



Universidad Autónoma del Estado de México  
Facultad de Geografía

**Determinación de zonas óptimas para el cultivo de  
productos agrícolas en el Estado de México, utilizando  
Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información  
Geográfica**

Reporte final para obtener el grado de:

Especialista en Cartografía Automatizada, Teledetección y  
Sistemas de Información Geográfica

18a. Promoción

Presenta:

**Lic. en P.T. Arlen Rojas Guadarrama**

Asesor:

**Dr. en Geog. Noel B. Pineda Jaimes**

*Toluca, México; Febrero de 2014.*



## Resumen

El presente documento tiene como objetivo determinar las zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica. Se conforma de cuatro capítulos, en el primero se lleva a cabo una breve descripción del área de estudio, de los antecedentes de la producción agrícola y de los principales requerimientos ambientales para el cultivo de hortalizas.

5

En el segundo capítulo, se realiza una construcción de la base teórica y conceptual de los Sistemas de Información Geográfica y la Evaluación Multicriterio, ya que constituyen una importante herramienta para el análisis y gestión del territorio.

En el tercer capítulo, se establece la metodología utilizada para efectuar la Evaluación Multicriterio a través de los Sistemas de Información Geográfica y determinar las zonas más óptimas para el cultivo de papa, chícharo, cebolla, lechuga, tomate y zanahoria en el Estado de México, del mismo modo, se incorporan las variables ambientales utilizadas y el desarrollo de los procedimientos para alcanzar el objetivo.

Y finalmente en el cuarto capítulo, se presentan los resultados obtenidos para cada producto agrícola y su comparación con los municipios que actualmente producen dichos productos como cultivo de temporal. Adicionalmente, en el apartado de conclusiones se mencionan las ventajas y desventajas de la Evaluación Multicriterio, y las aportaciones que surgen de la implementación del modelo.



# Contenido

<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>2</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>11</b>
<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
GENERAL.....	13
PARTICULARES.....	13
<b>CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN EL ESTADO DE MÉXICO .....</b>	<b>14</b>
1.1 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	15
1.1.1 Localización.....	15
1.1.2 Relieve y morfología .....	16
1.1.3 Clima y temperatura .....	16
1.1.4 Hidrología .....	17
1.1.5 Uso del suelo.....	17
1.1.6 Población .....	18
1.2 ACTIVIDADES AGRÍCOLAS EN EL ESTADO DE MÉXICO.....	18
1.2.1 Producción agrícola .....	18
1.2.2 Principales productos agrícolas .....	21
1.2.2 Requerimientos ambientales para el cultivo de papa.....	26
1.2.3 Requerimientos ambientales para el cultivo de chícharo .....	28
1.2.4 Requerimientos ambientales para el cultivo de cebolla .....	29
1.2.5 Requerimientos ambientales para el cultivo de lechuga .....	31
1.2.6 Requerimientos ambientales para el cultivo de tomate .....	32
1.2.7 Requerimientos ambientales para el cultivo de zanahoria.....	33
1.2.8 Otros requerimientos ambientales importantes para la agricultura .....	35

Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando





<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO- CONCEPTUAL .....</b>	<b>39</b>
2.1 LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	40
2.1.1 Antecedentes .....	40
2.1.2 Definición .....	41
2.1.3 Funciones operacionales.....	43
2.2 EVALUACIÓN MULTICRITERIO .....	44
2.2.1 Antecedentes y definición de Evaluación Multicriterio .....	44
2.2.2 Elementos de la EMC en el entorno de los SIG.....	45
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA .....</b>	<b>48</b>
3.1 INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA Y PLATAFORMAS TECNOLÓGICAS.....	49
3.2 MÉTODOS.....	51
3.3 CRITERIOS.....	54
3.3.1 Factores .....	54
3.3.2 Restricciones .....	75
3.4 APLICACIÓN DE LA EVALUACIÓN MULTICRITERIO (EMC).....	77
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS .....</b>	<b>79</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>92</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>93</b>

## Índice de Cuadros

CUADRO 1 POBLACIÓN TOTAL NACIONAL Y DEL ESTADO DE MÉXICO, 2000-2010.....	18
CUADRO 2 PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN EL ESTADO DE MÉXICO, 2000, 2005 Y 2010.....	20
CUADRO 3 PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN GRANO Y AVENA FORRAJERA, ESTADO DE MÉXICO 2010.....	22
CUADRO 4 PRODUCCIÓN DE CEBADA Y AVENA EN GRANO, ESTADO DE MÉXICO 2010.....	22
CUADRO 5 PRODUCCIÓN DE TOMATE ROJO Y PAPA, ESTADO DE MÉXICO 2010.....	23
CUADRO 6 PRODUCCIÓN DE ZANAHORIA Y CHÍCHARO, ESTADO DE MÉXICO 2010.....	24
CUADRO 7 PRODUCCIÓN DE CEBOLLA Y LECHUGA, ESTADO DE MÉXICO 2010.....	24
CUADRO 8 VARIEDADES DE PAPA RECOMENDABLES, ESTADO DE MÉXICO 2014.....	27
CUADRO 9 VARIEDADES DE LECHUGA RECOMENDABLES, ESTADO DE MÉXICO 2014.....	31
CUADRO 10 VARIEDADES DE TOMATE ROJO RECOMENDABLES, ESTADO DE MÉXICO 2014.....	32
CUADRO 11 VARIEDADES DE TOMATE ROJO RECOMENDABLES, ESTADO DE MÉXICO 2014.....	34

Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando



Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica



Especialidad en Cartografía Automatizada, Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (2014)

CUADRO 12 GRUPOS DE SUELO EXISTENTES EN EL ESTADO DE MÉXICO, USOS Y CARACTERÍSTICAS 2007.....35

CUADRO 13 COBERTURAS UTILIZADAS. ....49

CUADRO 14 UMBRALES ÓPTIMOS PARA EL CULTIVO DE PAPA, CHÍCHARO O CEBOLLA. ....54

CUADRO 15 UMBRALES ÓPTIMOS PARA EL CULTIVO DE LECHUGA, TOMATE O ZANAHORIA. ....55

CUADRO 16 VALORES DE ADECUACIÓN PARA EL FACTOR ALTITUD. ....57

CUADRO 17 VALORES DE ADECUACIÓN PARA EL FACTOR TEMPERATURA. ....59

CUADRO 18 TIPOS DE CLIMA CLASIFICADOS SEGÚN GRADO DE IDONEIDAD. ....61

CUADRO 19 MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES, CLIMA. ....61

CUADRO 20 VALORES DE PONDERACIÓN DEL FACTOR CLIMA. ....63

CUADRO 21 CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN GRADO DE IDONEIDAD. ....65

CUADRO 22 MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES, SUELOS. ....65

CUADRO 23 TEXTURA DEL SUELO.....68

CUADRO 24 CLASIFICACIÓN DE TEXTURA DEL SUELO SEGÚN GRADO DE IDONEIDAD. ....68

CUADRO 25 MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES, TEXTURA DEL SUELO. ....69

CUADRO 26 VALORES DE PONDERACIÓN DEL FACTOR TEXTURA DEL SUELO. ....69

CUADRO 27 PROFUNDIDAD DEL SUELO.....72

CUADRO 28 VALORES DE PONDERACIÓN DEL FACTOR PROFUNDIDAD DEL SUELO. ....72

CUADRO 29 CLASIFICACIÓN DE PROFUNDIDAD DEL SUELO SEGÚN GRADO DE IDONEIDAD. ....73

CUADRO 30 MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES, PROFUNDIDAD DEL SUELO. ....73

CUADRO 31 CLASIFICACIÓN DE LOS FACTORES Y PUNTUACIÓN FINAL DE PESOS. ....77

**Índice de Figuras**

FIGURA 1 MAPA DE LOCALIZACIÓN DEL ESTADO DE MÉXICO. ....15

FIGURA 2 DISTRITOS DE DESARROLLO RURAL EN EL ESTADO DE MÉXICO, 2014.....19

FIGURA 3 VALOR DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN EL ESTADO DE MÉXICO, 2000-2010.....21

FIGURA 4 RENDIMIENTO PRODUCTIVO, PRODUCTOS AGRÍCOLAS EN EL ESTADO DE MÉXICO 2010. ....25

FIGURA 5 PRECIO DE MERCADO POR RENDIMIENTO (PMR), PRODUCTOS AGRÍCOLAS EN EL ESTADO DE MÉXICO 2010. ....25

FIGURA 6 SISTEMA DE INTEGRACIÓN ENTRE SIG Y EMC.....47

FIGURA 7 COBERTURAS UTILIZADAS. ....50

FIGURA 8 ESCALA DE MEDIDA PARA LA ASIGNACIÓN DE JUICIOS, MÉTODO DE COMPARACIÓN POR PARES DE SAATY. ....51

FIGURA 9 FUNCIONES DE NORMALIZACIÓN, MÓDULO *Fuzzy*. ....53

FIGURA 10 SUMATORIA LINEAL PONDERADA. ....53

FIGURA 11 NORMALIZACIÓN DE LA ALTITUD MEDIANTE UNA FUNCIÓN DIFUSA, TOMATE. ....56

FIGURA 12 MAPA DE ALTITUD NORMALIZADO, TOMATE.....56

FIGURA 13 NORMALIZACIÓN DE LA PENDIENTE MEDIANTE UNA FUNCIÓN DIFUSA.....57

FIGURA 14 MAPA DE PENDIENTE NORMALIZADO. ....58

FIGURA 15 NORMALIZACIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIANTE UNA FUNCIÓN DIFUSA. ....58

FIGURA 16 MAPA DE TEMPERATURA NORMALIZADO. ....59

FIGURA 17 NORMALIZACIÓN DE LA PROXIMIDAD A CORRIENTES Y CUERPOS DE AGUA MEDIANTE UNA FUNCIÓN DIFUSA.....60

Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando





Especialidad en Cartografía Automatizada, Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (2014)

FIGURA 18 MAPAS DE PROXIMIDAD A CORRIENTES Y CUERPOS DE AGUA NORMALIZADOS. ....	60
FIGURA 19 MÓDULO PARA LA DEFINICIÓN DE PESOS, CLIMA. ....	62
FIGURA 20 MÓDULO PARA LA ASIGNACIÓN DE PESOS (MÓDULO <i>RECLASS</i> ), CLIMA. ....	62
FIGURA 21 MAPA DE CLIMAS PONDERADO. ....	63
FIGURA 22 NORMALIZACIÓN DEL MAPA DE CLIMAS PONDERADO MEDIANTE UNA FUNCIÓN DIFUSA.....	64
FIGURA 23 MAPA DE CLIMAS NORMALIZADO. ....	64
FIGURA 24 MÓDULO PARA LA DEFINICIÓN DE PESOS, SUELOS.....	66
FIGURA 25 MÓDULO PARA LA ASIGNACIÓN DE PESOS (MÓDULO <i>RECLASS</i> ), SUELOS.....	66
FIGURA 26 MAPA DE SUELOS PONDERADO. ....	67
FIGURA 27 NORMALIZACIÓN DEL MAPA DE SUELOS PONDERADO MEDIANTE UNA FUNCIÓN DIFUSA. ....	67
FIGURA 28 MAPA DE SUELOS NORMALIZADO. ....	68
FIGURA 29 MÓDULO PARA LA DEFINICIÓN DE PESOS, TEXTURA DE SUELO. ....	69
FIGURA 30 MAPA DE TEXTURA DEL SUELO PONDERADO. ....	70
FIGURA 31 NORMALIZACIÓN DEL MAPA DE TEXTURA DEL SUELO PONDERADO MEDIANTE UNA FUNCIÓN DIFUSA. ....	71
FIGURA 32 MAPA DE TEXTURA DEL SUELO NORMALIZADO. ....	71
FIGURA 33 MÓDULO PARA LA DEFINICIÓN DE PESOS, PROFUNDIDAD DE SUELO.....	73
FIGURA 34 MAPA DE PROFUNDIDAD DEL SUELO PONDERADO. ....	74
FIGURA 35 NORMALIZACIÓN DEL MAPA DE PROFUNDIDAD DEL SUELO PONDERADO MEDIANTE UNA FUNCIÓN DIFUSA. ....	74
FIGURA 36 MAPA DE PROFUNDIDAD DEL SUELO NORMALIZADO. ....	75
FIGURA 37 MAPAS DE RESTRICCIONES. ....	76
FIGURA 38 MÓDULO PARA LA EVALUACIÓN MULTICRITERIO EN IDRISI (MÓDULO MCE).....	77
FIGURA 39 MAPAS DE ZONAS ÓPTIMAS. ....	78
FIGURA 40 MUNICIPIOS CON MAYOR SUPERFICIE DISPONIBLE DE ALTA APTITUD PARA EL CULTIVO DE CEBOLLA EN EL ESTADO DE MÉXICO. ....	80
FIGURA 41 MAPA DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL CULTIVO DE CEBOLLA, ESTADO DE MÉXICO. ....	81
FIGURA 42 MUNICIPIOS CON MAYOR SUPERFICIE DISPONIBLE DE ALTA APTITUD PARA EL CULTIVO DE CHÍCHARO EN EL ESTADO DE MÉXICO.....	82
FIGURA 43 MAPA DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL CULTIVO DE CHÍCHARO, ESTADO DE MÉXICO.....	83
FIGURA 44 MUNICIPIOS CON MAYOR SUPERFICIE DISPONIBLE DE ALTA APTITUD PARA EL CULTIVO DE LECHUGA EN EL ESTADO DE MÉXICO. ....	84
FIGURA 45 MAPA DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL CULTIVO DE LECHUGA, ESTADO DE MÉXICO. ....	85
FIGURA 46 MUNICIPIOS CON MAYOR SUPERFICIE DISPONIBLE DE ALTA APTITUD PARA EL CULTIVO DE PAPA EN EL ESTADO DE MÉXICO.....	86
FIGURA 47 MAPA DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL CULTIVO DE PAPA, ESTADO DE MÉXICO.....	87
FIGURA 48 MUNICIPIOS CON MAYOR SUPERFICIE DISPONIBLE DE ALTA APTITUD PARA EL CULTIVO DE TOMATE EN EL ESTADO DE MÉXICO. ....	88
FIGURA 49 MAPA DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL CULTIVO DE TOMATE, ESTADO DE MÉXICO. ....	89
FIGURA 50 MUNICIPIOS CON MAYOR SUPERFICIE DISPONIBLE DE ALTA APTITUD PARA EL CULTIVO DE ZANAHORIA EN EL ESTADO DE MÉXICO.....	90
FIGURA 51 MAPA DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL CULTIVO DE ZANAHORIA, ESTADO DE MÉXICO.....	91

Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando



Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica

## Introducción

Actualmente, el campo mexicano se enfrenta a grandes desafíos. La tenencia de la tierra ha generado por un lado, agudos procesos de fragmentación de la propiedad agraria y por el otro, la concentración de tierras propiedad de unos cuantos productores; reflejándose en una baja productividad, competitividad y rentabilidad del campo, y diferencias de oportunidades entre agricultores (Torres y Morales, 2011).

10

Aunado a ello, el bajo acceso al financiamiento para la producción, la falta de apoyo para el acopio y comercialización de los productos, y las disparidades tecnológicas entre los agricultores mexicanos y sus competidores, han contribuido al abandono de las actividades agropecuarias.

El cambio demográfico también ha sido factor importante en el rezago del agro mexicano, la inversión de las proporciones de población urbana y rural respecto al siglo XX, el envejecimiento de la PEA ocupada en el sector, la feminización del agro y la migración masiva, no sólo ha afectado a la producción local sino también a la generación de aprendizajes en torno a la agricultura (Torres y Morales, 2011).

Cuando se habla de pobreza rural el panorama es aún más desolador. Las políticas públicas para impulsar el desarrollo rural se han enfocado mayoritariamente en erradicar la pobreza a través de la implementación de programas asistenciales, tal es el caso el Programa de Desarrollo Humano Oportunidades (Oportunidades) y el Programa Especial Concurrente para el Desarrollo Rural Sustentable (PEC). Los resultados no han sido los esperados porque no se han orientado a la generación de capacidades, el gasto destinado al Programa Oportunidades superó los 5.8 millones de pesos en el año 2011 (sin considerar los gastos en salud) y sin embargo, para el año 2012 según el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) más del 60% de la población rural vivía en condiciones deplorables.

Las actividades agropecuarias han influido ampliamente en el cambio climático y la degradación del medio ambiente; especialmente en la sobreexplotación de los mantos



freáticos, ya que más del 77% del agua es destinada a actividades agropecuarias; la contaminación de los acuíferos como resultado del vertido de aguas residuales y desechos agropecuarios; la degradación de los suelos debido al exceso de fertilizantes, pesticidas y otros productos químicos que han enfermado la tierra; son temas que deben abordarse a la brevedad por poner en riesgo no sólo a las actividades del campo sino al país en general (Torres y Morales, 2011).

Por otra parte, las Tecnologías de la Información, incluyendo los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y sus aplicaciones, se han convertido en herramientas eficientes para resolver problemas complejos de planificación y gestión del territorio.

Bajo esta premisa, el reporte técnico tiene como objetivo determinar zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas considerando las características ambientales del Estado de México, a través del uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Evaluación Multicriterio (EMC), a fin de proporcionar a los productores y organismos correspondientes alternativas que les permitan, junto con asesoría técnica, innovar la producción agrícola.

## Planteamiento del problema

La falta de mecanismos automatizados que minimicen los costos y tiempos que conllevan el trabajo de campo para resolver problemas complejos en el territorio, es una de las principales razones por la cual es implementada la Evaluación Multicriterio en los Sistemas de Información Geográfica.

El estudio del suelo y de las características ambientales de la entidad para la determinación de zonas óptimas de cultivo como investigación documental y de campo podría llevar varios años, no obstante, el uso de la tecnología ha venido a auxiliar el trabajo de campo, reduciendo tiempo y costos al proyecto, obteniendo interesantes resultados. Es importante mencionar que el desarrollo de este tipo de modelos está estrechamente relacionado con la calidad de los datos espaciales y de ella dependerá la calidad de los resultados que se obtengan.







## Justificación

Las innovaciones tecnológicas han venido a revolucionar el estudio del territorio. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) hoy en día, abarcan diversas áreas para el análisis y solución de problemas espaciales complejos, alcanzando logros importantes que han influido de manera considerable en la toma de decisiones. Por lo que los SIG son considerados herramientas poderosas para la planificación y gestión del territorio.

12

Los procedimientos de Evaluación Multicriterio (EMC) a través de los Sistemas de Información Geográficas (SIG) van en aumento y se han obtenido interesantes resultados en la búsqueda de localizaciones óptimas para diversas actividades (Gómez y Barredo, 2005).

Dado lo anterior, es menester desarrollar la relación de EMC y SIG en la determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, la cual ofrezca alternativas más allá de las tradicionales para optar por el cultivo de otros productos agrícolas que incrementen la producción y el valor agregado de la misma.



## Objetivos

### General

- Determinar las zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Evaluación Multicriterio (EMC).

### Particulares

- Identificar y analizar las variables ambientales más significativas para el cultivo de papa, chícharo, cebolla, lechuga, tomate y zanahoria en el Estado de México.
- Determinar los parámetros por variable y por producto agrícola.
- Establecer los pesos a cada variable según su importancia para el cultivo de los productos agrícolas.
- Establecer las restricciones tanto naturales como sociales más importantes para descartar las zonas no aptas.
- Normalizar la información espacial para realizar la Evaluación Multicriterio.
- Efectuar la Evaluación Multicriterio (EMC) utilizando como regla de decisión la Sumatoria Lineal Ponderada y mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).
- Elaborar cartografía de la distribución espacial de las zonas aptas para el cultivo de los productos agrícolas.





## Capítulo 1. Antecedentes de la producción agrícola en el Estado de México

Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando



Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica

En el siguiente capítulo se establece un panorama general de la zona de estudio, de la producción agrícola en el Estado de México y de los principales requerimientos ambientales para el cultivo de papa, chícharo, cebolla, lechuga, jitomate y zanahoria.

## 1.1 Características del área de estudio

A continuación se realiza una revisión general de las características más sobresalientes del Estado de México, siendo el área de estudio de la investigación.

### 1.1.1 Localización

El Estado de México se localiza en el centro del país y se encuentra rodeado con ocho estados, al norte colinda con los estados de Hidalgo y Querétaro, al sur con el Distrito Federal, Morelos y Guerrero, al este con Tlaxcala y Puebla y al oeste con Michoacán.

Tiene una extensión de 22,351 kilómetros cuadrados, ocupa el lugar 25 a nivel nacional y representa al 1.1% de la superficie del país. Se localiza entre los paralelos 18° 21' y 20° 17' de latitud norte y los meridianos 98° 35' y 100° 36' de longitud oeste. Está integrado por 125 municipios siendo su capital Toluca de Lerdo (INEGI, 2014).

**Figura 1 Mapa de localización del Estado de México.**



Fuente: Elaboración propia.



### 1.1.2 Relieve y morfología

El relieve en la entidad es variado. La superficie estatal forma parte del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur. Al suroeste, se presenta una sierra conformada por rocas metamórficas, sedimentarias, ígneas intrusivas e ígneas extrusivas o volcánicas; y un valle ubicado entre serranías. En esta zona se encuentra la altura más baja de la entidad con 400 msnm siendo el cañón formado por el río San Pedro (INEGI, 2014).

16

En el centro se conforma por sierras de origen ígneo extrusivo o volcánico, volcanes de edad geológica cuaternaria y valles, incluyéndose también depresiones que dieron origen al lago de Texcoco. Al sureste se presenta la elevación más importante de la entidad, el Volcán Popocatepetl con 5,500 msnm, siendo la altitud máxima del estado (ídem, 2014).

### 1.1.3 Clima y temperatura

El clima predominante es el templado subhúmedo, presentándose en el 73% de la entidad y se localiza en los valles altos del norte, centro y este; el 21% es clima cálido subhúmedo localizado hacia el suroeste; el 6% es seco y semiseco presente en el noreste; y el clima frío con el 0.16%, se vislumbra en las partes altas de los volcanes (INEGI, 2014).

La temperatura media anual es de 14.7°C. Las temperaturas más bajas se registran en los meses de enero y febrero, es alrededor de 3.0°C. La temperatura máxima promedio se percibe en los meses de abril y mayo, oscila entre los 25°C. El Nevado de Toluca registra la temperatura más baja del país, siendo de 3.9°C media anual (ídem, 2014).

Las lluvias se hacen presentes en los meses de junio a septiembre durante el verano, la precipitación media de la entidad es de 900 mm anuales (INEGI, 2014).



### 1.1.4 Hidrología

El Estado de México forma parte de las tres regiones hidrológicas más importantes del país: Panuco, Lerma-Chapala-Santiago y Balsas (GEM, 2008).

La región del Panuco se conforma por una sola cuenca que cubre la parte norte y este de la entidad, presenta abundantes recursos que han sido seriamente afectados, como los lagos de Texcoco y Chalco. Se conforma también por corrientes perennes e intermitentes, sobresaliendo los ríos: Cuautitlán, Salado, Los Órganos y el Ñadó (ídem, 2008).

La región del Lerma-Chapala-Santiago abarca la zona centro-occidente de la entidad con una superficie de 539,545 hectáreas. La corriente de agua más sobresaliente es el Río Lerma, el cual nace en el municipio de Almoloya del Río y tiene un trayecto de 178 km. hasta el municipio de Temascalcingo, ubicado al noroeste de la entidad, su cauce atraviesa los estados de Michoacán, Jalisco y Nayarit, desembocando en el Océano Pacífico con el nombre de Río Santiago (GEM, 2008).

La región Balsas comprende la zona sur con una superficie de 957,154 hectáreas; cubre las áreas de Valle de Bravo y Coatepec Harinas y pequeños sectores de la parte oriente del estado, y se caracteriza por situarse sobre terrenos montañosos y pequeños valles (ídem, 2008).

### 1.1.5 Uso del suelo

De acuerdo al Plan Estatal de Desarrollo Urbano 2008, los usos predominantes en la entidad corresponden a la agricultura y bosque, con 47.59% y 26.76% respectivamente; seguido del pastizal con 15.09%, y la selva ubicada al sur y suroeste del estado representa el 4.35%. Los usos urbanos conforman el 3.78% del territorio estatal, mientras que el resto corresponde al uso especial, el cual incluye a los cuerpos de agua, matorral y otros tipos de vegetación con 2.41%.



### 1.1.6 Población

El comportamiento de la población en la entidad ha tenido cambios significativos al largo del tiempo y se ha colocado como la más poblada del país. En 1950, representaba al 5.4% de la población nacional y en 2000 era ya el 13.43% (GEM, 2008). En cuanto a la distribución territorial, se observa que en la entidad la población se concentra mayoritariamente en localidades urbanas, en el año 2000 era el 86.32% de la población total estatal y el 13.68% restante era consideradas población rural, dato que se ha mantenido constante con decrementos menores hasta al año 2010. A nivel nacional estos datos representan el 76.81% y 23.19%, respectivamente (ver cuadro 1).

**Cuadro 1 Población Total Nacional y del Estado de México, 2000-2010.**

	Población Total Nacional			Población Estado de México		
	2000	2005	2010	2000	2005	2010
Total	97,483,412	103,263,388	112,336,538	13,096,686	14,007,495	15,175,862
% Población Rural	25.36	23.51	23.19	13.68	12.90	13.01
% Población Urbana	74.64	76.49	76.81	86.32	87.10	86.99

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2000, 2005 y 2010).

## 1.2 Actividades agrícolas en el Estado de México

En este apartado se lleva a cabo un análisis de la producción agrícola y de las principales características ambientales para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México.

### 1.2.1 Producción agrícola

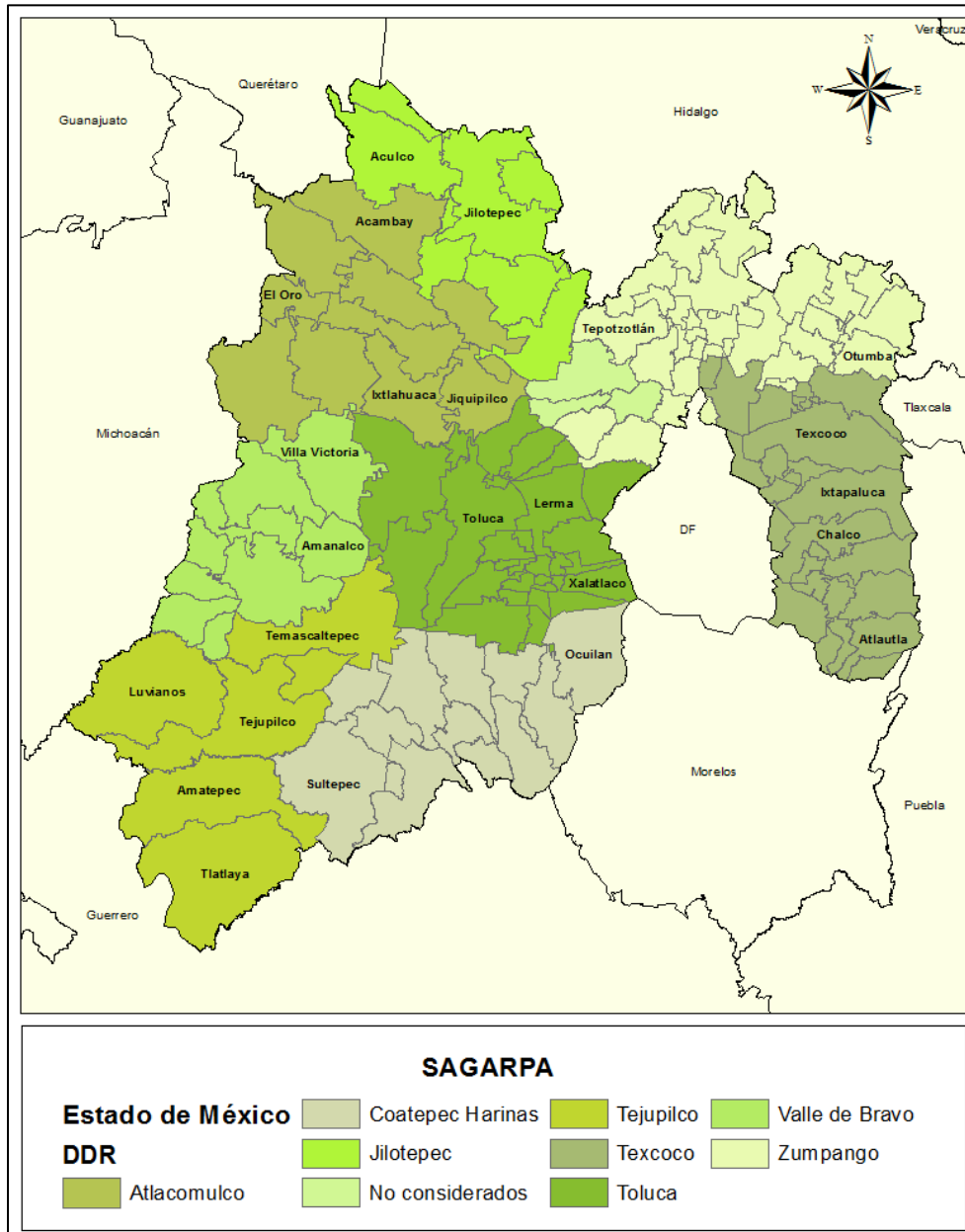
Para coordinar y concentrar a los productores, los gobiernos estatales y municipales, y las diferentes áreas de la Secretaría, y otorgar información y orientación de manera oportuna, referente a los programas y servicios que ofrece, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) se encuentra estructurada a nivel nacional por 33 Delegaciones, 192 Distritos de Desarrollo Rural y 713 Centros de Apoyo al Desarrollo Rural.

La delegación del Estado de México se conforma por ocho Distritos de Desarrollo Rural (DDR): Toluca (distrito 73), Zumpango (distrito 74), Texcoco (distrito 75), Tejupilco (distrito 76),



Atacomulco (distrito 77), Coatepec Harinas (distrito 78), Valle de Bravo (distrito 79) y Jilotepec (distrito 80), dando atención a los productores de los municipios de la entidad (ver figura 2).

**Figura 2 Distritos de Desarrollo Rural en el Estado de México, 2014.**



Fuente: Elaboración propia con base en SAGARPA, 2014.

Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando





En lo que respecta a la producción agrícola, en el año 2000 se sembraron 920 mil 297.65 hectáreas en la entidad, de las cuales fueron cosechadas 914 mil 853.15 hectáreas con un valor de producción de poco más de 9 millones de pesos. En 2005 se redujeron las hectáreas sembradas a 892 mil 914 y se cosecharon 824 mil 001.55 con un valor de producción superior a los 10 millones de pesos. Y para 2010 la superficie sembrada fue de 890 mil 169.69 hectáreas, de la cual se cosecharon 842 mil 636.95 hectáreas con un valor de producción mayor a los 14 millones (ver cuadro 2).

**Cuadro 2 Producción Agrícola en el Estado de México, 2000, 2005 y 2010.**

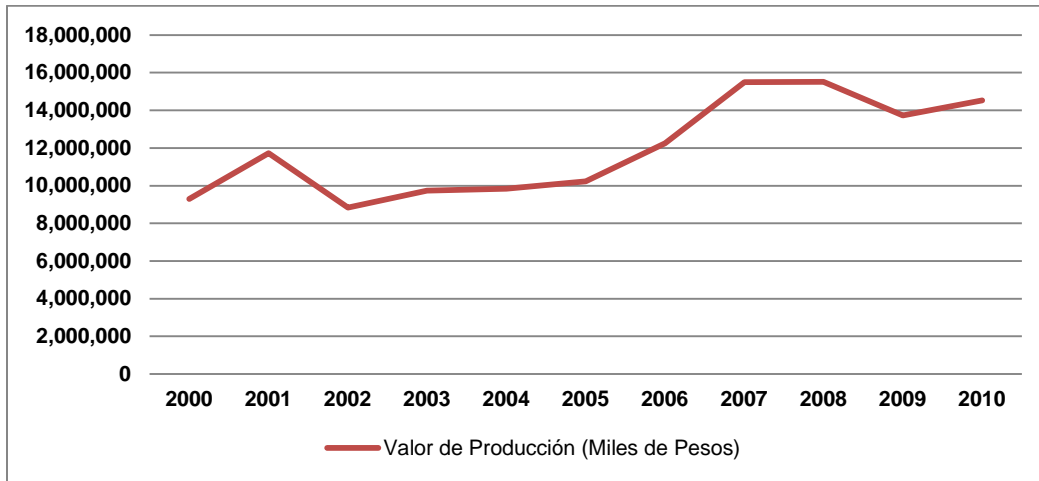
Distritos de Desarrollo Rural (DDR)	2000			2005			2010		
	Superficie Sembrada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Valor Producción (Miles de Pesos)	Superficie Sembrada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Valor Producción (Miles de Pesos)	Superficie Sembrada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Atlacomulco	185,949.00	181,323.00	930,676.28	182,412.00	151,147.00	1,005,413.31	186,630.20	186,387.20	2,333,304.58
Coatepec Harinas	78,572.00	78,540.50	2,260,599.72	76,992.50	76,867.50	3,396,490.54	71,790.20	70,811.20	4,241,780.04
Jilotepec	61,244.75	61,013.75	458,397.54	60,939.00	58,115.79	513,421.22	63,140.00	62,315.00	740,901.70
Tejupilco	127,878.50	127,878.50	1,775,009.80	133,200.75	132,878.75	1,373,980.96	128,558.29	128,552.29	1,517,973.44
Texcoco	78,873.50	78,712.50	1,004,389.62	70,918.25	69,824.25	962,714.12	68,721.50	68,648.50	1,217,721.40
Toluca	151,513.90	151,145.90	1,166,149.57	149,777.20	136,641.77	960,041.32	151,625.00	150,163.00	1,946,874.78
Valle de Bravo	84,438.00	84,411.00	453,082.28	72,074.00	62,560.87	615,972.38	74,678.50	73,035.50	1,159,790.17
Zumpango	151,828.00	151,828.00	1,244,017.22	146,600.30	135,965.62	1,405,106.76	145,026.00	102,724.26	1,368,992.79
Total	920,297.65	914,853.15	9,292,322.03	892,914.00	824,001.55	10,233,140.61	890,169.69	842,636.95	14,527,338.90

Fuente: Elaboración propia con base en OEIDRUS (2000, 2005 y 2010).

La superficie sembrada se ha reducido en los últimos años en la entidad, no obstante, el valor de producción ha aumentado. El valor de producción más elevado durante el periodo 2000-2010, se obtuvo en el año 2008 siendo de 15 millones 519 mil 690.39 pesos, el distrito más sobresaliente en este año y durante el periodo fue Coatepec Harinas (ver figura 3).



**Figura 3 Valor de Producción Agrícola en el Estado de México, 2000-2010.**



Fuente: Elaboración propia con base en OEIDRUS (2000-2010).

### 1.2.2 Principales productos agrícolas

El Estado de México tiene primer lugar nacional en producción de liliom, clavel, crisantemo, rosa de invernadero y tuna. No obstante, los productos que mayoritariamente se cultivan considerando la superficie son granos y forrajes, destacando el maíz, la avena y la cebada<sup>1</sup>.

En el año 2010, se sembraron 562 mil 496.39 hectáreas de maíz en grano y se produjeron 1 millón 549 mil 545.32 toneladas con un valor de producción de 4 millones 799 mil 117.62 pesos. Los distritos con mayor producción fueron Atlacomulco y Toluca, generando el 58.83% de la producción total estatal (ver cuadro 3).

Se cultiva avena forrajera y en grano en la entidad. La avena forrajera se produce en los ochos distritos, destacando Atlacomulco, Valle de Bravo y Zumpango, se sembraron 68 mil 362 hectáreas con una producción de 1 millones 370 mil 779.22 toneladas y un valor de 512 mil 902.4 pesos (ver cuadro 3).

<sup>1</sup> La información se obtuvo del Anuario Estadístico de la Producción Agrícola (OIEDRUS, 2010), Ciclo: Cíclicos y Perennes, Modalidad: Riego y Temporal.



**Cuadro 3 Producción de maíz en grano y avena forrajera, Estado de México 2010.**

Distrito de Desarrollo Rural (DDR)	maíz en grano				avena forrajera			
	Superficie Sembrada (ha)	Producción (ton)	PMR (\$/ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)	Superficie Sembrada (ha)	Producción (ton)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Atlacomulco	160,463.40	430,972.00	2,887.80	1,244,562.50	15,188.00	397,456.00	308.58	122,647.40
Coatepec Harinas	29,913.50	66,930.20	3,376.63	225,998.63	7,813.50	105,237.26	490.44	51,612.29
Jilotepec	48,341.00	119,671.30	3,570.97	427,342.43	4,553.00	86,694.00	450.8	39,081.55
Tejupilco	49,772.00	93,132.92	3,805.13	354,382.74	978	21,410.16	538.36	11,526.30
Texcoco	35,969.00	105,323.31	3,180.96	335,029.24	7,366.50	126,648.07	577.01	73,077.05
Toluca	135,539.49	480,647.68	2,888.42	1,388,313.68	7,713.00	238,043.50	247.91	59,013.55
Valle de Bravo	49,470.00	136,563.20	3,049.30	416,421.92	12,344.00	238,140.00	464.7	110,662.95
Zumpango	53,028.00	116,304.71	3,500.00	407,066.48	12,406.00	157,150.23	288.14	45,281.38
Total	562,496.39	1,549,545.32	3,097.11	4,799,117.62	68,362.00	1,370,779.22	374.17	512,902.47

Fuente: Elaboración propia con base en OEIDRUS, 2010.

Mientras que de avena en grano, se sembraron 14 mil 944.50 hectáreas y se produjeron 19 mil 143.40 toneladas con un valor de producción de 58 mil 635.18 pesos, cultivándose en cuatro de los ocho distritos. En lo que respecta a la cebada en grano, se sembró una superficie de 31 mil 675.50 hectáreas, de las cuales se produjeron 9 mil 862.38 toneladas con un valor de 31 mil 816.88 pesos, destacando el Distrito Texcoco; dicho producto se cultiva en cinco distritos del estado (ver cuadro 4).

**Cuadro 4 Producción de cebada y avena en grano, Estado de México 2010.**

Distrito de Desarrollo Rural (DDR)	cebada en grano				avena en grano			
	Superficie Sembrada (ha)	Producción (ton)	PMR (\$/ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)	Superficie Sembrada (ha)	Producción (ton)	PMR (\$/ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Atlacomulco	507	886.8	3,552.66	3,150.50	3,421.50	5,351.50	3,132.91	16,765.75
Coatepec Harinas					3,730.00	5,160.00	2,749.42	14,187.00
Jilotepec	170	256	3,800.00	972.8				
Tejupilco								
Texcoco	1,110.50	1,676.53	2,822.22	4,731.53	1,135.00	3,348.90	2,383.57	7,982.33
Toluca								
Valle de Bravo	5	12	3,700.00	44.4				
Zumpango	29,883.00	7,031.05	3,259.49	22,917.65	6,658.00	5,283.00	3,728.96	19,700.10
Total	31,675.50	9,862.38	3,226.09	31,816.88	14,944.50	19,143.40	3,062.94	58,635.18

Fuente: Elaboración propia con base en OEIDRUS, 2010.



Por otra parte, la superficie sembrada para el cultivo de hortalizas en la entidad es mínima pese a que su producción, rendimiento y valor son mayores, tal es el caso del cultivo de papa, chícharo, cebolla, lechuga, tomate rojo y zanahoria.

El tomate rojo y la papa, se cultivan en siete de los ocho distritos del estado. En 2010, se sembró una superficie de mil 483.30 hectáreas de tomate rojo, de la cual se obtuvieron 81 mil 711.93 toneladas con un valor de producción de 564 mil 888.59 pesos, el distrito más destacado fue Atlacomulco, ya que generó el 61.76% de la producción total estatal (ver cuadro 5).

En lo que respecta a la papa, como se observa en el cuadro 5, se sembraron 4 mil 036.50 hectáreas, con las cuales se obtuvo una producción de 107 mil 667.46 toneladas con un valor de 659 mil 517.70 pesos, el distrito más sobresaliente por su producción fue Toluca.

**Cuadro 5 Producción de tomate rojo y papa, Estado de México 2010.**

Distrito de Desarrollo Rural (DDR)	tomate rojo				papa			
	Superficie Sembrada (ha)	Producción (ton)	PMR (\$/ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)	Superficie Sembrada (ha)	Producción (ton)	PMR (\$/ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Atlacomulco	96.80	50,470.00	7,872.10	397,305.00	540.00	13,640.00	6,325.51	86,280.00
Coatepec	400.00	7,638.03	5,636.71	43,053.32	58.00	1,042.68	7,221.44	7,529.66
Harinas								
Jilotepec								
Tejupilco	143.00	2,489.60	5,783.58	14,398.79	105.00	1,681.73	7,480.69	12,580.50
Texcoco	816.00	19,489.80	5,091.23	99,226.98	805.00	30,502.50	4,308.74	131,427.25
Toluca	1.50	255.00	7,000.00	1,785.00	1,677.50	32,524.80	7,056.52	229,511.80
Valle de Bravo	21.00	629.50	7,433.68	4,679.50	836.00	28,095.75	6,825.75	191,774.50
Zumpango	5.00	740.00	6,000.00	4,440.00	15.00	180.00	2,300.00	414.00
Total	1,483.30	81,711.93	6,913.17	564,888.59	4,036.50	107,667.46	6,125.51	659,517.70

Fuente: Elaboración propia con base en OEIDRUS, 2010.

La zanahoria se cultiva en cinco distritos del estado, en el año 2010 se sembraron 2 mil 367.58 hectáreas, produciéndose 44 mil 896.76 toneladas con un valor de producción de 170 mil 647.19 pesos, siendo Toluca el distrito más destacado por su producción (ver cuadro 6).

Mientras que el chícharo se sembró una superficie de 6 mil 313.34 hectáreas, generando una producción de 30 mil 253.35 toneladas con un valor aproximado de 174 mil 272.61 pesos,



sobresaliendo Coatepec Harinas ya que fue el distrito que generó el 56.02% de la producción total estatal (ver cuadro 6).

**Cuadro 6 Producción de zanahoria y chícharo, Estado de México 2010.**

Distrito de Desarrollo Rural (DDR)	zanahoria				chícharo			
	Superficie Sembrada (ha)	Producción (ton)	PMR (\$/ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)	Superficie Sembrada (ha)	Producción (ton)	PMR (\$/ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Atlacomulco					11.00	56.00	6,214.29	348.00
Coatepec Harinas	548	4,384.00	4,200.00	18,412.80	3,675.50	16,950.24	5,778.97	97,955.00
Jilotepec								
Tejupilco					536.00	2,253.74	6,914.86	15,584.30
Texcoco	243.5	7,020.51	2,984.95	20,955.89	90.00	551.85	4,474.32	2469.15
Toluca	1,198.08	22,156.25	4,105.95	90,972.50	850.84	3,362.00	6,827.75	22,954.88
Valle de Bravo	368	11,076.00	3,578.01	39,630.00	1,150.00	7,079.52	4,938.37	34,961.28
Zumpango	10	260	2,600.00	676				
Total	2,367.58	44,896.76	3,800.88	170,647.19	6,313.34	30,253.35	5,760.44	174,272.61

Fuente: Elaboración propia con base en OEIDRUS, 2010.

En lo que respecta al cultivo de cebolla, se sembraron 702 hectáreas en cinco distritos del estado, con una producción de 9 mil 236.54 toneladas y un valor de 63 mil 379.28 pesos, el distrito con mayor producción fue Coatepec Harinas. La lechuga se cultiva sólo en tres distritos del estado, se sembró una superficie de 491 hectáreas, con una producción de 6 mil 620 toneladas y un valor de 31 mil 189.69 pesos, destacando el Distrito de Toluca con mayor producción (ver cuadro 7).

**Cuadro 7 Producción de cebolla y lechuga, Estado de México 2010.**

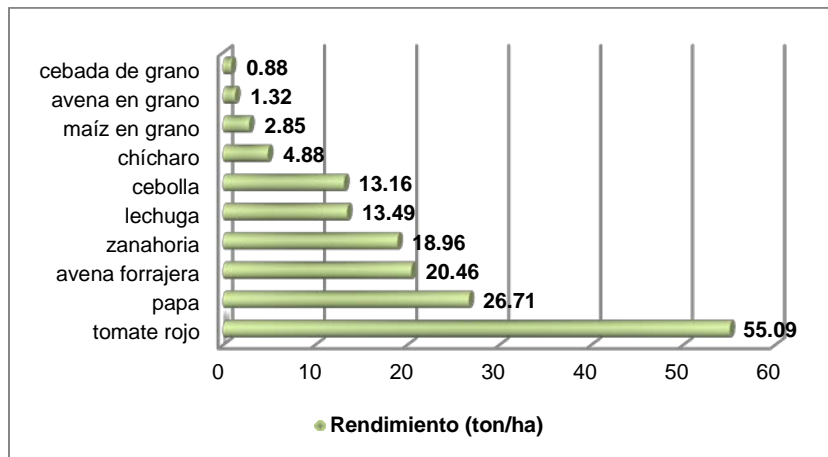
Distrito de Desarrollo Rural (DDR)	cebolla				lechuga			
	Superficie Sembrada (ha)	Producción (ton)	PMR (\$/ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)	Superficie Sembrada (ha)	Producción (ton)	PMR (\$/ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Atlacomulco								
Coatepec Harinas	684	8,939.64	6,929.14	61,944.03				
Jilotepec								
Tejupilco	6	147.9	5,801.22	858				
Texcoco	8.5	95	4,150.00	394.25	187	2,656.00	5,184.18	13,769.19
Toluca					275.89	3,485.00	4,729.81	16,483.40
Valle de Bravo	1.5	24	5,000.00	120				
Zumpango	2	30	2,100.00	63	28	479	1,956.37	937.1
Total	702	9,236.54	6,861.80	63,379.28	490.89	6,620.00	4,711.43	31,189.69

Fuente: Elaboración propia con base en OEIDRUS, 2010.



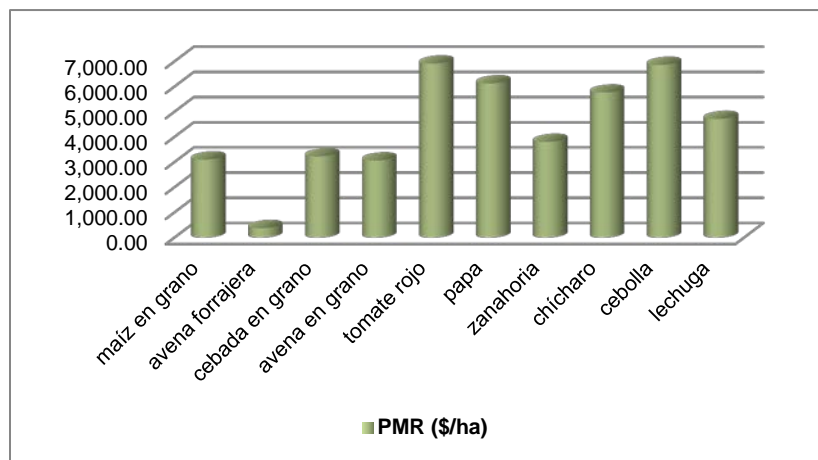
En relación con el rendimiento de los productos agrícolas anteriores, en la figura 4 se observa que el cultivo de hortalizas presentó en el año 2010 mayor rendimiento productivo que el de granos y forrajes, con excepción de la avena forrajera, y de igual manera, el precio de las hortalizas en el mercado fue mayor que el de granos y forrajes (ver figura 5). Sobresaliendo el tomate rojo, ya que por cada hectárea que se cultivó se produjeron 55.09 toneladas y su precio en el mercado osciló entre los 6 mil y 8 mil pesos.

**Figura 4 Rendimiento Productivo, productos agrícolas en el Estado de México 2010.**



Fuente: Elaboración propia con base en OEIDRUS, 2010.

**Figura 5 Precio de Mercado por Rendimiento (PMR), productos agrícolas en el Estado de México 2010.**



Fuente: Elaboración propia con base en OEIDRUS, 2010.



Dado lo anterior, la investigación pretende identificar mediante Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica las zonas que por sus características ambientales son aptas para el cultivo de hortalizas, otorgando a los agricultores nuevas alternativas de producción, para que con asesoría técnica puedan producirlas a cielo abierto sin la necesidad de implementar infraestructura. Por lo que a continuación se realiza una breve descripción de los requerimientos ambientales más significativos para el cultivo de papa, chícharo, cebolla, lechuga, tomate y zanahoria.

Fueron seleccionadas estos productos agrícolas como objeto de estudio de la investigación dado a que son los que se producen actualmente en la entidad con cierto éxito, además de que la producción de hortalizas es mínima en nuestro país comparada con la de cereales y forrajes, pese a su valor de producción (Torres y Morales, 2011).

### 1.2.2 Requerimientos ambientales para el cultivo de papa

La papa es la planta dicotiledónea más importante para la alimentación humana, es el cuarto cultivo de uso alimentario del mundo, después el trigo, arroz y maíz; siendo los principales productores los países de Europa Occidental, Estados Unidos y Japón (Jadhav y Kadam en Salunkhe y Kadam, 2004:11). En México, durante el año 2010 se produjeron 1 millón 536 mil 617.37 toneladas (OEIDRUS, 2010).

Según el Departamento de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX), las variedades más recomendables para su producción en la entidad se presentan en el cuadro 8.



**Cuadro 8 Variedades de papa recomendables, Estado de México 2014.**

Variedades	Periodo de Siembra
<b>Blancas</b>	
Alpha	15 mayo - 20 junio
Gigant	15 mayo - 30 junio
Lupita	15 mayo - 30 junio
Gigant	15 mayo - 30 junio
Norteña	15 mayo - 15 junio
Tollocan	15 mayo - 20 junio
Malinche	15 mayo - 20 junio
<b>Rojas</b>	
Mexiquenses	15 mayo - 15 junio
Zafiro	15 mayo - 30 junio
Rojita	15 mayo - 30 junio
San José	15 mayo - 30 junio

Fuente: ICAMEX, 2014.

### a) Clima y temperatura

El clima juega un papel importante para el desarrollo de la planta. Los climas más recomendados son los templados y subtropicales, aunque también se produce en climas cálidos, semiáridos y fríos pero con menor rendimiento. La papa es considerada como un cultivo de estación fresca y su desarrollo es mayor con temperaturas moderadas (Jadhav y Kadam en Salunkhe y Kadam, 2004:14).

La temperatura es el principal factor climático que determina la productividad de la papa. Dos semanas después de la siembra, el cultivo requiere temperaturas de 13 a 22°C y para incrementar su rendimiento, debe de contar con una temperatura media entre 17 y 18°C, con máximas oscilando entre 20 y 23°C. Es un cultivo sensible a las heladas, por lo que la temperatura nocturna debe ser fresca, entre 13 y 17°C (Ruiz et al, 1999).

La temperatura óptima para la formación de tubérculos es de 17°C; a medida que se eleva, el tamaño de las hojas y los tubérculos disminuye y al llegar a los 29°C la planta no tuberculiza; debiéndose a que la respiración nocturna de las hojas aumenta con la temperatura propiciando que los hidratos de carbono disponibles disminuyan y con ello, el tamaño de los tubérculos sea cada vez menor (Sarli, 1980: 322-323).





### b) Altitud

La papa se produce preferentemente a una altitud de 400 hasta 3,000 msnm, siendo la más óptima 2,500 msnm; no obstante, existen diferencias entre las variedades en cuanto a la resistencia al clima de altura (Ruiz et al, 1999; Sarli, 1980:322-323).

### c) Suelo

El suelo es un factor limitante de menor importancia que el clima. Se requieren suelos ricos en materia orgánica, de textura media con buen drenaje y ventilación. Los suelos arenosos son adecuados para el crecimiento rápido, si tienen suficientes nutrientes y humedad. La profundidad del suelo debe ser mayor a los 30 cm, considerando que el 70% de la absorción total de agua se presenta a partir de los 30 cm de suelo y el 100% entre los 40-60 cm. El PH debe oscilar entre 5 a 6 (Ruiz et al, 1999; Sarli, 1980:323; Jadhav y Kadam en Salunkhe y Kadam, 2004:15).

### 1.2.3 Requerimientos ambientales para el cultivo de chícharo

El chícharo o guisante es una de las hortalizas de cultivo más antiguo en el mundo y se encuentra entre las 10 principales hortalizas (Deshpande y Adsule en Salunkhe y Kadam, 2004:441). Durante el año 2010, en nuestro país se obtuvo una producción de 52 mil 043.39 toneladas (OEIDRUS, 2010).

El Departamento de ICAMEX recomienda para en el Estado de México el cultivo de 3 variedades de chícharo, las cuales son Early Perfection, Perfection 326 y Rogger, considerando como periodo de siembra del 01 de Julio al 15 de julio.

### a) Clima y temperatura

Los climas templado y subtropical es donde mejor se adapta el chícharo, aunque también presenta rendimiento satisfactorio en regiones semicálidas y frías. La sequía es sumamente perjudicial para la planta, por lo que debe considerarse como un cultivo de primavera. Son ligeramente susceptibles a heladas sobre todo en la floración, en plantaciones jóvenes el daño es menor (Ruiz et al, 1999; Sarli, 1980:448,449 y 450; Tamaro, 1988:364).



En temperaturas por debajo de los 10°C la nodulación es escasa, afectando la productividad de la planta. La temperatura óptima para crecimiento oscila entre 14 y 18°C y en algunos cultivares cerca de 25°C. Las temperaturas superiores a los 25°C reducen el número de vainas por planta, así como el número de semillas por vaina. En cuanto a la temperatura durante la noche, la media óptima es de alrededor de 17°C, con un mínimo de 10°C y un máximo de 23°C (Ruiz et al, 1999).

### **b) Altitud**

Se produce satisfactoriamente en altitudes que oscilan entre los 1,300 y 2,200 msnm (Ruiz et al, 1999).

### **c) Suelo**

Se adapta a una amplia variedad de suelos pero se desarrollan mejor en suelos arcillosos bien drenados o limo arenosos bien encañados, ricos en materia orgánica y de textura ligera a media. Así mismo, requiere suelos de mediana profundidad, con un mínimo de 60 cm de profundidad efectiva, en suelos profundos el enraizamiento de la planta puede llegar hasta 1.5 metros. El rango de PH óptimo es de 6.0 a 7.5 (Deshpande y Adsule en Salunkhe y Kadam, 2004:450; Ruiz et al, 1999).

## **1.2.4 Requerimientos ambientales para el cultivo de cebolla**

Al igual que el chícharo o guisante, la cebolla es una de las hortalizas cultivadas más antiguas que se conoce y es popular a escala mundial, los principales productores de cebolla a nivel mundial son China, India y Estados Unidos (Warade y Kadam en Salunkhe y Kadam, 2004:381). En México durante el año 2010 se produjeron 1 millón 266 mil 164.99 toneladas (OEIDRUS, 2010).

### **a) Clima y temperatura**

Los climas donde presenta mayor rendimiento son el templado y subtropical con invierno definido (Ruiz et al, 1999). Las plantas jóvenes son más tolerantes al frío; en climas suaves los rendimientos en bulbos son mayores y de mejor calidad (Warade y Kadam en Salunkhe y Kadam, 2004:385).



Prefiere temperaturas más bajas en la fase inicial del cultivo y más altas hacia la maduración. La iniciación floral ocurre durante los 9 y 13°C, mientras que para la formación del bulbo se requieren temperaturas entre 18 y 25°C. La temperatura óptima para crecimiento oscila en 12 y 23°C. Las temperaturas superiores a los 28°C durante el período de almacenamiento, no sólo inhiben la inflorescencia in situ, ejercen también un marcado efecto posterior, ya sea evitando la iniciación floral durante el segundo período de crecimiento o reduciendo en forma significativa la floración (Ruiz et al, 1999).

Cuando las condiciones ambientales durante la formación de bulbos son óptimas, se obtienen mayores rendimientos y bulbos de mejor calidad, tales como temperaturas suaves, suficiente luz solar, niveles óptimos de humedad en el suelo, lluvias ligeras y longitud adecuada del día, seguido de un tiempo seco y luminoso durante la maduración (Warade y Kadam en Salunkhe y Kadam, 2004:385).

#### **b) Altitud**

La cebolla debe cultivarse a altitudes entre los 1,500 y 2,400 msnm, a altitudes superiores pueden cultivarse sólo como cosecha de primavera y verano (Warade y Kadam en Salunkhe y Kadam, 2004:385).

#### **c) Suelo**

La producción de bulbos se presenta con mayor rapidez en suelos ligeros como los franco-arenosos, arcillosos o aluviales. Los suelos demasiado alcalinos o ácidos no favorecen el crecimiento normal del bulbo. No necesita suelos profundos siendo suficientes de 40 a 60 cm, siempre que exista buen drenaje, abundante material orgánico y un PH de 5.8 a 6.5 (Warade y Kadam en Salunkhe y Kadam, 2004:384; Ruiz et al, 1999).



### 1.2.5 Requerimientos ambientales para el cultivo de lechuga

La lechuga proviene de una especie silvestre que crece en la mayor parte de las zonas templadas del mundo. Los principales países productores son China, Estados Unidos, España, Italia y la India (FAO, 2000). En México, durante el año 2010 se produjeron 340 mil 975.96 toneladas (OEIDRUS, 2010). Según el Departamento de ICAMEX, las variedades de lechuga más recomendables son:

**Cuadro 9 Variedades de lechuga recomendables, Estado de México 2014.**

Variedades	
de Bola	Orejona
Coyote	Parris Island Cos (invierno)
Puebla	
Buba	
Salinas 88	Top Gun
Coolguard (invierno)	

Fuente: ICAMEX, 2014.

#### a) Clima y temperatura

La planta de lechuga requiere un clima templado y moderadamente frío, en lugares donde el verano es muy cálido se recomienda como cultivo de otoño e invierno (Sarli, 1980:425). Es un cultivo de estación fría, las noches frías son esenciales para mejorar su calidad, por lo que se cultiva principalmente en áreas con veranos frescos e invierno suaves (Deshpande y Salunkhe en Salunkhe y Kadam, 2004:507).

El principal factor ambiental en el cultivo de la lechuga es la temperatura, para el desarrollo de cabezas firmes y sólidas es necesario contar con temperaturas nocturnas uniformemente frescas de 7.2 a 10°C, combinadas con temperaturas diurnas entre 14 y 18°C con un máximo de 25°C. Cuando la temperatura es mayor a 25°C la semilla germina con lentitud o no germina. Las temperaturas elevadas y las variaciones acentuadas de temperatura generan la floración prematura y el desarrollo de enfermedades, asimismo propician que las hojas sean amargas y las cabezas poco compactas (Deshpande y Salunkhe en Salunkhe y Kadam, 2004:507; Ruiz et al, 1999; Sarli, 1980:425).



**b) Altitud**

Se desarrolla adecuadamente en altitudes que oscilan entre los 800 y 2,500 msnm (Ruiz et al, 1999).

**c) Suelo**

Prefiere suelos de textura media que retengan fácilmente la humedad, con una profundidad efectiva entre 45 y 65 cm y un PH óptimo entre 6.0 y 6.8. No prospera en suelos muy ácidos y presenta ligera tolerancia a la salinidad (Ruiz et al, 1999; Sarli, 1980:426).

**1.2.6 Requerimientos ambientales para el cultivo de tomate**

El tomate rojo es el producto agroalimentario más importante de exportación de nuestro país, obteniéndose en el periodo 2000-2009 un valor promedio anual de 899 millones de USD, Estados Unidos y Canadá son los principales mercados con el 95% (SAGARPA, 2009). En el año 2010 se produjeron 2 millones 277 mil 791.43 toneladas (OEIDRUS, 2010).

Con base en el Departamento de ICAMEX, las variedades más recomendables para el cultivo en la entidad se presentan a continuación en el cuadro siguiente.

**Cuadro 10 Variedades de tomate rojo recomendables, Estado de México 2014.**

Variedades	
Determinadas	Indeterminadas
Reserva	Mónica
CID	Yaqui
Aníbal	Rio Grande
Barbarían	Rio Fuego
Loreto	Cortez
Juan Pablo	Pegaso
Juan Diego	
Moctezuma	
Cuauhtémoc	
SUN7705	
SUN920	

Fuente: ICAMEX, 2014.



### a) Clima y temperatura

Es un cultivo de estación templada. Para la maduración necesita días despejados y templados sin lluvia con las temperaturas uniformemente moderadas. Es muy susceptible al daño por heladas y poco tolerante a temperaturas bajas. Las sequías y las altas temperaturas reducen el tamaño del fruto y su rendimiento (Madhavi y Salunkhe en Salunkhe y Kadam, 2004:175-176).

El desarrollo de la planta se detiene con temperaturas menores a 10°C. La temperatura óptima para la fotosíntesis encuentra entre 25 y 30°, 15-18°C para la floración, 18-20°C para la formación de fruto y 24-28°C para la maduración de fruto. El licopeno, sustancia responsable de la coloración del fruto, comienza a destruirse cuando las temperaturas superan 30°C. El óptimo de temperatura media mensual es de 20 a 24°C con temperaturas nocturnas que oscilen entre 15 y 20°C (Ruiz et al, 1999).

### b) Altitud

El tomate se produce preferentemente a altitudes que no superen los 1,800 msnm (Ruiz et al, 1999).

### c) Suelo

Se desarrolla adecuadamente y presenta mayores rendimientos en suelos franco-arenosos o francos de textura media, ricos en nutrientes y materia orgánica. Requiere suelos profundos, por lo general mayores a 1 m. El PH ideal se encuentra entre 6.0 y 7.0 (Madhavi y Salunkhe en Salunkhe y Kadam, 2004:175; Ruiz et al, 1999).

## 1.2.7 Requerimientos ambientales para el cultivo de zanahoria

Es cultivada en primavera, verano y otoño en países con clima templado y durante el invierno en regiones tropicales y subtropicales. Los principales productores a nivel mundial son: China, Japón, Francia y Estados Unidos (Kotecha, Desai y Madhavi en Salunkhe y Kadam, 2004:119). En México, durante el año 2010 se produjeron 346 mil 465.65 toneladas.



Las variedades recomendadas para su producción en el Estado de México son:

**Cuadro 11 Variedades de tomate rojo recomendables, Estado de México 2014.**

Variedad	Periodo de siembra
Nantes	15 julio - 15 agosto
Scarlet Nantes	15 julio - 15 agosto
Strong	15 julio - 15 agosto
Premier 911	15 julio - 15 agosto
Nantesa superior	15 julio - 15 agosto
Emperador	15 julio - 15 agosto

Fuente: ICAMEX, 2014.

**a) Clima y temperatura**

La zanahoria es un cultivo de tiempo frío, pero también su desarrollo es adecuado en climas cálidos moderados. En lugares muy fríos es necesario sembrarla en primavera, verano y principios de otoño (Kotecha, Desai y Madhavi en Salunkhe y Kadam, 2004:121; Sarli, 1980:469).

Temperaturas entre 15 y 20°C producen raíces atractivas de color rojo y de buena calidad. La temperatura óptima para que ocurra la germinación está entre 18-25°C, para el crecimiento de la raíz carnosa, se considera una temperatura óptima entre 20-22°C y para el crecimiento de las hojas de 23-25°C, mientras que la temperatura óptima para lograr una buena coloración es de 17- 20°C (Kotecha, Desai y Madhavi en Salunkhe y Kadam, 2004:121; Ruiz et al, 1999; Sarli, 1980:469).

Temperaturas por encima de los 28°C reduce drásticamente el crecimiento de la porción superior y producen raíces más cortas o gruesas; las temperaturas inferiores a los 15°C afectan el desarrollo del color y producen raíces largas y delgadas. El color y el tamaño de la zanahoria también son afectados en gran parte por la humedad del suelo, ya que en épocas de sequías las raíces son más largas y decoloradas que cuando hay suficiente humedad en el suelo (Kotecha, Desai y Madhavi en Salunkhe y Kadam, 2004:121; Sarli, 1980:269).



**b) Altitud**

Para un buen desarrollo de la planta se sugieren altitudes de 600 hasta 3000 msnm (Ruiz et al, 1999).

**c) Suelo**

Los suelos con textura de ligera a media, como los francos o franco arenosos con grandes cantidades de materia orgánica son muy apropiados para el cultivo de zanahoria. Requiere suelos profundos, sueltos, friables y bien drenados. No tolera suelos ácidos, por lo que el PH recomendable es de 6.0 a 6.5 (Kotecha, Desai y Madhavi en Salunkhe y Kadam, 2004:120-121; Sarli, 1980:269; Ruiz et al, 1999).

**1.2.8 Otros requerimientos ambientales importantes para la agricultura**

Es importante considerar también las características de los diferentes **grupos de suelos**, permitiendo identificar los más adecuados para las actividades agrícolas. El Estado de México cuenta con 13 grupos de suelos, los cuales han sido clasificados en el siguiente cuadro de acuerdo a su uso agrícola.

**Cuadro 12 Grupos de suelo existentes en el estado de México, usos y características 2007.**

Uso Agrícola	Grupos de Suelos	Características
Adecuado	<b>Feozem</b>	Son suelos con horizonte superficial oscuro ricos en materia orgánica y menos ricos en bases. Suelos porosos, fértiles y excelentes tierras agrícolas, pero muy susceptibles a erosión eólica e hídrica (FAO, 2007:87).
	<b>Cambisoles</b>	Combinan suelos con formación de por lo menos un horizonte subsuperficial incipiente. La transformación del material parental es muestra por la formación de estructura y decoloración principalmente parduzca, incremento en el porcentaje de arcilla y/o remoción de carbonatos. Generalmente constituyen buenas tierras agrícolas y se usan intensivamente. Los Cambisoles con alta saturación de bases en zonas templadas están considerados entre los suelos más productivos de la tierra (FAO, 2007:74 y 75).
	<b>Andosoles</b>	Son suelos que se desarrollan en eyecciones o vidrios volcánicos bajo casi cualquier clima, excepto bajo condiciones climáticas hiperáridas. Tienen alto potencial para la producción agrícola, pero muchos de ellos no se usan hasta su capacidad. Son fáciles de cultivar y tienen buenas propiedades de enraizamiento y almacenamiento de agua. Los Andosoles fuertemente hidratados son difíciles de

Continúa...

Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando







<b>Limitado</b>		labrar por su baja capacidad de carga y adhesividad. La fuerte fijación de fosfato de los Andosoles es una limitante, no obstante, pueden considerarse medidas de mejora para reducir este efecto, las cuales incluyen la aplicación de calcáreo, sílice, material orgánico y fertilización fosfatada (FAO, 2007:70).
	<b>Luvisoles</b>	Son suelos que tienen alto contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial. Son fértiles y apropiados para un rango amplio de usos agrícolas. Sin embargo, los Luvisoles con alto contenido de limo son susceptibles al deterioro de la estructura cuando se labran mojados con maquinaria pesada. (FAO, 2007:85 y 86).
	<b>Acrisoles</b>	Son suelos que tienen mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial, como resultado de procesos llevan a un horizonte árgico en el subsuelo. La preservación del suelo superficial con su tan importante materia orgánica y la prevención de la erosión, son precondiciones para cultivarlos. Grandes áreas de Acrisoles están bajo selva, desde selva lluviosa alta, densa hasta bosques abiertos. Son apropiados para la producción de cultivos sólo después de encalado y fertilización completa, la rotación de cultivos anuales con pasturas mejoradas mantiene el contenido de materia orgánica. Se recomienda la agroforestación como una alternativa para proteger el suelo frente a la agricultura y alcanzar altos rendimientos sin requerir insumos costosos (FAO, 2007:67 y 68).
	<b>Vertisoles</b>	Suelos muy arcillosos que se mezclan con alta proporción de arcillas expandibles. Forman grietas anchas y profundas cuando se secan, lo que ocurre en la mayoría de los años. Tienen considerable potencial agrícola, pero el manejo adecuado es una precondición para la producción sostenida. Las prácticas de manejo para producción de cultivos deben dirigirse principalmente al control del agua en combinación con conservación o mejora de la fertilidad del suelo. La textura del suelo pesada y el predominio de minerales de arcilla expandibles resulta en rango de humedad del suelo restringido entre stress hídrico y exceso de agua. La labranza se obstaculiza por la adhesividad cuando el suelo está mojado y dureza cuando está seco. Son más aptos para pastoreo, aunque la producción de algodón se desempeña bien (FAO, 2007:96 y 97).
	<b>Fluvisoles</b>	Son suelos azonales genéticamente jóvenes generados en depósitos aluviales, como ríos, depósitos lacustres y marinos. Para las actividades agrícolas, el arroz es el cultivo más difundido en este grupo de suelos, para cultivos de secano es necesario implementar medidas de control de agua. Los Fluvisoles con horizonte tiónico o material sulfuroso sufren de acidez severa y altos niveles de toxicidad por Aluminio (FAO, 2007:79 y 80).
	<b>Gleysoles</b>	Son suelos de humedales que, a menos que sean drenados, están saturados con agua freática por períodos suficientemente largos para desarrollar un característico patrón de color gléyico (hecho de colores rojizos, parduzcos o amarillentos) en capas superficiales del suelo, en combinación con colores grisáceos/azulados en las capas más profundas del suelo. El principal obstáculo para su utilización es la

Continúa...

Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando





		necesidad de instalar un sistema de drenaje para bajar la capa de agua freática, drenados adecuadamente pueden utilizarse para cultivos arables y producción horticultura. La estructura del suelo puede ser destruida por un largo tiempo si los suelos son laboreados cuando están muy mojados. Los Gleysoles con horizonte tiónico o material sulfuroso sufren de acidez severa y altos niveles de toxicidad por Aluminio (FAO, 2007:80 y 81).
<b>Limitado</b>	<b>Planosoles</b>	Son suelos con un horizonte superficial de color claro que muestra signos de estancamiento de agua periódico y abruptamente subyace un subsuelo denso, lentamente permeable con un incremento significativo de arcilla respecto del horizonte superficial. Su uso normalmente es menos intensivo que el de otros suelos bajo las mismas condiciones climáticas. La producción de cultivos de secano durante la estación seca ha tenido poco éxito, son suelos más apropiados para cultivo de arroz con riego o pastoreo extensivo. El desarrollo de raíces en estos suelos naturales no modificados está severamente dificultado por la deficiencia de oxígeno en los períodos húmedos, el subsuelo denso y, en algunos lugares, por niveles tóxicos de Aluminio en la zona de raíces. Los rendimientos son modestos aún en suelos drenados y aflojados en profundidad, se necesita el uso de fertilizantes para mejorar el rendimiento (FAO, 2007:87 y 88).
	<b>Regosoles</b>	Son suelos minerales muy débilmente desarrollados en materiales no consolidados, carecen de un horizonte mólico o úmbrico, no son muy someros ni muy ricos en grava, arenosos o con materiales flúvicos. Están extendidos en tierras erosionadas, particularmente en áreas áridas, semiáridas y en terrenos montañosos. Son poco adecuados para actividades agrícolas, la baja capacidad de retención de humedad de estos suelos obliga a aplicaciones frecuentes de agua de riego, el riego por goteo resuelve el problema, pero raramente es económico. En zonas montañosas son muy susceptibles, por lo que es recomendable dejarlos bajo bosque (FAO, 2007:91).
<b>Restringido</b>	<b>Histosoles</b>	Comprenden suelos formados en material orgánico, se encuentran en todas las altitudes pero la gran mayoría ocurren en tierras bajas. Los nombres comunes son suelos de turba, suelos de lodo, suelos de pantanos y suelos orgánicos. Las propiedades del material orgánico y el tipo de turba de pantano determinan los requerimientos de manejo y posibilidades de uso. Las turbas naturales necesitan ser drenadas y normalmente también encaladas y fertilizadas para permitir la producción de cultivos normales. Sin embargo, es deseable proteger y conservar las frágiles tierras de turbas por su valor intrínseco (especialmente su función común como esponjas al regular el flujo de cursos de agua y en soportar humedales que contienen especies de animales únicas) y porque la perspectiva de uso agrícola es mínima (FAO, 2007:80 y 81).
	<b>Leptosoles</b>	Son suelos muy someros sobre roca continua y suelos extremadamente gravillosos y/o pedregosos, son suelos azonales y particularmente comunes en regiones montañosas. Los que se localizan en zonas templadas se encuentran

Continúa...

Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando



principalmente bajo bosque caducifolio mixto, los Leptosoles ácidos comúnmente están bajo bosque de coníferas. La erosión es la mayor amenaza de este tipo de suelos, sobretodo en regiones montañosas de zonas templadas donde la alta presión de población (turismo), la sobreexplotación y creciente contaminación ambiental llevan al deterioro de bosques. En pendientes de colinas generalmente son más fértiles que sus contrapartes en tierras más llanas, pocos cultivos podrían producirse en tales pendientes pero al precio de erosión severa. El drenaje interno excesivo y la poca profundidad de algunos Leptosoles pueden causar sequía, aún en ambientes húmedos. Dado lo anterior, son un recurso potencial para el pastoreo en estación húmeda y tierra forestal (FAO, 2007:83 y 84).

**Solonchacks**

Son suelos que tienen alta concentración de sales solubles en algún momento del año, están ampliamente confinados a zonas climáticas áridas, semiáridas y regiones costeras en todos los climas. La acumulación excesiva de sales en suelos afecta el crecimiento de las plantas, por lo que presentan poco valor agrícola. Se usan para pastoreo extensivo o permanecen ociosos. Sólo después de que las sales se han lavado del suelo, el cual entonces deja de ser un Solonchak, pueden esperarse buenos rendimientos (FAO, 2007:91 y 92).

Fuente: Elaboración propia con base en FAO, 2007.

Por otra parte, el **recurso agua** es un elemento fundamental para las actividades agrícolas y aunque en los cultivos de temporal no se cuente con infraestructura es necesario contar con la cercanía de corrientes y cuerpos de agua que auxilien a la producción, sobre todo en temporadas de sequía.

En lo que respecta a la **pendiente del terreno**, se recomienda para las actividades agrícolas pendientes menores al 8%, ya que después de este porcentaje el suelo es más susceptible a ser erosionado.





## Capítulo 2. Marco Teórico- Conceptual

Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando



Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica

En el siguiente capítulo se presenta una revisión teórica y conceptual de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la Evaluación Multicriterio, así como su interacción como una herramienta para el análisis y planificación del territorio.

## 2.1 Los Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica son considerados actualmente una herramienta de uso multidisciplinario, donde el estudio del territorio sea un factor importante de análisis. En el siguiente apartado, se lleva a cabo una breve revisión histórica, teórica y conceptual de los SIG que permita abordar su funcionalidad para la localización de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México.

### 2.1.1 Antecedentes

Pese a que los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el análisis espacial surgieron como áreas de investigación y aplicación separadas, su desarrollo a través del tiempo se ha presentado de manera estrecha. Es a fines de los años 50 y principios de los 60, cuando los avances tecnológicos facilitaron la automatización de la cartografía y con ello también, el surgimiento de los SIG (Goodchild y Haining, 2005).

El pionero en este ámbito fue el Sistema de Información Geográfica Canadiense (CGIS) creado por Tomlinson y colaboradores en 1966, teniendo como objetivo gestionar los bosques y superficies marginales de Canadá, a partir de este año instituciones de diversos países consideraron a los SIG como una herramienta importante para la gestión y análisis de la información geográfica (Gómez y Barredo, 2006).

Coppock y Rhind (1991) citados por Gómez y Barredo (2006), consideran cuatro periodos iniciales en el desarrollo de los SIG. El primer periodo contempla los primeros años de 1960 hasta mediados de los años 70, se caracterizó por ser de producción cartográfica intentando digitalizar ejemplares existentes en el ámbito de la información espacial.

En el segundo periodo, que se considera desde 1973 hasta los primeros años de 1980, la atención de los usuarios y desarrolladores de los SIG se centró en la cartografía automatizada



pero con mayor atención en la configuración de los sistemas, a través del diseño de las primeras estructuras topológicas para representar los datos espaciales obteniéndose grandes avances respecto al periodo anterior.

En el tercer periodo, el cual comprende la década de 1980, surgen empresas comerciales y laboratorios académicos dedicados a la generación de SIG, por lo que incrementa la disponibilidad de diferentes paquetes de SIG con diversas características en un amplio mercado, otorgando a los usuarios productos baratos y eficaces.

En el cuatro periodo que inicia en 1991, el interés de los usuarios por explotar las capacidades de los Sistemas de Información Geográfica para resolver problemas complejos del territorio lleva al desarrollo de los análisis de decisión en SIG, incorporando técnicas y programas compatibles para potenciar sus funcionalidades. Durante este periodo, se presentaron numerosas publicaciones relacionadas con la integración de estas técnicas en los SIG.

Actualmente, los Sistemas de Información Geográfica consideran un amplio campo de aplicación, las innovaciones tecnológicas y la globalización de la información geográfica han contribuido en este hecho, convirtiéndose en una herramienta indispensable para la toma de decisiones en diferentes ámbitos.

### 2.1.2 Definición

Los Sistemas de Información Geográfica se definen como el conjunto de hardware, software, procesamientos y personal especializado organizados para capturar, almacenar, manipular, analizar, transformar y representar datos espacialmente referenciados a fin resolver problemas complejos de planificación y gestión del territorio.

Existen múltiples definiciones, no obstante, todo Sistema de Información Geográfica se conforma de cuatro elementos principales. El primer elemento lo constituye la parte física del sistema, es decir, computadoras, unidades de almacenamiento y procesamiento de base de datos, escáneres y otras plataformas requeridas para potenciar la parte operativa de los SIG (Gómez y Barredo, 2006).



El segundo elemento está conformado por el software o conjunto de software, encargados de manipular y procesar los datos. Actualmente hay en el mercado una gran variedad de paquetes de SIG que manejan diversos modelos de datos espaciales y que de acuerdo a las necesidades específicas del usuario, pueden ser adquiridos de manera comercial o libre.

El tercer elemento y quizá el más importante, es el dato espacial. La obtención de base de datos espaciales de calidad suele ser un trabajo minucioso para los usuarios y en ocasiones genera elevados costos, sin embargo, es importante considerarlo, ya que de la calidad de estos datos dependerá la calidad de la información que se genere a través de los procedimientos en SIG (Gómez y Barredo, 2006).

La información que se maneja en los SIG es únicamente una representación simplificada de la realidad. Existen fundamentalmente dos modelos que permiten estructurar y representar dicha información, modelo vector y modelo raster. El modelo vector representa el espacio a través de objetos de carácter geométrico con atributos particulares (puntos, líneas y polígonos). Por su parte, el modelo raster representa el espacio en forma de malla o conjunto de celdas, donde cada elemento adquiere un valor único por cada atributo (Santos y Borderías, 2002).

La información es discriminada según sus características y almacenada en capas, ya sea en modelo raster o vector. Cada capa es independiente pero guarda relación con las otras, esto permite la manipulación y correlación de la información y a su vez, facilita la generación de nueva información que no podría obtenerse de otra manera.

El cuarto y último elemento es el personal especializado, es decir, las personas encargadas de diseñar, implementar y realizar procesos en los SIG para producir información nueva. El personal especializado para el desarrollo de información geográfica funge como vínculo para relacionar los tres elementos anteriormente mencionados y alcanzar resultados satisfactorios (Gómez y Barredo, 2006).

Finalmente, cabe mencionar que el incremento de las innovaciones tecnológicas y el auge que ha presentado el Internet en los últimos años han influido de manera considerable en el desarrollo de los SIG. El internet se ha convertido en la principal fuente de información de



base de datos espaciales y en el medio de difusión de la información que es generada por los SIG. Hoy en día, algunas empresas desarrolladoras de SIG han desarrollado herramientas que pueden ser utilizadas a través de la red.

### 2.1.3 Funciones operacionales

Según Gómez y Barredo (2006), los Sistemas de Información Geográfica desarrollan fundamentalmente cuatro funciones operacionales básicas, siendo las siguientes:

**a) Entrada de información.** Para efectuar adecuadamente esta función en un SIG, deben considerarse las características de la base de datos espaciales existentes (calidad, modelo, sistema de referencia, etc.), la generación de datos espaciales, la integración de datos a través de la teledetección y procedimientos de corrección de errores, generación de topologías e identificación temática (introducción de atributos), ello permitirá contar con información de calidad y compatible que podrá ser procesada y analizada posteriormente.

**b) Gestión de los datos.** Esta función se centra en las operaciones de almacenamiento y recuperación de los datos, es decir, la manera en la que se organizan los datos espaciales y temáticos en la base de datos para ser procesados.

**c) Transformación y análisis de los datos.** Es la función analítica que caracteriza a los SIG, los procedimientos de combinación, reclasificación, supervisión y otras aplicaciones son realizados a través de esta función. Los usuarios deciden qué base de datos utilizar y cómo van a procesarla para producir nueva información, por lo que el conocimiento y capacitación de los usuarios será fundamental para alcanzar el objetivo y generar un abanico de opciones.

**d) Salida de los datos.** Existen diversas opciones para dar salida a la información generada, ello dependerá de las necesidades del usuario: mapas analógicos, tabla de valores, gráficos, representaciones tridimensionales, simulaciones de vuelo, etc. Hoy en día, la más usual para la entrega de un proyecto en SIG es en formato digital, aunque se sigue utilizando el formato analógico.





Para complementar la función analítica de los SIG se ha propuesto el modelado espacial, el cual se ha constituido como una herramienta que permite integrar las bases de datos espaciales con procesos establecidos derivados de modelos que describen de cierta manera el mundo real, los resultados han sido satisfactorios obteniéndose soluciones a problemas espaciales complejos que han influido de manera considerable en la toma de decisiones para la planificación del territorio.

En este sentido, Fisher y Nijkamp (1990, citados por Gómez y Barredo 2006) mencionan que la integración de los SIG con operaciones de modelado espacial se plantea como una herramienta para la descripción, explicación, planificación o predicción de procesos de naturaleza espacial.

Dentro del conjunto de procesos de modelado espacial se encuentra la optimización. El análisis de localización-asignación pertenece a este conjunto de procesos, destacando la técnica de Evaluación Multicriterio que será abordada en el siguiente apartado.

## 2.2 Evaluación Multicriterio

En este apartado se lleva a cabo una revisión general de los antecedentes, definiciones y elementos conceptuales fundamentales de la Evaluación Multicriterio (EMC) en un ambiente de SIG.

### 2.2.1 Antecedentes y definición de Evaluación Multicriterio

Los primeros indicios de la Evaluación Multicriterio datan del siglo XVIII, donde personajes como Condorcet profundizan en la toma de decisiones políticas bajo diversos criterios que realizaban los jueces para su elección social. En los siglos XIX y XX estos planteamientos son retomados para el estudio del comportamiento de los agentes económicos en cuanto a producción y consumo. Después de la Segunda Guerra Mundial en 1960, la Decisión Multicriterio adquiere terminología y cuestionamientos propios, por lo que en 1972 se celebra en Carolina del Sur la primera reunión científica dedicada íntegramente a la toma de decisiones multicriterio. No es hasta la década de 1980 donde le interés por estos planteamientos toma fuerza y con el surgimiento de la informática, surgen también importantes



aportaciones en el orden práctico y teórico de la Decisión Multicriterio (Gómez y Barredo, 2006).

Hoy en día, los métodos de EMC se han incorporado al campo de la decisión territorial, ello se debe al gran esfuerzo que han hecho algunos investigadores como Voogd (1983), Eastman (1991), Barredo (1996), Malczewski (1999), Bosque (2007) y Plata (2010) que gracias a sus publicaciones han ampliado el panorama para incorporar las aplicaciones de EMC en este campo. En México, sobresalen trabajos de Noel B. Pineda tales como *Descripción, Análisis y Simulación de Procesos Forestales en el Estado de México mediante Tecnologías de la Información Geográfica* (Pineda, 2010), *Determination of Optimal Zones for Forest Plantations in the State of Mexico Using Multi-Criteria Spatial Analysis and GIS* (Pineda et al, 2012) y *Estudios Geográficos con Técnicas de Evaluación Multicriterio* (Campos et al, 2013).

La Evaluación Multicriterio (EMC) se sitúa en el ámbito de la *teoría de decisión* y se define como “el conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones” (Gómez y Barredo, 2006: 45). La toma de decisiones en EMC involucra conceptos, aproximaciones, modelos y métodos que interactúan para evaluar una condición bajo diversos criterios, ayudando a los actores a jerarquizar, seleccionar o rechazar diversas alternativas.

### 2.2.2 Elementos de la EMC en el entorno de los SIG

Como se mencionó anteriormente, los métodos de EMC aún no se han desarrollado totalmente en el ámbito territorial, por tal motivo, la terminología de la EMC ha sido adecuada por algunos investigadores para ser utilizada en el entorno de los SIG (Gómez y Barredo, 2006). Los elementos considerados para llevar a cabo el proceso de EMC en SIG se presentan a continuación.



**a) Objetivos**

Para realizar cualquier proceso de EMC a través de los SIG es fundamental establecer un objetivo o conjunto de objetivos que planteen problemas de planificación, decisión o localización-asignación de actividades, los cuales deben estar fundamentados en criterios previamente establecidos (Gómez y Barredo, 2006).

46

**b) Criterios: factores y limitantes**

Los criterios en la EMC son considerados como la base para la toma de decisiones, por tal motivo su elección es un aspecto fundamental para la evaluación de cada alternativa. Son de dos tipos: factores y limitantes, y son representados en forma de mapa. Los factores realzan la capacidad de establecimiento de una alternativa específica para alcanzar el objetivo y se miden en escala continua. Mientras que los limitantes restringen la disponibilidad de una alternativa para la actividad evaluada, excluyéndose varias categorías para generar una capa binaria (Gómez y Barredo, 2006).

**c) Reglas de decisión**

Es el procedimiento que conlleva a una evaluación particular a partir de un método lógico y/o matemático que permite comparar las alternativas entre sí de acuerdo a su capacidad para cumplir el objetivo. Las reglas de decisión pueden ser simples o complejas considerando el objetivo que persigue la evaluación, los métodos de EMC asisten en la integración coherente de los criterios en la toma de una decisión mediante reglas de decisión específicas. Las reglas de decisión pueden establecerse mediante dos tipos procedimientos: de selección y selección heurística (Gómez y Barredo, 2006).

**d) Funciones de selección y heurística**

Las funciones de selección intentan clasificar mediante un modelo matemático las alternativas con base en una característica medible que garantice su optimización, mientras que la selección heurística pretende seleccionar sólo algunas alternativas del conjunto global de estas, es decir, en este último procedimiento se realiza la selección de las alternativas más óptimas (Gómez y Barredo, 2006).

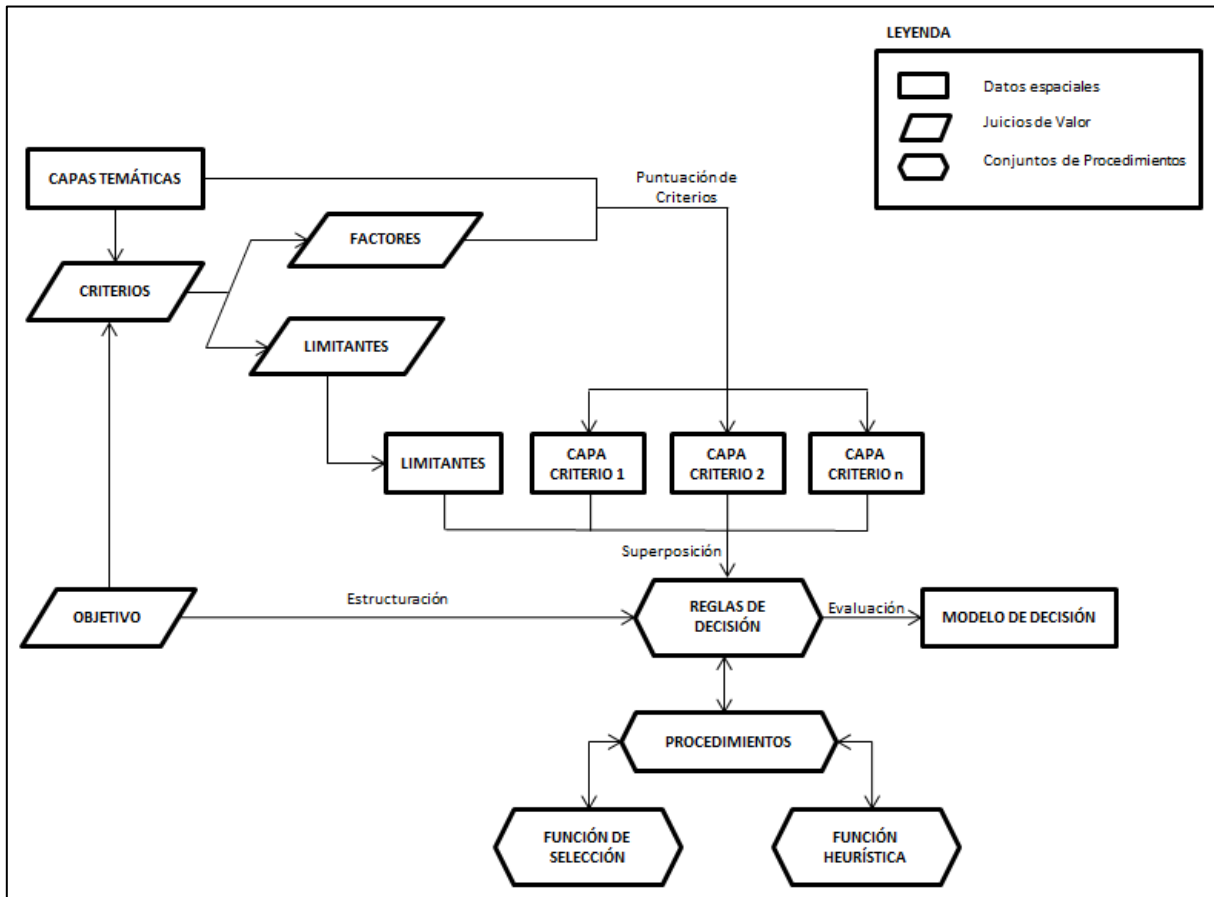


**d) La evaluación**

Definidas las reglas de decisión, cada criterio es evaluado para generar finalmente el modelo de decisión (Gómez y Barredo, 2006).

Para comprender la integración de la Evaluación Multicriterio en los Sistemas de Información Geográfica, a continuación se presenta la figura 6.

**Figura 6 Sistema de integración entre SIG y EMC.**



Fuente: Gómez y Barredo, 2005.





## Capítulo 3. Metodología

Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando



Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica

Dados a conocer los requerimientos ambientales más importantes para el cultivo de los seis productos agrícolas y los fundamentos teóricos generales de los Sistemas de Información Geográfica y la Evaluación Multicriterio, en el presente capítulo se establecen los procesos metodológicos de la implementación del modelo espacial.

### 3.1 Información cartográfica y plataformas tecnológicas

La selección de los datos espaciales de referencia se realizó tomando en consideración los requerimientos ambientales más importantes para el cultivo de los seis productos agrícolas, resultado de una revisión bibliográfica extensa y la consulta de expertos en materia. La disponibilidad de la información también fue fundamental para conformar la base de datos.

La estandarización de las coberturas y el desarrollo de los procesos se realizaron a través de las plataformas ArcGIS e IDRISI, las coberturas fueron transformadas en formato raster para facilitar su análisis, mismas que se presentan en el cuadro 13 y figura 7.

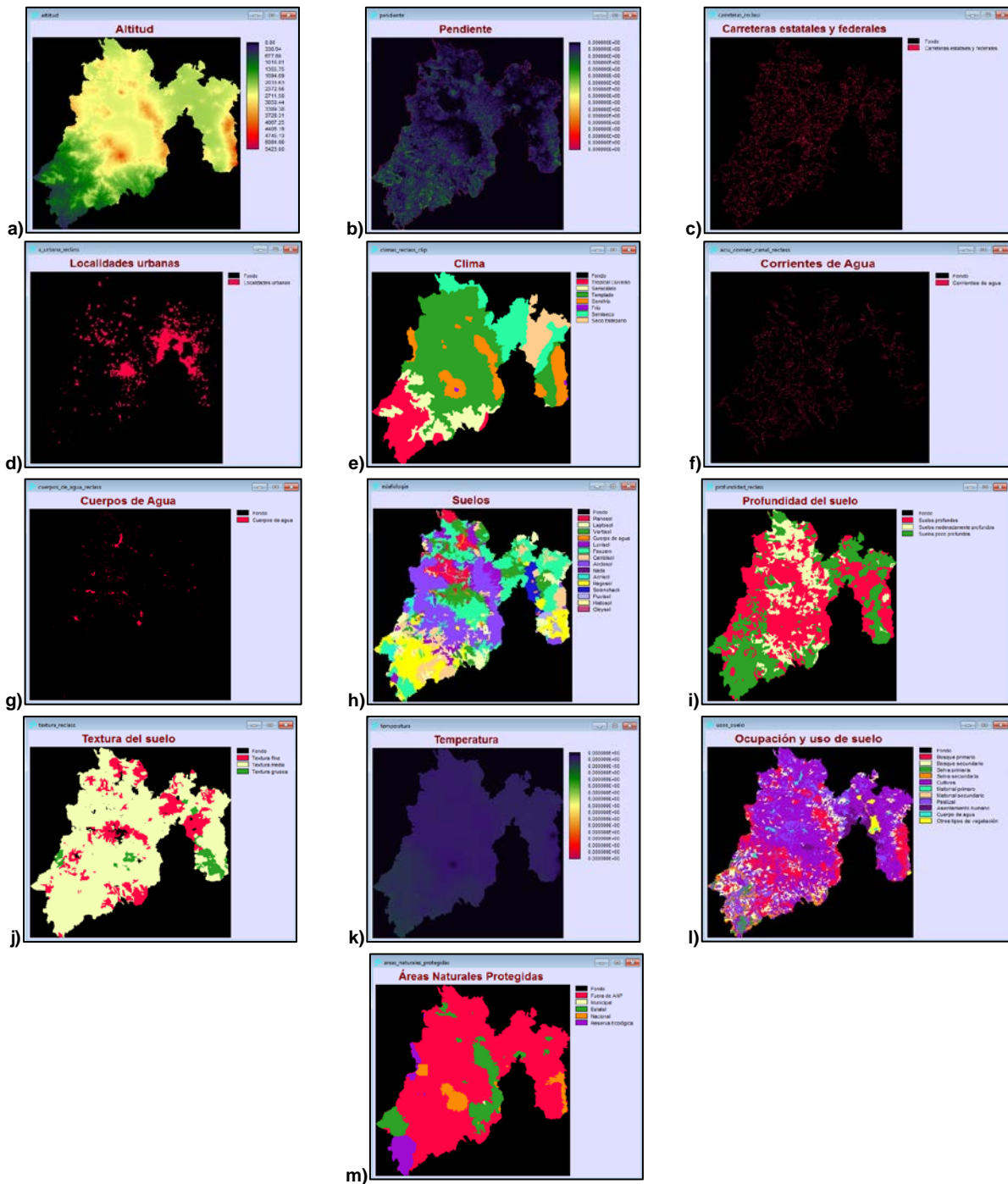
**Cuadro 13 Coberturas utilizadas.**

Cobertura	Fuente
Altitud	Elaboración propia con base en el MDT de INEGI, 2000. Escala 1:250,000.
Pendiente	
Carreteras estatales y federales	Elaboración propia con base en datos de INEGI, 2000 y 2010*. Escala 1:250,000.
Localidades urbanas*	
Clima	Elaboración propia con base en información del Plan de Ordenamiento Territorial del Estado de México, 2000. Escala 1:250,000.
Corrientes de agua	
Cuerpos de agua	
Suelos	
Profundidad del suelo	
Textura del Suelo	
Temperatura	
Ocupación y uso de suelo	Elaboración propia con base en datos del INE, 2000. Escala 1:250,000.
Áreas Naturales Protegidas	Elaboración propia con base en datos de la SEMARNAT, 2000. Escala 1:250,000.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 7 Coberturas utilizadas.



Fuente: Elaboración propia.

Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando



Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica

### 3.2 Métodos

La ponderación de los factores, entendida como la expresión en términos cuantitativos de la importancia de los distintos elementos para contribuir en una determinada actuación (Gómez y Barredo, 2005), se basó en el método de comparación de pares, el cual se encuentra dentro del contexto del Método de Jerarquías Analíticas (MJA) propuesto por Saaty (1980), y es uno de los métodos de asignación de pesos más utilizados para comparar alternativas en trabajos de planeación y análisis del territorio.

El procedimiento se inicia a partir de la estructuración de una matriz cuadrada de columnas y renglones (*matriz de comparación por pares*) definida por el número de factores a ponderar, en la cual se realiza una comparación por pares de factores, a fin de confrontar la importancia de cada uno sobre las demás ( $a_{ij}$ ) frente a una actividad propuesta. Para ello, es necesario asignar al autovector dominante (o *eigenvector*), el cual establece los pesos ( $w_j$ ) y el *eigenvalor*, es decir, la contribución de cada factor es convertida en un valor numérico, mediante un juicio de valor dado por el especialista (Gómez y Barredo, 2005).

Los juicios de valor ( $a_{ij}$ ) se asignan utilizando una escala de razón de tipo continuo que va desde el valor mínimo 1/9 hasta el valor máximo 9, misma que se presenta a continuación.

**Figura 8 Escala de medida para a la asignación de juicios, Método de comparación por pares de Saaty.**

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extrema	Fuerte	Moderada	Igual	Moderada	Fuerte	Extrema		
<b>Menos Importante</b>				<b>Más Importante</b>				

Fuente: Gómez y Barredo, 2005.

En lo que concierne a la consistencia en la asignación de pesos, ésta va a estar regida por el valor de la razón de consistencia (*consistency ratio, c.r.*), la cual se conforma por el índice de consistencia (*consistency, c.i*) y el índice aleatorio (*random index, r.i.*), resumiendo que si en el cálculo de pesos se obtiene un valor de c.r. mayor o igual a 0.1, se deben de replantear los





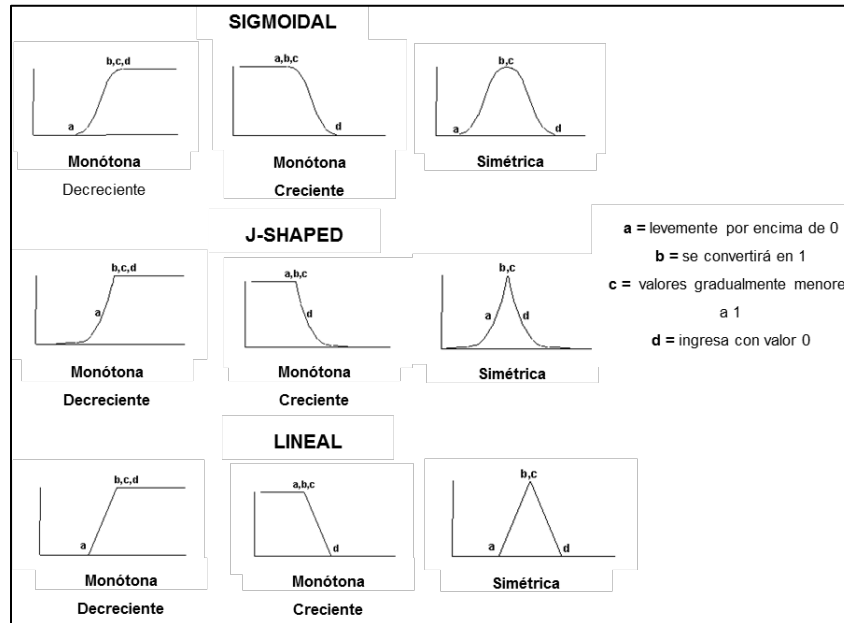
juicios de valor asignados, ya que las proporciones asignadas no son consistentes, si por el contrario, el valor de c.r. es menor a 0.1 se consideran satisfactorios los juicios de valor asignados (Gómez y Barredo, 2005). El procedimiento de ponderación se encuentra implementado en el software IDRISI mediante el módulo *Weight*, el cual fue utilizado para el desarrollo del modelo.

Por otra parte, la normalización de los factores es importante ya que cualquier estudio que considere la integración de variables o criterios distintos, es necesario utilizar escalas compatibles en tipo, rango de extensión, unidad de medida, etc. (Barbara y Pomerol, 1997 en Gómez y Barredo, 2005). Asimismo, la normalización ayuda a evitar obtener resultados sesgados, causados por la diferencia de valores absolutos de las variables.

Para llevar a cabo esta normalización, se utilizan los “números difusos” (*fuzzy number*) que se encuentran en el dominio de los números reales y cumplen las propiedades de normalidad, ya que más que establecer a qué conjunto pertenece cada elemento, establecen la preferencia a partir de un rango continuo de valores. Las funciones utilizadas para la normalización pueden ser variadas, en IDRISI mediante el módulo *Fuzzy* se incluyen tres tipos de funciones: Sigmoidal, J-shaped y Lineal, las cuales ofrecen una variación gradual en número real (0 a 1) y en byte (0 a 255) (ver figura 9).



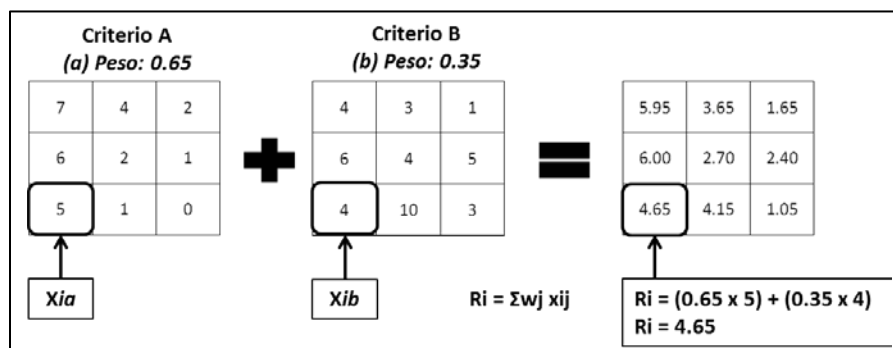
**Figura 9 Funciones de normalización, módulo *Fuzzy*.**



Fuente: Elaboración propia.

Para obtener la evaluación final se utilizó **la sumatoria lineal ponderada**, siendo uno de los métodos más utilizados en la EMC. El cual consiste en multiplicar el valor de cada píxel ( $x_{ia}$  y  $x_{ib}$ ) con el peso determinado para la cubierta ( $a$  y  $b$ ), para posteriormente sumarlo con el píxel en la misma posición de la cubierta siguiente (ver figura 10). Por lo que los píxeles con valores más altos (próximos a 255) son considerados más aptos.

**Figura 10 Sumatoria Lineal Ponderada.**



Fuente: Gómez y Barredo, 2005.



### 3.3 Criterios

Los criterios que se consideraron para localizar áreas óptimas para el cultivo de productos agrícolas son los siguientes:

- Espacios destinados al uso agrícola.
- Espacios que no generen conflicto con las zonas consideradas con alto valor ecológico.
- Espacios que cumplan con los requerimientos ambientales necesarios para el cultivo de hortalizas.
- Espacios que de acuerdo a sus características geográficas y topográficas sean accesibles para el desarrollo de actividades agrícolas.
- Espacios que estén próximos a rasgos hidrológicos (corrientes y cuerpos de agua).

#### 3.3.1 Factores

Para la determinación de los factores se tomó en consideración los requerimientos ambientales necesarios para cada producto agrícola, presentándose a continuación (ver cuadros 14 y 15)

**Cuadro 14 Umbrales óptimos para el cultivo de papa, chícharo o cebolla.**

Requerimientos ambientales	papa	chícharo	cebolla
<b>Clima</b>	Templado Subtropicales	Templado y Subtropical	Templado y Subtropical
<b>Temperatura media anual (°C)</b>	13 – 23 (17 -18)	10 – 25 (14 -18)	10 – 28 (12 -23)
<b>Suelos</b>	Feozem, Cambisol, Andosol y Luvisol	Feozem, Cambisol, Andosol y Luvisol	Feozem, Cambisol, Andosol y Luvisol
<b>Textura del suelo</b>	Media	Ligera	Ligera
<b>Profundidad del suelo (cm)</b>	> 30	> 60	40 > 60
<b>Altitud (msnm)</b>	400 – 3000 (2500)	1300 - 2200	1500 - 2400
<b>Pendiente (%)</b>	0 - 8	0 - 8	0 - 8
<b>Proximidad a corrientes de agua</b>	Sitios próximos lugares más óptimos	Sitios próximos lugares más óptimos	Sitios próximos lugares más óptimos
<b>Proximidad a cuerpos de agua</b>	Sitios próximos lugares más óptimos	Sitios próximos lugares más óptimos	Sitios próximos lugares más óptimos

Fuente: Elaboración propia.



**Cuadro 15 Umbrales óptimos para el cultivo de lechuga, tomate o zanahoria.**

Requerimientos ambientales	lechuga	tomate	zanahoria
<b>Clima</b>	Templado y Frío moderado	Templado	Templado y Frío moderado
<b>Temperatura media anual (°C)</b>	10 – 25 (14 -18)	10 – 30 (20 - 24)	15 – 25 (17 -20)
<b>Suelos</b>	Feozem, Cambisol, Andosol y Luvisol	Feozem, Cambisol, Andosol y Luvisol	Feozem, Cambisol, Andosol y Luvisol
<b>Textura del suelo</b>	Media	Media	Ligera
<b>Profundidad del suelo (cm)</b>	45 > 65	> 1000	> 1000
<b>Altitud (msnm)</b>	800 – 2500	0 - 1800	600 - 3000
<b>Pendiente (%)</b>	0 - 8	0 - 8	0 - 8
<b>Proximidad a corrientes de agua</b>	Sitios próximos lugares más óptimos	Sitios próximos lugares más óptimos	Sitios próximos lugares más óptimos
<b>Proximidad a cuerpos de agua</b>	Sitios próximos lugares más óptimos	Sitios próximos lugares más óptimos	Sitios próximos lugares más óptimos

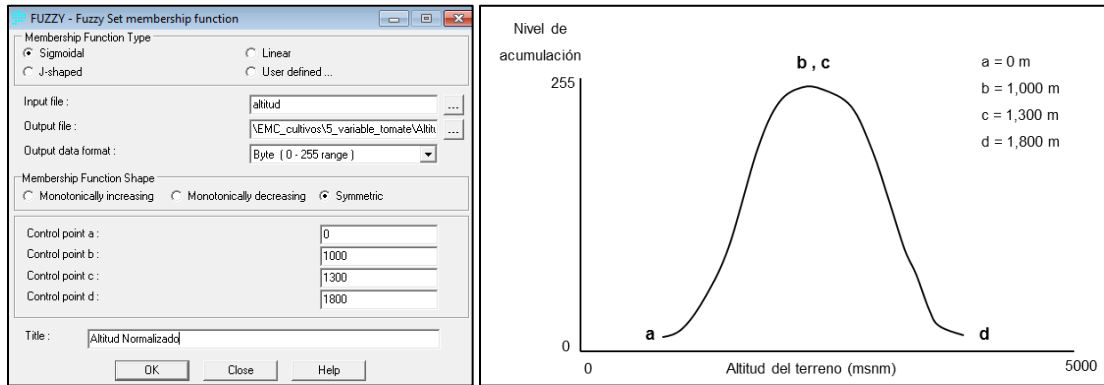
Fuente: Elaboración propia.

La metodología fue aplicada para cada producto agrícola considerando los umbrales óptimos. No obstante, para la investigación se presenta a detalle considerado únicamente las condiciones agroecológicas para el cultivo de tomate.

*Altitud.* Con base en los parámetros señalados en el cuadro 15, se calcularon los umbrales del factor altitud para el cultivo de tomate, mediante una función difusa sigmoideal simétrica (módulo *Fuzzy*), donde lo más óptimo (con valor de 255) son los píxeles ubicados en los 1,000 metros de altitud, generando el mapa de altitud normalizado (ver figuras 11 y 12).

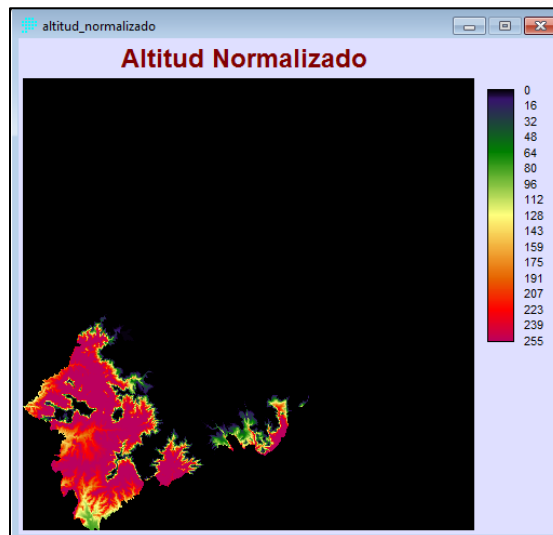


**Figura 11 Normalización de la altitud mediante una función difusa, tomate.**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 12 Mapa de altitud normalizado, tomate.**



Fuente: Elaboración propia.



Los valores de adecuación utilizados para el factor altitud de los productos agrícolas restantes, se presentan en el cuadro 16.

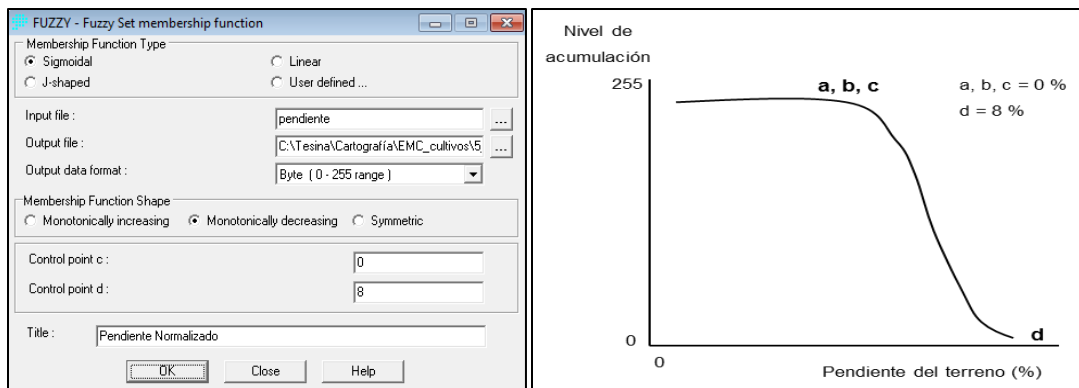
**Cuadro 16 Valores de adecuación para el factor altitud.**

Tipo de normalización	Productos agrícolas	Valores de adecuación (msnm)	
Difusa sigmooidal simétrica	papa	a = 400	c = 2,700
		b = 2,500	d = 3,000
	chicharo	a = 1,300	c = 2,000
		b = 1,750	d = 2,200
	cebolla	a = 1,500	c = 2,200
b = 1,950		d = 2,400	
lechuga	a = 800	c = 2,000	
	b = 1,650	d = 2,500	
zanahoria	a = 600	c = 2,500	
	b = 1,800	d = 3,000	

Fuente: Elaboración propia.

*Pendiente.* Las pendientes más óptimas para las actividades agrícolas oscilan entre 0 a 8%, ya que la utilización de terrenos con pendientes mayores al 8% genera erosión y dificulta la utilización de maquinaria. Para la normalización del factor pendiente, se aplicó una función difusa sigmooidal monótono decreciente, considerando que lo más óptimo (con valor de 255) a los pixeles con pendiente de 0%, para obtener el mapa de pendiente normalizado (ver figuras 13 y 14).

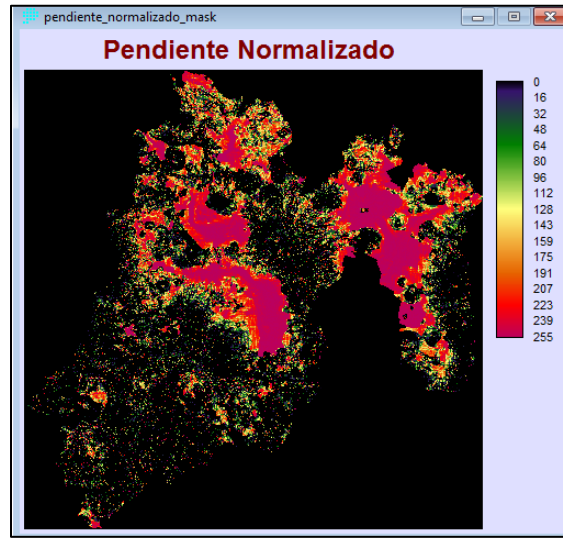
**Figura 13 Normalización de la pendiente mediante una función difusa.**



Fuente: Elaboración propia.



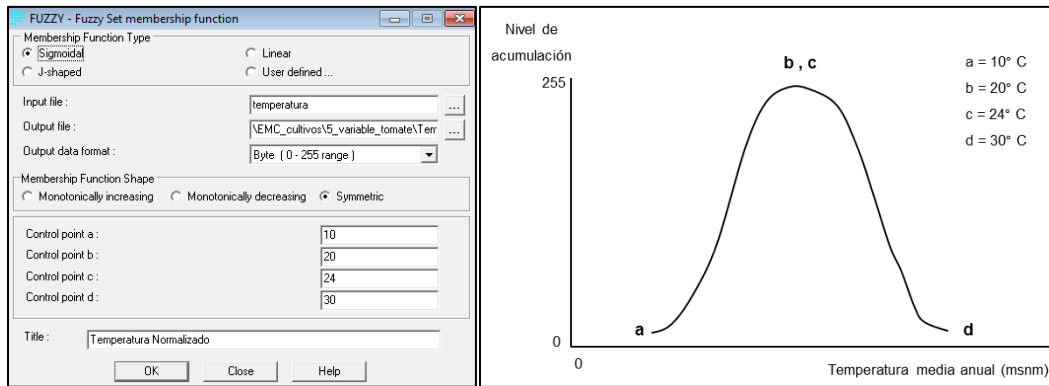
**Figura 14 Mapa de pendiente normalizado.**



Fuente: Elaboración propia.

*Temperatura.* Dados los requerimientos ambientales, se determinó que la temperatura para el cultivo de tomate es de 20°C, con un intervalo que va de 10 a 30°C, utilizando una función difusa sigmoidal simétrica para la normalización de los valores del mapa (ver figuras 15 y 16).

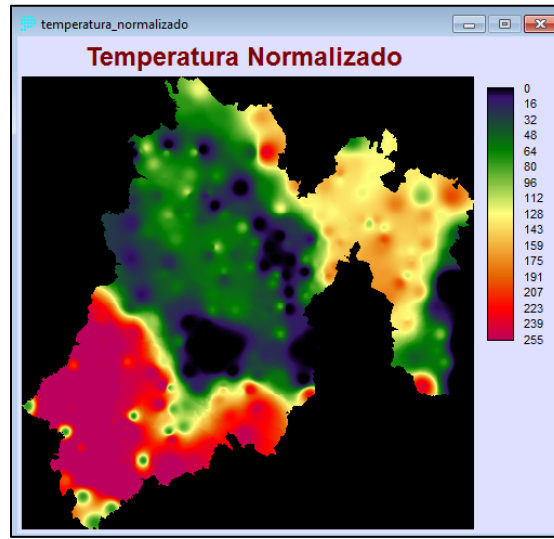
**Figura 15 Normalización de la temperatura mediante una función difusa.**



Fuente: Elaboración propia.



**Figura 16 Mapa de temperatura normalizado.**



Fuente: Elaboración propia.

Los valores de adecuación utilizados para el factor temperatura de los demás productos agrícolas, se presentan en el cuadro 17.

**Cuadro 17 Valores de adecuación para el factor temperatura.**

Tipo de normalización	Productos agrícolas	Valores de adecuación (°C)	
Difusa sigmoideal simétrica	papa	a = 13	c = 18
		b = 17	d = 23
	chícharo	a = 10	c = 18
		b = 14	d = 25
	cebolla	a = 10	c = 23
		b = 12	d = 28
	lechuga	a = 10	c = 18
		b = 14	d = 25
	zanahoria	a = 15	c = 20
		b = 17	d = 25

Fuente: Elaboración propia.

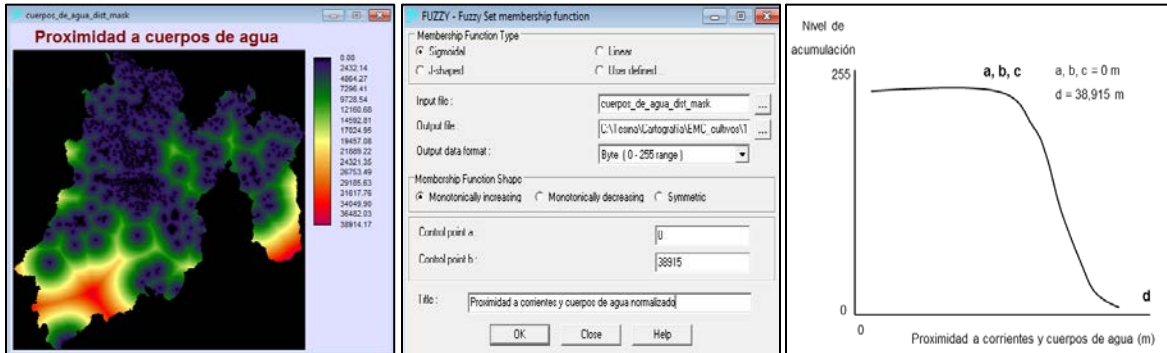
*Proximidad a corrientes y cuerpos de agua.* El acceso al recurso agua es fundamental para el desarrollo de actividades agrícolas, por lo que los lugares más próximos a corrientes y cuerpos de agua son valorados como lo más óptimo para el desarrollo del modelo. La





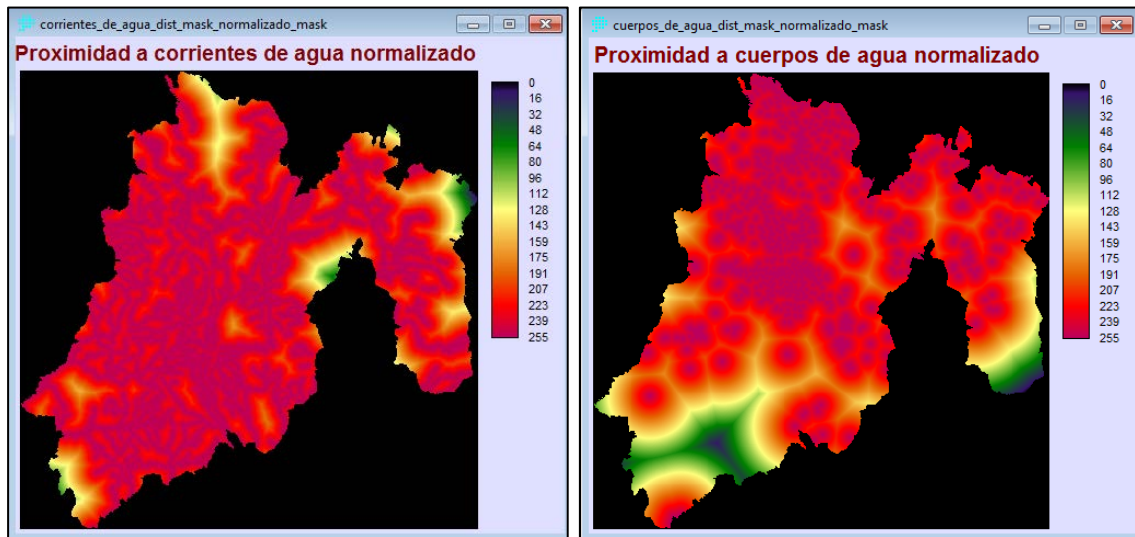
normalización de estos factores se realizó a través de una función sigmoïdal monótona decreciente (ver figuras 17 y 18).

**Figura 17 Normalización de la proximidad a corrientes y cuerpos de agua mediante una función difusa.**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 18 Mapas de proximidad a corrientes y cuerpos de agua normalizados.**



Fuente: Elaboración propia.

**Clima.** El área de estudio cuenta con diversos tipos de clima. No obstante, para el cultivo de tomate el clima más idóneo es el templado (ver cuadro 18).



**Cuadro 18 Tipos de clima clasificados según grado de idoneidad.**

Clima	Idoneidad	Valor reclasificado
Templado	Muy alta	1
Semicalido	Alta	2
Tropical Lluvioso	Media	3
Semifrío	Baja	4
Semiseco	Baja	4
Frío	Muy baja	5
Seco Estepario	Muy baja	5

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la idoneidad anterior, se calcularon los pesos correspondientes a cada tipo de clima mediante el método de comparación por pares propuesto por Saaty (1980), obteniendo una consistencia aceptable en la asignación de juicios de valor (*consistency ratio* = 0.02). Lo anterior se determinó a través del módulo para la definición de pesos en IDRISI (módulo *Weight*).

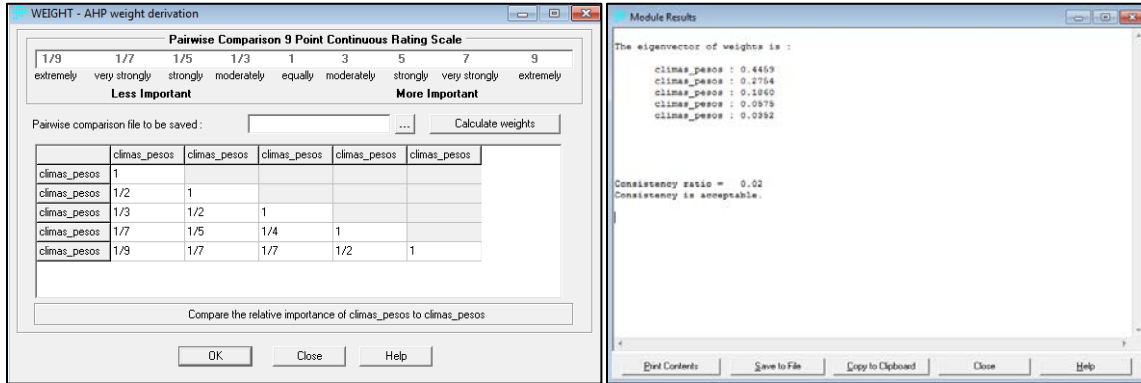
**Cuadro 19 Matriz de comparación por pares, clima.**

	1	2	3	4	5	Pesos
1	1					0.4459
2	1/2	1				0.2754
3	1/3	1/2	1			0.1860
4	1/7	1/5	1/4	1		0.0575
5	1/9	1/7	1/7	1/2	1	0.0352

Fuente: Elaboración propia.



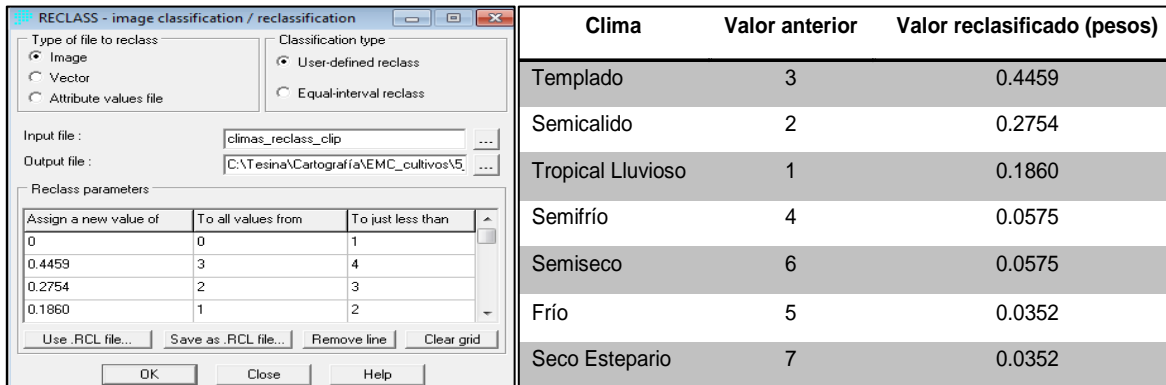
**Figura 19 Módulo para la definición de pesos, clima.**



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se sustituye el valor unitario de cada clima por el peso obtenido utilizando el módulo *Reclass*, para generar el mapa de clima ponderado (ver figura 20 y 21).

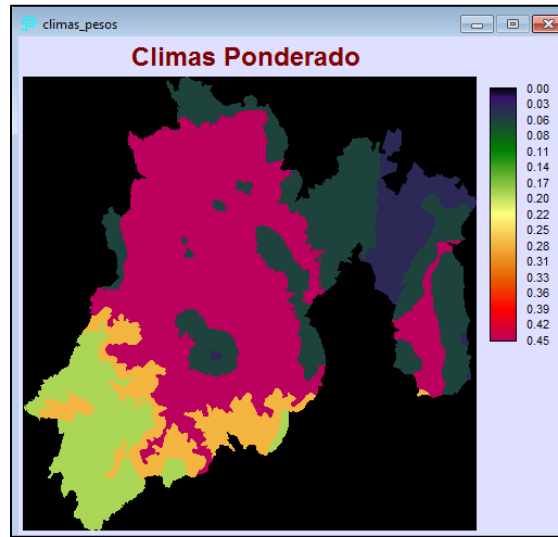
**Figura 20 Módulo para la asignación de pesos (módulo *Reclass*), clima.**



Fuente: Elaboración propia.



**Figura 21 Mapa de climas ponderado.**



Fuente: Elaboración propia.

El proceso de asignación de pesos (ponderación) del factor clima se realizó para cada uno de los productos agrícolas según los requerimientos, dando como resultado los siguientes valores ponderados (ver cuadro 20).

**Cuadro 20 Valores de ponderación del factor clima.**

Productos agrícolas	Clima	Idoneidad	Niveles jerárquicos	Pesos
<b>papa</b>	Templado y Tropical Lluvioso	Alta	1	0.5816
	Semicálido, Semifrío y Semiseco	Media	2	0.3090
	Frío y Seco Estepario	Baja	3	0.1095
<b>chícharo</b>	Templado y Tropical Lluvioso	Alta	1	0.5816
	Semicálido, Semifrío y Frío	Media	2	0.3090
	Semiseco y Seco Estepario	Baja	3	0.1095
<b>cebolla</b>	Templado y Tropical Lluvioso	Alta	1	0.5816
	Semicálido, Semiseco y Semifrío	Media	2	0.3090
	Frío y Seco Estepario	Baja	3	0.1095
<b>lechuga</b>	Templado y Semifrío	Alta	1	0.5816
	Tropical Lluvioso, Semicálido y Semiseco	Media	2	0.3090
	Frío y Seco Estepario	Baja	3	0.1095

Continúa...

Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando

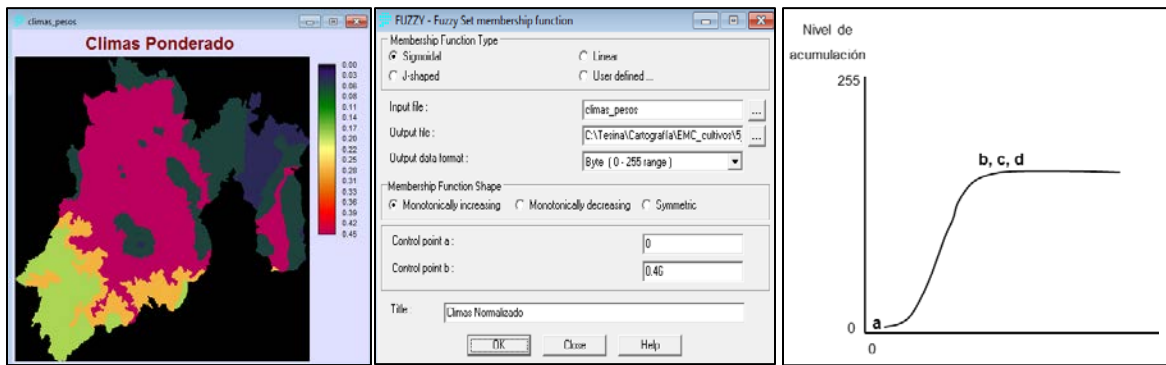


Productos agrícolas	Clima	Idoneidad	Niveles jerárquicos	Pesos
zanahoria	Templado y Semifrío	Alta	1	0.5816
	Tropical Lluvioso, Semicálido y Semiseco	Media	2	0.3090
	Frío y Seco Estepario	Baja	3	0.1095

Fuente: Elaboración propia.

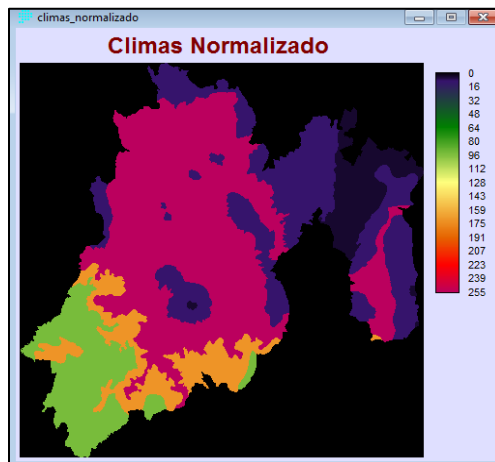
Finalmente, los valores de la ponderación son normalizados mediante una función difusa sigmoidal monótono creciente, donde los píxeles con valores de 255 son los más óptimos, con el propósito de obtener el mapa de clima normalizado (ver figura 22 y 23).

Figura 22 Normalización del mapa de climas ponderado mediante una función difusa.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23 Mapa de climas normalizado.



Fuente: Elaboración propia.

Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando



*Suelos*. Los suelos más aptos para el desarrollo de actividades agrícolas son el Feozem, Cambisol, Andosol y Luvisol (FAO, 2007), siendo los de más alta idoneidad como se muestra en el cuadro siguiente.

**Cuadro 21 Clasificación de suelos según grado de idoneidad.**

Suelos		Idoneidad	Valor reclasificado
Feozem	Andosol	Alta	1
Cambisol	Luvisol		
Acrisol	Gleysol	Media	2
Vertisol	Planosol		
Fluvisol	Regosol		
Histosol		Baja	3
Leptosol			
Solonchacks			

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la idoneidad de los suelos, se determinaron los pesos mediante el método de comparación de pares de Saaty, con una consistencia aceptable en la asignación de juicios de valor (ver cuadro 22 y figura 24).

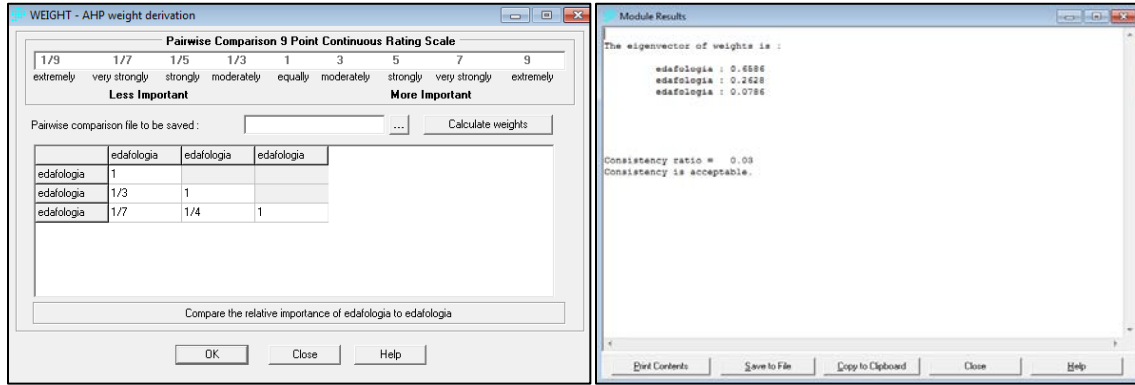
**Cuadro 22 Matriz de comparación por pares, suelos.**

	1	2	3	Pesos
1	1			0.6586
2	1/2	1		0.2628
3	1/3	1/2	1	0.0786

Fuente: Elaboración propia.



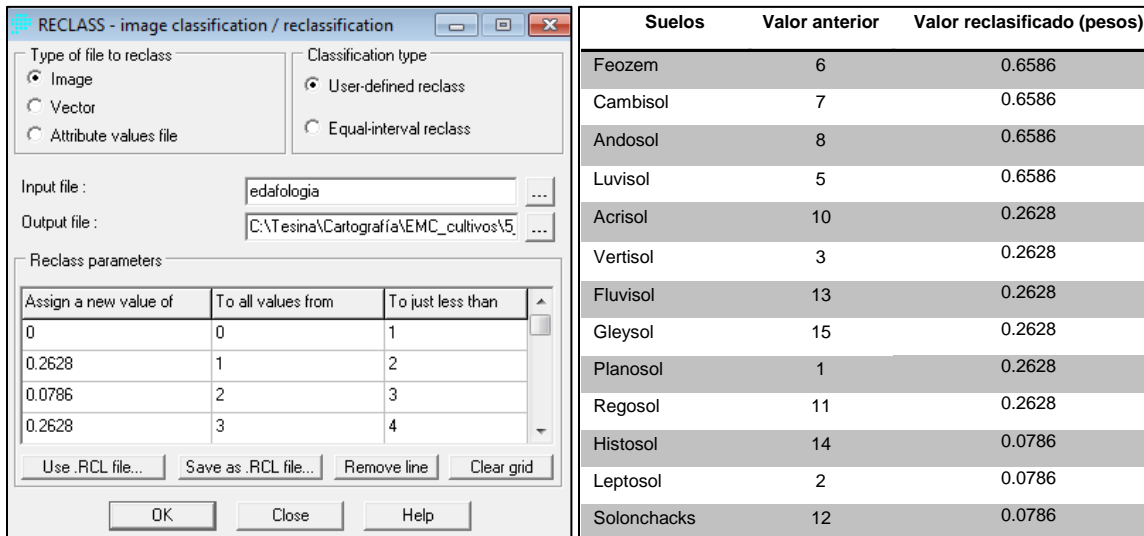
**Figura 24 Modulo para la definición de pesos, suelos.**



Fuente: Elaboración propia.

Se reclasificó sustituyendo los valores unitarios de cada variable del mapa de suelos por los pesos obtenidos según su idoneidad, para generar el mapa de suelos ponderado (ver figura 25 y 26).

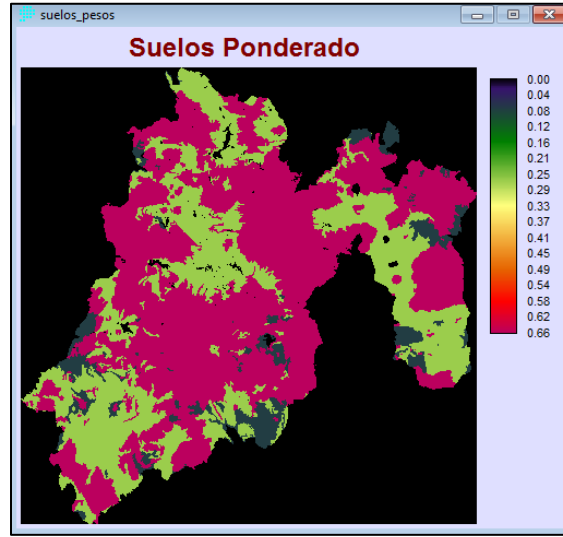
**Figura 25 Módulo para la asignación de pesos (módulo *Reclass*), suelos.**



Fuente: Elaboración propia.



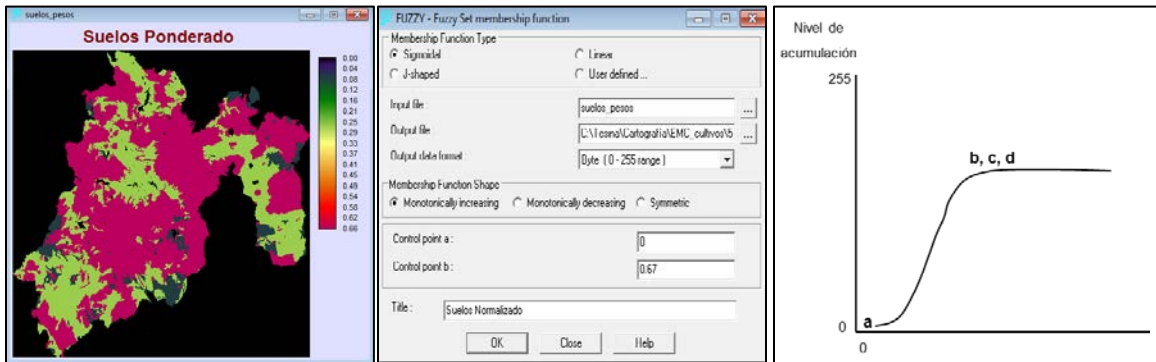
**Figura 26 Mapa de suelos ponderado.**



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se normalizaron los valores ponderados utilizando una función difusa sigmoideal monótono creciente, para obtener el mapa de suelos normalizado (ver figuras 27 y 28).

**Figura 27 Normalización del mapa de suelos ponderado mediante una función difusa.**

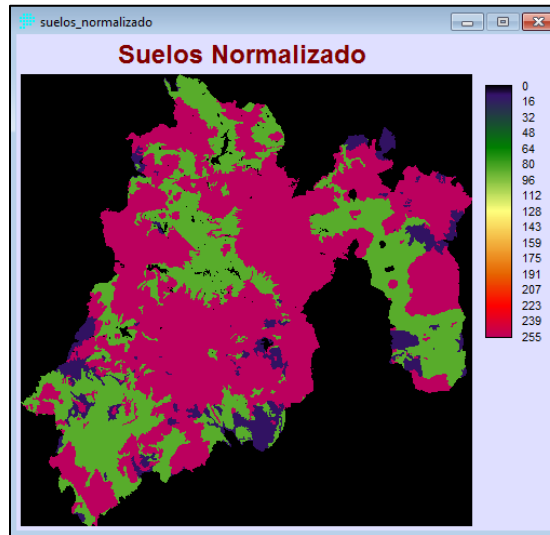


Fuente: Elaboración propia.





**Figura 28 Mapa de suelos normalizado.**



Fuente: Elaboración propia.

*Textura del suelo.* El factor de textura del suelo se encuentra clasificado de la siguiente manera.

**Cuadro 23 Textura del suelo.**

Categoría	Textura del suelo	Dimensión de la partícula elemental (mm)
1	Textura fina	Menor a 0.001 mm hasta 0.05 mm (arcilla y lino).
2	Textura media	Mayor a 0.05 mm hasta 2.0 mm (arena).
3	Textura gruesa	De más de 2.0 mm y mayor a 20.0 mm (grava y piedras).

Fuente: Elaboración propia.

Aplicando el método de comparación de pares, se obtuvieron los pesos para cada textura del suelo, dándole la más alta idoneidad a la textura media, ya que en dicha textura el tomate presenta mayores rendimientos (ver cuadros 24 y 25).

**Cuadro 24 Clasificación de textura del suelo según grado de idoneidad.**

Textura del Suelo	Idoneidad	Valor reclasificado
Textura media	Alta	1
Textura fina	Media	2
Textura gruesa	Baja	3

Fuente: Elaboración propia.

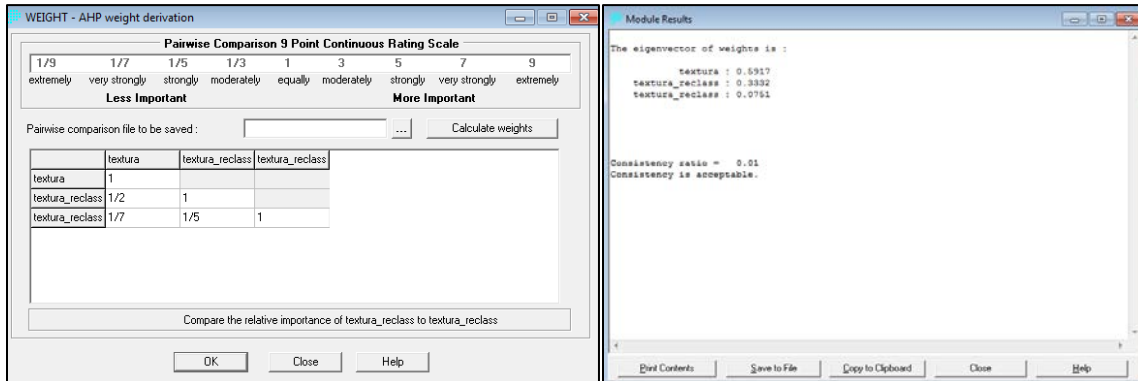


**Cuadro 25 Matriz de comparación por pares, textura del suelo.**

	1	2	3	<b>Pesos</b>
<b>1</b>	1			0.5917
<b>2</b>	1/2	1		0.3332
<b>3</b>	1/7	1/5	1	0.0751

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 29 Módulo para la definición de pesos, textura de suelo.**



Fuente: Elaboración propia.

El proceso de ponderación del factor textura del suelo fue realizado para cada uno de los cultivos conforme a la idoneidad, presentándose los valores ponderados a continuación (ver cuadro 26).

**Cuadro 26 Valores de ponderación del factor textura del suelo.**

Productos agrícolas	Textura del Suelo	Idoneidad	Niveles jerárquicos	Pesos
<b>papa</b>	Textura media	Alta	1	0.5917
	Textura fina	Media	2	0.3332
	Textura gruesa	Baja	3	0.0751
<b>chícharo</b>	Textura fina	Alta	1	0.5917
	Textura media	Media	2	0.3332
	Textura gruesa	Baja	2	0.0751
<b>cebolla</b>	Textura fina	Alta	1	0.5917
	Textura media	Media	2	0.3332

Continúa...

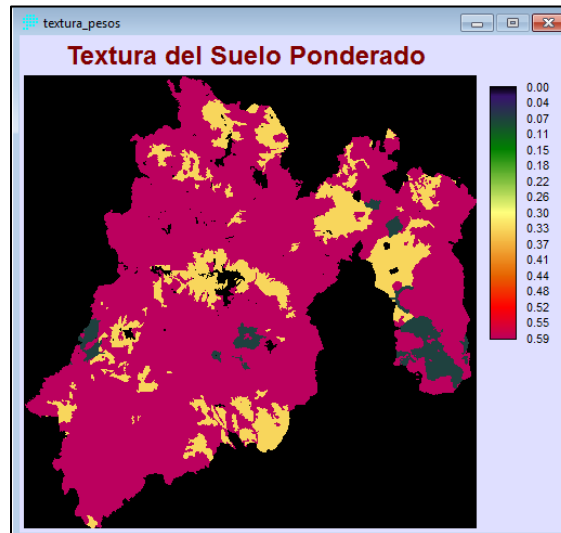


Productos agrícolas	Textura del Suelo	Idoneidad	Niveles jerárquicos	Pesos
lechuga	Textura gruesa	Baja	3	0.0751
	Textura media	Alta	1	0.5917
	Textura fina	Media	2	0.3332
	Textura gruesa	Baja	3	0.0751
zanahoria	Textura fina	Alta	1	0.5917
	Textura media	Media	2	0.3332
	Textura gruesa	Baja	3	0.0751

Fuente: Elaboración propia.

Mediante la asignación de pesos, se obtuvo el mapa de textura de suelos ponderado para el cultivo de tomate (ver figura 30).

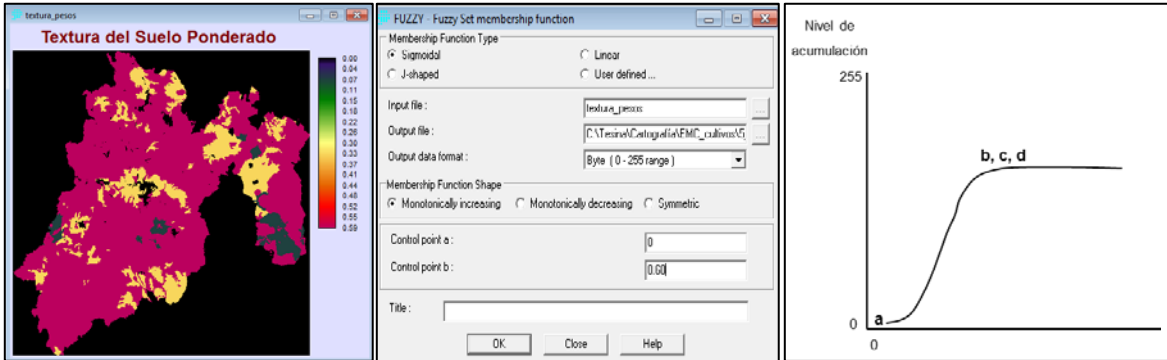
Figura 30 Mapa de textura del suelo ponderado.



Fuente: Elaboración propia.

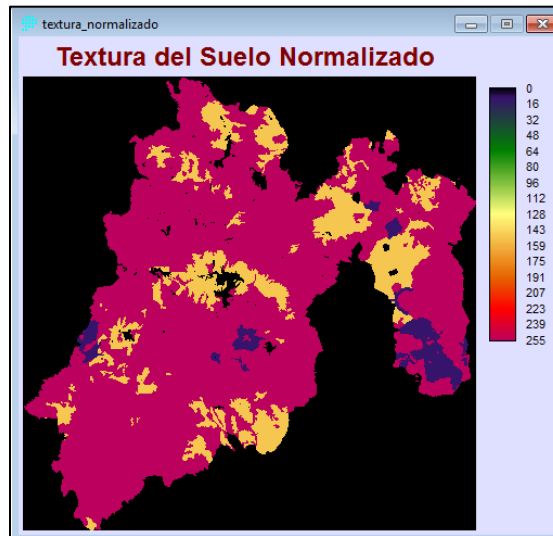
Y se normalizaron los valores ponderados a través de una función difusa sigmoïdal monótono creciente, para obtener el mapa de textura de suelo normalizado para el cultivo de tomate (ver figuras 31 y 32).

**Figura 31 Normalización del mapa de textura del suelo ponderado mediante una función difusa.**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 32 Mapa de textura del suelo normalizado.**



Fuente: Elaboración propia.



*Profundidad del suelo.* El factor de profundidad del suelo se encuentra clasificado conforme a las siguientes categorías.

**Cuadro 27 Profundidad del Suelo.**

Categoría	Profundidad del suelo	Rangos
1	Suelos profundos	Más de 1 m. hasta llegar a una capa limitante.
2	Suelos moderadamente profundos	De 60 cm. hasta 1 m.
3	Suelos poco profundos	De 25 cm. hasta 60 cm.

Fuente: Elaboración propia.

La ponderación del factor profundidad del suelo fue determinado conforme a los requerimientos de cada producto agrícola (ver cuadro 28).

**Cuadro 28 Valores de ponderación del factor profundidad del suelo.**

Productos agrícolas	Profundidad del Suelo	Idoneidad	Niveles jerárquicos	Pesos
papa	Suelos poco profundos	Alta	1	0.5816
	Suelos moderadamente profundos	Media	2	0.3090
	Suelos profundos	Baja	3	0.1095
chícharo	Suelos moderadamente profundos	Alta	1	0.5917
	Suelos profundos	Media	2	0.3332
	Suelos poco profundos	Baja	3	0.0751
cebolla	Suelos poco profundos	Alta	1	0.6491
	Suelos moderadamente profundos	Media	2	0.2790
	Suelos profundos	Baja	3	0.0719
lechuga	Suelos poco profundos	Alta	1	0.5917
	Suelos moderadamente profundos	Media	2	0.3332
	Suelos profundos	Baja	3	0.0751
zanahoria	Suelos profundos	Alta	1	0.5917
	Suelos moderadamente profundos	Media	2	0.3332
	Suelos poco profundos	Baja	3	0.0751

Fuente: Elaboración propia.



El tomate, por su parte, requiere suelos profundos mayores a un metro, por lo que se le otorgó la más alta idoneidad a esta variable y se calcularon los pesos (ver cuadros 29 y 30 y figura 33).

**Cuadro 29 Clasificación de profundidad del suelo según grado de idoneidad.**

Textura del Suelo	Ideoneidad	Valor reclasificado
Suelos profundos	Alta	1
Suelos moderadamente profundos	Media	2
Suelos poco profundos	Baja	3

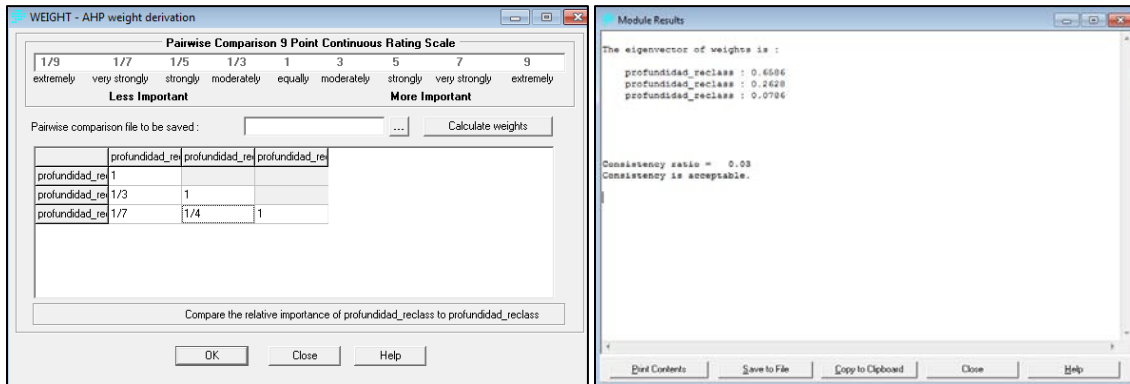
Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 30 Matriz de comparación por pares, profundidad del suelo.**

	1	2	3	Pesos
1	1			0.6586
2	1/3	1		0.2628
3	1/7	1/4	1	0.0786

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 33 Módulo para la definición de pesos, profundidad de suelo.**

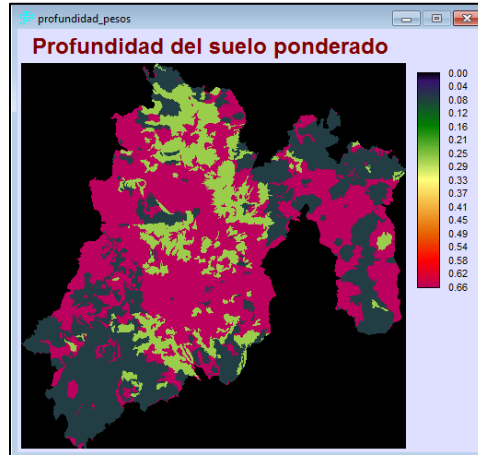


Fuente: Elaboración propia.

A partir de los valores de peso obtenidos, se realiza la reclasificación para obtener el mapa de profundidad del suelo ponderado para el cultivo de tomate (ver figura 34).



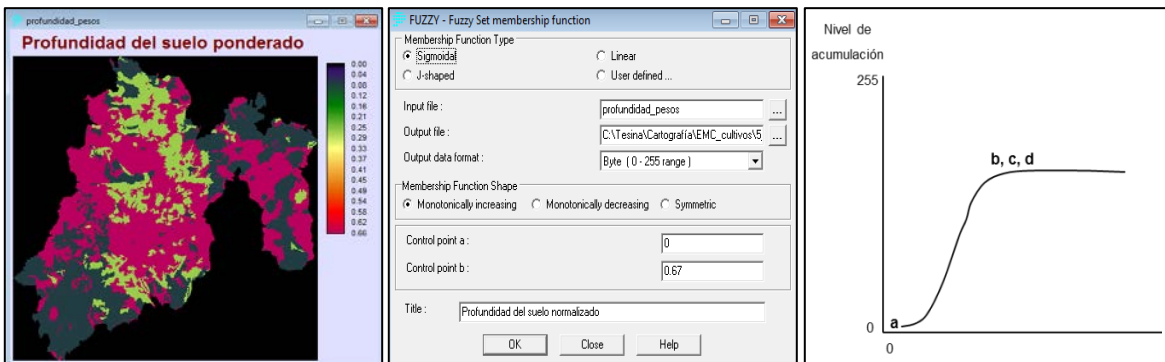
**Figura 34 Mapa de profundidad del suelo ponderado.**



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se normalizan los valores a través de una función difusa sigmoideal monótono creciente para obtener el mapa de profundidad del suelo normalizado para el cultivo de tomate, donde los pixeles más óptimos son los que presenten valores cercanos a 255 (ver figuras 35 y 36).

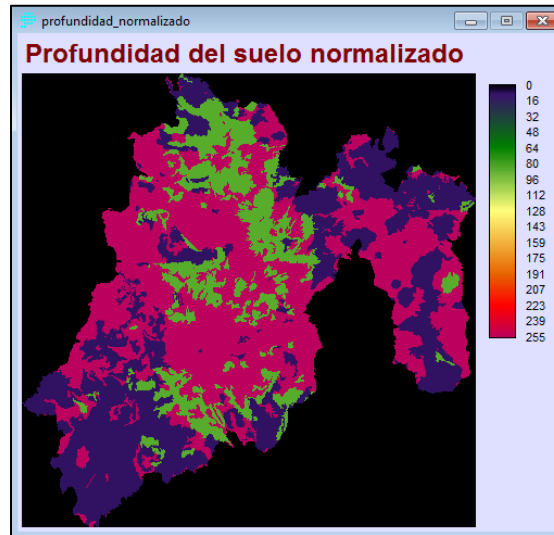
**Figura 35 Normalización del mapa de profundidad del suelo ponderado mediante una función difusa.**



Fuente: Elaboración propia.



**Figura 36 Mapa de profundidad del suelo normalizado.**



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2 Restricciones

Las restricciones son mapas con valores binarios que indican, por una parte, los espacios donde se permitirá el desarrollo de la actividad evaluada (valor 1), y por otra, los espacios que serán excluidos para efectuar dicha actividad (valor 0), con la finalidad de impedir que las zonas óptimas se localicen sobre Áreas Naturales Protegidas, áreas urbanas, carreteras estatales y federales, corrientes y cuerpos de agua, y usos de suelo no compatibles con las actividades agrícolas, ya que únicamente se consideró el uso de suelo agrícola (ver figura 37).



Figura 37 Mapas de restricciones.



Fuente: Elaboración propia.

Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando



Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica

### 3.4 Aplicación de la Evaluación Multicriterio (EMC)

Determinados los mapas de factores y restricciones, se llevó a cabo la Evaluación Multicriterio con el módulo MCE de IDRISI (ver figura 38), en el cual se sobreponen los mapas a partir de un método estadístico de sumatoria lineal ponderada.

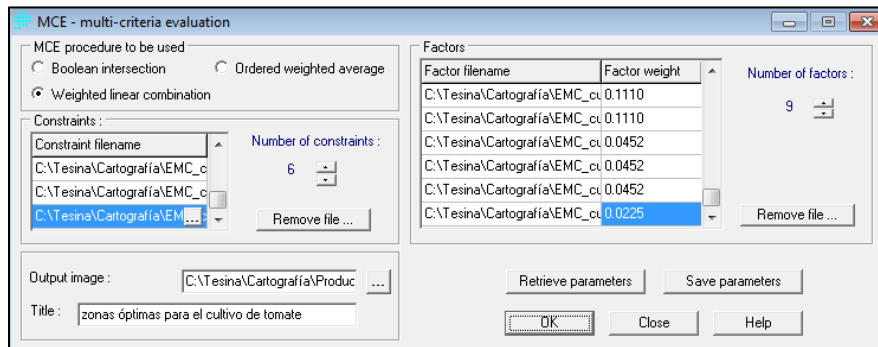
Para ello, fue necesario ordenar los factores en función a su grado de idoneidad<sup>2</sup> y calcular la puntuación final de pesos (ver cuadro 31). Posteriormente, se introdujeron los mapas de factores (considerando el orden y pesos correspondientes) y los mapas de restricciones, se ejecutó el modelo y se obtuvieron las zonas óptimas.

**Cuadro 31 Clasificación de los factores y puntuación final de pesos.**

Textura del Suelo	Idoneidad	Pesos
Temperatura	Muy alta	0.2545
Clima	Muy alta	0.2545
Suelos	Alta	0.1110
Textura del suelo	Alta	0.1110
Profundidad del suelo	Alta	0.1110
Altitud	Media	0.0452
Proximidad a corrientes de agua	Media	0.0452
Proximidad a cuerpos de agua	Media	0.0452
Pendiente	Baja	0.0225

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 38 Módulo para la Evaluación Multicriterio en IDRISI (módulo MCE).**



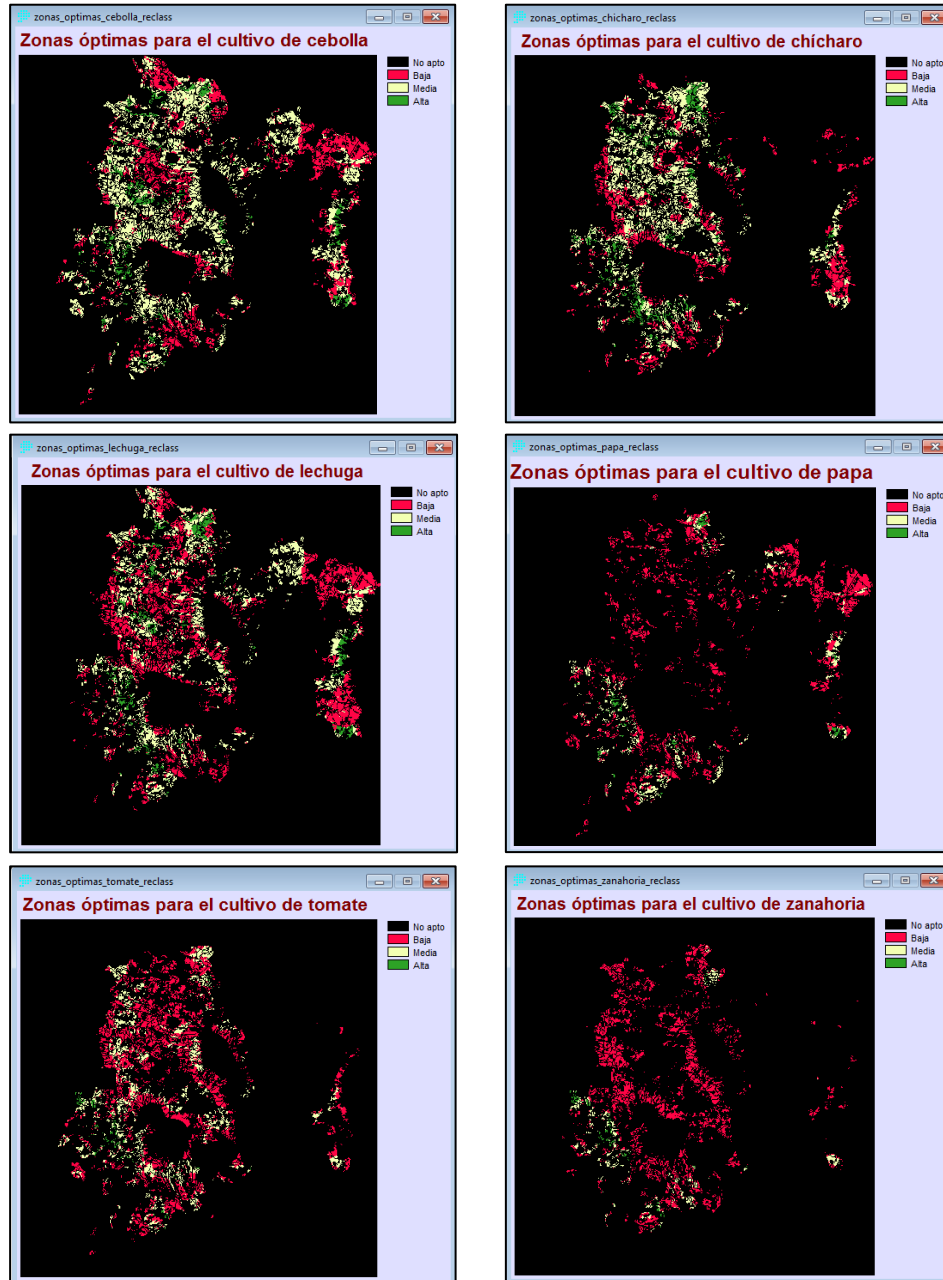
Fuente: Elaboración propia.

<sup>2</sup> El orden de importancia de los factores se determinó considerando la bibliografía citada y la consulta de expertos en materia (SEDAGRO).



Finalmente, los mapas resultantes fueron adecuados según su nivel de aptitud, considerando cuatro categorías: alta, media, baja y no apto (ver figura 39).

**Figura 39 Mapas de zonas óptimas.**



Fuente: Elaboración propia.

Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando





## Capítulo 4. Resultados

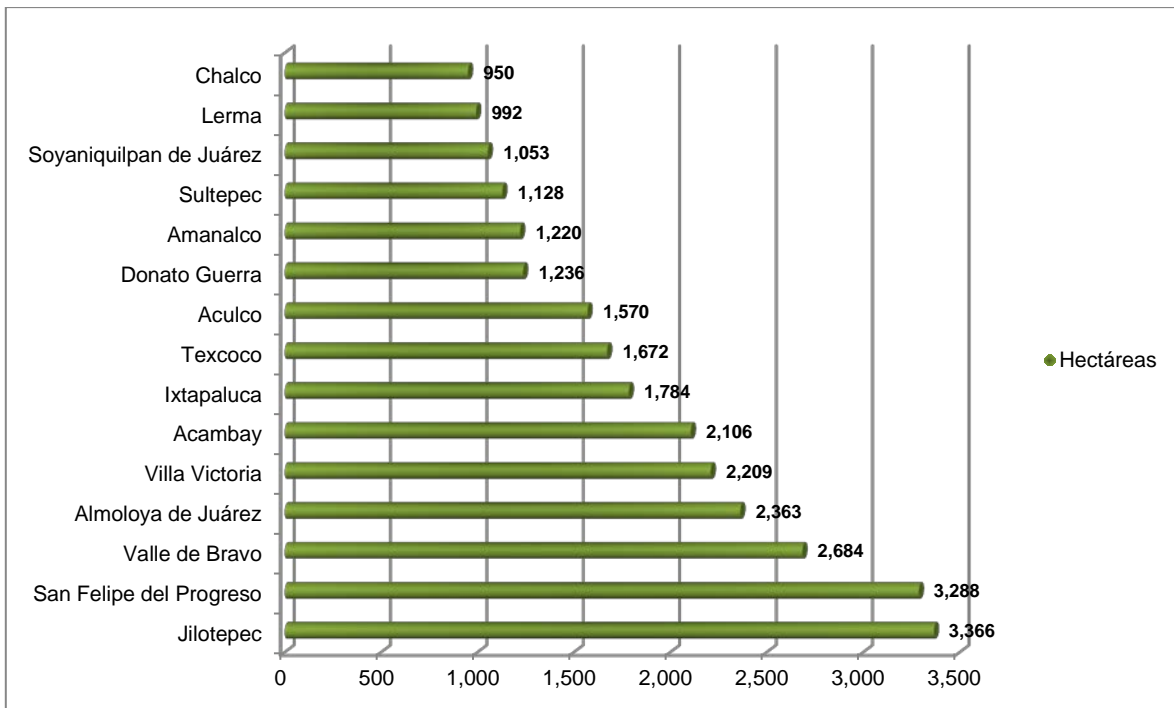
Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando



Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica

De acuerdo con los resultados obtenidos el Estado de México, cuenta con 42 mil 196 hectáreas con alta aptitud para el cultivo de cebolla distribuidas en 77 municipios, los más sobresalientes son Jilotepec, San Felipe del Progreso, Valle de Bravo, Almoloya de Juárez, Villa Victoria y Acambay (ver figura 40). Por otra parte, según OEIDRUS<sup>3</sup> (2010), los municipios que producen cebolla como cultivo de temporal en la entidad son Tonatico, Ixtapan de la Sal, Zumpahuacán y Zacazonapan, mismos que presentan mayoritariamente zonas de media y baja aptitud (ver figura 41).

**Figura 40 Municipios con mayor superficie disponible de alta aptitud para el cultivo de cebolla en el Estado de México.**

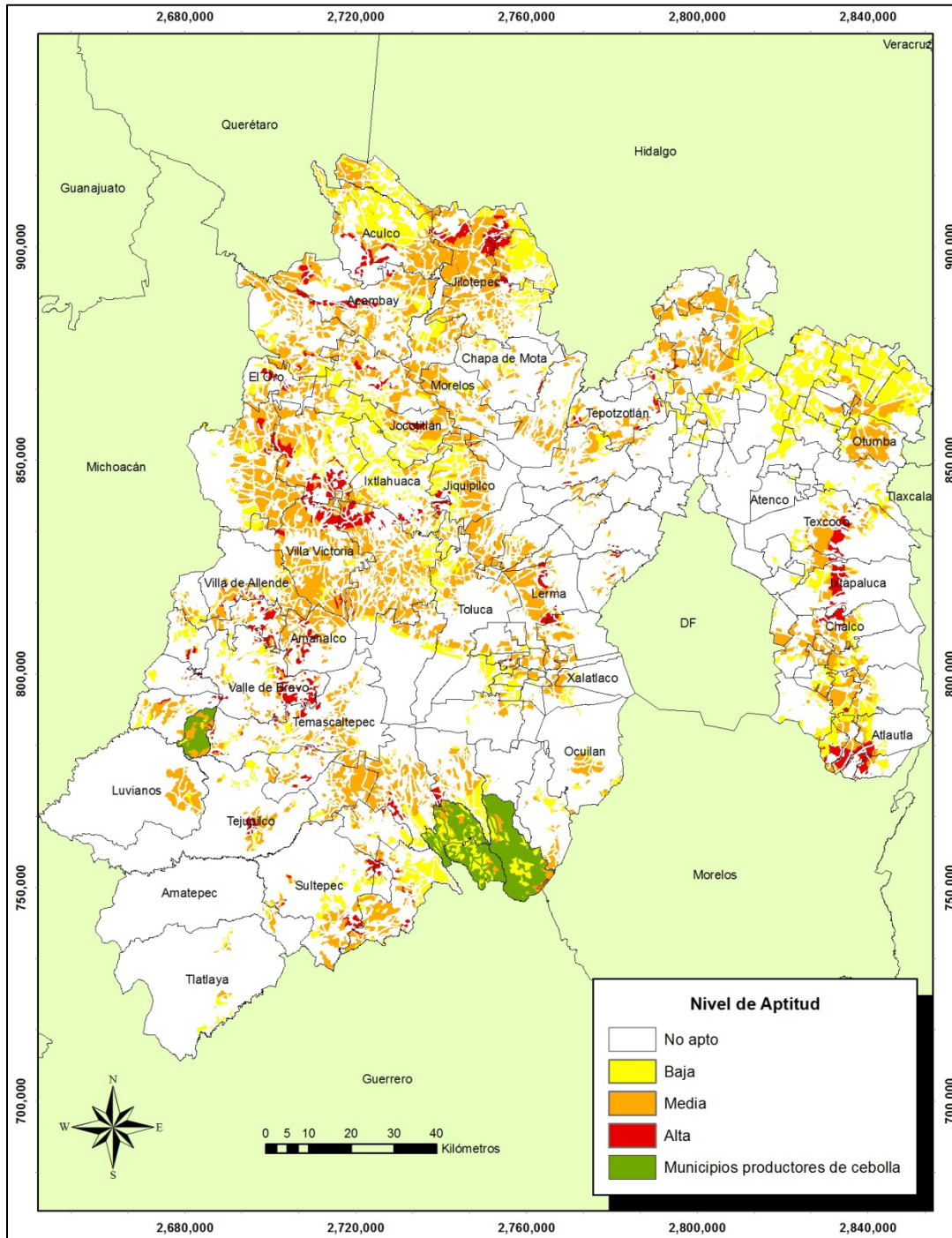


Fuente: Elaboración propia.

<sup>3</sup> La información se obtuvo del Anuario Estadístico de la Producción Agrícola (OIEDRUS, 2010), Ciclo: Cíclicos y Perennes, Modalidad: Temporal.



**Figura 41 Mapa de zonas óptimas para el cultivo de cebolla, Estado de México.**



Fuente: Elaboración propia.

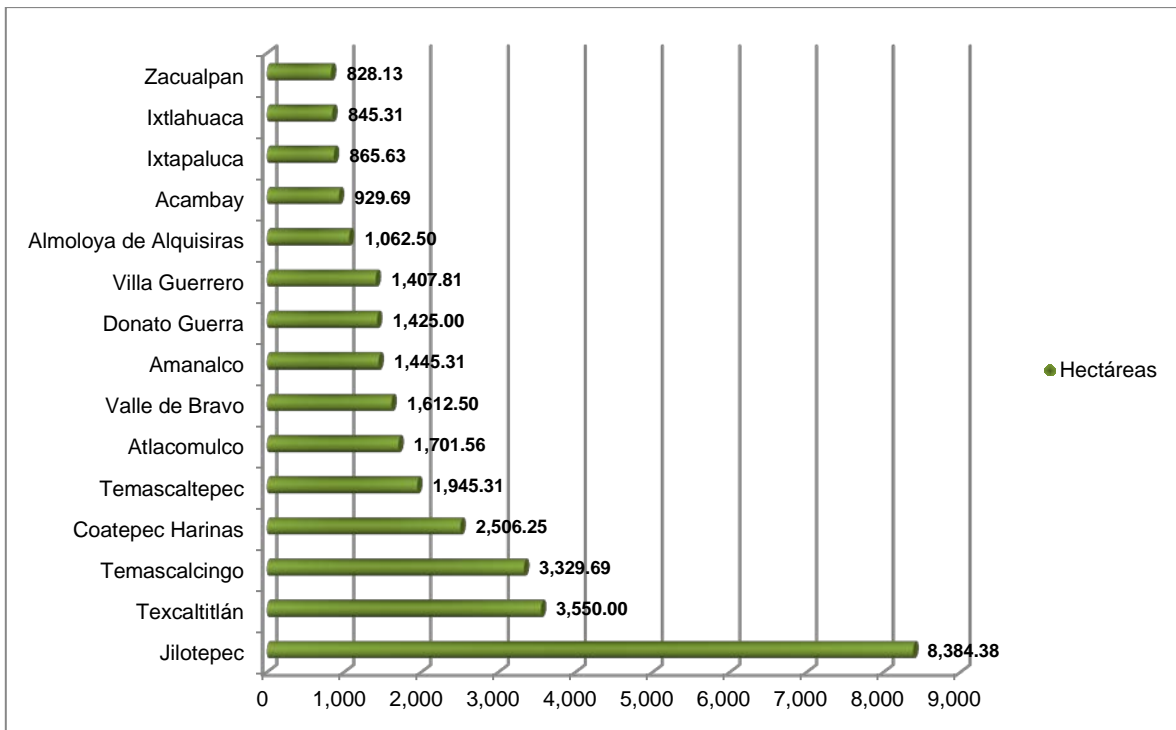
Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando



Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica

En lo que respecta al chícharo, se obtuvo una superficie de 41 mil 793 hectáreas con alta aptitud para su cultivo distribuidas en 50 municipios, sobresaliendo al norte Jilotepec y Temascalcingo con 8 mil 384 y 3 mil 329 hectáreas, respectivamente; y al sur Texcaltitlán y Coatepec Harinas con 3 mil 550 y 2 mil 506 hectáreas, respectivamente (ver figura 42). Actualmente, se produce el chícharo como cultivo de temporal en 27 municipios ubicados al sur y este de la entidad (OEIDRUS, 2010); no obstante, los resultados arrojan también la disponibilidad en la zona norte de zonas con alta aptitud (ver figura 43).

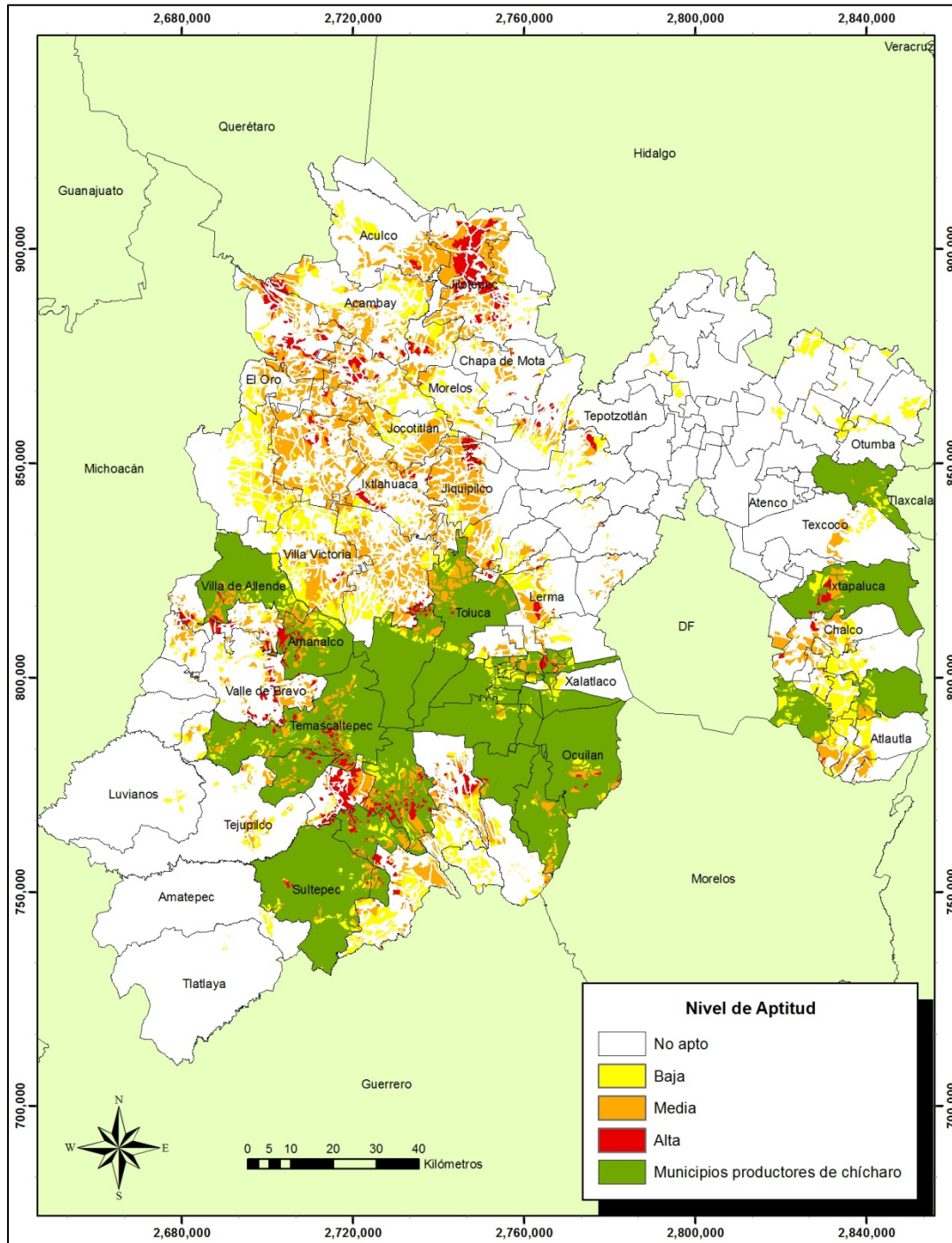
**Figura 42 Municipios con mayor superficie disponible de alta aptitud para el cultivo de chícharo en el Estado de México.**



Fuente: Elaboración propia.



**Figura 43 Mapa de zonas óptimas para el cultivo de chícharo, Estado de México.**



Fuente: Elaboración propia.

Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando

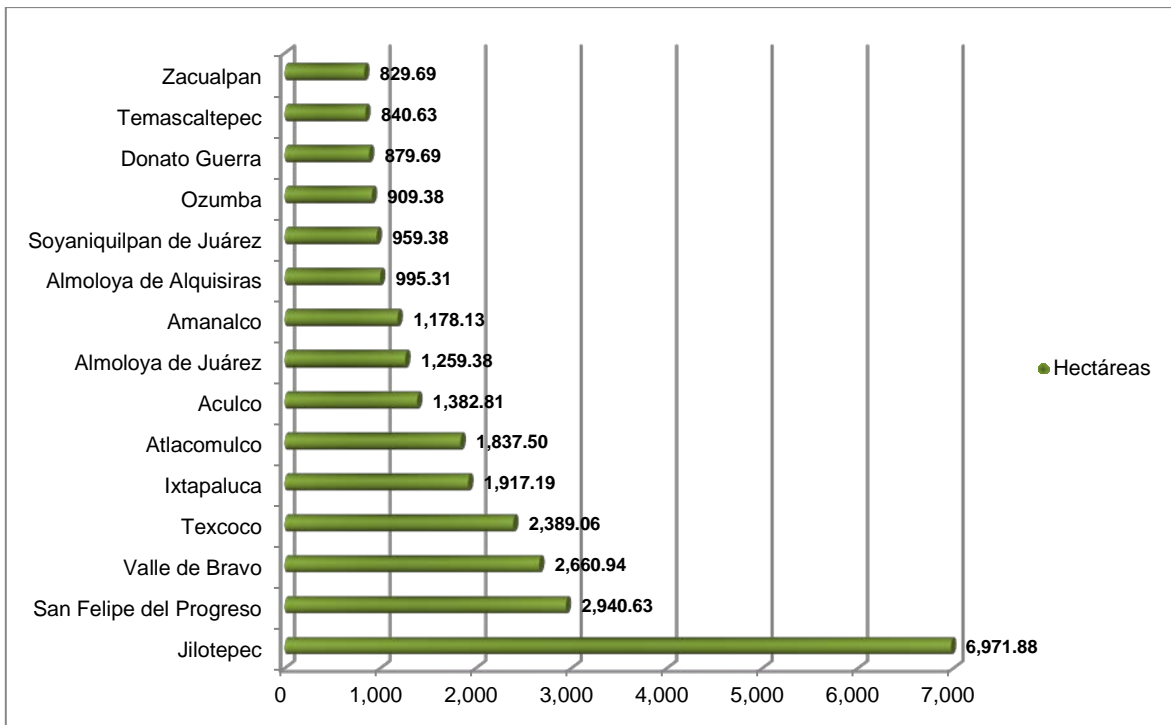


Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica



En lo que concierne a la lechuga, se dispone de 38 mil 573 hectáreas con alta aptitud para su cultivo distribuidas en 60 municipios de la entidad, siendo los más sobresalientes Jilotepec con 6 mil 971 hectáreas, seguido de San Felipe del Progreso, Valle de Bravo y Texcoco (ver figura 44). Los municipios en los que se produce la lechuga como cultivo de temporal según datos de OEIDRUS (2010) son Calimaya, Rayón, Tenango del Valle, Texcalacayac, Joquicingo, Almoloya del Río, Tianguisteco, Juchitepec y Ozumba, mismos que de acuerdo a los resultados obtenidos en su mayoría presentan zonas con media y baja aptitud (ver figura 45).

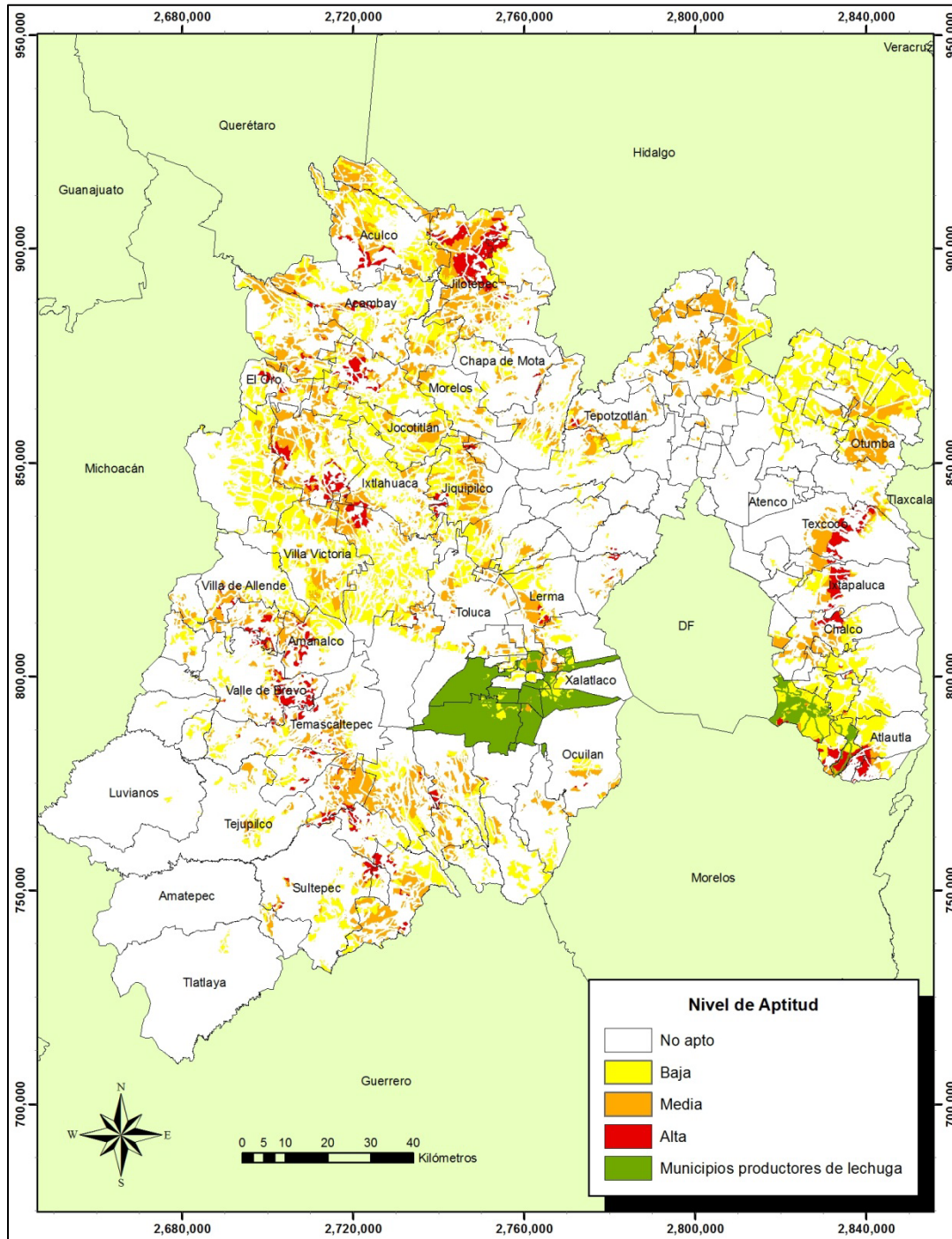
**Figura 44 Municipios con mayor superficie disponible de alta aptitud para el cultivo de lechuga en el Estado de México.**



Fuente: Elaboración propia.



**Figura 45 Mapa de zonas óptimas para el cultivo de lechuga, Estado de México.**



Fuente: Elaboración propia.

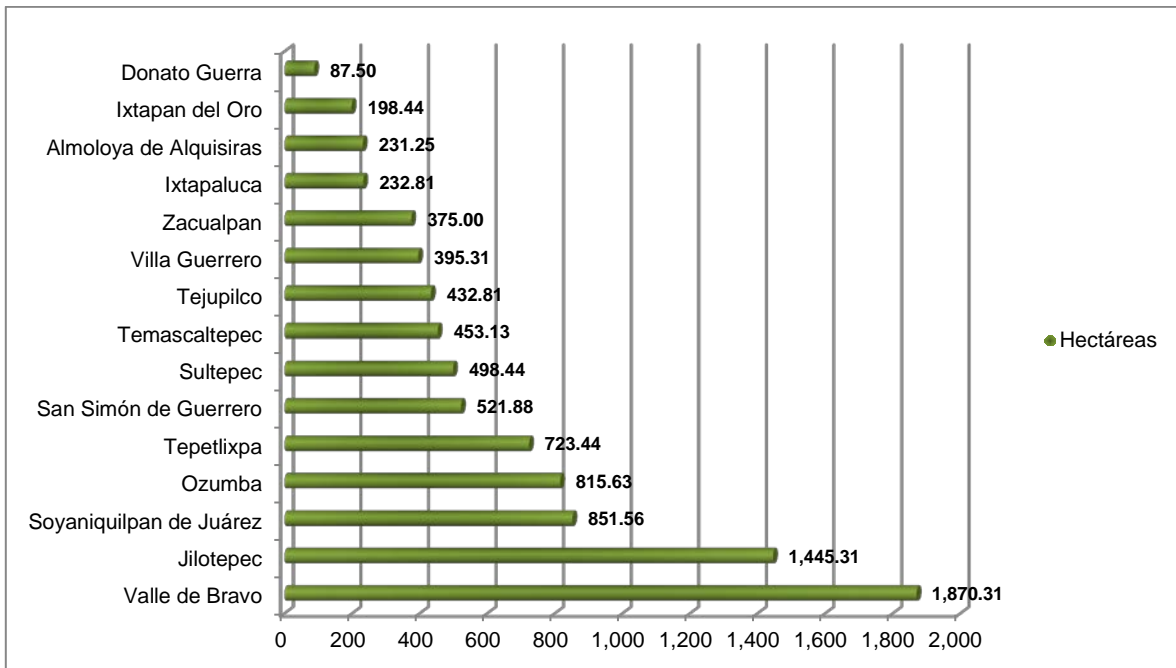
Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando



Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica

Según datos de OEIDRUS (2010), la papa se produce como cultivo de temporal en 25 municipios del estado, sin embargo se obtuvo que sólo 9 mil 542 hectáreas presentan alta aptitud para su cultivo, distribuidas en 25 municipios; Valle de Bravo y Jilotepec son los que presentan mayor superficie, siendo de mil 870 y mil 445 hectáreas, respectivamente (ver figura 46). En contraste con los municipios que actualmente producen papa, quienes de acuerdo a los resultados obtenidos presentan zonas de baja y media aptitud (ver figura 47).

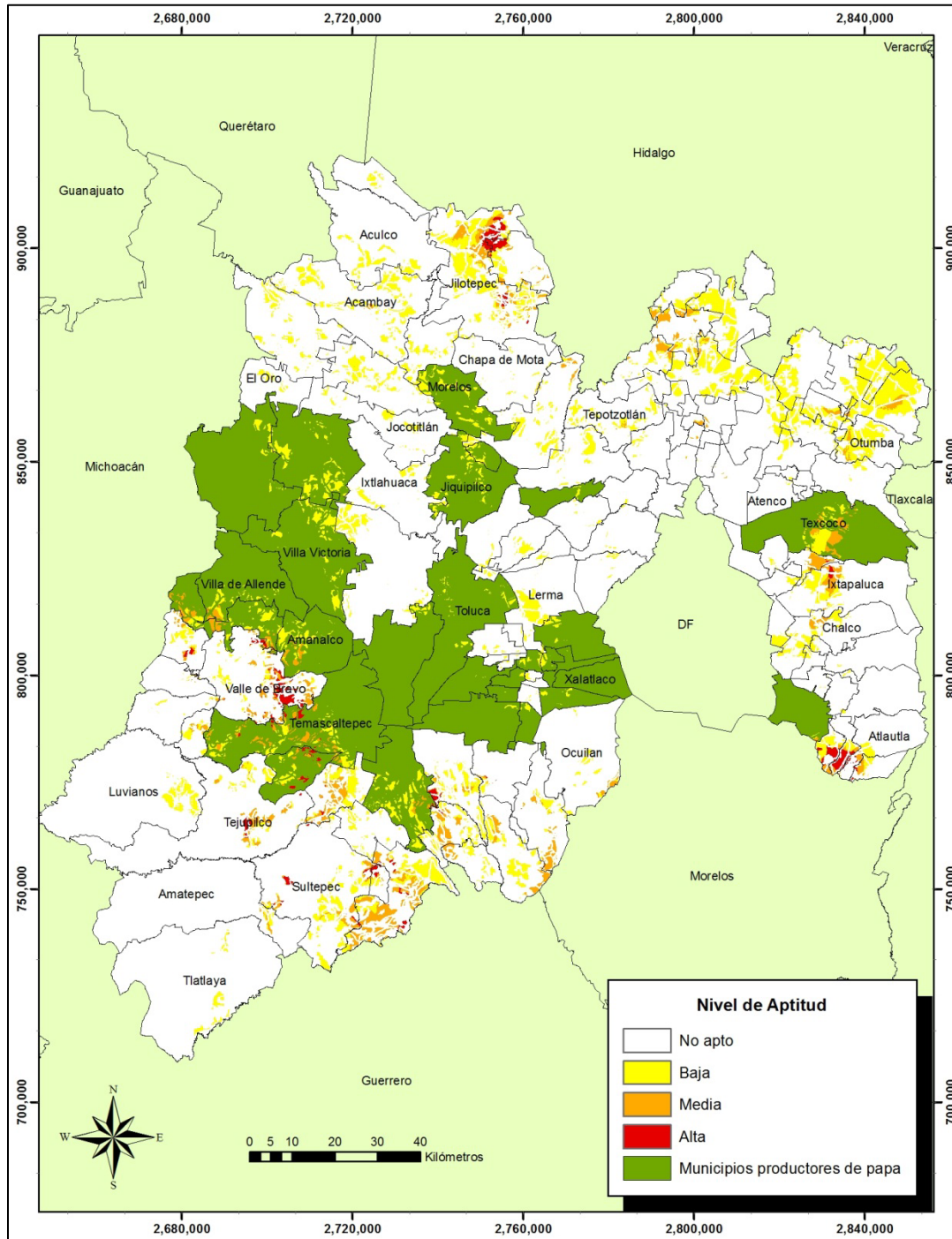
**Figura 46 Municipios con mayor superficie disponible de alta aptitud para el cultivo de papa en el Estado de México.**



Fuente: Elaboración propia.



**Figura 47 Mapa de zonas óptimas para el cultivo de papa, Estado de México.**



Fuente: Elaboración propia.

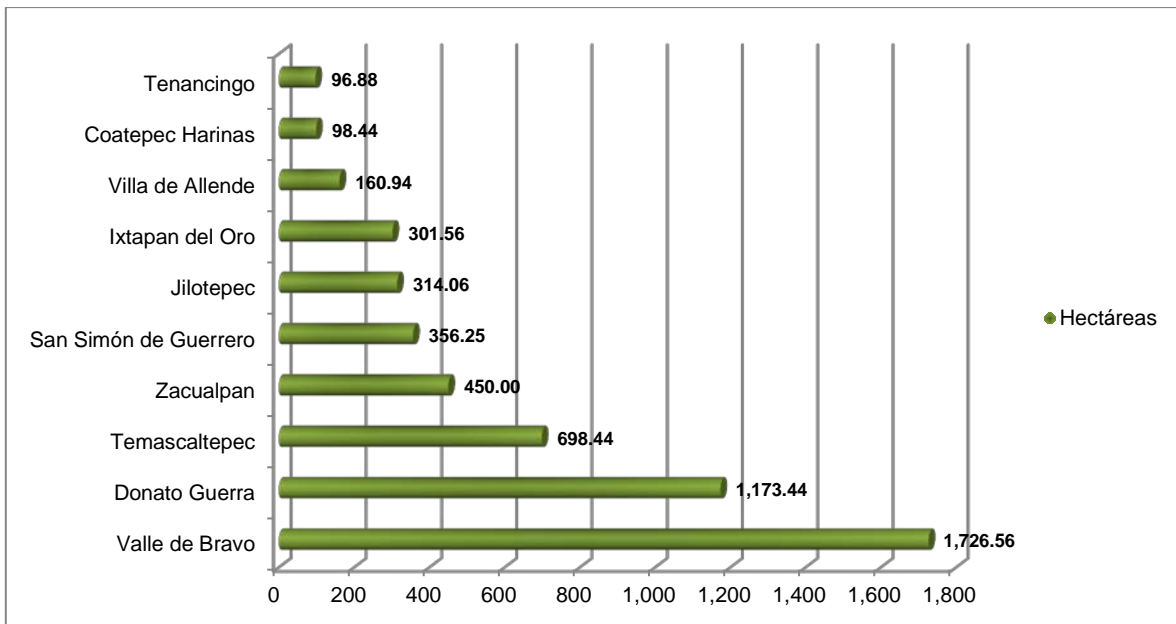
Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando



Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica

Con respecto a las zonas aptas para el cultivo de tomate, según los resultados obtenidos se dispone de 5 mil 629 hectáreas con alta aptitud en el estado distribuidas en 22 municipios, los más sobresalientes son Valle de Bravo, Donato Guerra y Temascaltepec, con mil 726, mil 173 y 698 hectáreas, respectivamente (ver figura 48). No obstante, según datos de OEIDRUS (2010) el tomate no se produce como cultivo de temporal en los dos municipios que cuentan con los requerimientos ambientales más adecuados para su producción en la entidad (ver figura 49).

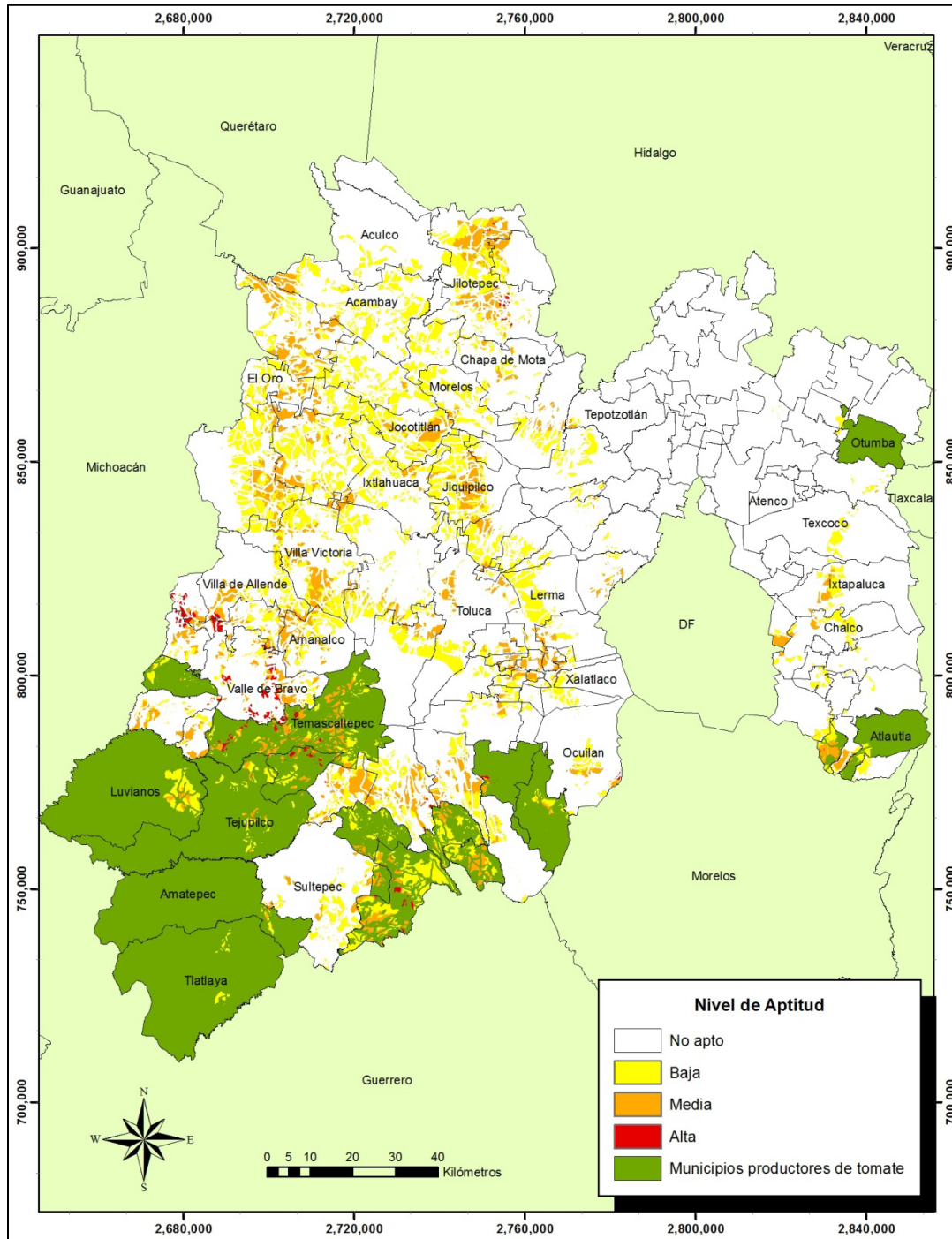
**Figura 48 Municipios con mayor superficie disponible de alta aptitud para el cultivo de tomate en el Estado de México.**



Fuente: Elaboración propia.



**Figura 49 Mapa de zonas óptimas para el cultivo de tomate, Estado de México.**



Fuente: Elaboración propia.

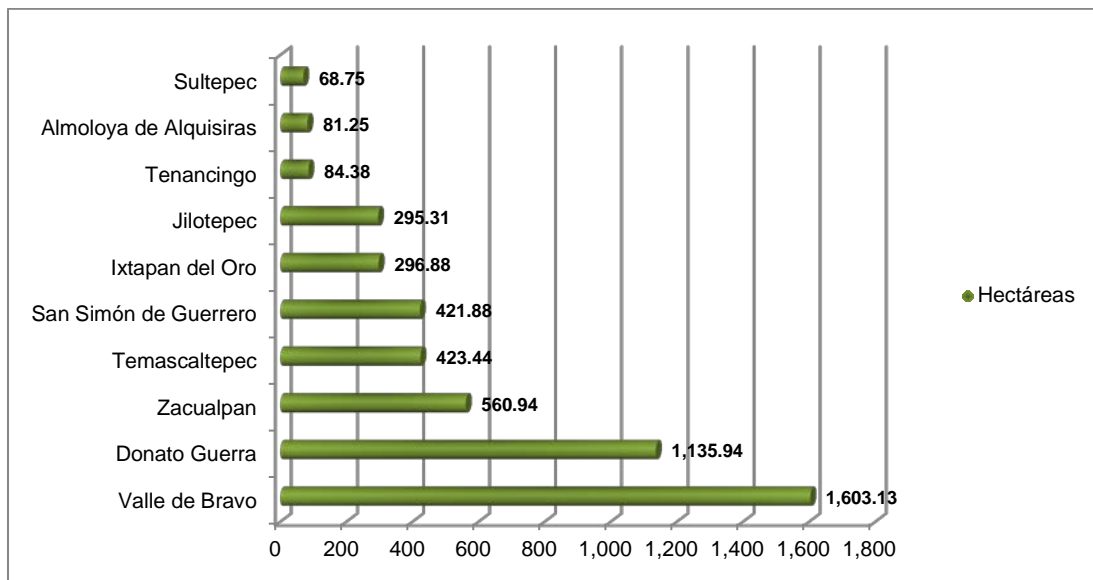
Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando



Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica

En lo concerniente a la zanahoria, se localizaron 5 mil 114 hectáreas con alta aptitud para su cultivo distribuidas en 16 municipios, Valle de Bravo y Donato Guerra son los más sobresalientes con mil 606 y mil 135 hectáreas, respectivamente (ver figura 50). De acuerdo con datos de OIEDRUS (2010), la zanahoria se cultiva como producto de temporal en 15 municipios, ubicados al oeste y sur del estado, mismos que según los resultados presentan zonas con media y baja aptitud, e inclusive, Amecameca fue considerado como no apto (ver figura 51).

**Figura 50 Municipios con mayor superficie disponible de alta aptitud para el cultivo de zanahoria en el Estado de México.**

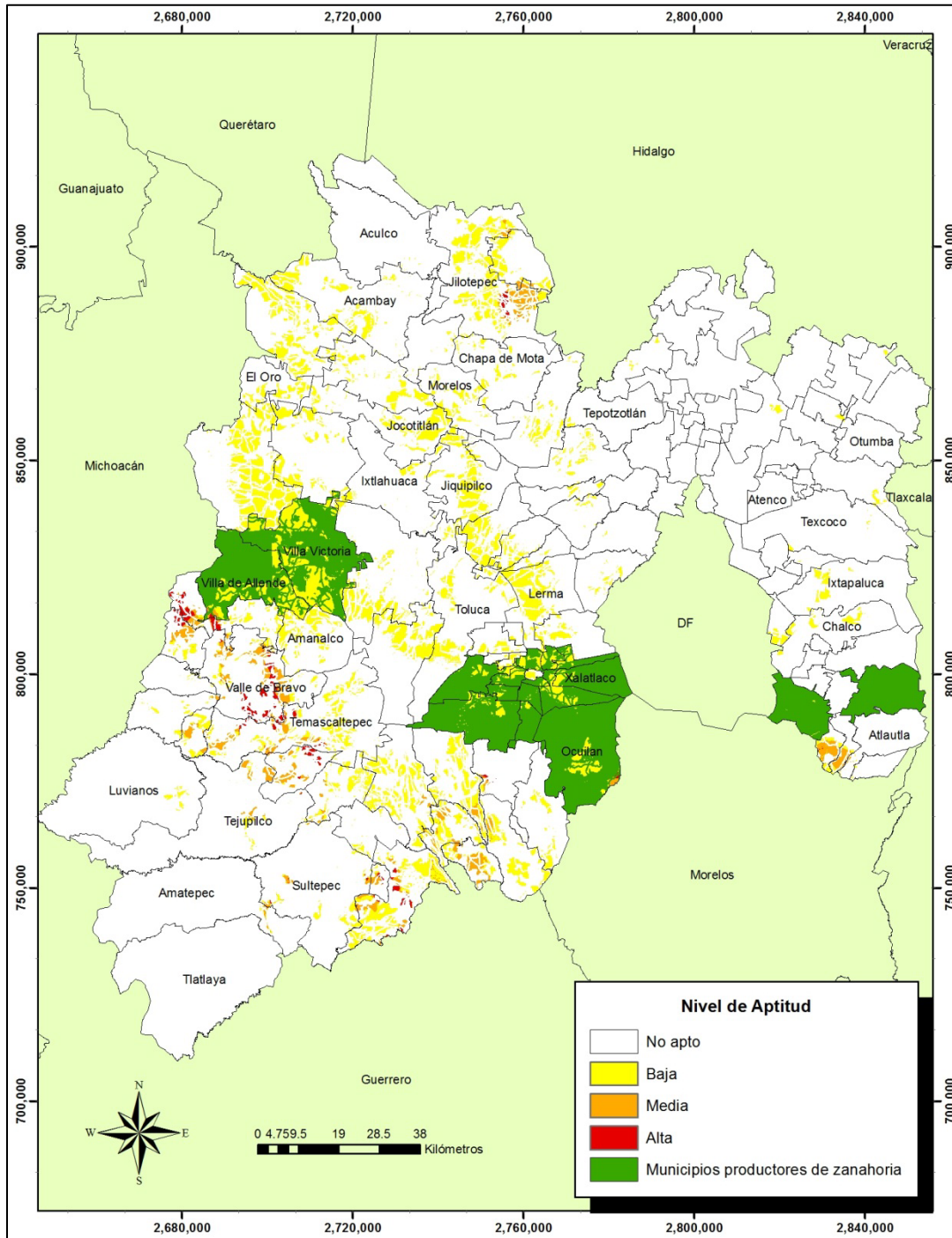


Fuente: Elaboración propia.

Dado lo anterior, se concluye que los productos agrícolas que mejor se adaptan a las características ambientales que presenta la entidad son la cebolla, el chícharo y la lechuga, en contraste con el tomate y la zanahoria que requieren otras características ambientales más favorables. La papa por su parte, pese a ser el producto agrícola que más se produce en el estado de los seis estudiados, según los resultados obtenidos basados en los requerimientos ambientales, cuenta con un mínimo de zonas óptimas para su producción en el estado. Asimismo, se observa Jilotepec, Valle de Bravo y Donato Guerra son los municipios que cuentan con zonas óptimas de alta aptitud para cultivar los seis productos agrícolas.



**Figura 51 Mapa de zonas óptimas para el cultivo de zanahoria, Estado de México.**



Fuente: Elaboración propia.

Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando



Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica



## Conclusiones

Los resultados obtenidos en esta investigación, es información de utilidad para los organismos responsables en materia de desarrollo rural, ya que a partir de estos resultados se pueden realizar estudios más minuciosos y posteriormente orientar acciones que promuevan el cultivo de dichos productos agrícolas en las zonas con alta aptitud. Considerando que actualmente el agro mexicano se enfrenta a grandes retos, esta es una iniciativa que permite otorgar a los productores nuevas alternativas que contribuyan a incrementar su producción y valor agregado.

No obstante, el modelo es un primer acercamiento a la determinación de zonas óptimas, debido a que es necesario incorporar otras variables importantes como lo es la precipitación media anual, mismas que permitan enriquecer los resultados obtenidos. De igual forma, los resultados deben ser comprobados en campo para valorar su veracidad y corregir errores omitidos, ya que la calidad de los resultados dependerá de la calidad de los datos espaciales utilizados.

Por otra parte, la investigación documental minuciosa y la asesoría técnica de expertos en materia fueron fundamentales para alcanzar resultados satisfactorios, considerando que la idoneidad de las variables está sujeta al juicio de valor del especialista. La Sumatoria Lineal Ponderada y el Método de las Jerarquías Analíticas son los métodos de EMC más utilizados en la actualidad.

Finalmente se concluye que, la Evaluación Multicriterio en Sistemas de Información Geográfica es una técnica que permite integrar de manera coherente y práctica distintos enfoques ante una actividad o problemática estudiada, esto reduce tiempos y costos en un proyecto, generando soluciones sólidas que justifiquen la toma de decisiones, por lo que es importante que los organismos encargados de la planeación y gestión del territorio conozcan las ventajas que conlleva su utilización para el análisis espacial, a fin de que las decisiones dejen de ser tomadas de manera arbitraria y se opte por una base técnica-científica que permita resolver eficientemente problemas espaciales complejos.



## Bibliografía

- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social “CONEVAL” (2010): *Metodología oficial para la medición multidimensional de la pobreza en México*. Disponible en: [www.coneval.gob.mx](http://www.coneval.gob.mx)
- Campos Vargas, María Milagros et al (2013): *Estudios Geográficos con técnicas de Evaluación Multicriterio*. Editorial MA Editores SA de CV. México.
- Departamento de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México “ICAMEX” (2014): *Investigación Hortícola*. Consulta realizada en enero de 2014. Disponible en: [http://portal2.edomex.gob.mx/icamex/investigacion\\_publicaciones/horticola/index.htm](http://portal2.edomex.gob.mx/icamex/investigacion_publicaciones/horticola/index.htm)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations “FAO” (2000): *Anuario Estadístico de la FAO 2000*. Disponible en: <http://www.fao.org/economic/ess/ess-publications/ess-yearbook/en/#.UtaqR555MZ4>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations “FAO” (2007): *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo*. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. Roma.
- Gobierno del Estado de México “GEM” (2008): *Plan Estatal de Desarrollo Urbano*. Elaborado y actualizado por la Secretaría de Desarrollo Urbano. Disponible en: <http://portal2.edomex.gob.mx/sedur/index.htm>
- Goodchild, Michael F. y Robert P. Haining (2005): *SIG y análisis espacial de datos: perspectivas convergentes*. Investigaciones Regionales, núm. 6, primavera, 2005, pp. 175-201. Asociación Española de Ciencia Regional. España. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28900609>
- Gómez Delgado, Montserrat y José Ignacio Barredo Cano (2005): *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio*. Segunda Edición. Editorial Alfa Omega. México, DF.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía “INEGI” (2000): *Censo General de Población y Vivienda 2000*. Consulta en línea. Consulta interactiva de datos. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/cpv2000/default.aspx>





- Instituto Nacional de Estadística y Geografía "INEGI" (2005): *II Censo de Población y Vivienda*. Consulta en línea. Consulta interactiva de datos. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2005/Default.aspx>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía "INEGI" (2010): *Censo de Población y Vivienda 2010*. Consulta en línea. Consulta interactiva de datos. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía "INEGI" (2014): *Cuéntame de México*. Información por entidad. Consulta realizada en enero de 2014. Disponible en: <http://cuentame.inegi.org.mx/>
- OEIDRUS Estado de México (2000): *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Cíclicos-Perennes, Modalidad Riego y Temporal. Catálogo Cultivos Genéricos. Disponible en: <http://www.campomexiquense.gob.mx/>
- OEIDRUS Estado de México (2005): *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Cíclicos-Perennes, Modalidad Riego y Temporal. Catálogo Cultivos Genéricos. Disponible en: <http://www.campomexiquense.gob.mx/>
- OEIDRUS Estado de México (2010): *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Cíclicos-Perennes, Modalidad Riego y Temporal. Catálogo Cultivos Genéricos. Disponible en: <http://www.campomexiquense.gob.mx/>
- Pineda Jaimes, Noel B. (2010): Descripción, Análisis y Simulación de Procesos Forestales en el Estado de México mediante Tecnologías de la Información Geográfica. Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá, Madrid.
- Pineda Jaimes, Noel B. et al (2012): *Determination of Optimal Zones for Forest Plantations in the State of Mexico Using Multi-Criteria Spatial Analysis and GIS*. Journal of Geographic Information System. Scientific Research. P 204-218. Published Online June 2012 <http://www.SciRP.org/journal/jgis>
- Ruiz Corral, José A. et al (1999): *Requerimientos Agroecológicos de Cultivos*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. México.
- Sarli, Antonio E. (1980): *Tratado de Horticultura*. Segunda Edición. Editorial Hemisferio Sur SA. Buenos Aires, Argentina.





- Salunkhe, D.K. y S.S. Kadam (2004): *Tratado de ciencias y tecnología de las hortalizas. Producción, composición, almacenamiento y procesado*. Editorial Acribia, SA. España.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación "SAGARPA" (2009): *Oportunidades de Mercado e Inteligencia Comercial y Estudio de Logística Internacional de Tomate*. Estudio de los Componentes de Desarrollo de Mercado. Promercado 2009. Consulta realizada en enero de 2014. Disponible en:
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación "SAGARPA" (2014): *Estructura de atención por Estado, DDR, CADER/Ventanilla, Municipio*. Delegación Estado de México. Consulta realizada en enero de 2014. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/edomex/Paginas/default.aspx>
- Tamaro, D. (1988): *Manual de Horticultura*. 13ª. Edición. Ediciones G. Gilli, SA de CV. México, DF.
- Torres Salcido, Gerardo y Marcel Morales Ibarra (2011): *Los grandes retos y perspectivas para el agro y el sector rural en México en el siglo XXI*. Estudios Agrarios. Revista de la Procuraduría Agraria. Número 49, Año 17, Octubre-Diciembre. Disponible en: <http://www.pa.gob.mx/publica/PA074901.html>

