

POTENCIALIDAD AGROCLIMÁTICA PARA EL CULTIVO DE AMARANTO (*Amaranthus cruentus* L.) EN EL ESTADO DE MORELOS, MÉXICO

Marisela Taboada Salgado^{1*}, Rogelio Oliver Guadarrama¹

¹Laboratorio de Edafoclimatología, Departamento de Biología Vegetal, Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, CP 62209. Cuernavaca, Morelos. Correo-e: taboadam@buzon.uaem.mx, olivergr@buzon.uaem.mx

*Autor para correspondencia

RESUMEN

El objetivo principal de la investigación fue estimar desde el punto de vista agroclimático las zonas potenciales para el cultivo de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) en el estado de Morelos, México. La determinación de estas zonas se generó mediante el empleo de un sistema de información geográfica (SIG), el cual facilitó la determinación de los índices térmico, pluviométrico, edáfico, termopluvioedáfico requerido por el cultivo. Se analizó información mensual de 50 estaciones climatológicas de la entidad. En función de la aptitud del cultivo a estas variables y mediante la sobreposición de los índices mencionados, se delimitó la aptitud agroclimática. Se determinó que del total de la superficie evaluada (4 961 km²), el 60.44 % (2 998.5 km²) se clasificó como apta, el 31.8 % (1 575.63 km²) como medianamente apta y 7.8 % (386.88 km²) como no apta.

Palabras clave: amaranto, índices, regionalización

ABSTRACT

The primary target of the investigation was to consider from the agroclimatic point of view the potential zones for the amaranth crop (*Amaranthus cruentus* L.) in Morelos state, Mexico. The determination of these zones was generated by means of the use of GIS, which facilitated the determination of thermal, pluvial, soil, thermal-pluvial-soil indicators required by crop. Monthly information of 50 climatologic stations of the organization was analyzed. Based on the aptitude of the culture to these variables and by means of the over position of the mentioned indicators, the agro climatic aptitude was delimited. It was determined that of the total of the evaluated surface (4 961 km²), 60.44 % (2 998.5 km²) were classified like apt, 31.8 % (1 575.63 km²) like the moderately apt and 7.8 % (386.88 km²) like no apt.

Key words: amaranth, index, regionalization.

INTRODUCCIÓN

El diagnóstico agroclimático vincula el medio físico abiótico con los procesos productivos que ahí se desarrollan, coadyuvando al entendimiento de la problemática de la producción agrícola, información fundamental para reordenar recursos humanos y optimizar materiales, con lo cual es factible formular alternativas para el desarrollo. Sin embargo, poco se conoce de los productos agrícolas que utilizaban o consumían en su alimentación los antiguos mexicanos. Es más, los conquistadores españoles consiguieron que los nativos abandonaran algunas de sus costumbres alimentarias. A cambio, introdujeron el azúcar y la canela en el chocolate, la carne de cerdo en el pozole, etc. Los franceses, durante el siglo XIX, introdujeron el pan en lugar de la tortilla. En el siglo XX, el capitalismo internacional inunda el mercado nacional con los alimentos industrializados. Pero a pesar de todo, vale la pena destacar la importancia que por su riqueza nutritiva, después de 400 años, está adquiriendo en los últimos tiempos el cultivo del amaranto o la alegría (*Amaranthus* spp).

El amaranto ya existía en el México prehispánico aún cuando su importancia era principalmente de carácter religioso. En el ámbito alimentario era también importante y formaba parte de la base nutritiva, junto con el maíz y el frijol, se consumía en atoles, tortillas y *tzoallis* (esferas elaboradas con masa de amaranto y miel de maguey). Con la llegada de los españoles la importancia del amaranto casi cayó en el olvido, no sólo porque la iglesia no estaba de acuerdo con las celebraciones donde intervenía, sino porque la introducción de alimentos del viejo mundo influyó exageradamente en la gastronomía precortesiana. El Dr. Francisco Hernández, enviado en 1570 por Felipe II para estudiar los recursos y productos de la Nueva España, incluyó en su informe al *huautli* (amaranto en náhuatl; Ortiz, 1997).

Actualmente el amaranto se aprovecha casi en su totalidad por su gran valor nutritivo; los tallos tiernos son consumidos como verdura, las hojas se comen cocidas, como las espinacas y de la semilla se elaboran infinidad de alimentos, pero el más conocido es la alegría cuya elaboración data de la época de Moctezuma.

Particularmente la ubicación geográfica del estado de Morelos, ha dado lugar a que se establezcan condiciones propias para mantener múltiples vocaciones ecológicas, mismas que le han permitido durante los últimos 15 años establecer una multiespecificidad de cultivos agrícolas, sobresaliendo (de manera similar a las condiciones nacionales) principalmente los temporaleros sobre los de riego.

Específicamente en la zona oriente del estado de Morelos, colindando con el estado de Puebla, se encuentra la localidad de Huazulco, pequeña comunidad dedicada casi en su totalidad a la cosecha de amaranto y a la elaboración de dulces o productos relacionados con esta planta. Como ésta es la principal rama de su economía (sostiene al 90% de la población), los pobladores de Huazulco constituyen el primer productor de amaranto a nivel nacional (1 820 kg/ha), siendo este rendimiento casi el doble de lo que se produce en Tulyehualco, D. F.; pero, paradójicamente, éste último es el principal centro de cultivo, producción y comercialización en México.

Actualmente puede considerarse que la semilla de amaranto es quizá la mejor fuente de proteína vegetal que puede obtenerse en condiciones de temporal; por lo que es altamente recomendable su cultivo en forma extensiva en la entidad.

Morelos es un estado con una gran tradición en el cultivo de amaranto, sin

embargo, no se ha utilizado ampliamente debido al desconocimiento de sus potencialidades. Su capacidad adaptativa, su calidad nutricional, su alto rendimiento, su amplia utilización en el arte culinario, entre otras cosas, muestra el porvenir inexplorado de este cereal. Domínguez y Sánchez-Marroquín citados por Oliver et al. (1992), mencionan “La tarea....consistiría esencialmente en movilizar e incrementar la eficiencia de los recursos agrícolas y combinarla con la introducción del amaranto”.

Por otro lado, las clasificaciones agroclimáticas constituyen una fase de la metodología de zonas agroecológicas, propuesta por la FAO (1978), para los países del Oriente de África, Centro y Sudamérica en 1981. En general el procedimiento se basa en la estimación de rendimientos máximos potenciales expresados como la capacidad genética de los cultivos para producir biomasa y su adaptabilidad a las características ambientales de la región, mismas que se relacionan con intervalos de duración de períodos de crecimiento. Posteriormente y con base a un análisis cuantitativo del clima y cualitativo del suelo, estos rendimientos son ajustados para obtener los rendimientos reales agronómicos por clase de aptitud: muy apta (MA), apta (A), marginalmente apta (MA) y no apta (NA), así como tipos de utilización de la tierra.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estado de Morelos tiene una superficie de 4961 km², es uno de los más pequeños de la República Mexicana, situado entre los paralelos 18°22' y 19°07' N y los meridianos 98°30' y 99°37' W, debe sus características ecológicas a su ubicación geográfica en la zona neotropical; recibe influencia del Eje Volcánico Transversal en su parte alta al norte, y de la Cuenca del Balsas en su región más baja al centro sur.

Presenta un marcado gradiente altitudinal en dirección norte sur, propiciando una amplia riqueza de especies reunidas en ambientes diversos. En la porción norte existe una franja montañosa localizada de este a oeste en la que se manifiestan las altitudes mayores de la entidad, éstas registran más de 4000 msnm en las cercanías al Popocatepetl; la segunda caracterizada por registrar altitudes entre 3000 y 4000 msnm ubicada en la zona limítrofe con el Distrito Federal y los Estados de México y Puebla. Al sur de ésta se ubican localidades como Tetela del Volcán, Tres Cumbres y Huitzilac, entre otras, caracterizadas por registrar altitudes entre 2000 y 3000 msnm (Figura 1).

La región del valle intermontano y la suroriental de la entidad, registra altitudes entre 1000 y 2000 msnm caracterizando al 60% de la extensión territorial; en ella se presentan importantes localidades comerciales y la zona más densamente poblada de la entidad. Finalmente, la región montañosa del sur se ubica en la porción sureste de la entidad, con altitudes menores a 1000 msnm; localidades con éstas características son: Puente de Ixtla y Huajintlán.

Para efectuar este trabajo se ubicaron geográficamente en la zona las 52 estaciones termopluviométricas de Morelos; de cada una de éstas se obtuvieron datos mensuales sobre el período de operación (1980-2004). Se obtuvo información de dos fuentes principales: Servicio Meteorológico Nacional y Comisión Nacional del Agua (Delegación Morelos). Para la elaboración de la cartografía se utilizó como base la carta topográfica escala 1:250 000 editada por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática; a partir de ello se integró la cartografía temática, misma que es inédita, de carácter científico informativo.

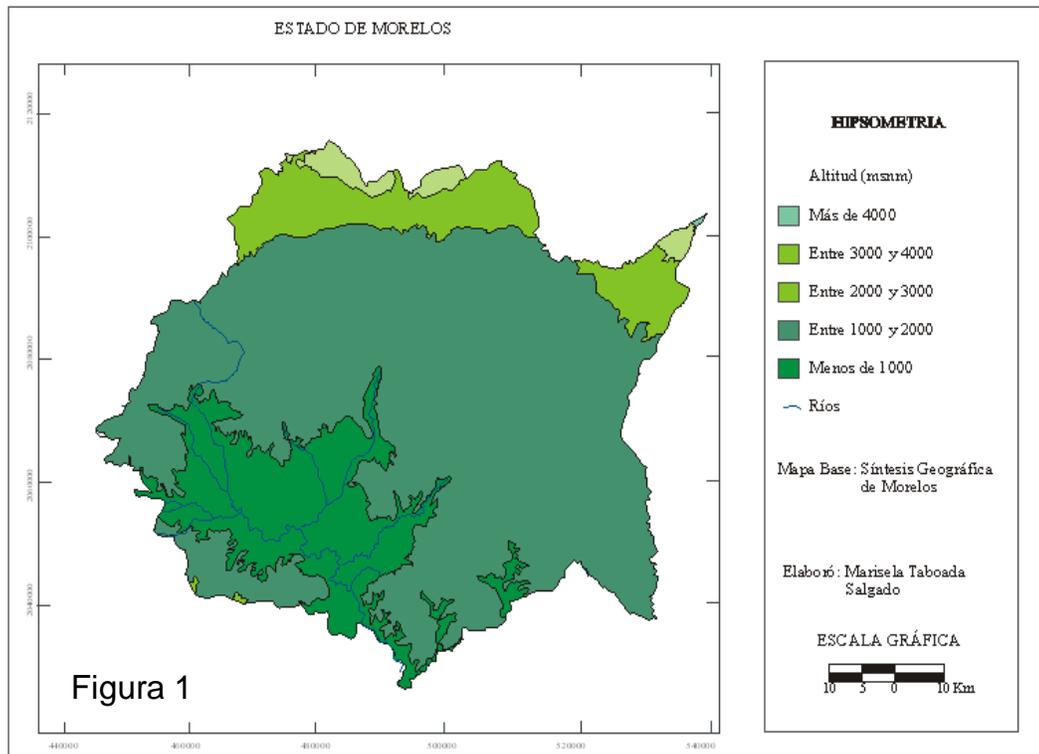


Figura 1

Se integró un sistema de información geográfica, utilizando particularmente ILWIS (Integrated Land and Water Management Information System). Este combina tanto un módulo de sistema de información geográfica como un módulo de sensores remotos con los que se pueden ejecutar varias técnicas de procesamiento de imágenes de satélite, tales como: realce, corrección geométrica, composición de color, clasificación, etc.

Con el SIG se creó un banco de datos y se ingresó la información térmica, pluviométrica y edáfica del estado de Morelos. Estos elementos se digitalizaron, procesaron y analizaron mediante el método topológico, consistente en establecer la relación espacial de los elementos en el mapa digital. Para obtener los índices requeridos para este trabajo, se realizó la sobreposición cartográfica de: a) los elementos térmicos y pluviométricos registrados en la entidad, b) las unidades

edáficas en las que ha sido cultivado amaranto en Morelos; así como c) los indicadores agroclimáticos propuestos por Reyna *et al.* (1996) y las categorías agroecológicas definidas por Fernández *et al.* (1996), obteniéndose como producto final la delimitación de escenarios potenciales (interpolación) para cultivar amaranto en Morelos, a las que se les agrupó y cuantificó por aptitud estableciendo tres categorías: Apta, Medianamente apta y No apta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación del Índice Térmico

La temperatura es uno de los elementos climáticos de vital importancia para el adecuado desarrollo del cultivo de amaranto en el estado de Morelos o en cualquiera de las áreas susceptibles de ser cultivado.

Existen estudios que indican un óptimo desarrollo de especies de grano (*A. cruentus* y *A. hypochondriacus*) con temperaturas superiores a los 22 °C, entre otros Espitía (1986), menciona que diversos materiales han demostrado una germinación óptima cuando la temperatura es de 16 a 35 °C aunada a una elevada velocidad de emergencia cuando las temperaturas se encuentran cercanas al límite superior de este rango. En contraparte, el crecimiento cesa a temperaturas cercanas a 8 °C, sufriendo daños cuando se registran temperaturas por debajo de los 4 °C; reiterando que ambas especies son tolerantes a altas temperaturas, pero no resistentes a las heladas. Paredes *et al.* (1990) indican que el amaranto puede crecer en climas calientes y templados, información coincidente con la registrada por otros autores (Rodríguez, 1987; Reyna y Granados, 1987; Reyna, 1990, 1991, 1993; Reyna *et al.*, 1997).

De manera particular, se ha observado que *A. hypochondriacus* ha sido cultivado principalmente en zonas de mayor altitud y menor temperatura, en tanto que *A. cruentus* L. se distribuye más ampliamente en superficies con temperaturas más elevadas y en altitudes moderadas. En Morelos y de acuerdo con los criterios establecidos por Reyna *et al.* (1996, 1997), se delimitaron cinco índices térmicos con sus respectivas denominaciones a las categorías, a saber:

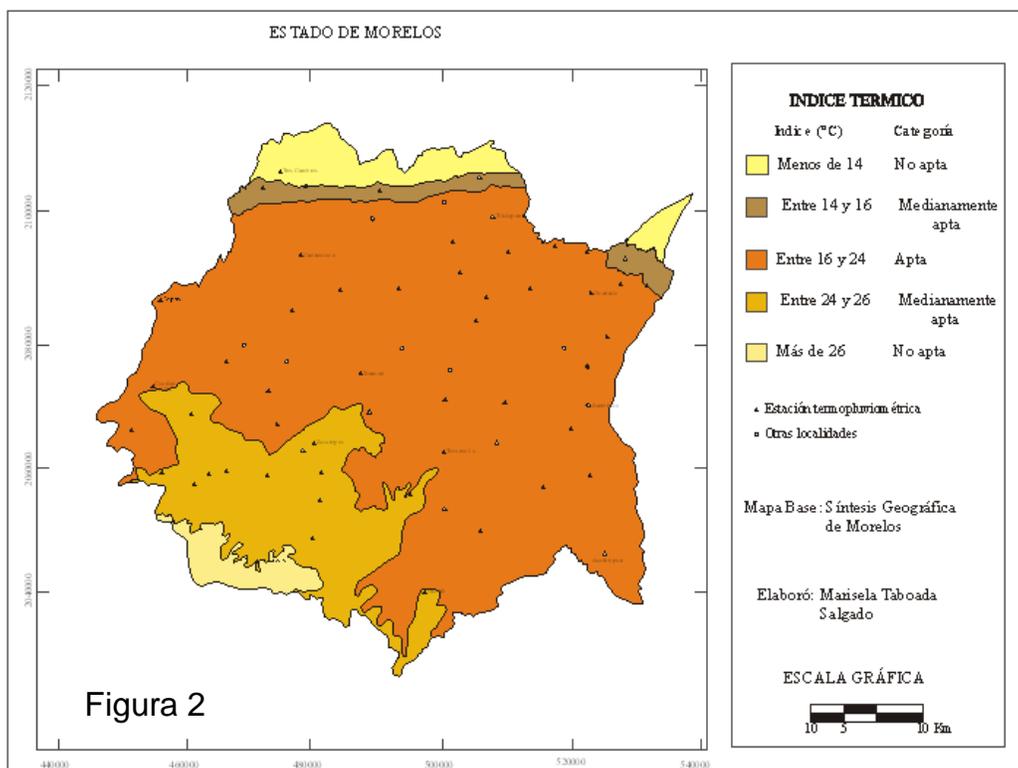
Indicador térmico (°C)	Categoría
< de 14	No apta
14 a 16	Medianamente apta
16 a 24	Apta
24 a 26	Medianamente apta
> de 26	No apta

Las localidades que se caracterizan por presentar un índice térmico con temperatura media anual < 14 °C se localizan en la región norte del estado; distribuida de oeste a este, considerándose áreas No aptas para el cultivo de *A. cruentus*, con una superficie total de 243.43 km² (Figura 2).

En una superficie de 164.37 Km² adyacente por la porción sur a la primera, en la misma dirección oeste-este, se ubica la región con índice térmico entre 14 y 16 °C, considerada como área Medianamente apta para la producción de ésta especie. Se calcula que podrían tenerse cosechas regulares (entre 800 y 1000 kg/ha), por el hecho de requerir temperaturas superiores a éstas, que no se registran.

El 74 % de la superficie centro sur de la entidad registra índices entre 16 y 24 °C, misma que puede considerarse como Apta para cultivar *A. cruentus*, en un total de 3684.37 km². Aunado a la variable temperatura, la condición topográfica de la entidad permitiría que el rendimiento pudiera ser adecuado, habría de mencionar que, si bien el municipio de Temoac ha sido tradicionalmente el productor de amaranto, existen pequeñas superficies en diversos municipios donde se la ha cultivado con éxito entre ellos destacan: Puente de Ixtla, Ayala, Tlaquiltenango, Tetecala, Miacatlán, Mazatepec, Axochiapan, Tlaltizapan, Tepoztlán, Yautepec, Axochiapan y Jonacatepec.

Temperaturas medias anuales entre los 24 y 26 °C caracterizan a la región sur-poniente del estado, en una superficie de 859.37 km², catalogándose como Medianamente aptas desde el punto de vista térmico, ya que dichas temperaturas no han sido registradas como las más propicias para el cultivo.



Finalmente, al sur de la anterior región se ubica la región de temperaturas mayores a 26 °C, con un total de 9.5 Km², catalogada como una zona No apta para la producción de *A. cruentus*, ya que si el área registra estos valores de temperatura media anual, la correspondiente a la máxima promedio mensual y sobre todo a las máximas promedio diarias, podrían causar mortandad para la población cultivada, así como bajos rendimientos, sin mencionar la posibilidad de cohesión de otros elementos tanto bióticos como abióticos, que contribuyan a la disminución del mismo.

Determinación del Índice Pluviométrico

Se ha registrado que para que las semillas de amaranto germinen, se requiere de una buena humedad del suelo, pero una vez que las plántulas se han establecido, pueden crecer aún con limitantes de agua. El National Research Council (1985), agrega que el amaranto

crece mejor en condiciones de baja disponibilidad de agua y altas temperaturas. Asimismo, Kauffman y Hass (1984), Kauffman *et al.* (1984) y Weber *et al.* (1985), citados por Espitia (1986), indican el excelente potencial en áreas de baja precipitación, consideración ésta última en la que coincide Reyna (1989, 1990, 1993); Reyna *et al.* (1996 y 1997) y Borroto (1996), entre otros autores. Tomando en cuenta lo anteriormente planteado, en el estado de Morelos podría decirse que se diferencian cuatro categorías:

Indicador pluviométrico (mm)	Categoría
Más de 1400	No apta
1200-1400	Medianamente apta
800-1200	Apta
600-800	Medianamente apta

La región ubicada en el norte de la entidad, caracterizada por la presencia de abundantes precipitaciones (> de 1400 mm) durante la época veraniega, puede catalogarse como No apta para cultivar amaranto (390.6 km²), ya que aunado a la cantidad de precipitación que registra, debe además considerarse que el área presenta un marcado gradiente topográfico que impediría el establecimiento de superficies representativas (Figura 3). En segundo término existen dos superficies que pueden considerarse como Medianamente aptas, la primera de ellas ubicada en la región norte de la entidad en localidades donde se reciben entre 1200 y 1400 mm de precipitación anual (119.8 km²), y la segunda, situada en la región sur poniente. Otra zona que se catalogó como Medianamente apta es aquella que recibe entre 600 y 800 mm, localizada en tres pequeñas áreas ubicadas en la zona centro y sur de la entidad, en una superficie de 912.6 km².

Finalmente 3538.2 km² (el 71% de la superficie estatal) recibe entre 800 y 1200 mm, considerada como Apta para el cultivo de *A. cruentus*, y en donde podrían obtenerse potencialmente rendimientos superiores a los promedios establecidos en la entidad.

Determinación del Índice Termopluiométrico

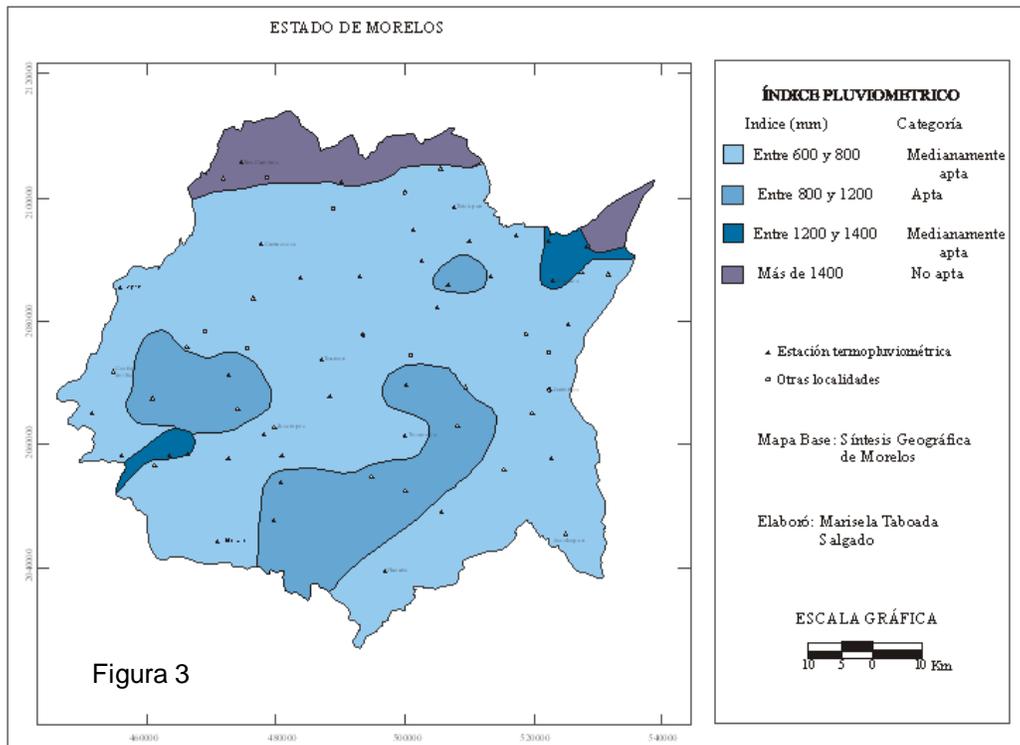
La interacción de los elementos temperatura y precipitación permitió la integración del Índice Termopluiométrico, mismo que en el estado de Morelos quedó distribuido de la siguiente manera: en la región montañosa del norte, donde se registran temperaturas menores a los 14 °C y precipitaciones mayores a los 1400 mm anuales, ésta es considerada como No apta para la producción de *A. cruentus*, ya que las bajas temperaturas y el exceso de precipitación se conjuntarían para manifestarse en raquíticos rendimientos del cultivo. Una segunda región No apta se localiza en la región sur-poniente de la entidad (Figura 4), en ésta la escasez de precipitación aunada al incremento de temperatura,

evidencian las condiciones impropias para el cultivo del amaranto.

Las zonas Medianamente aptas, correspondientes a aquellas en las que podría obtenerse un rendimiento regular (entre 800 a 1000 kg/ha) del cultivo, son dos. La primera se ubica en la región norte, en localidades como Huitzilac, San Juan Tlacotenco y Coajomulco, entre otras, mismas que si bien registran temperaturas bajas permitirían un adecuado desarrollo antes de que se presentaran altas precipitaciones. Por lo que respecta a la segunda, se localiza en la región sur-poniente y centro de la entidad, en ésta la conjunción de temperaturas relativamente altas con bajas captaciones de precipitación, permitirían una producción por debajo del promedio obtenido en el estado.

La región correspondiente a la zona centro, oriente y sur-oriente de la entidad es, la que de acuerdo a los índices establecidos previamente, tendría los rendimientos más apropiados para el cultivo del amaranto. Entre muchas otras localidades se tienen: Cuernavaca, Tepoztlán, Atlatlahucan, Ocuituco, Tlacotepec, Jantetelco, Palpan, Xochitepec, Coatlán del Río, Apancingo, Ticumán, Tecomalco, El Limón, Tepalcingo de Hidalgo y Axochiapan. De tal manera que en términos de extensión se tendrían 386.88, 1575.63 y 2998.5 km² para la zona No apta, Medianamente apta y Apta, respectivamente para cultivar *Amaranthus cruentus*, respectivamente de acuerdo con las características descritas en el siguiente cuadro:

Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	Categoría
> de 1400	Menos de 14	No apta
1200-1400	14-16	Medianamente apta
800-1200	16-24	Apta
600-800	24-26	Medianamente apta
< de 600	Más de 26	No apta



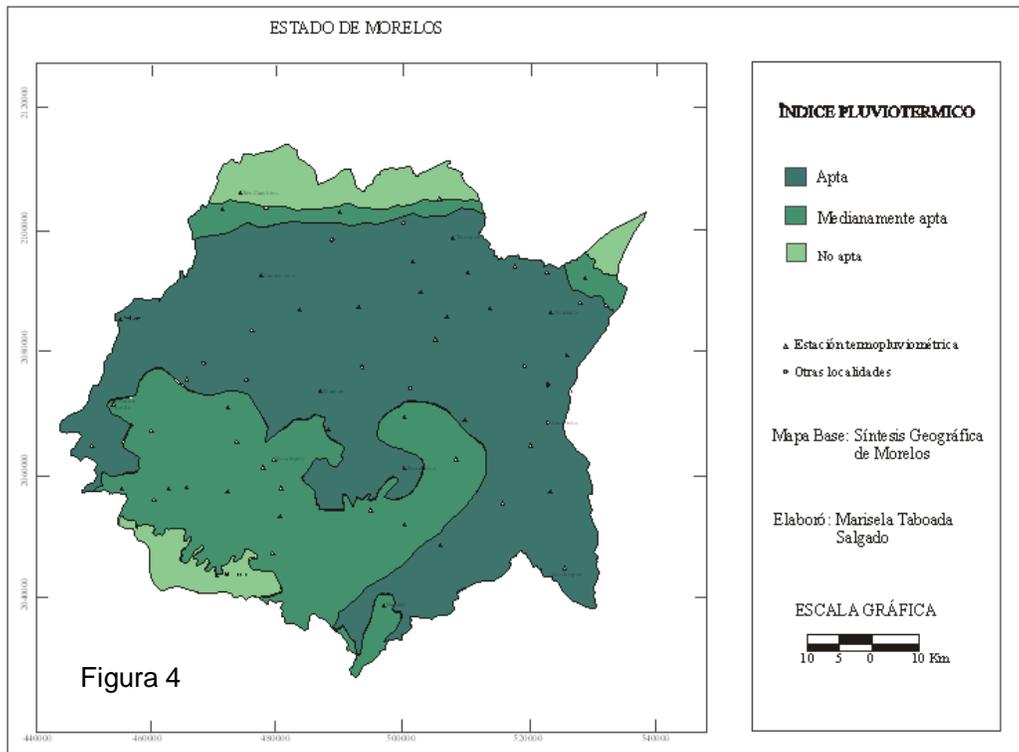
Determinación del Índice Edáfico

El cultivo de amaranto, además de soportar cambios drásticos tanto de altitud como de climas, también se desarrolla exitosamente en diversas unidades de suelo. Los antecedentes que se tienen de su introducción en diversos sitios, indican que requiere de ciertas características del suelo, como son: buen drenaje, porosidad y aireación, éstos relacionados con la textura y estructura del suelo; deben poseer buena disponibilidad de nutrimentos principalmente nitrógeno y fósforo, proporcionados ya sea por el material orgánico y/o minerales del suelo; profundidad mínima de 20 cm y pH en agua de neutro a ligeramente básico (Fernández *et al.*, 1996).

A nivel de unidades edáficas, particularmente en la entidad se le cultiva en regosoles y vertisoles, siendo éstas las que tipifican las áreas de cultivo en la zona eminentemente productora de amaranto

(Huazulco y Amilcingo). Los regosoles en su mayoría se localizan en una franja que se extiende en la zona oriente del estado, desde Tlayacapan hasta Axochiapan. En la región norte de esta franja se encuentran asociados con agricultura de temporal, en áreas que anteriormente fueron bosques. En el área central de la franja se presentan pastizales inducidos, en tanto que en la parte sur, los regosoles se asocian también con pastizales inducidos, selva baja caducifolia conservada, a la vez que con agricultura de temporal y de riego. Además, existen reducidas superficies distribuidas en la porción sur poniente de la entidad (Figura 5).

Puede decirse que en términos estrictamente edáficos, ésta unidad puede considerarse apta para el cultivo de amaranto, particularmente *A. cruentus*, en una superficie de 508.75 km² que representa el 10.25% del estado.



Una segunda unidad edáfica donde se le cultiva son los vertisoles, mismos que se caracterizan, por la dominancia de la arcilla montmorillonita que en tiempo de lluvias se expande, con lo que sus poros se cierran y el suelo se vuelve chicloso; contrariamente en la época de secas, el suelos se endurece y agrieta. Se distribuyen en casi todas las zonas de agricultura de riego, desde Michapa en el occidente hasta Jonacatepec en el oriente. También abundan en la región de influencia de Zacatepec y Jojutla, con una extensión territorial de 1036.25 km², correspondientes al 21% de la entidad. Pese a las características anteriormente mencionadas, el cultivo de amaranto se ha mantenido aún cuando no siempre se obtienen rendimientos óptimos, pero si se registran producciones importantes. Éstas razones, permiten que se considere como una unidad de Apta a Medianamente apta para el cultivo principalmente de *A. cruentus*.

Otra unidad edáfica considerada dentro de la misma categoría (de Apta a Medianamente apta) es el andosol, distribuidos en una franja ininterrumpida en el norte de la entidad de poniente a oriente, en áreas donde ha habido una reciente actividad volcánica. En la zona occidental de ésta franja se presentan fases líticas someras y profundas y en el oriente, pedregosas; alrededor del cerro Yeteco, tienen fase gravosa, y todos son de textura media. Por ser suelos en proceso de invasión de agricultura orgánica, han sido pequeñas superficies en las que se ha cultivado amaranto, preferentemente *A. hypochondriacus*, en virtud de que registros bibliográficos mencionan a ésta especie como la más adaptada a grandes altitudes. Sin embargo, cuando se ha sembrado en ésta unidad edáfica *A. cruentus*, se han obtenido rendimientos cercanos al promedio (1000 a 1200 kg/ha). Presenta

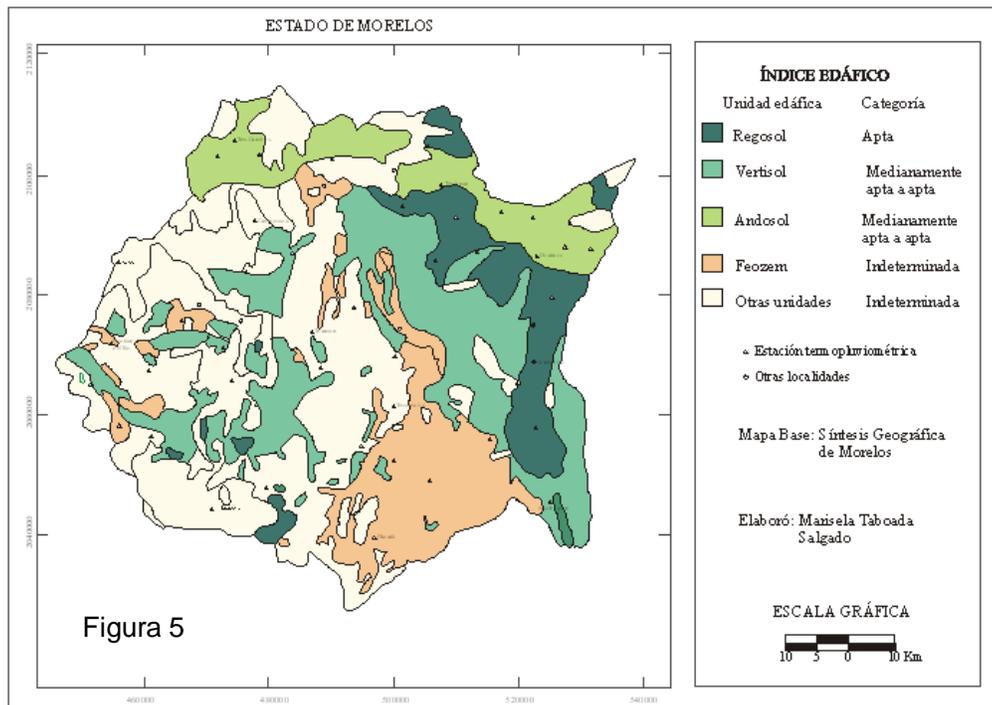
una extensión de 608.75 Km², el 12 % de la entidad.

La unidad edáfica de mayor importancia de acuerdo a su extensión estatal (1252.62 km²) son los feozem, que son de textura fina; presentan fases líticas, dúrica, pedregosa y petrocálcica. Sin embargo, no existen registros de superficies cultivadas con amaranto en alguna localidad caracterizada con ésta unidad edáfica, solamente aquellos citados en la literatura que permiten sugerirla como una zona indeterminada para el cultivo de amaranto, en tanto no se establezcan parcelas que permitan demostrar lo contrario.

Una situación similar se manifiesta con el resto de unidades edáficas que ocupan pequeñas superficies en el estado, para las cuales no existen registros de cultivo de amaranto, presentándose como unidades promisorias para el cultivo, considerándoseles como superficies indeterminadas, de acuerdo con su aptitud.

Regionalización Agroclimática

Con base en la propuesta de regionalización efectuada, en términos de temperatura, precipitación y unidades edáficas, la zona apta para el cultivo de amaranto (*A. cruentus*) en el estado de Morelos se distribuye hacia la región oriente (Figura 5), con un total de 383.12 km². En promedio los rangos altitudinales para ésta zona son por debajo de 1000 msnm, con temperaturas entre 20 y 24 °C y con precipitaciones totales anuales entre 800 y 1200 mm. Desde el punto de vista edáfico, ésta zona presenta profundidades de 30 cm, color pardo amarillento obscuro en húmedo (10 YR 3/4), con reacción nula al HCl diluido, textura fina, estructura en forma de bloques angulares, de tamaño fino, desarrollo débil, con horizonte A, con 26, 30 y 44% de arcilla, limo y arena, respectivamente, pH de 4.8, 1.4% de materia orgánica, 0.4 meq/100g de potasio, que son valores concordantes con los reportados por Oliver *et al.* (1992).



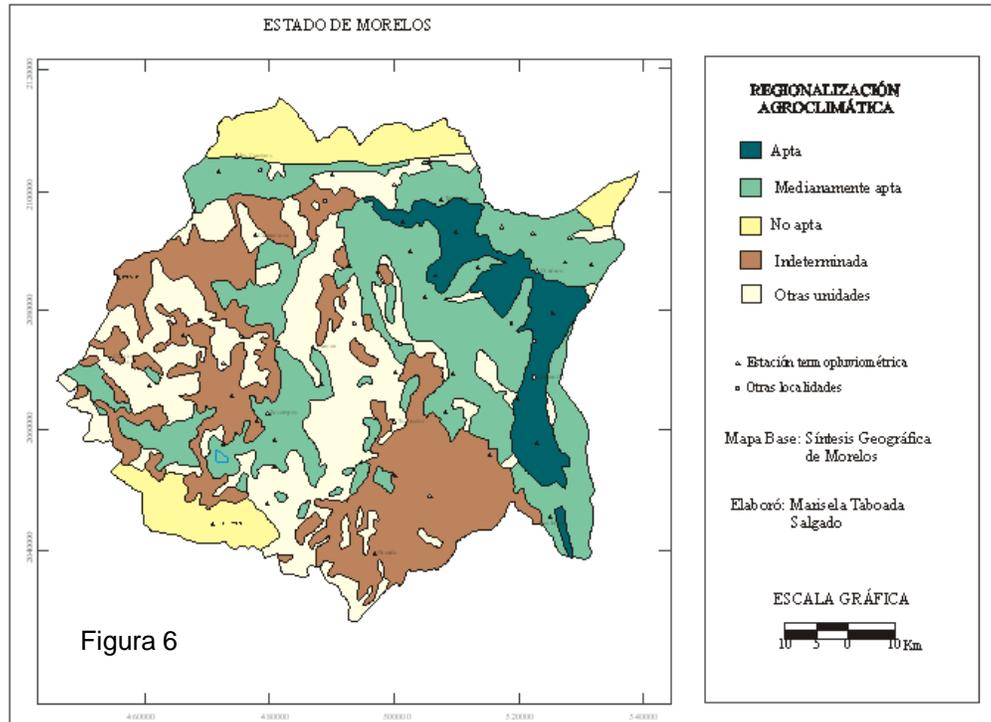
Debe considerarse de manera adicional que si bien la superficie anteriormente descrita reúne las características térmicas, pluviométricas, climáticas y edáficas para obtener rendimientos aceptables del cultivo de amaranto, particularmente la especie *A. cruentus*, no debe perderse de vista que la distribución de algunos otros elementos climáticos no tendrían mayor influencia sobre éste, como el caso de la temperatura máxima o mínima, si deberá tenerse cuidado sobre algunos siniestros, particularmente la sequía intraestival.

La superficie caracterizada de Medianamente apta a Apta, se distribuye de manera casi paralela a la descrita anteriormente en la porción oriente de la entidad, desde la zona de pie de monte del municipio de Tlayacapan. En la región centro y sur, integran una superficie amorfa que se ubica dentro de dicha categoría. Toda ésta área se caracteriza por registrar altitudes entre 800 y 1000 msnm (Figura 6), con precipitaciones menores a 1000 mm anuales y temperaturas entre 22 y 26 °C, en términos edáficos se les puede considerar áreas profundas (con más de 120 cm), color gris oscuro (10 YR 4/1) en húmedo, con reacción nula al HCl diluido, textura de migajón arcilloso, de fuerte adhesividad y plasticidad, esqueleto con grava de tamaño fino, forma angular y cantidad escasa, pH de 6.9 a 7.3 y materia orgánica de 0.3 a 1.2 %.

Igualmente, al norte de la entidad se ubica de oriente a poniente otra zona determinada de Medianamente apta a Apta, con temperaturas entre 12 y 18 °C, con precipitaciones superiores a 1200 mm anuales, en áreas en las que el gradiente altitudinal es totalmente manifiesto y donde existiría la probabilidad de desarrollar *A. hypochondriacus*, en las pequeñas superficies, no así *A. cruentus* que requiere de mayor temperatura, menos precipitación y relieve menos escarpado. Aún así vale la pena comentar, que el suelo se caracteriza por presentar

una coloración negro oscuro en húmedo (10 YR 2/1), con 20, 28 y 52 % de arcilla, limo y arena, respectivamente, de textura migajón arenoso, consistencia blanda en seco; adhesividad y plasticidad nula, porosidad en cantidad moderada y constitución porosa, pH de 6.3 y con alto contenido de materia orgánica (10.7 a 12.5 %). El total de la superficie considerada con la categoría de Medianamente apta a Apta es de 1529.25 km².

Las zonas no aptas se distribuyen hacia los extremos norte y sur de la entidad; hacia la región norte los registros de grandes altitudes no son considerados como convenientes para el cultivo, a menos de que se tratase de alguna especie cuyo desarrollo se haya demostrado requiere de éstos registros. Desde el punto de vista térmico, los valores registrados para la zona son muy bajos y las precipitaciones muy elevadas, resultando ambos factores no propicios para el cultivo; además, aunado a tal condición, el relieve presente en el área propiciaría una inversión demasiado alta e incosteable. Contrariamente, en la región sur poniente de la entidad, si bien podría cultivarse *A. cruentus* por sus condiciones térmicas, la cantidad de precipitación que se recibe en ésta zona tal vez resultaría insuficiente para el óptimo desarrollo de la planta, aunado a que desde el punto de vista edáfico, no se ha determinado la respuesta que éste tendría sobre el cultivo, condición que caracteriza a 250 km² de la superficie morelense. Por último, y como ya se mencionó, no existen registros que evidencien la producción de amaranto en superficies en feozems. Sin embargo, la literatura y las características publicadas por diversos autores permiten sugerirla como la innovación para la producción de amaranto desde el punto de vista edáfico, además de considerar que representa la unidad edáfica mayormente distribuida en la entidad con 1252.65 km² en zonas que desde el punto de vista termopluviométrico son propicias para cultivar amaranto.



Sin lugar a dudas, la innovación tecnológica que día con día se encuentra disponible para el manejo de este tipo de información, permitirá que en un mediano plazo puedan plantearse propuestas cada vez más objetivas y con menor rango de error, lo que contribuirá a que puedan plantearse incrementos de superficie para especies y en áreas específicas de cualquier parte del país, reduciendo de esta manera los costos en ocasiones excesivos de introducciones de especies no siempre adecuadas a las regiones que se pretenden.

CONCLUSIONES

El estado de Morelos presenta diferentes unidades ambientales, producto de la diversidad fisiográfica, climática, geológica, hidrológica y topográfica, de donde se pueden extraer numerosos recursos que actualmente no están

incorporados a la producción, entre otros, el cultivo de amaranto.

Existe desde el punto de vista térmico una amplia zona del valle que potencialmente podría cultivarse con amaranto; siendo las temperaturas extremas las que fungirían como limitantes, las mínimas en la región norte y la máxima en la porción surponiente de la entidad.

En términos de precipitación y como consecuencia de la fisiografía y los altos índices pluviales que se registran, la región montañosa del norte fue considerada como zona no apta para el cultivo, no así la región del valle intermontano y algunas áreas de la región montañosa del sur.

La aplicación del Sistema de Información Geográfica (ILWIS) permitió realizar la zonificación para el cultivo de

amaranto *Amaranthus cruentus* L. en la entidad, determinándose que la región de pie de monte y parte del valle es factible de cultivarse con amaranto, misma que podría incrementarse al subsanar los aspectos limitantes de la región contigua y catalogada como Medianamente apta fundamentalmente por las escasas precipitaciones que se registran en dichas localidades.

Existen dos superficies No aptas para el establecimiento de este cultivo, una situada en la región norte donde la mecanización sería realmente difícil por la escarpada topografía del lugar y el exceso de precipitación, aunado a las bajas temperaturas que se registran, y la ubicada al surponiente de la entidad, donde la limitante clave son los valores de temperatura máxima diarias que se registran.

Desde el punto de vista edáfico, los regosoles resultaron ser la unidad Apta para el cultivo; se clasificaron como Medianamente Apta los vertisoles y los andosoles, en el caso de los primeros presentan como factor limitante el contenido de arcilla y en el caso de los segundos las pequeñas superficies en que se ha establecido el cultivo. Se sugiere adicionalmente la utilización de los Feozem, ya que reportes bibliográficos mencionan características potencialmente importantes para el cultivo y por ser la unidad más ampliamente distribuida en la entidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la atención y el tiempo dedicado a la revisión y sugerencias hechas al manuscrito del Dr. Jaime Raúl Bonilla Barbosa, Jefe del Departamento de Biología Vegetal del Centro de Investigaciones Biológicas.

LITERATURA CITADA

Aguilar, B. S. (1990). *Dimensiones Ecológicas del Estado de Morelos*. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, UNAM. Cuernavaca, Mor. México. 235 p.

Borroto, M., J. F. Saiz T., L. Guardia y J. R. Paulin. (1996). *Comportamiento del cultivo amaranto, (A. hypochondriacus L.) en diferentes condiciones edafoclimáticas de Cuba*. Taller Cuba-México. Potencialidades y Usos del Amaranto. Universidad de La Habana, Cuba. Universidad Nacional Autónoma de México. Reyna, Fernández y Ortega (Comp.) La Habana, Cuba. 21-22.

Fernández, L. J. M., T. Reyna T. y G. Alfaro S. (1996). *Los suelos y el cultivo del Amaranthus spp. en Pinar del Río, Cuba*. Taller Cuba-México. Potencialidades y Usos del Amaranto. Universidad de La Habana, Cuba. Universidad Nacional Autónoma de México. Reyna, Fernández y Ortega (Comp.). La Habana, Cuba. 16-17.

Gómez-Pompa, A. (1985). *Los recursos bióticos de México* (Reflexiones). INIREB. Xalapa, Ver.

Granados, R. R., T. Reyna T., J. Soria R. y Y. Fernández O. (2004). *Aptitud agroclimática en la Mesa Central de Guanajuato, México*. Investigaciones Geográficas, UNAM. México, D. F. 54:24-36.

Jiménez, C. A., V. Vargas T., W. E. Salinas C., M. Aguirre B. y D. Rodríguez C. (2004). *Aptitud agroecológica para el cultivo de caña de azúcar en el sur de Tamaulipas, México*. Investigaciones Geográficas, UNAM. México, D. F. 53:58-74.

Oliver, G. R., M. Taboada S. y T. Reyna T. (1992). *Características físicoquímicas de tres unidades de suelo cultivado con amaranto en el estado de Morelos*.

Universidad: Ciencia y Tecnología.
Universidad Autónoma del Estado de
Morelos. Cuernavaca, Mor. 2(2):51-56

Ortiz, R. (1997). *Amaranto. Historia y Perspectivas*. Editora y Distribuidora Yug, S. A. México, D. F. 112 p.

Paredes, L. O., A. P. Barba R., D. Hernández López, A. Carabez T. (1990). *Características alimentarias y aprovechamiento agroindustrial*. Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos. Washington, D. C.

Reyna, T. T. 1990. Requerimientos climáticos para el cultivo del amaranto (*Amaranthus* spp.) en México. En: Trinidad, S. A., F. Gómez L. y G. Suárez R. (Compiladores). *El Amaranto Amaranthus* spp. Su cultivo y Aprovechamiento. Colegio de Posgraduados. Montecillo, México. 81-89.

Reyna, T. T. 1991. Caracterización edafoclimática de las regiones potencialmente útiles para el cultivo del amaranto *Amaranthus* spp. *Informe Técnico*. Reunión Anual del Grupo de

Investigación Interdisciplinaria para el Estudio del Amaranto (GIIEIA). PUAL-UNAM. México, D. F. p. 97-101.

Reyna, T. T. (1993). Amaranto y quinoa: cultivos alternativos de importancia alimenticia. *GEO-UNAM*. 2(4):6-13.

Reyna, T. T. y J. M. Fernández L. (1996). *Aptitud pluviotérmica para el Amaranthus spp en Pinar del Río*. Taller Cuba-México. Potencialidades y usos del Amaranto. Universidad de La Habana, Cuba. Universidad Nacional Autónoma de México. Reyna, Fernández y Ortega (Comp.). La Habana, Cuba. p. 14-15.

Reyna, T. T., J. M. Fernández, T. López D. y A. L. Hernández. (1997). Zonificación pluviotérmica para el cultivo del *Amaranthus* spp. en la provincia de Pinar del Río e Isla de la Juventud, Cuba. *Investigaciones Geográficas Boletín*. Instituto de Geografía, UNAM. 35:135-152.

Schultes, R. (1960). Tapping our Heritage of Ethnobotanical Lore. *Economic Botanic* 14(4): 257-262.