, 20 a terrenos de riego; y el resto fueron ubicados en áreas de selva baja caducifolia (sitios 18, 23 y 24). En general se encontró correspondencia alta entre la información de gabinete y la de campo (hubo coincidencia en el 75% de los casos). En tres casos en gabinete se reportó como agricultura de temporal cuando se trataba de agricultura de riego, y en otros casos no coincidió la información de gabinete con la de campo (Cuadro 10).

Cuadro 10. Sitios de verificación de campo y uso de suelo proveniente de la imagen Landsat, ciclo primavera-verano.

No. de sitio	Sitio	Uso de suelo (imagen Landsat)	Uso de suelo (Campo)
1	San Andrés de la Cal, Tepoztlán	Agricultura de temporal	Agricultura de temporal
2	Oaxtepec	“	“
3	Achichipico	“	“
4	Yautepec	“	“
5	La Nopalera	“	“
6	Paraje	<i>Agricultura de temporal</i>	<i>Agricultura de riego</i>
7	Yecapixtla	Agricultura de temporal	Agricultura de temporal
8	Ocuituco	“	“
9	Paraje	“	“
10	Juan Morales	“	“
11	Tetecalita	“	“
12	Unidad 10 de Abril	“	“
13	Temoac	“	“
14	Coatetelco	“	“
15	Paraje	“	“
16	Amayuca	“	“
17	Jantetelco	“	“
18	Paraje	<i>Agricultura de temporal</i>	<i>Selva baja caducifolia</i>
19	Paraje	<i>Agricultura de temporal</i>	<i>Agricultura de riego</i>
20	El Salitre	<i>Agricultura de temporal</i>	<i>Agricultura de riego</i>
21	Paraje	Agricultura de temporal	Agricultura de temporal
22	Paraje	“	“
23	Paraje	<i>Agricultura de temporal</i>	<i>Selva baja caducifolia</i>
24	Paraje	<i>Agricultura de temporal</i>	<i>Selva baja caducifolia</i>

En la Figura 9 se muestra un área típica de agricultura de temporal.



Figura 9. Área típica de temporal en el estado de Morelos

En el Cuadro 11 se puede observar que del total de los sitios muestreados, que correspondieron a agricultura de temporal, en el 61% de ellos la profundidad del suelo fue superior a los 50 cm. Respecto a la altitud, los sitios se ubicaron desde los 944 hasta los 1812 m. En el 56% de los sitios verificados la pendiente fue menor al 5% y en el 39% entre 5-20%. En cuanto a la textura, en el 55% de los sitios se encontraron suelos de textura fina y en el 39% suelos de textura media.

Cuadro 11. Ubicación y descriptores del sitio del levantamiento de campo, ciclo primavera-verano.

No. de sitio	Ubicación		Sitio	Descripción del sitio			
	x	y		Profundidad (cm) ^a	Altura (msnm)	Pendiente ^b	Textura ^c
1	490000	2095000	San Andrés de la Cal, Tepoztlán	2	1349	1	2
2	505000	2090000	Oaxtepec	2	1372	2	3
3	515000	2090000	Achichipico	1	1636	2	2
4	490000	2085000	Yautepec	2	1195	1	2
5	495000	2085000	La Nopalera	2	1208	1	2
6	515000	2085000	Yecapixtla	2	1609	2	3
7	520000	2085000	Ocuituco	1	1812	2	3
8	490000	2080000	Paraje	2	1144	1	3
9	510000	2080000	Juan Morales	2	1431	2	3
10	480000	2075000	Tetecalita	2	1160	2	3
11	510000	2075000	Unidad 10 de Abril	1	1347	2	3
12	520000	2075000	Temoac	2	1530	3	3
13	465000	2070000	Coatetelco	1	990	1	2
14	470000	2070000	Paraje	1	990	1	2
15	520000	2070000	Amayuca	1	1423	1	1
16	525000	2070000	Jantetelco	2	1459	1	2
17	460000	2060000	Paraje	1	976	1	3
18	460000	2055000	Paraje	2	944	1	3

^a Profundidad < 50 cm (1) y > 50 cm (2)

^b Pendiente < 5 % (1), 05 – 20 (2) y > 20% (3)

^c Textura Gruesa (1), Mediana (2) y Fina (3)

Ciclo otoño-invierno

MCP y estimación de pesos. En el Cuadro 12 se presentan los criterios considerados y ordenados con base en la opinión de los especialistas en maíz y los valores asignados de acuerdo con Saaty (1980) para el ciclo otoño-invierno.

Cuadro 12. Matriz de comparación pareada de criterios para el cultivo de maíz de riego, ciclo otoño-invierno.

Criterios	Profundidad del suelo	Pendiente	Temperatura máxima	Altitud	Temperatura mínima
Profundidad del suelo	1				
Pendiente	1/3	1			
Temperatura máxima	1/5	1/3	1		
Altitud	1/7	1/5	1/3	1	
Temperatura mínima	1/9	1/7	1/5	1/3	1

La producción de maíz en el ciclo otoño-invierno se realiza en condiciones de riego; por tal razón, el factor disponibilidad de humedad no fue considerado como un criterio de evaluación. Los criterios de mayor importancia en esta EMC, de acuerdo con la opinión de los especialistas, fueron profundidad del suelo y pendiente, y los de menor importancia, altitud y temperatura mínima (Cuadro 13). Cabe señalar que las áreas productoras de maíz de otoño-invierno se localizan en sitios de menor altitud donde ocurren temperaturas máximas y mínimas elevadas, por lo que no representan variables de carácter restrictivo.

Cuadro 13. Pesos eigenectores de los criterios para el cultivo de maíz, ciclo otoño-invierno.

Criterios	Peso
Profundidad del suelo	0.5128
Pendiente	0.2615
Temperatura máxima	0.1290
Altitud	0.0634
Temperatura mínima	0.0333

Mapa de áreas potenciales para la producción de maíz y sobreposición con el mapa de uso/cobertura de suelo. El mapa de áreas potenciales para la producción de maíz contaba con una escala de 0-255; sin embargo, para fines prácticos, esta escala se reclasificó en 10 categorías, que son las más altas, es decir, las que presentaban muy buen potencial. Con el propósito de afinar los resultados, al mapa de potencial productivo se superpuso el mapa de uso/cobertura de suelo proveniente de la imagen Landsat.

En la Figura 10 se muestran las áreas con muy buen potencial para la producción de maíz en condiciones de riego (categorías 8, 9 y 10) que abarcan 25,474 ha, cantidad muy superior a la que se siembra actualmente en el ciclo otoño-invierno, que es apenas de 1473 ha (SAGARPA, 2006). Al igual que en el ciclo primavera-verano, la superficie sembrada actualmente es mucho menor. La enorme diferencia entre la superficie actual y la potencial muestra la ventana de oportunidad de ejecución de programas de impulso a la producción de maíz o incorporando innovaciones tecnológicas, lo que daría como resultado la obtención de volúmenes importantes de grano que contribuiría de manera significativa al abasto tanto local como nacional de este importante grano.

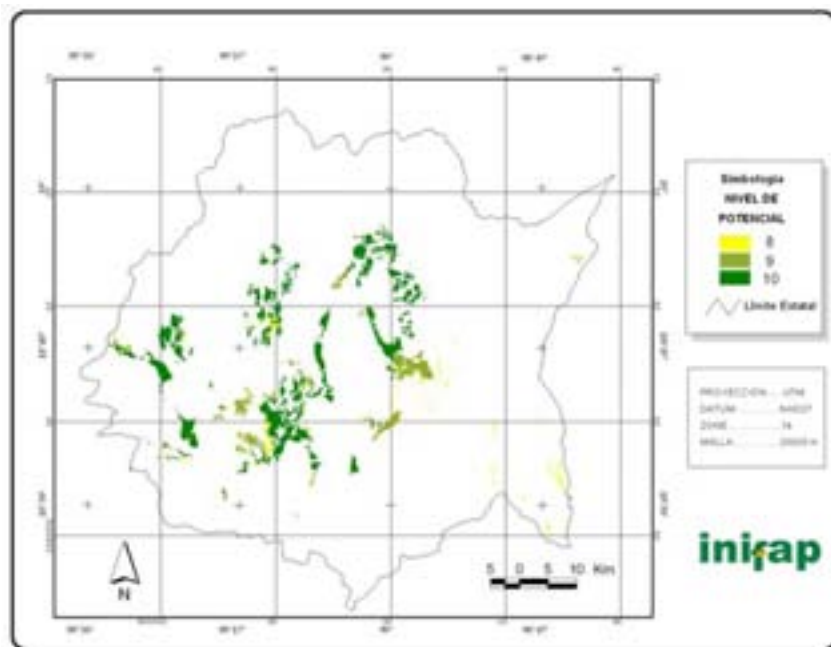


Figura 10. Áreas potenciales para la producción de maíz en el estado de Morelos, ciclo otoño-invierno.

Verificación en campo. En total se ubicaron 20 puntos de verificación en campo (Cuadro 14), los cuales correspondieron a áreas con agricultura de riego.

Cuadro 14. Sitios de verificación en campo y uso de suelo proveniente de la imagen Landsat, ciclo otoño-invierno.

No. de sitio	Localidad	Uso de suelo (imagen Landsat)	Uso de suelo (campo)
1	Col. Ángel, Bocanegra	Agricultura de riego	Agricultura de riego
2	Yautepec	“	“
3	Col Apantles	“	“
4	Yautepec	“	“
5	Ingenio Casasano	“	“
6	Chiconcuac	“	“
7	Coatetelco	“	“
8	Xochitepec	“	“
9	Col. Olintepeç	“	“
10	Paraje	“	“
11	Paraje	“	“
12	Las Estacas	“	“
13	Ahuehuevo	“	“
14	Carretera a Puente de Ixtla	“	“
15	Galeana	“	“
16	Chinameca	“	“
17	San Gabriel	“	“
18	Col. Emiliano Zapata	“	“
19	Higuerón	“	“
20	Los Vázquez	“	“

En general la información reportada en gabinete correspondió al 100% con lo que se encontró en campo (Figura 11).



Figura 11. Área típica de agricultura de riego en el estado de Morelos.

En el Cuadro 15 se puede observar que en el total de los sitios muestreados la profundidad del suelo fue mayor a los 50 cm, y la altitud varió desde los 900 hasta los 1400 m. Respecto a la pendiente, ésta fue menor al 5%, y en el 10% entre 5-20%. En cuanto a la textura, en el 70% de los sitios se registró una textura fina y en el 30% una textura media.

Cuadro 15. Ubicación y descriptores de sitio del levantamiento de campo para el ciclo otoño-invierno.

No. de sitio	Ubicación		Sitio	Profundidad del suelo (cm) ^a	Descripción del sitio		
	x	y			Altura (msnm)	Pendiente ^b	Textura ^c
1	496000	2092000	Col. Ángel, Bocanegra	2	1250	2	3
2	500000	2090000	Yautepec	2	1293	1	2
3	478000	2088000	Col. Apantles	2	1382	2	2
4	496000	2086000	Yautepec	2	1202	1	2
5	502000	2084000	Ingenio Casasano	2	1317	1	3
6	480000	2078000	Chiconcuac	2	1193	1	3
7	460000	2076000	Coatetelco	2	969	1	2
8	476000	2076000	Xochitepec	2	1099	1	2
9	498000	2074000	Col. Olintepec	2	1174	1	3
10	454000	2072000	Paraje	2	946	1	3
11	460000	2070000	Paraje	2	950	1	3
12	488000	2070000	Las Estacas	2	946	1	3
13	506000	2068000	Ahuehuevo	2	1149	1	3
14	474000	2062000	Carretera a Puente de Ixtla	2	978	1	3
15	478000	2062000	Galeana	2	923	1	3
16	500000	2060000	Chinameca	2	1058	1	3
17	464000	2058000	San Gabriel	2	908	1	2
18	484000	2058000	Col. Emiliano Zapata	2	902	1	3
19	478000	2054000	Higuerón	2	850	1	3
20	494000	2052000	Los Vázquez	2	990	1	3

^a Profundidad < 50 cm (1) y > 50 cm (2)

^b Pendiente < 5 % (1), 05 – 20 (2) y > 20% (3)

^c Texturas Gruesa (1), Media (2) y Fina (3)

Al comparar la metodología convencional (enfoque booleano) con la evaluación multicriterio se observa que al utilizar la primera es difícil de entender cuando están involucrados más de cuatro factores (criterios). Además, la mayoría de los procedimientos de sobreposición (utilizados en la metodología convencional) no permiten reconocer el grado de importancia de las variables (criterios).

Estas limitantes de la metodología convencional pueden ser superadas con la EMC, ya que está diseñada para trabajar con varios criterios a la vez y se toman en cuenta las diferencias en la importancia entre criterios (Janssen y Rietved, 1990).

Recientemente la metodología EMC se está utilizando cada vez con mayor frecuencia (Gupta *et al.*, 2000) debido, en parte, a la diversidad de aplicaciones, como por ejemplo en estudios del impacto de políticas para el manejo ambiental y los recursos naturales (Qureshi *et al.*, 1999), la toma de decisiones económico-ambientales (Tiwari *et al.*, 1999) y la estimación de la aptitud de la tierra como una herramienta de planeación para el diseño de patrones de uso del suelo que prevengan conflictos sociales (Bojorquez *et al.*, 2001). La adopción de esta metodología obedece a su utilidad como herramienta que permite tomar decisiones sobre una base racional.

CONSIDERACIONES FINALES

- La información obtenida permitiría apoyar la toma de decisiones sobre el reordenamiento del uso del suelo destinado a la producción agrícola en el estado de Morelos. El establecimiento del cultivo de maíz en áreas con potencial natural, incorporando innovaciones tecnológicas, permitirá el incremento de la productividad, disminución de riesgos y la conservación de los recursos naturales, lo que significa beneficios importantes para los productores.
- La información puede ser útil para la planeación y ejecución de programas estatales y/o federales para el incremento a la productividad agrícola, así como para impulsar acciones de reconversión productiva. Así mismo, la información también sirve de base para implementar programas de apoyo a la generación y transferencia de tecnología.
- La metodología empleada en este trabajo puede ser extrapolada a otros escenarios y con otros cultivos, pudiendo involucrar nuevas variables para enriquecer los resultados.
- Para lograr resultados confiables es condición necesaria contar con bases de datos de calidad. El conocimiento del área de interés y del cultivo es indispensable para aplicar correctamente la metodología propuesta.

LITERATURA CITADA

Ahamed N., T. R., G. K. Rao and S. R. Murthy J. 2000. GIS-based fuzzy membership model for crop-land suitability analysis. *Agricultural Systems*. 63: 75-95.

Aragón P., H. L. 1995. Factibilidades agrícolas y forestales en la República Mexicana. Trillas, México, D. F. 177 p.

Barredo C., J. S. 1996. Sistema de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Ra-Ma Editorial. Madrid, España. 259 p.

Bojorquez T., L. A., S. Díaz M. and E. Ezcurra. 2001. GIS-based approach for participatory decision making and land suitability assessment. *International Journal of Geographical Information Science*. 15(2):129-151.

Bronseveld K., H. Huizing and M. Omakupt. 1994. Improving land evaluation and land use planning. *ITC Journal*. (3): 359-365.

Ceballos-Silva, A. P. and J. López-Blanco. 2003. Delineation of suitable areas for crops using a Multicriteria-Evaluation approach and land use/cover mapping: a case study in Central Mexico. *Agricultural Systems*. 77:117-136. Elsevier, The Netherlands.

Ceballos-Silva and Lopez-Blanco. 2003. Evaluating biophysical variables to identify suitable areas for oat in central Mexico: a multicriteria and GIS approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 95:371-377. Elsevier, The Netherlands.

Corbett J., D. 1996. Dynamic crop environment classification using interpolated climate surfaces. p. 117- 122. *In*: M. F. Goodchild, *et al.* (eds.). *GIS and environmental modeling: progress research issues*. GIS World Book, Fort Collins, Colorado. U.S.A. 486 p.

Doorenbos, J. y H. A. Kassam. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio de la FAO. Riesgo y Drenaje 33. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 212 p.

Eastman, J. R. 1997. IDRISI for windows. User's guide. Version 2.0. Clark University, Worcester, Massachusetts. U.S.A. 178 p.

Eastman, J. R. 1999. Multi-criteria evaluation and GIS. p. 493-502. *In*. Longley, A. P., Goodchild M. F. M D. J. and D. W. Rhind (eds.). *Geographical Information Systems. Principles and Technical Issues*. John Wiley & Sons, U.S.A. 1101 p.

FAO. 1985. Directivas: Evaluación de tierras para la agricultura de secano. Boletín de Suelos de la FAO 52. Roma. 228 p.

FAO. 1998. Ecocrop I & 2. The crop environmental requirements database. Land and water digital media, Series No. 4. December.

Félix V., O. J. 1984. Efectos de algunos factores de clima y manejo sobre el rendimiento y la respuesta del trigo, maíz y algodón a la fertilización en el Valle del Yaqui, Sonora. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Edo. de México. 305 p.

Foth H., D. 1987. Fundamentos de la ciencia del suelo. CECSA, México, D.F. 433 p.

García N., H., R. R. García D., R. Moreno S., J. López B. y M. L. Villers R. 2001. Enfoques Fuzzy y Booleano convencional para clasificar la aptitud agrícola de las tierras. *Agric. Téc. Méx.* 27 (2):107-118.

González A., I. J., J. A. Ruiz C., R. A. Martínez P., K. F. Byerly M., L. Mena H. y J. A. Osuna G. 1998. Determinación del potencial productivo de especies vegetales para el municipio de Santiago Ixcuintla, Nayarit. Santiago Ixcuintla, Nay., México. INIFAP, Campo Experimental Santiago Ixcuintla. p. (Folleto de Investigación No. 16).

González A., I. J., A. Turrent F. y R. Aveldaño S. 1990. Provincias agronómicas de las tierras de labor bajo temporal en México. SARH, INIFAP, México, D.F. 180 p.

Grimaldi A. 1969. *Agronomía*. Editorial Aedos Barcelona. España. 466 pp

Gupta A., P., R. Harboe and M. T. Tabucanon. 2000. Fuzzy multiple-criteria decision making for crop area planning in Narmada river basin. *Agricultural Systems*. 63: 1-18.

Grimaldi A. 1969. *Agronomía*. Aedos, Barcelona, España. 466 p.

INEGI sitio web: <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/mor/>

INEGI. 1999. Marco Geoestadístico.

INEGI. 2000. Marco Geoestadístico.

INEGI. 1981. Carta estatal de suelos 1:250 000.

INEGI. Carta de uso de suelo y vegetación 1:1 000 000 y 1 250 000.

Janssen R. and P. Reitved. 1990. Multicriteria analysis and GIS: An application to agriculture landuse in The Netherlands. p. 129-138. *In*: H. Scholten and J. Stilwell (eds.). *Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning*. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands. 2060 p.

Jugenheimer, R. W. 1970. *Corn improvement, seed production and uses*. John Wiley & Sons. 670 p.

Kutter, A., F. O. Nachtergaele and W. H. Verheye. 1997. The new FAO approach to land use planning and management, and its application in Sierra Leone. *ITC Journal*. (3-4): 278-283.

Llanos C., M. 1984. *El maíz. Su cultivo y aprovechamiento*. Mundi-Prensa, España. 317 p.

Malczewski, J. 1999. *GIS and multicriteria decision analysis*. John Wiley & Sons. U.S.A. 392 p.

Martínez B., O. U. y G. J. Lara G. 2003. Potencial productivo de áreas de temporal en el estado de Coahuila: una propuesta de conversión productiva. INIFAP, Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah., México. p. (Publicación Especial No. 1).

Medina G., G. y J. A. Ruiz C. 2003. SICA: Sistema de Información para Caracterizaciones Agroclimáticas. Versión 2.5. Calera de Víctor Rosales, Zac., México. INIFAP, Campo Experimental Calera. p.

Meza S., R. y D. D. Reygadas P. 2001. Áreas potenciales y tecnología de producción de cultivos en el Valle de Santo Domingo, B.C.S. La Paz, B.C.S., México. INIFAP, Campo Experimental Todos Santos. p. (Publicación Técnica No. 1.)

Olson, R. A. and D. H. Sander. 1988. Corn production. p 639-650. *In:* G. F. Sprague and J. W. Dudley. Corn and corn improvement. 3rd. ed. Number 18 AASA-CSSA-SSSA publisher. Madison, WI, U.S.A.

Qureshi, M. E., S. R. Harrison and M. K. Wegener. 1999. Validation of multicriteria analysis models. *Agricultural Systems*. 62:105-116.

Ruiz C., J. A., G. Medina G., I. J. González A., C. Ortiz T., H. E. Flores L., R. A. Martínez P. y K. F. Byerly M. 1999. Requerimientos agroclimáticos de cultivos. SAGAR, INIFAP, Campo Experimental Centro de Jalisco. Guadalajara, Jalisco, México. (Libro Técnico Núm. 3).

Saaty, T. L. 1980. The analytic hierarchy process. Planning priority setting, resource allocation. Mc Graw Hill. U.S.A. 287p.

Shander W.D., and Pierre J.J. 1967. Soil Suitability and Cropping Systems. Pp. 5-22. *In:* Advances in corn production. Principles and practices. Eds. Pierre W.H., Aldrich S.R., and Martin W.P. The Iowa State University Press. Building Ames, Iowa. USA

SAGARPA. 2006. SIAP Fichas técnicas por estado (Datos hasta julio 2006). http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comfichedos.html

Shaw, R. H. 1988. Climate requirement. p. 609-617. *In:* G. F. Sprague and J. W. Dudley (eds.). Corn and corn improvement. 3rd ed. Number 18. ASSA-CSSA-SSSA publisher. Madison, WI. U.S.A.

Terrones R., T. del R. L., H. García N. y M. A. Hernández M. 2007. Potencial agroforestal con arbustivas nativas. Estado de Guanajuato. Celaya, Gto., México. INIFAP, Campo Experimental Bajío. 36 p. (Folleto Técnico No. 1).

Tiwari, D. N., R. Loof and G. N. Paudyal. 1999. Environmental-economic decision-marking in lowland irrigated agriculture using multicriteria analysis techniques. *Agricultural Systems*. 60:99-112.