



SECRETARÍA DE DESARROLLO RURAL

www.campeche.gob.mx @CAMPECHEPROGRESA

EN **CAMPECHE**
VAMOS POR NUESTRO
PROGRESO

SDR

ESTUDIO PARA DETERMINAR ZONAS DE ALTA POTENCIALIDAD DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN EL ESTADO DE CAMPECHE



Dr. José Francisco Juárez López
Dr. Lorenzo Armando Aceves Navarro
Dr. José Jesús Obrador Olán
M.C. Rigoberto González Mancillas
M.C. Nubia Nitzel Torres Rosas
Ing. Matías Hernández Gómez



Campus Tabasco

TOMO X - 2012



**ESTUDIO PARA DETERMINAR ZONAS DE ALTA
POTENCIALIDAD DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.)
EN EL ESTADO DE CAMPECHE**



GOBIERNO DEL ESTADO DE CAMPECHE

DIRECTORIO

LIC. FERNANDO EUTIMIO ORTEGA BERNÉS
Gobernador Constitucional del Estado de Campeche

LIC. JORGE HUMBERTO SHIELDS RICHAUD
Secretario de Coordinación

LIC. MARÍA LUISA SAHAGÚN ARCILA
**Secretaria de Administración e Innovación
Gubernamental**

DR. EVERARDO ACEVES NAVARRO
Secretario de Desarrollo Rural

ARQ. MARIO HURTADO ESCALANTE
Responsable de la Unidad de Inversión

MC. CÉSAR BARRIOS PACHECO
**Coordinador Ejecutivo y Apoderado Legal
de FIDESUR**



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

DIRECTORIO

Dr. JESÚS MONCADA DE LA FUENTE
Director General

Dr. RAÚL GERARDO OBANDORODRÍGUEZ
Secretario Académico

Lic. ROLANDO RAMOS ESCOBAR
Secretario Administrativo

Dr. PONCIANO PÉREZ HERNÁNDEZ
Director de Educación

Dr. JUAN ANTONIO VILLANUEVA JIMÉNEZ
Director de Investigación

Dr. MIGUEL CABALLERODELOYA
Director de Vinculación

CAMPUS TABASCO

DIRECTORIO

Dr. CARLOS FREDY ORTIZ GARCÍA
Director

DR. CÉSAR JESÚS VÁZQUEZ NAVARRETE
Subdirector de Educación

DR. ÁNGEL MARTÍNEZ BECERRA
Subdirector de Investigación

DR. JOSÉ FRANCISCO JUÁREZ LÓPEZ
Subdirector de Vinculación

CPA. MARÍA GABRIELA MARTÍNEZ QUINTANA
Subdirectora de Administración



CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	OBJETIVOS	2
III.	ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DEL MAÍZ	3
IV.	CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	4
4.1	Taxonomía del maíz y sus parientes silvestres	4
V.	DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DEL MAÍZ	5
5.1	Tallo.....	5
5.2	Inflorescencia	5
5.3	Hojas	6
5.4	Raíces	6
VI.	PRODUCCIÓN MUNDIAL DE MAÍZ (<i>Zea mays</i> L.).....	6
VII.	PRODUCCIÓN NACIONAL Y ESTATAL DE MAÍZ.....	9
7.1	Producción de Maíz en el estado de Campeche	10
VIII.	REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE MAÍZ	12
IX.	REQUERIMIENTOS EDAFOLÓGICOS PARA EL CULTIVO DE MAÍZ.....	14
X.	TECNOLOGIA DE PRODUCCION DEL CULTIVO DE MAÍZ.....	15
10.1	Desarrollo vegetativo del maíz	15
10.2	Riegos	15
10.3	Labores culturales	15
10.3.1	Preparación del terreno	15



10.3.2	Siembra	16
10.3.3	Fertilización	16
10.3.4	Aclareo	17
10.3.5	Recolección	17
10.3.6	Conservación.....	18
10.4	Fenología del maíz	18
XI.	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA.....	20
XII.	SELECCIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS BIOCLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE MAÍZ	22
12.1	Inventario climático	23
12.1.1	División climática	23
12.1.2	Período de crecimiento	23
12.2	Inventario edafológico.....	24
12.2.1	División edafológica.....	24
12.3	Fuentes de información	24
12.3.1	Información climática	24
12.3.2	Información edafológica.....	25
12.3.3	Información cartográfica	25
XIII.	ESTIMACIÓN DE RENDIMIENTO POTENCIAL PARA EL CULTIVO DE MAÍZ (<i>Zea mays</i> L.)	25
XIV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
XV.	CONCLUSIONES.....	33
XVI.	BIBLIOGRAFÍA.....	35
XVII.	ANEXOS	40



ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Área cosechada (ha) de maíz (<i>Zea mays</i> L.) entre los países productores a nivel mundial (periodo 2005-2009).....	7
Cuadro 2. Producción (t) de maíz (<i>Zea mays</i> L.) entre los países productores a nivel mundial (periodo 2005-2009).	7
Cuadro 3. Superficie (ha) cultivada con maíz a nivel municipal en el estado de Campeche, en la modalidad de temporal + riego.	11
Cuadro 4. Rendimientos de maíz ($t\ ha^{-1}$) de los distintos municipios del estado de Campeche, en la modalidad de temporal más riego (periodo 2005-2010).....	12
Cuadro 5. Variables climáticas y edafológicas seleccionadas para definir áreas de alta potencialidad para el cultivo maíz en el estado de Campeche.	22
Cuadro 6. Superficie (ha) de alta potencialidad climática, edafológica y edafoclimática y para el cultivo maíz (<i>Zea mays</i> L.) en el estado de Campeche.	29
Cuadro 7. Subunidades de suelo con potencialidad para el cultivo maíz (<i>Zea mays</i> L.) en el estado de Campeche.....	30
Cuadro 8. Municipios del estado de Campeche con zonas edafoclimáticas potenciales para el cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) en el estado de Campeche.	32
Cuadro 9. Rendimiento potencial ($t\ ha^{-1}$) estimado para el cultivo maíz (<i>Zea mays</i> L.) en los municipios del estado de Campeche.	33



ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Porcentaje de Superficie (ha) cultivada de maíz por continente.
Elaboración propia con datos de FAOSTAT (2011).8
- Figura 2.** Porcentaje de Porcentaje de producción de maíz por
continente. Elaboración propia con datos de FAOSTAT (2011).9
- Figura 3.** Metodología simplificada de la zonificación agroecológica para
el cultivo de maíz en el estado de Campeche.21

INDICE DE ANEXOS

- Anexo 1.** Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas en el
estado de Campeche.40
- Anexo 2.** Requerimientos bioclimáticos del cultivo de maíz (*Zea mays*
L.).42
- Anexo 3.** Requerimientos edafológicos para el cultivo de maíz (*Zea*
mays L.).42
- Anexo 4.** Zonas con potencial climático para el cultivo de maíz (*Zea*
mays L.) en el estado de Campeche.43
- Anexo 5.** Zonas con potencial edafológico para el cultivo de maíz (*Zea*
mays L.) en el estado de Campeche.44
- Anexo 6.** Zonas con alto potencial edafoclimáticos para el cultivo de
maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Campeche.45



I. INTRODUCCIÓN

La relevancia del cultivo de maíz se remonta a la época prehispánica, cuando las culturas Totonaca y Olmeca que habitaron en el sureste Mexicano le atribuyeron un significado divino y lo utilizaron como alimento principal, manteniendo así una importancia social y económica; esta gramínea en la actualidad sigue siendo trascendente en la economía mundial, por ser un alimento básico en los países en desarrollo, mientras que en los países industrializados representa la principal fuente de alimento animal y una fuente para el desarrollo de una gran variedad de productos industriales.

Las razas y variedades nativas de maíz han dado origen a nuevas variedades e híbridos con mayor productividad que las criollas. No obstante, el cultivo de estas nuevas variedades e híbridos tiene un mayor costo para su producción debido a que tienen requerimientos climáticos y edáficos distintos a los maíces criollos que se cultivan en temporal, sus semillas nuevas tienen un mayor costo, y requieren de una mayor inversión en insumos como son fertilizantes, plaguicidas, herbicidas y maquinaria (Lesur, 2005).

En consecuencia, la producción en granos de las nuevas variedades o híbridos debe compensar con creces lo invertido; aunque esto no siempre sucede, pues el material vegetativo elegido podría no ser el adecuado para las condiciones de una parcela en particular, por lo que los rendimientos no reflejan lo esperado. Cada variedad o híbrido tiene sus propias características y capacidades, ya que al provenir de antepasados diversos, difieren en su potencial para crecer óptimamente en condiciones distintas para las que fue desarrollado y probado. Esto quiere decir, que el productor debe elegir variedades e híbridos que satisfagan sus propias necesidades en las condiciones ambientales de su parcela. Es indudable que el clima y su variabilidad juegan un papel importante en la productividad física de los cultivos agrícolas de temporal (López y Salazar, 1998).



En la agricultura de temporal, uno de los factores limitativos primordiales de los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas es la disponibilidad de humedad en el suelo, siendo la lluvia la principal fuente de abastecimiento de agua. La variabilidad que tiene la lluvia en tiempo y espacio, la hace un indicador poco adecuado para evaluar la disponibilidad de humedad para las plantas en una región (Flores y Ruíz, 1998).

A nivel mundial, los principales países con mayor superficie cultivada (ha) y en producción de maíz (t) son Estados Unidos de América, China y Brasil, quienes en el periodo 2005-2009 concentraron casi el 50% de la superficie total cosechada. En este contexto mundial, México ocupó el quinto lugar en área cosechada (ha) y el cuarto en producción (t) de maíz (FAOSTAT, 2011).

Debido a la importancia de este cultivo como alimento básico y materia prima de diversos productos, el gobierno del estado de Campeche en conjunto con las instituciones de investigación se planteó el objetivo de identificar las zonas de alto potencial para el cultivo del maíz (*Zea mays* L.), como una opción de uso de la tierra en el Estado. Para tal propósito se realizó un estudio de Zonificación Agroecológica a fin de brindar información confiable al productor para el establecimiento de este cultivo.

II. OBJETIVOS

- Determinar las Zonas con Alta Potencialidad Productiva del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Campeche.
- Elaborar el mapa de Zonificación de Alta Potencialidad Productiva para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Campeche.



III. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DEL MAÍZ

Su origen no está muy claro pero se considera que pertenece a un cultivo de la zona de México, pues sus hallazgos más antiguos han sido hallados en el país. El maíz originario de México desde hace milenios de años es el alimento principal de los mexicanos, su cultivo se remota a unos 7000 años de antigüedad, de origen indio que se cultivaba por las zonas de México y América central. Hoy en día es un cultivo distribuido en todos los países, y en especial en toda Europa donde ocupa una posición muy elevada, aunque otro de los países que destacan por su alta concentración en el cultivo de maíz es EE.UU.

A finales del siglo XV, tras el descubrimiento del continente americano por Cristóbal Colón, el grano fue introducido en Europa a través de España. Se difundió entonces por los lugares de clima más cálido del Mediterráneo y posteriormente a Europa septentrional. Mangelsdorf y Reeves (1939) han hecho notar que el maíz se cultiva en todas las regiones del mundo aptas para actividades agrícolas y que se recoge en algún lugar del planeta todos los meses del año. Crece desde los 58° de latitud norte en el Canadá y Rusia hasta los 40° de latitud sur en el hemisferio meridional. Se cultiva en regiones por debajo del nivel del mar en la llanura del Caspio y a más de 4 000 metros de altura en los Andes peruanos (FAO, 1993).

Pese a la gran diversidad de sus formas, al parecer todos los tipos principales de maíz conocidos hoy en día, clasificados como *Zea mays*, ya eran cultivados por las poblaciones autóctonas cuando se descubrió el continente americano. Por otro lado, los indicios recogidos mediante estudios de botánica, genética y citología apuntan a un antecesor común de todos los tipos existentes de maíz.

La mayoría de los investigadores creen que este cereal se desarrolló a partir del teosinte, *Euchlaena mexicana* Schrod, cultivo anual que posiblemente sea el más cercano al maíz. Otros creen, en cambio, que se originó a partir de un maíz



silvestre, hoy en día desaparecido. La tesis de la proximidad entre el teosinte y el maíz se basa en que ambos tienen 10 cromosomas y son homólogos o parcialmente homólogos (FAO, 1993).

El flujo génico entre el maíz y sus parientes silvestres ocurre regularmente, a tasas variables dependiendo de las especies involucradas y es una de las fuentes de variación genética de las razas de maíz (CONABIO, 2008).

IV. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

4.1 Taxonomía del maíz y sus parientes silvestres

El maíz y sus parientes silvestres, los teocintles, se clasifican dentro del género *Zea* perteneciente a la familia Gramínea o Poaceae, que incluye también a importantes cultivos agrícolas como el trigo, arroz, avena, sorgo, cebada y caña de azúcar. Con base en caracteres de la espiga o inflorescencia masculina, el género *Zea* se ha dividido en dos secciones (Doebley & Iltis, 1980, Iltis & Doebley 1980). La sección *Luxuriantes* que agrupa 4 especies; los teocintles perennes (*Z. diploperennis* y *Z. perennis*) y los anuales *Z. luxurians* y *Z. nicaraguensis* (Iltis & Benz, 2000); y la sección *Zea* que se circunscribe a una sola especie (*Z. mays*), dividida en cuatro subespecies: el maíz (*Z. mays* subsp. *mays*) y los teocintles anuales (*Z. mays* subsp. *Mexicana*, *Z. mays* subsp. *Parviglumis* y *Z. mays* subsp. *Huehuetenanguensis*). A excepción del *Z. nicaraguensis* y el *Z. mays* subsp. *huehuetenanguensis*, los teocintles son endémicos a México, es decir se distribuyen de manera natural exclusivamente en territorio mexicano, aunque algunos con distribución muy restringida, como los teocintles perennes que sólo están presentes en algunos sitios de la Sierra de Manantlán en Jalisco (Sánchez *et al.*, 1998; CONABIO, 1996).



Nombre común: Maíz, el nombre proviene de las Antillas, pero los nahuas le denominaron *centli* (a la mazorca) o *tlaolli* (al grano).

Nombre científico: *Zea mays*

Reino: Plantae

Clase: Angiosperma

Subclase: Monocotiledóneas

Orden: Cereales

Familia: Gramíneas (Gramineae)

Género: *Zea*

Especie: *mays*

V. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DEL MAÍZ

El maíz es una planta gramínea originaria de América que se ha extendido por todo el mundo, es de porte robusto, de fácil desarrollo y de producción anual.

5.1 Tallo

El tallo es simple erecto, de elevada longitud pudiendo alcanzar los 4 metros de altura, es robusto y sin ramificaciones. Por su aspecto recuerda al de una caña, no presenta entrenudos y si una médula esponjosa si se realiza un corte transversal.

5.2 Inflorescencia

El maíz es de inflorescencia monoica con inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta. En cuanto a la inflorescencia masculina presenta una panícula (vulgarmente denominadas espigón o penacho) de coloración amarilla que posee una cantidad muy elevada de polen en el orden de 20 a 25 millones de granos de polen. En cada florecilla que compone la panícula



se presentan tres estambres donde se desarrolla el polen. En cambio, la inflorescencia femenina marca un menor contenido en granos de polen, alrededor de los 800 o 1000 granos y se forman en unas estructuras vegetativas denominadas espádices que se disponen de forma lateral.

5.3 Hojas

Las hojas son largas, de gran tamaño, lanceoladas, alternas, paralelinervias. Se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presenta vellosidades. Los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes.

5.4 Raíces

Las raíces son fasciculadas y su cometido es la de aportar un perfecto anclaje a las plantas. En algunos casos sobresalen unos nudos de las raíces a nivel del suelo y suele ocurrir en aquellas raíces secundarias o adventicias.

VI. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE MAÍZ (*Zea mays* L.)

El maíz es uno de los cuatro principales cultivos en el mundo, según cifras de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), en el 2009 destacan trece países a nivel mundial en el cultivo de maíz, con un área total cosechada de 158,628,747 hectáreas de maíz, una producción de 818,823,434 toneladas y un rendimiento de 5.16 t ha⁻¹. Entre los principales países con mayor superficie cultivada y cosechada se encuentran Estados Unidos de América, China y Brasil, quienes concentraron casi el 50% de la superficie total y la mayor producción reportada en el periodo 2005-2009. En este contexto mundial, México ocupó el quinto lugar en área cosechada (ha) y el cuarto en producción en toneladas de maíz (Cuadro 1 y 2).



Cuadro 1. Área cosechada (ha) de maíz (*Zea mays L.*) entre los países productores a nivel mundial (periodo 2005-2009).

PAÍS	2005	2006	2007	2008	2009
EUA	30399000	28586500	35013800	31796500	32209300
China	26379250	28482669	29497391	29882998	31203727
Brasil	11549400	12613100	13767400	14444600	13791200
India	7588300	7894000	8117300	8170000	8330000
México	6605600	7294840	7333280	7353940	6223050
Indonesia	3625990	3345810	3630320	4003310	4160660
Nigeria	3589000	3905000	3944000	3845000	3335860
Rep Unida de Tanzania	3109590	2570150	2600340	2848450	2961330
Filipinas	2441790	2570670	2648320	2661020	2683900
Sudáfrica	3223000	2032450	2551800	2799000	2427500
Argentina	2783440	2447170	2838070	3412160	2337180
Rumania	2609110	2512940	2263080	2432210	2333500
Ucrania	1659500	1720300	1902800	2440100	2089100
RESTO DEL MUNDO	41865782	42365239	42250426	44725291	44542440
TOTAL	147428752	148340838	158358327	160814579	158628747

Fuente: FAOSTAT, 2011.

Otros países productores de maíz a nivel internacional y con menor superficie cosechada son: Indonesia, Nigeria, República Unida de Tanzania, Filipinas, Sudáfrica, Argentina, Rumania, y Ucrania.

Cuadro 2. Producción (t) de maíz (*Zea mays L.*) entre los países productores a nivel mundial (periodo 2005-2009).

PAÍS	2005	2006	2007	2008	2009
EUA	282261000	267501000	331175000	307142000	333011000
China	139498473	151731433	152418870	166032097	164107560
Brasil	35113300	42661700	52112200	58933300	51232400
México	19338700	21893200	23512800	24320100	20142800
Indonesia	12523900	11609500	13287500	16323900	17629700
India	14709900	15097000	18955400	19730000	16680000
Francia	13687700	12775200	14357300	15818500	15288200
Argentina	20482600	14445500	21755400	22016900	13121400



Continuación del Cuadro 2. Producción (t) de maíz (*Zea mays* L.) entre los países productores a nivel mundial (periodo 2005-2009).

PAÍS	2005	2006	2007	2008	2009
Sudáfrica	11715900	6935060	7125000	12700000	12050000
Ucrania	7166600	6425600	7421100	11446800	10486300
Canadá	9332200	8989800	11648700	10592000	9561200
Rumania	10388500	8984730	3853920	7849080	7973260
Italia	10427900	9671210	9809270	9491200	7877700
RESTO DEL MUNDO	126812060	127935801	122208665	144322466	139661914
TOTAL	713458733	706656734	789641125	826718343	818823434

Fuente: FAOSTAT, 2011

De los cinco continentes, América posee la mayor superficie cultivada de maíz (38.8%), seguido de Asia (33.7%), África (18.7%), Europa (8.7%) y Oceanía con apenas 0.1 % del total mundial (Figura 1). Sin embargo, el volumen de producción de maíz (t) para estos continentes no presenta la misma tendencia, ya que el continente africano presenta una menor producción que el europeo en este cultivo, aun cuando la superficie cultivada entre ambos continentes presenta una diferencia de aproximadamente el 10% (Figura 2). En cuanto al rendimiento de maíz, América ocupa el primer lugar con 7.18 t ha⁻¹, seguido de Oceanía (6.87 t ha⁻¹), Europa (6.06 t ha⁻¹), Asia (4.38 t ha⁻¹) y África 1.94 (t ha⁻¹).

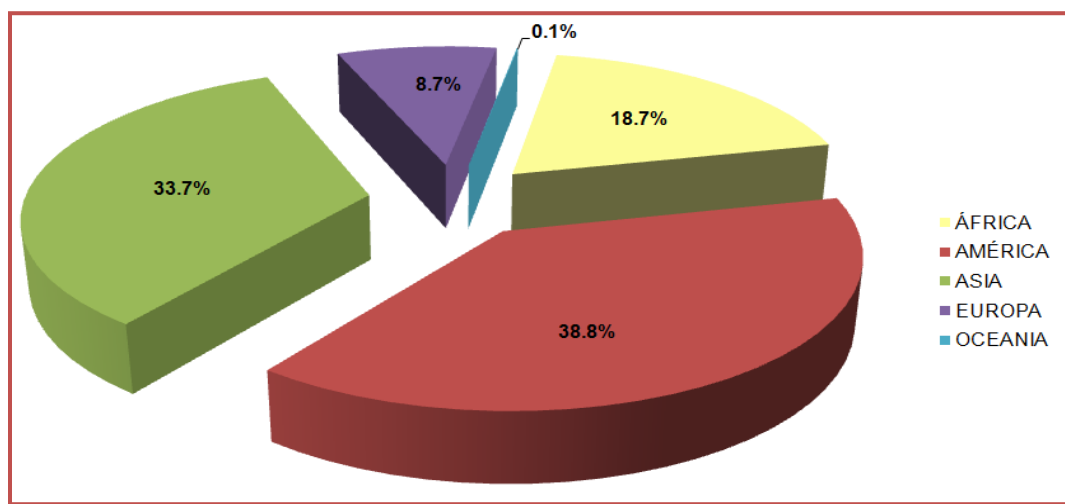


Figura 1. Porcentaje de Superficie (ha) cultivada de maíz por continente. Elaboración propia con datos de FAOSTAT (2011).

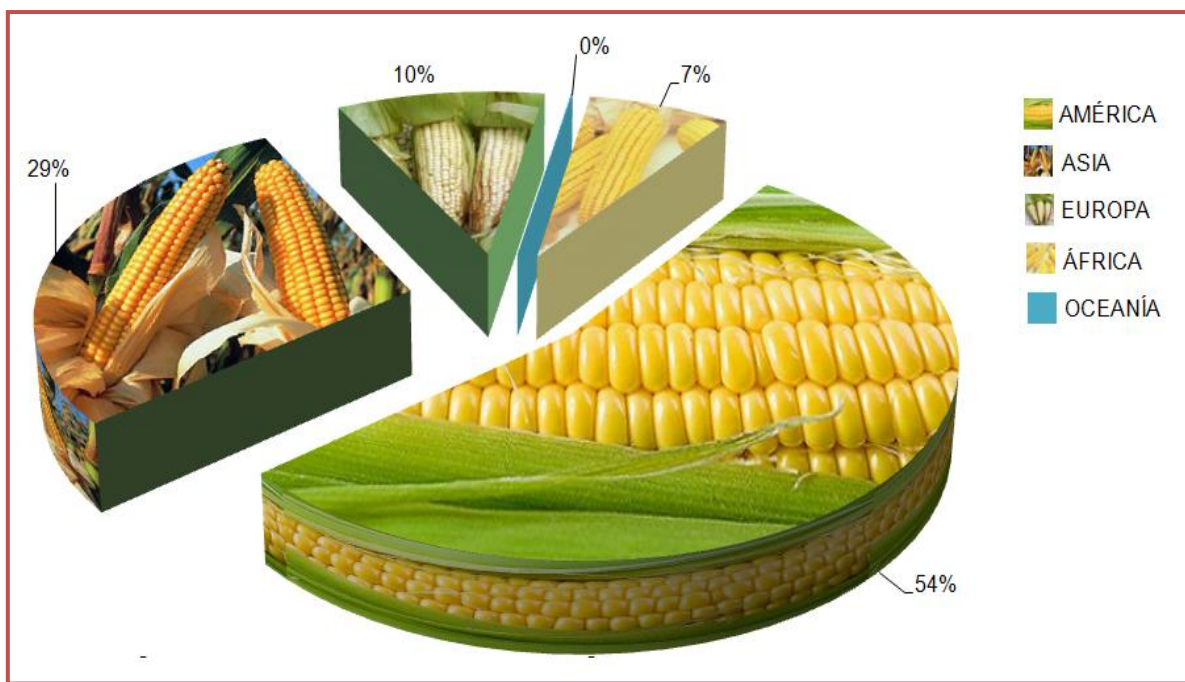


Figura 2. Porcentaje de Porcentaje de producción de maíz por continente. Elaboración propia con datos de FAOSTAT (2011).

VII. PRODUCCIÓN NACIONAL Y ESTATAL DE MAÍZ

En México se cultivan 7 860,705.49 ha de maíz, dentro de las cuales el 82% de la superficie se cultiva en la modalidad de temporal y el resto en la modalidad de riego; el rendimiento promedio de maíz corresponde a 3.26 t ha^{-1} , obteniéndose los mayores rendimientos en la modalidad de riego (7.59 t ha^{-1}) y el menor en la modalidad de temporal con 3.26 t ha^{-1} (SIAP, 2011).

El Estado con la mayor superficie destinada a este cultivo, es el estado de Chiapas con 698,305.52 ha, seguido por los estados de Puebla (606,534.4 ha), Jalisco (603,798.81 ha), Oaxaca (595,210.85 ha), Veracruz (575,625.93 ha), Estado de México (562,496.39 ha) y Sinaloa (532,791.14 ha); mientras que los estados con menor producción son Baja California Sur y el Distrito Federal, con 2,794.5 ha y 5,647.01 ha, respectivamente. El estado de Campeche por su parte destina 156,401 ha a este cultivo, lo que representa el 2% de la superficie nacional



cultivada con maíz; y un rendimiento estatal de 2.54 t ha^{-1} en la modalidad de riego más temporal (SIAP, 2011).

En la modalidad de temporal, el Estado con mayor superficie destinada al cultivo del maíz es Chiapas con 689,021.9 ha, seguido por Veracruz (571,031 ha), Jalisco (565,734.23 ha), Oaxaca (560,105.75 ha), Puebla (557,345.4 ha), Estado de México (463,592.49 ha), Guerrero (463,592.49 ha) y Michoacán con 376,191.25 ha (SIAP, 2011). Campeche cultiva bajo esta modalidad una superficie de 154,769.50 ha. El rendimiento promedio de maíz a nivel nacional en la modalidad de temporal es de 2.21 t ha^{-1} ; no obstante cuatro estados superan este valor, que son Jalisco (5.84 t ha^{-1}), Nayarit, (3.74 t ha^{-1}), Morelos (3.15 t ha^{-1}) y Colima (3.02 t ha^{-1}); Campeche en ésta modalidad reporta rendimientos de 1.55 t ha^{-1} .

Los estados que más destacan en la modalidad de riego, por poseer las áreas más extensas dedicadas a este cultivo, son: Sinaloa (497,643.64 ha), Tamaulipas (108,501.94 ha) y Guanajuato (105,180.15 ha). En el caso de Campeche, la superficie cultivada en esta modalidad en el año 2010 fue de 1,631.5 ha, lo que representa el 0.11% a nivel nacional (SIAP, 2011). El rendimiento promedio de maíz en t ha^{-1} a nivel nacional en la modalidad de riego es de 7.59 t ha^{-1} , promedio que es superado por cinco estados que corresponden a Sinaloa (10.45 t ha^{-1}), Chihuahua (9.73 t ha^{-1}), Guanajuato (8.77 t ha^{-1}), Jalisco (8.14 t ha^{-1}) y Nuevo León (7.82 t ha^{-1}). En esta modalidad el estado de Campeche reporta rendimientos de 3.41 t ha^{-1} .

7.1 Producción de Maíz en el estado de Campeche

En Campeche se cultiva el maíz en casi todo el estado; sin embargo, en los últimos cinco años (2005-2010) para la mayoría de los municipios la superficie cultivada con maíz ha disminuido, en promedio un 3.8% para el estado (Cuadro 3), manteniéndose un área promedio de 157,505.04 hectáreas durante este período.



Cuadro 3. Superficie (ha) cultivada con maíz a nivel municipal en el estado de Campeche, en la modalidad de temporal + riego.

MUNICIPIO	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Calakmul	8,495.00	7,940.00	9,287.00	9,914.00	9,264.00	9,757.00
Calakmul	5,050.00	5,050.00	4,345.00	5,050.00	4,910.00	4,350.00
Calkiní	7,219.25	23	7,049.00	6,730.00	6,741.00	6,737.50
Campeche	11,118.00	10,078.00	12,450.00	13,610.00	16,648.00	17,762.00
Candelaria	15,350.00	15,450.00	13,960.00	13,210.00	12,455.00	11,165.00
Carmen	4,410.00	3,750.00	4,065.00	3,665.00	3,620.00	3,360.00
Champotón	29,637.00	29,400.00	20,978.00	17,485.00	16,325.00	14,995.00
Escárcega	15,690.00	7,020.00	13,420.00	11,110.00	10,530.00	10,515.00
Escárcega	7,020.00	14,300.00	4,860.00	6,040.00	5,920.00	5,400.00
Hecelchakán	11,690.00	-	12,209.00	13,151.00	14,921.00	14,575.50
Hopelchén	41,413.00	48,734.00	54,387.00	54,587.00	48,775.00	51,667.00
Palizada	310	310	360	355	325	250
Tenabo	5,186.00	5,078.00	4,568.00	5,803.00	5,826.00	5,867.00
TOTAL	162,588	147,133	161,938	160,710	156,260	156,401

Fuente: SIAP, 2011

En el 2010, la mayor superficie dedicada a este cultivo se localizó en los municipios de Hopelchén con 51,667 hectáreas, seguido por Campeche (17,762.00 ha), Champotón (14,995.00 ha), Hecelchakán (14,575.50 ha), Candelaria (11,165.00 ha) y Escárcega (10,515.00 ha).

En cuanto a los rendimientos de maíz reportados en el 2010 bajo la modalidad de temporal + riego para los distintos municipios del estado (ver Cuadro 4), se destacan los obtenidos por Hopelchén (3.74 t ha^{-1}), Campeche (3.68 t ha^{-1}), Hecelchakán (3.39 t ha^{-1}) y Tenabo (3.04 t ha^{-1}), que superan el rendimiento estatal (2.54 t ha^{-1}) reportado a nivel nacional (SIAP, 2011). Entre los municipios con menor rendimiento, por debajo de una t ha^{-1} , se encuentran Calakmul, Candelaria, Carmen y Escárcega.



Cuadro 4. Rendimientos de maíz ($t\ ha^{-1}$) de los distintos municipios del estado de Campeche, en la modalidad de temporal más riego (período 2005-2010).

MUNICIPIO	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Calakmul	0.73	0.94	0.56	1.16	0.6	0.97
Calakmul	0.86	0.86	0.7	0.75	0.58	0.69
Calkiní	1.87	2.00	1.85	1.95	1.98	1.92
Campeche	4.18	3.19	2.09	2.01	2.27	3.68
Candelaria	0.78	0.78	0.86	1.26	0.71	0.72
Carmen	0.82	0.90	1.01	1.00	0.79	0.84
Champotón	0.97	1.34	1.25	1.40	1.16	1.40
Escárcega	0.76	0.82	0.77	0.85	0.74	0.76
Escárcega	0.89	0.82	0.7	0.81	0.54	0.72
Hecelchakán	3.87	-	2.42	3.88	2.66	3.39
Hopelchén	4.42	3.74	2.38	2.2	3.05	3.74
Palizada	1.64	1.54	1.59	1.66	1.44	1.37
Tenabo	4.38	3.81	1.91	3.15	3.42	3.04
TOTAL	2.38	2.18	1.79	2.05	1.97	2.54

Fuente: SIAP, 2011

VIII. REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE MAÍZ

El cultivo de maíz requiere de una temperatura media entre 21.2 a 24°C. El óptimo diurno se encuentra alrededor de los 25 y 30°C, mientras que la mejor temperatura nocturna para el cultivo es de 15 a 18 °C. No obstante estos valores varían según la fase de desarrollo del cultivo, ya que a partir del período de madurez en que se encuentre la planta las temperaturas óptimas requeridas son un poco más altas (Benacchio, 1982).

Warrington y Kanemasu (1983) han encontrado que la iniciación floral en maíz es rápida (17 días o menos) con temperaturas cálidas (mayores a 23°C), mientras que a temperaturas bajas (menores a 15°C) las plantas tardan 40 días.

Crasta y Cox (1996), afirman que temperaturas menores de 14°C reducen la acumulación de materia seca en maíz durante el intervalo de crecimiento



comprendido entre la emergencia y estado de ocho hojas. Cuando las temperaturas varían de 15 a 30°C, el índice de aparición foliar se incrementa aproximadamente al doble, por lo que se aumenta el promedio en el número de hojas con el rango de temperatura diurna (Coligado y Brown, 1975).

El maíz es un usuario eficiente del agua en cuanto a la producción total de materia seca y, entre los cereales, es potencialmente el cultivo de granos de mayor rendimiento (Doorenbos y Kassam, 1979). El consumo hídrico del maíz depende de factores como la duración del ciclo de cultivo, el clima, la disponibilidad de agua, características hidrodinámicas del suelo y prácticas de manejo del sistema suelo-planta. Al respecto, Llanos (1984) menciona que las necesidades de agua consideradas normales para el cultivo son de aproximadamente 600 mm, aunque estas varían dependiendo del rendimiento máximo alcanzado en cada región.

Las sequías cercanas a la época de floración tienen un efecto multiplicador sobre el rendimiento, aparentemente porque reducen la formación de reservas. Por otra parte, el número de granos por planta puede reducirse a causa de dificultades en la polinización o porque los óvulos fertilizados detienen su crecimiento. El crecimiento de los estambres es muy sensible al contenido de agua de la planta y su emergencia se demora con la sequía; la ejerción de la panoja y el derrame del polen son menos afectados por el bajo contenido de agua de la planta, aunque los últimos estambres que emergen pueden no participar en la polinización (Westgate, 1994).

Se considera suficiente una estación de lluvia con 700 a 1000mm, los cuales deben estar bien distribuidos. En el maíz la disponibilidad de agua en el momento oportuno, es quizás el factor ambiental mas critico para determinar el rendimiento final. El período con mayor exigencia de agua, es el que va desde 15 días antes hasta 30 días después de la floración. Un "estrés" causado por deficiencia de agua en el período de floración puede ser motivo de una merma del 6 al 13% por día, en el rendimiento final.



En general la WMO (1973) menciona que los rendimientos se incrementan con la utilización de agua, y solamente el abastecimiento hídrico adecuado y uso de fertilizantes aumentan considerablemente los rendimientos.

IX. REQUERIMIENTOS EDAFOLÓGICOS PARA EL CULTIVO DE MAÍZ

El suelo ideal para el cultivo de maíz son aquellos con textura intermedia, de franco a franco-limoso en el horizonte superficial, y con más contenido de arcilla en el subsuelo. Esto combinado con una buena estructura permite un buen almacenamiento de agua y nutrimentos. El maíz crece bien en suelos con una profundidad de 60cm. Los suelos para el cultivo de maíz deben estar bien drenados y aireados, por ser éste uno de los cultivos de menor tolerancia a la baja difusión de aire en el suelo (Luna y Gutiérrez, 2003).

Su pH favorable está comprendido entre 5 y 8; los valores inferiores a 5 pueden causar problemas de toxicidad por aluminio, manganeso y hierro, y en suelos con valores de pH altos existen problemas nutricionales de fósforo, zinc y hierro. Los suelos con pH entre 7.5 y 8.4 presentan deficiencias en fósforo debido a que éste se encuentra en forma de fosfatos tricálcicos de baja solubilidad, al igual que el zinc y el hierro por lo que también tienen poca solubilidad.

El maíz tolera aguas con conductividad eléctrica de 1 a 4 dSm⁻¹, por encima de este nivel el descenso es progresivo, siendo grave para valores de 8 dSm⁻¹, y el rendimiento se reduce a la mitad cuando la conductividad eléctrica es de 6 dSm⁻¹.



X. TECNOLOGIA DE PRODUCCION DEL CULTIVO DE MAÍZ

10.1 Desarrollo vegetativo del maíz

Desde que se siembran las semillas hasta la aparición de los primeros brotes, transcurre un tiempo de 8 a 10 días, donde se ve reflejado el continuo y rápido crecimiento de la plántula.

10.2 Riegos

El maíz es un cultivo exigente en agua en el orden de unos 5 mm al día. Los riegos pueden realizarse por aspersión y a manta. El riego más empleado últimamente es el riego por aspersión.

Las necesidades hídricas varían a lo largo del cultivo y cuando las plantas comienzan a nacer se requiere menos cantidad de agua pero manteniendo una humedad constante. En la fase del crecimiento vegetativo es cuando más cantidad de agua se requiere y se recomienda dar un riego unos 10 a 15 días antes de la floración. Durante la fase de floración es el periodo más crítico porque de ella va a depender el cuajado y la cantidad de producción obtenida por lo que se aconsejan riegos que mantengan la humedad y permita una eficaz polinización y cuajado. Por último, para el engrosamiento y maduración de la mazorca se debe disminuir la cantidad de agua aplicada.

10.3 Labores culturales

10.3.1 Preparación del terreno

La preparación del terreno es el paso previo a la siembra. Se recomienda efectuar una labor de arado al terreno con grada para que el terreno quede suelto y sea capaz de tener cierta capacidad de captación de agua sin encharcamientos. Se



pretende que el terreno quede esponjoso sobre todo la capa superficial donde se va a producir la siembra. También se efectúan labores con arado de vertedera con una profundidad de labor de 30 a 40 cm. En las operaciones de labrado los terrenos deben quedar limpios de restos de plantas (rastros).

10.3.2 Siembra

Antes de efectuar la siembra se seleccionan aquellas semillas resistentes a enfermedades, virosis y plagas. Se efectúa la siembra cuando la temperatura del suelo alcance un valor de 12 °C. Se siembra a una profundidad de 5 cm. La siembra se puede realizar a golpes, en llano o a surcos. La separación de las líneas de 0.8 a 1 m y la separación entre los golpes de 20 a 25 cm. La siembra se realiza por el mes de abril.

10.3.3 Fertilización

El maíz necesita para su desarrollo unas ciertas cantidades de elementos minerales. Las carencias en la planta se manifiestan cuando algún nutriente mineral está en defecto o exceso. Se recomienda un abonado de suelo rico en P y K. En cantidades de 0.3 kg de P en 100 kg de abonado. También un aporte de nitrógeno N en mayor cantidad sobre todo en época de crecimiento vegetativo. El abonado se efectúa normalmente según las características de la zona de plantación, por lo que no se sigue un abonado riguroso en todas las zonas por igual. No obstante se aplica un abonado muy flojo en la primera época de desarrollo de la planta hasta que la planta tenga un número de hojas de 6 a 8. A partir de esta cantidad de hojas se recomienda un abonado nitrogenado (82%), abonado fosforado (P_2O_5 : 70%), y abonado en potasa (K_2O : 92%).

Para el cultivo de maíz se debe realizar un abonado de fondo en cantidades aproximadas de 825 kg ha⁻¹ durante las labores de cultivo; y durante la formación del grano de la mazorca los abonados deben de ser mínimos.



Los abonados de cobertera son aquellos que se realizan cuando aparecen las primeras hojas de la planta, principalmente con fuentes de fósforo nitrógeno y potasio.

10.3.4 Aclareo

Es una labor de cultivo que se realiza cuando la planta ha alcanzado un tamaño próximo de 25 a 30 cm y consiste en ir dejando una sola planta por golpe y se van eliminando las restantes. Otras labores de cultivo son las de romper la costra endurecida del terreno para que las raíces adventicias (superficiales) se desarrollen.

10.3.5 Recolección

Para la recolección de las mazorcas de maíz se aconseja que no exista humedad en las mismas, más bien secas. La recolección se produce de forma mecanizada para la obtención de una cosecha limpia, sin pérdidas de grano y fácil. En la recolección de mazorcas de grandes extensiones se utilizan las cosechadoras de remolque o bien las cosechadoras con tanque incorporado y arrancan la mazorca del tallo, previamente se secan con aire caliente y pasan por un mecanismo desgranador y una vez extraídos los granos se vuelven a secar para eliminar el resto de humedad.

Las cosechadoras disponen de un cabezal por donde se recogen las mazorcas y un dispositivo de trilla que separa el grano de la mazorca, también se encuentran unos dispositivos de limpieza, mecanismos reguladores del control de la maquinaria y un tanque o depósito donde va el grano de maíz limpio.

Otras cosechadoras de mayor tamaño y más modernas disponen de unos rodillos recogedores que van triturando los tallos de la planta. Trabajan a gran anchura de



trabajo de 5 a 8 filas la mazorca igualmente se tritura y por un dispositivo de dos tamices la cosecha se limpia.

10.3.6 Conservación

Para la conservación del grano del maíz se requiere un contenido en humedad del 35 al 45%. Para grano de maíz destinado al ganado éste debe tener un cierto contenido en humedad y se conserva en contenedores, previamente enfriando y secando el grano. Para maíz dulce las condiciones de conservación son de 0 °C y una humedad relativa de 85 al 90%. Para las mazorcas en fresco se eliminan las hojas que las envuelven y se envasan en bandejas recubiertas por una fina película de plástico. El maíz para grano se conserva de la siguiente forma: debe pasar por un proceso de secado mediante un secador de circulación continua o secadores de caja. Estos secadores calientan, secan y enfrían el grano de forma uniforme.

10.4 Fenología del maíz

De acuerdo con la Iowa State University of Science and Technology, el cultivo de maíz se encuentra en constante cambio desde su siembra hasta su cosecha. Para su producción son necesarios los siguientes elementos: agua, minerales, suelo, dióxido de carbono y oxígeno; los que con la ayuda de la radiación solar son transformados por la planta en carbohidratos, proteínas, aceites y minerales.

El crecimiento y producción del maíz depende del potencial genético de la planta para responder a las condiciones ambientales en las que crece; aunque la naturaleza es la responsable de la mayor parte de la influencia ambiental sobre el crecimiento y la producción, se puede manipularla por medio de las prácticas agrícolas como el arado, la fertilización, el riego y el control de malezas e insectos. Es importante entender las etapas de la planta para usar eficientemente las prácticas agrícolas, obteniendo así una mejor producción. Las etapas de



crecimiento de un híbrido promedio corresponden a: a) Desarrollo de 20 a 21 hojas, b) los pelos del jilote aparecen a los 65 días después del periodo de emergencia, y c) Madura a los 125 días después de la emergencia.

Generalmente las plantas de maíz siguen el mismo patrón de crecimiento, pero la duración entre las etapas puede variar dependiendo del híbrido, lugar temporada y fecha de siembre. Por ejemplo, un híbrido precoz puede desarrollar menos hojas o pasar las etapas más rápido a lo indicado anteriormente, o un híbrido tardío puede desarrollar más hojas o pasar las etapas en un mayor tiempo.

La tasa de crecimiento de las plantas está relacionada con la temperatura, por lo que la duración de las etapas variara de acuerdo con la temperatura entre y dentro de las fases de crecimiento, La deficiencia de nutrientes o humedad pueden incrementar la duración de las etapas vegetativas, pero también acortar la duración de las etapas reproductivas. El número, tamaño y peso del grano y la duración de la etapa reproductiva de crecimiento variará dependiendo del híbrido y de las condiciones ambientales.

El crecimiento del maíz se divide en etapa vegetativa (V) y reproductiva (R), a su vez la vegetativa se subdivide en otras etapas (V1, V2, V3, Vn), VG (etapa vegetativa de germinación) y VE (etapa vegetativa de espiga), que será definida de acuerdo a la dominancia de la hoja que tenga visible el cuello de la hoja. La primera hoja de forma oval es el punto de referencia para contar hacia arriba. La etapa VG tarda de 4 a 5 días cuando la temperatura es cálida y tiene suficiente humedad, pero puede tardar hasta dos semanas cuando la temperatura es baja y el suelo se encuentra seco (Iowa State University of Science and Technology. Ames, Iowa, USA.).



XI. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA

Para la identificación de las zonas potenciales para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Campeche se empleo la metodología propuesta por Tijerina *et al.* (1990) en su obra “El Manual de la Metodología para Evaluar la Aptitud de las Tierras para la Producción de Cultivos Básicos en Condiciones de Temporal”, en la cual se expone que la producción sustentable de alimentos está determinada por un lado, por los factores ambientales (suelo y clima) y por el otro lado, por un complejo de factores socio-económicos, culturales y tecnológicos. En este sentido, para la determinación de zonas de alta potencialidad para el cultivo de maíz sólo se emplearon los indicadores ambientales.

Se utilizó el procedimiento de Zonificación Agroecológica propuesto por la FAO (1981). En colaboración con el *International Institute for Applied Systems Analysis* (IIASA) este procedimiento expandió sus capacidades al incorporar una herramienta de ayuda en la toma de decisiones con múltiples criterios para optimizar el uso del recurso suelo, analizando diferentes escenarios en función de un objetivo (Fischer *et al.*, 1998). La zonificación agroecológica (ZAE) se refiere a la división de la superficie de la tierra en unidades más pequeñas, que poseen características similares relacionadas con su aptitud, con la producción potencial y con el impacto ambiental (FAO, 1994).

Derivado de ello la FAO desarrolló el programa de computo AEZWIN que integra todo lo anterior y que se puede adquirir en el portal de la FAO (www.fao.org). En la Figura 3 se esquematiza de manera sucinta la metodología de la zonificación agroecológica (FAO, 1981) utilizada en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Campeche.

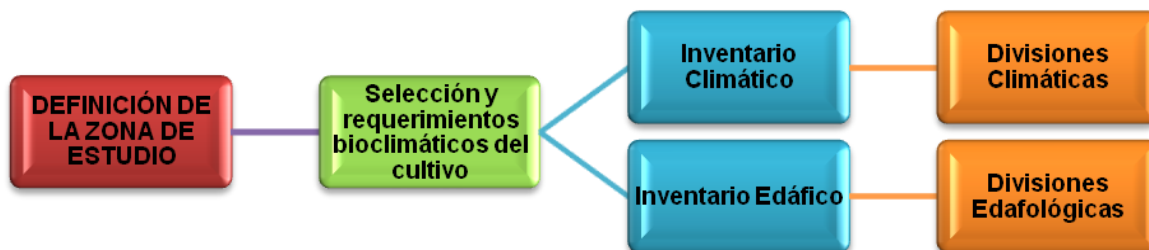


Figura 2. Metodología simplificada de la zonificación agroecológica para el cultivo de maíz en el estado de Campeche.

El esquema de la figura 3 se basa en el análisis del marco biofísico (ambiental), y trata de responder las siguientes preguntas:

- ¿Existe la posibilidad de expandir o introducir con éxito un cultivo?;
- ¿Dónde sembrarlo o establecerlo?;
- En cultivos anuales de secano: ¿Cuándo es la época propicia para sembrarlo o establecerlo? y
- ¿Cuánto rendimiento puedo esperar?

Una vez definida la zona de estudio, el procedimiento en general comprende ocho etapas que son:

- Definición de los requerimientos agroecológicos del cultivo.
- Acopio de datos climatológicos y estimación de elementos faltantes.
- Análisis agroclimático, para definir el inventario climático y las divisiones climáticas.
- Análisis físiotedáfico para definir el inventario edáfico y las divisiones edafológicas.
- Elaboración de los mapas componentes.
- Síntesis cartográfica sucesiva.
- Presentación de resultados.
- Verificación de campo (cuando el cultivo existe en el campo).



XII. SELECCIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS BIOCLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE MAÍZ

Las variables principales que se consideraron para determinar las zonas con alto potencial productivos en el cultivo de maíz fueron: clima y suelo por la relación directa que guardan con el rendimiento del cultivo, dentro de las variables climáticas se analizaron cinco elementos climáticos y ocho propiedades edafológicas (físicas y químicas), las cuales se indican en el Cuadro 5). Estos requerimientos bioclimáticos se tomaron de los reportados por la FAO en el siguiente sitio de Internet:

<http://www.ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/cropFindForm>.

Cuadro 5. Variables climáticas y edafológicas seleccionadas para definir áreas de alta potencialidad para el cultivo maíz en el estado de Campeche.

VARIABLE CLIMÁTICAS	VARIABLE EDÁFICAS
Precipitación total	Profundidad
Temperatura media anual	Fertilidad
Promedio de la temperatura mínima	Textura
Promedio de la temperatura máxima.	pH
Radiación	Pendiente (%)
	Drenaje
	Salinidad
	Toxicidad por aluminio.

Fuente: FAO, 1994. Disponible en <http://www.ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/cropFindForm>

Como parte del proceso de selección de la información se utilizó la base de datos del programa ERIC III2.0 (IMTA, 2009); que permitió analizar los registros diarios de temperatura y precipitación, procedentes de las 55 estaciones meteorológicas localizadas en el estado de Campeche (Anexo 1).

Para complementar la información reportada por ERIC III2.0 (IMTA, 2009), se acudió a la base de datos reportada por García (2004) y SNM (2010), para las variables de precipitación y temperaturas. Se consultó información documental vía



INTERNET, con la finalidad de hacer una investigación más extensa en conocimientos edafoclimáticos del cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

12.1 Inventario climático

La elaboración de un inventario climático de acuerdo a los lineamientos de la FAO (1978 y 1981) consta de dos etapas: 1) Definición de las divisiones climáticas mayores, y 2) Obtención de los periodos de crecimientos.

12.1.1 División climática

Las divisiones climáticas fueron definidas con base en los requerimientos térmicos del cultivo de maíz, que limitan su distribución a escala global. Para establecer las divisiones climáticas mayores, como primer paso se considera el efecto de la altitud, en espacio y tiempo, sobre la temperatura media. Para lo cual, las temperaturas medias mensuales se convirtieron a temperaturas a nivel del mar, con un gradiente alto-térmico de $0.5^{\circ}\text{C}/100$ m de elevación, con el trazo de isolíneas. Es importante mencionar que para el estado de Campeche no hubo problemas en la clasificación del clima porque es similar en toda la región.

12.1.2 Período de crecimiento

El periodo de crecimiento se considera como el número de días durante el año en los que existe disponibilidad de agua y temperaturas, favorables para el desarrollo del maíz. Para calcular el inicio, final y duración en días, del periodo de crecimiento de los cultivos, de acuerdo con el método de la FAO (FAO, 1978 y 1981), se utilizó el programa AGROCLIM (Aceves-Navarro, 2000) que realiza dicho cálculo a partir de datos mensuales de precipitación y temperatura observados y datos de evapotranspiración potencial que se estiman para cada estación meteorológica.



12.2 Inventario edafológico

12.2.1 División edafológica

La segunda etapa del método consiste en la evaluación del recurso suelo con base en las unidades del sistema FAO/UNESCO, para lo cual se consideraron ocho variables: profundidad, fertilidad, textura, pH, pendiente, drenaje, salinidad y toxicidad por aluminio. Posteriormente, se realizó la sobre-posición de los mapas de clima y suelo para delimitar las áreas aptas para el cultivo de maíz. Se seleccionaron estas variables por considerar que son los que más están limitando el establecimiento y el comportamiento productivo del cultivo en la región y que permiten en una primera aproximación delimitar algunas de las áreas productoras.

12.3 Fuentes de información

12.3.1 Información climática

Se usó el Extractor Rápido de Información Climatológica, ERIC III 2.0. (IMTA, 2009), el cual facilita la extracción de la información diaria contenida en la base de datos CLICOM, el banco de datos histórico nacional del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CNA). Ésta información se complementó con las normales climatológicas mensuales reportadas por el Servicio Meteorológico Nacional en su página Web (SMN, 2010). Para crear la base de datos climática se recopiló información de series a nivel diario correspondiente a 55 estaciones meteorológicas del estado de Campeche. Estas series contienen información de las variables:

- Temperaturas mínimas.
- Temperaturas máximas.
- Precipitación.



En lo relativo a los datos de radiación solar; ésta información básica para la estimación de los rendimientos potenciales, se obtuvo de la base de datos generada por Contreras (2000) para el estado de Campeche.

12.3.2 Información edafológica

Se recabó información documental sobre el conocimiento de los suelos en el estado de Campeche; que abordan aspectos físicos y químicos, clasificándolos de acuerdo a la Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y la Organización de la Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y la Cultura (FAO/UNESCO).

12.3.3 Información cartográfica

El Programa ArcView GIS (Demey y Pradere, 1996; ESRI, 2004), se utilizó como herramienta para la elaboración de cartografía. Consiste en un sistema de mapeo computarizado que relaciona lugares con información agroclimática, iguales a las del cultivo de maíz, las cuales se denominan áreas con alto potencial productivo.

XIII. ESTIMACIÓN DE RENDIMIENTO POTENCIAL PARA EL CULTIVO DE MAÍZ(*Zea mays* L.)

En la actualidad existen diferentes procedimientos para establecer el potencial de producción de cultivos para una zona, los cuales en general, consisten en estimar el rendimiento máximo y delimitarlo de acuerdo a los problemas ambientales o de manejo que se presenten.

Uno de esos procedimientos es conocido como el método de Zonas Agroecológicas que fue propuesto por FAO (1978). En el presente trabajo los autores utilizaron este procedimiento, adaptándolo y modificándolo para estimar el



rendimiento potencial del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Campeche.

La estimación de rendimiento máximo propuesto en el proyecto de Zonas de Agroecológicas de la FAO (FAO, 1978 y 1981), se basa en la ecuación (1):

$$Y = Bn \cdot Hi \quad (1)$$

Donde:

Y = Rendimiento máximo sin restricciones ($t \text{ ha}^{-1}$)

Bn = Producción de biomasa neta ($t \text{ ha}^{-1}$)

Hi = Índice de cosecha (adimensional)

La biomasa neta (**Bn**) se entiende como la materia seca total y el rendimiento (**Y**) como la materia seca económicamente aprovechable que produce plantas sanas, con un suministro adecuado de agua y nutrientes. Siendo el índice de cosecha (**Hi**), por lo tanto, una parte proporcional de la biomasa neta.

La biomasa neta (**Bn**) para un cultivo se calcula mediante la ecuación (2).

$$Bn = (0.36 \cdot b_{gm} \cdot L) / ((1/N) + 0.25 \cdot C_t) \quad (2)$$

Expresada en ($kg \text{ ha}^{-1}$).

Donde:

b_{gm} = Tasa máxima de producción de biomasa bruta para un IAF ≥ 5 en ($kg \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$), que se obtiene a partir de la ecuación (3):

$$b_{gm} = F \cdot b_0 + (1 - F) \cdot b_c \quad (3)$$

Expresada en ($kg \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$)



Donde:

F = Fracción del día cubierta con nubes que se estima con la ecuación (4).

b_o = Tasa de fotosíntesis bruta en días completamente nublados (kg ha⁻¹ d⁻¹) (**Pm** = 20 kg ha⁻¹ h⁻¹). Se obtiene de Tablas, entrando con el valor de la latitud de la localidad en cuestión.

b_c = Tasa fotosíntesis bruta en días completamente despejados (kg ha⁻¹ d⁻¹) (**Pm** = 20 kg ha⁻¹ h⁻¹). Se obtiene de Tablas, entrando con el valor de la latitud de la localidad en cuestión.

b_o y **b_c** son valores diarios y en cultivos cerrados (IAF ≥ 5)

$$F = (A_c - 0.5 \cdot R_g) / (0.80 \cdot R_g) \quad (4)$$

Donde:

A_c = Radiación fotosintéticamente activa en un día totalmente despejado (cal cm⁻² d⁻¹) (Tablas para **Pm** = 20 kg ha⁻¹ h⁻¹).

R_g = Radiación global medida (cal cm⁻² d⁻¹)

Los valores de (**A_c**), (**b_o**) y (**b_c**) para diferentes latitudes que reporta de manera tabulada la FAO, (1978), para una fotosíntesis máxima (**Pm**) de 20 kg ha⁻¹ h⁻¹, fueron ajustados a modelos de regresión por Campos (1996). Utilizando éstos modelos, se desarrolló un macro de Excel por los autores del presente trabajo, que calcula dichos valores a nivel diario, en base solo a la latitud de la localidad. En la ecuación (4) se asume que la radiación fotosintéticamente activa que se recibe en un día totalmente cubierto es el 20% de la (**A_c**) y que la radiación fotosintéticamente activa equivale aproximadamente al 50% de la radiación global total de onda corta (**R_g**).

Para calcular el coeficiente de tasa máxima de crecimiento (**L**) se requiere primero calcular la temperatura diurna (**T_{foto}**), la cual se obtiene con la ecuación (5)



$$T_{\text{foto}} = T_{\text{max}} - (1/4) (T_{\text{max}} - T_{\text{min}}) \quad (5)$$

Donde:

T_{max} = Temperatura máxima

T_{min} = Temperatura mínima

L = Coeficiente de tasa máxima de crecimiento, que se calcula mediante la ecuación (6)

$$L = 0.3424 + 0.9051 \cdot \log_{10} (\text{IAF}) \quad (6)$$

Donde:

IAF = Índice de área foliar fue de 2.38 (Camacho *et al.*, 1995).

N = Duración del ciclo del cultivo (135 días)

C_t = Coeficiente de respiración (R_m). Este coeficiente se calcula con la ecuación(7).

$$C_t = C_{30} \cdot (0.044 + 0.00019 \cdot T + 0.0010 \cdot T^2) \quad (7)$$

Donde:

C_{30} = 0.0108 para un cultivo como el maíz, que no es leguminosa.

T = Temperatura media (Celsius).

Para un mayor detalle y ejemplificación de la utilización de éste procedimiento de cálculo, se recomienda al lector consultar a Tijerina *et al.* (1990). Así como el Boletín 73 de la FAO (FAO, 1977).



Obtenida la biomasa neta se procede a calcular el rendimiento potencial; el cual se obtiene al multiplicar la biomasa neta total obtenida por el índice de cosecha (Hi) del cultivo de maíz (*Zea mays* L.). El Hi del cultivo de maíz fue de 0.35, que fue reportado por Flores (1988).

Finalmente se elaboran los mapas para zonas con potencial climático, zonas con potencial edafológico y zonas con potencial edafoclimático para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Campeche.

XIV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez identificadas las variables climáticas y edáficas que más influyen en el crecimiento y desarrollo en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), las cuales se indican en la ficha técnica del Anexo 2 y Anexo 3, se realizó el análisis para la zonificación agroecológica de este cultivo en el estado de Campeche. A partir de este análisis se determinó que en el aspecto agroclimático, el estado de Campeche cuenta una superficie de 5, 130,730.33ha con potencial agroclimático para el cultivo de maíz (Cuadro 6), es decir que el 92.1% de la superficie estatal cuenta con las condiciones climáticas adecuadas para el desarrollo de este cultivo (Cuadro 6).

Cuadro 6. Superficie (ha) de alta potencialidad climática, edafológica y edafoclimática y para el cultivo maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Campeche.

CULTIVO	SUPERFICIE CON POTENCIAL CLIMÁTICO		SUPERFICIE CON POTENCIAL EDAFOLÓGICO		SUPERFICIE CON POTENCIAL EDAFOCLIMÁTICO	
	ha	%*	ha	%*	ha	%*
Maíz	5, 130,730.33	92.1	2, 141,361	38.4	1,500,143	27

* Porcentaje calculado con relación a la superficie estatal total. Fuente: Elaborado a partir del mapa de zonas con potencial edafoclimático para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.),



Aun cuando esta superficie satisface los requerimientos de clima del cultivo de maíz, es importante mencionar que para alcanzar rendimientos adecuados, esta superficie también debería cumplir con los requerimientos edafológicos para este cultivar, es decir con las características físicas y químicas (Anexo) para lograr un mejor rendimiento. A partir del análisis edafológico para identificar zonas aptas para el cultivo de maíz se determinó que un 38.4% de la superficie total del estado de Campeche es apta para este cultivo, es decir cuenta con las características edáficas para establecer este cultivar. Este porcentaje está representado por un área de 2, 141,360.97 hectáreas potenciales para el establecimiento de este cultivo (Cuadro 6 y Anexo 5). El total de esta superficie está representado por 21 subunidades de suelo, entre las que destacan por su superficie el Gleysol Mólico (Calcárico, Arcílico) con 624,854.48 ha y Nitisol Háptico (Éutrico, Ródico) con 417,377.77 ha; mientras que la subunidad con menor superficie corresponde a las subunidades de Nitisol Mólico (Éutrico, Ródico) con 1,950.87 ha y Gleysol Hístico (Calcárico, Sódico) con 3.389.15 ha (Cuadro 7).

Cuadro 7. Subunidades de suelo con potencialidad para el cultivo maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Campeche.

SUBUNIDAD DE SUELO	SUPERFICIE (ha)
Nitisol Mólico (Éutrico, Ródico)	1,950.87
Gleysol Hístico (Calcárico, Sódico)	3,389.15
Regosol Endoglético (Calcárico, Sódico)	12,752.17
Gleysol Háptico (Calcárico, Húmico, Arcílico)	13,004.00
Gleysol Háptico (Húmico, Arcílico, Nódico)	19,059.29
Gleysol Mólico (Calcárico, Sódico, Arcílico)	20,846.64
Gleysol Mólico (Calcárico, Sódico)	43,064.10
Phaeozems Réndzico (Arcílico)	38,551.12
Cambisol Glético (Húmico, Arcílico)	39,201.72
Gleysol Mólico (Calcárico, Arcílico, Nódico)	40,982.10
Gleysol Mólico (Éutrico, Arcílico)	51,351.10
Nitisol Mólico (Húmico, Éutrico)	52,709.29
Calcisol Endoglético (Sódico)	54,043.10



Continuación del Cuadro 7. Subunidades de suelo con potencialidad para el cultivo maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Campeche.

SUBUNIDAD DE SUELO	SUPERFICIE (ha)
Vertisol Gléyico (Calcárico, Húmico)	81,860.56
Vertisol Gléyico (Calcárico, Pélico)	91,579.14
Vertisol Gléyico (Húmico)	103,750.05
Gleysol Mólico (Calcárico, Húmico, Arcílico)	107,223.02
Vertisol Gléyico (Éutrico)	107,809.87
Vertisol Gléyico (Calcárico)	216,001.44
Nitisol Háptico (Éutrico, Ródico)	417,377.77
Gleysol Mólico (Calcárico, Arcílico)	624,854.48

Las dos superficies tanto agroclimática como edáfica reúnen de forma independiente los requerimientos de clima y suelo para establecer el cultivo de maíz, sin embargo es importante mencionar que para alcanzar rendimientos adecuados es necesario también contar a la par tanto con las características de clima y suelo adecuadas para su producción y rendimiento (Anexo 2 y Anexo 3).

De esta manera, al considerar los requerimientos de las variables ambientales (clima y suelo) para la zonificación potencial del cultivo de maíz se identificó una superficie de 1,500,143 ha aptas para establecer este cultivar, es decir el 27% de la superficie total del Estado (Cuadro 6, Anexo 6). Las zonas identificadas con potencial edafoclimático para el cultivo de maíz se encuentran distribuidas en diez municipios que conforman al estado de Campeche (Cuadro 8).

Esta superficie se concentra en mayor proporción en los municipios de Champotón (291,302 ha), Calakmul (277,139 ha), Hopolchén (260,722 ha) y Escárcega (215,613 ha), quienes en su conjunto conforman alrededor del 70% de la superficie edafoclimática potencial para este cultivo. Entre los municipios con una menor superficie se encuentran Hecelchakán (7,295 ha), Calkiní (11,253ha) y Tenabo (12,762 ha). En el Anexo 6 se pueden observar estas zonas aptas para el



cultivar de maíz, siendo el municipio de Palizada el único sin zonas edafoclimáticas para el cultivo de maíz.

Cuadro 8. Municipios del estado de Campeche con zonas edafoclimáticas potenciales para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Campeche.

MUNICIPIO	SUPERFICIE (ha)
Hecelchakán	7,295.48
Calkiní	11,253.35
Tenabo	12,762.90
Campeche	118,084.64
Carmen	119,213.46
Candelaria	186,755.68
Escárcega	215,613.02
Hopelchén	260,722.34
Calakmul	277,139.49
Champotón	291,302.76

En el presente trabajo de investigación también se estimaron los valores promedio de los rendimientos potenciales para el cultivo de maíz en los distintos municipios del estado de Campeche, estos valores se muestran en el Cuadro 9. De los 11 municipios pertenecientes al estado solo en nueve de ellos es posible alcanzar un rendimiento potencial en el cultivo de maíz, de estas cifras destaca el rendimiento estimado para el municipio de Tenabo con 7.16 t ha^{-1} , valor que supera al rendimiento promedio potencial del estado 6.91 t ha^{-1} . También las cifras de los otros municipios (Candelaria, Carmen, Escárcega, Hecelchakán, Hopelchén y Palizada) superan al rendimiento promedio estatal aunque son menores que los de Tenabo. El menor rendimiento potencial corresponde al municipio de Champotón con 6.63 t ha^{-1} .



Cuadro 9. Rendimiento potencial ($t\ ha^{-1}$) estimado para el cultivo maíz (*Zea mays* L.) en los municipios del estado de Campeche.

MUNICIPIO	RENDIMIENTO POTENCIAL *
	($t\ ha^{-1}$)
Campeche	6.89
Candelaria	6.94
Carmen	6.99
Champotón	6.63
Escárcega	7.09
Hecelchakán	7.05
Hopelchén	6.89
Palizada	7.08
Tenabo	7.16
Rendimiento promedio	6.91

*Rendimiento en materia seca

XV. CONCLUSIONES

Del presente estudio realizado para identificar zonas potenciales para establecer el cultivo de maíz en el Estado de Campeche utilizando la metodología propuesta por la FAO (1978) se concluye que:

- El estado de Campeche cuenta con una superficie con potencial agroclimático de 5, 130,730.33 hectáreas para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), cuya superficie representa el 92.11% que satisface los requerimientos de clima óptimos para el desarrollo del cultivo, aunque no necesariamente los elementos del suelo.
- El estado de Campeche cuenta con una superficie con potencial edafológico de 2, 141,361.97 hectáreas para el cultivar de maíz (*Zea mays* L.), cuya superficie representa el 38% que satisface los requerimientos de suelo óptimos para el desarrollo del cultivo, aunque no necesariamente los elementos del clima.



- El estado de Campeche cuenta con una superficie con potencial edafoclimático de 1, 500,143.12 hectáreas para cultivo de maíz (*Zea mays* L.), cuya superficie satisface tanto los requerimientos de clima y edafológicos para el desarrollo del cultivo.
- El cultivo de maíz se puede establecer en al menos el 27% de la superficie del estado de Campeche, con la implementación de un manejo agrícola integrado para favorecer su rendimiento óptimo.
- Los municipios con áreas potenciales para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), son Calakmul, Calkiní, Campeche, Candelaria, Carmen, Champotón, Escárcega, Hecelchakán, Hopelchén y Tenabo.
- Entre los municipios con mayor superficie destacan Champotón, Calakmul, Hopelchén y Escárcega, representando conjuntamente alrededor del 70% de la superficie edafoclimática apta para el cultivo de maíz.
- Palizada fue el único municipio que no presenta una superficie edafoclimática apta para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.).
- Para el cultivo de maíz en nueve municipios del estado de Campeche se espera un rendimiento potencial promedio de 6.91 t ha^{-1} , valor correspondiente a materia seca.
- En general los valores de los rendimientos potenciales estimados para el cultivo de maíz en 8 municipios del Estado de Campeche se encuentran por arriba del rendimiento promedio potencial (6.91 t ha^{-1}), destacando el rendimiento del municipio de Tenabo (7.16 t ha^{-1}).



XVI. BIBLIOGRAFÍA

- Aceves-Navarro, L.A.; Arrieta-Agrícola y Barbosa-Olan, J.L. 2000. Manual de AGROCLIM 1.0. Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas Tabasco. 28 p.
- Barrón, F.S. 2004. Caracterización de híbridos de maíz bajo condiciones de temporal en Tabasco. XVII. Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria de Tabasco. Villahermosa Tabasco. pp. 16-20.
- Benacchio, S.; Comerma, J. y Granados, F. 1982. Algunas Exigencias Agroecológicas en 58 Especies de Cultivo con Potencial de Producción en el Trópico Americano. Compendio. FONAIAP, Caracas. 202 p.
- Camacho, R.G.; Garrido, O y Lima, M.G. 1995. Caracterización de nueve genotipos de maíz (*Zea mays* L) en relación al área foliar y coeficiente de extinción de luz. Sci. Agric. Piracicaba (2) 294-290.
- Campos, A. D.F. 1996. Programa en BASIC para la estimación del rendimiento climático máximo. Agrociencia, 30: 21 – 30.
- Coligado, M.C y Brown, D.M. 1975. Response of corn (*Zea mays* L.) in the pre-tassel initiation period to temperature and photoperiod. Agric. Meteorol. (14): 357-367.
- Conabio, 1996. Documento base sobre centros de origen y diversidad en el caso de maíz en México. CONABIO, julio de 2006. Pp. 33.
- Conabio, 2008. Información biológica-agronómica básica sobre los maíces nativos y sus parientes silvestres. CONABIO, JUNIO DE 2008. PP. 15.
- Contreras, B. J.A., 2000. Estimación del Índice Hidrotérmico Local (IHT) en la República Mexicana. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Agrometeorología. Colegio de Postgraduados. México. 116p.



- Crasta, O.R. y Cox, W.J. 1996. Temperature and soil water effects on maize growth, development yield, and forage quality. *Crop Sci.* (36): 314-348.
- Doebley, J. & H. H. Iltis. 1980. Taxonomy of *Zea* (Gramineae). I. A subgeneric classification with key to taxa. *Amer. J. Bot.* 67(6): 982-993. Doebley, J., M. M. Goodman and C. W. Stuber. 1987. Patterns of isozyme variation between maize and Mexican annual teosinte. *Econ. Bot.* 41(2): 234-246.
- Doorenbos, J. y Kassam, A.H. 1979. Yield Response to Water. FAO. Irrigation and Drainage Paper 33. Rome, FAO.
- Espinosa C.A.; Gómez M.N.; Sierra, M.M.; Caballero H.F.; Coutiño E.B.; Palafox C.A.; Rodríguez, M.F.; García B.A.; Cano R.O y Betanzos M.E. (s/f). Los Maíces de Calidad Proteínica y la Producción de Semilla en México. Ciencia y Desarrollo en Internet. p.1-10. Disponible In: <http://www.conacyt.mx/comunicacion/revista/articuloscompletos/pdf/maiz.pdf>.
- ESRI. (Environmental System Research Institute). 2004. ArcGIS 9. Getting Started With ArcGIS. 2004. Sistema de información. USA.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1978. Agroecological Zones Project. World Soil Resources. Report Num. 48. Vol. 1, África. 158 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1981. Report on the Agro-ecological Zones Project. Vol. 1: Methodology and Results for Africa. World Soils Report No. 48. Rome, Italia.
- FAO, 1993. El maíz en la nutrición humana. Colección FAO: Alimentación y nutrición, N° 25. Roma, 1993. URL: <http://www.fao.org/docrep/T0395S/T0395S00.htm>.
- FAO. (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1977. Zonificación Agro-ecológica. Boletín de Suelos de la FAO 73.



- FAO. 1994. ECOCROP 1. The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database. Versión 1.0. AGLS. FAO. Rome, Italy.
- FAO-ECOCROP. 2011. Food and Agriculture Organization. Crops Statistical Database. Electronic version available in: <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/dataSheet?id=8094>
- FAOSTAT. 2011. Food and Agriculture Organization. Corporate Statistical Database. Electronic version available in: <http://faostat.fao.org/>
- Fischer, G.; Granat, J y Makowski. M. 1998. AEZWIN – An Interactive Multi-criteria Analysis Tool for Land Resources Appraisal. FAO – IIASA, Interin Report. IR – 98-051.
- Flores, H.E.L y Ruíz, J.A. 1998. Estimación de la humedad del suelo para maíz de temporal mediante un balance hídrico. TERRA Latinoamericana. 16 (003) pp. 219-229.
- Flores, M.J.P. 1988. Determinación de la dosis de fertilización nitrogenada para maíz y cebada en el estado de Tlaxcala mediante un modelo simplificado. Tesis de maestría en ciencias, Colegio de Postgraduados, Montecillos Estado de México. 134p.
- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. Serie Libros, Num. 6. México D.F. 90 p.
- Ittis, H. H. & B.F. Benz. 2000. *Zea nicaraguensis* (Poaceae), a new teosinte from Pacific Coastal Nicaragua, Novon 10: 382-390.
- Ittis, H. H. & J. F. Doebley. 1980. Taxonomy of *Zea* (Gramineae). II. Subspecific categories in the *Zea mays* complex and a generic synopsis. Amer. J. Bot. 67(6): 994- 1004.
- IMTA, (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 2009. ERIC III 2.0. Extractor Rápido de Información Climatológica v.2.0. 2009.



- Lesur, L. 2005. Manual del Cultivo del Maíz. Editorial Trillas. Primera edición. Impreso en México. pp. 6-53.
- Llanos, M.C. 1984. El Maíz, su Cultivo y Aprovechamiento. Ediciones Mundiprensa, Madrid, España. 75 p.
- López. M.J.D. y Salazar, S.E. 1998. Comparación de genotipos de maíz bajo condiciones deficientes de humedad en el suelo. TERRA Latinoamericana. (16). pp. 331-335.
- Luna, F.M. y Gutiérrez S.J.R. 2003. Guía para Cultivar Maíz de Temporal en el Altiplano de Zacatecas. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Calera. Calera, Zacatecas., México. (Folleto para productores No. 26). 16 p.
- Mangelsdorf, P.C. y Reeves, R.G. 1939. The origin of Indian corn and its relatives. Bulletin No. 574 Texas Agric. Exp. Stn. College Station, Tejas, EE.UU.
- Palma-López, D.J.; Cisneros, D.E.; Moreno C.E y Rincón-Ramírez, J.A. 2007. Suelos de Tabasco: su Uso y Manejo Sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FRUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 195 p.
- Peralta-Gamas, M.; Jiménez-Jiménez, R.; Martínez-Gallardo, J.B.; Castro, F.C.R.; Bautista-Bautista, E.; Rivera-Hernández, B.; Pascual-Córdova, A.; Caraveo-Ricardez, A.C.; Aceves-Navarro, L.A. 2008. Estimación de la variación espacial y temporal de la radiación solar en el estado de Tabasco, México. XX Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria de Tabasco. Villahermosa Tabasco. pp. 243-253.
- Sánchez G.J.J., Kato Y.T.A., Aguilar M.S.M., Hernández C.J.M., López C.A.R. y J.A.C. Ruiz. 1998. Distribución y caracterización del teocintle. Libro Técnico No. 2 del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).



SIAP. 2011. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx>.

SMN, (Servicio Meteorológico Nacional). 2010. Climatología. Normales climatológicas 1971 – 2000. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx>.

Tijerina-Chávez L.; Ortiz-Solorio C.; Pájaro-Huertas D.; Ojeda T. E.; Aceves-Navarro L y Villalpando-Barriga O. 1990. Manual de la Metodología para Evaluar la Aptitud de las Tierras para la Producción de los Cultivos Básicos, en Condiciones de Temporal. Colegio de Postgraduados. Programas de Agrometeorología. SARH. Montecillo, México. 113 p.

Warrington, I.J. y Kanemasu, E.T. 1983. Corn growth response to temperature and photoperiod. III. Leaf number. Agron. J. 75: 762-766.

Westgate, M.E. 1994. Seed formation in maize during drought. In: K.J. Boote, J.M. Bennett, T.R. Sinclair & G.M. Paulsen, eds. Physiology and Determination of Crop Yield. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy. pp. 361- 364.



XVII. ANEXOS

Anexo 1. Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas en el estado de Campeche.

ID	NÚMERO DE ESTACIÓN	NOMBRE	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD
1	40001	Bolonchén, Hopelchén	-89.74	20.004	60
2	40004	Candelaria, Carmen	-91.046	18.183	50
3	40007	Ciudad del Carmen	-91.761	18.654	5
4	40008	Champotón, Champotón	-90.717	19.35	2
5	40009	Dzibalchén, Hopelchén	-89.73	19.45	80
6	40010	Escárcega, Escárcega	-90.741	18.6	80
7	40011	Hecelchakán (DGE)	-90.133	20.183	50
8	40012	Hool, Champotón	-90.411	19.513	25
9	40013	Hopelchén, Hopelchén	-89.843	19.758	60
10	40014	Islas Arenas, Calkiní	-90.452	20.69	1
11	40015	Isla de Aguada, Cármen	-91.494	18.78	1
12	40017	Iturbide, Hopelchén	-89.601	19.578	80
13	40018	La esperanza, Champotón	-90.083	18.167	2
14	40019	Nanzal, CD. Del Carmen	-91.333	18.3	--
15	40020	Miguel Hidalgo, Carmen	-90.867	17.867	100
16	40021	Monclova, Carmen	-90.82	18.057	100
17	40023	Nilchí, Campeche	-90.27	19.845	10
18	40024	Palizada, Palizada	-92.087	18.253	4
19	40027	Placeres, Champotón	-89.717	18.2	2
20	40028	Pustunich, Champotón	-90.479	19.145	30
21	40029	Sabancuy, Carmen	-91.176	18.973	5
22	40031	Silvituc, Champotón	-90.298	18.639	75
23	4034	Xcupil (A. Holcatzin)	-89.85	19.717	65
24	4037	Zoh Laguna, Hopelchén	-89,417	18,592	190
25	4038	Campeche, Campeche	-90,544	19,838	5
26	4041	Champotón, Champotón DGE	-90,720	19,362	2
27	4042	Escárcega, Escárcega(DGE)	-90,733	18,600	85
28	4043	Hecelchakán (SMN)	-90,122	20,197	50
29	4053	Santa Cristina, Campeche	-90,381	19,815	10
30	4054	Chicbul, Cd. Del Carmen	-90,923	18,778	25



Continuación del Anexo 1. Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas en el estado de Campeche.

ID	NÚMERO DE ESTACIÓN	NOMBRE	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD
31	4056	Chumpan, Cd. Del Carmen	-91,508	18,213	20
32	4057	Mamantel, Cd. Del Carmen	-91,089	18,525	12
33	4058	Noh-Yaxché, Campeche	-89,742	20,004	30
34	4059	Tinún, Tenabo	-90,228	19,961	50
35	4060	Xbonil, Champotón	-90,166	18,635	60
36	4064	Becal, Calkiní	-90,031	20,426	55
37	4067	Calkiní, Calkiní (DGE)	-90,033	20,367	--
38	4068	China I.N.I.P., Campeche	-90,474	19,673	10
39	4069	Campeche Sur, Campeche	-90,550	19,817	--
40	4070	Dzibalchén, Calkiní	-90,059	20,321	30
41	4071	Pocyaxum, Campeche	-90,351	19,730	20
42	4072	Siho-Chac, Champotón	-90,584	19,506	15
43	4073	Tenabo, Tenabo (DGE)	-90,200	20,017	7
44	4074	Xbonil, Champotón (DGE)	-90,217	19,633	--
45	4075	Canki	-90,118	19,988	15
46	4076	Chinchintok	-89,581	19,359	150
47	4077	San Juan Bautista	-89,927	19,874	50
48	4078	Chaccheito	-90,407	19,051	40
49	4079	Vista Alegre	-91,658	18,043	10
50	4080	Alvarado	-89,270	18,017	170
51	4081	Cristóbal Colon	-90,776	17,888	110
52	4082	Pablo T. Burgos	-90,697	18,297	50
53	4084	Tixmucuy, Campeche	-90,650	19,550	--
54	4085	Pomuch, Hecelchakán	-90,133	20,117	--
55	4086	El Zapote	-91,802	18,217	10



Anexo 2. Requerimientos bioclimáticos del cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

REQUERIMIENTO	OPTIMO		ABSOLUTO	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	18	33	10	47
Precipitación anual (mm)	600	1200	400	1800
Temperatura crítica (durante el reposo)	Sin registro			
Temperatura crítica (durante el crecimiento temprano)	Sin registro			
Latitud	---	---	40	48
Fotoperiodo	Sin registro			
Intensidad de la luz	Muy brillante	Muy brillante	Cielos despejados	Muy brillante
Altitud (m)	---	---	---	4000

Fuente: FAO-ECOCROP, 2011

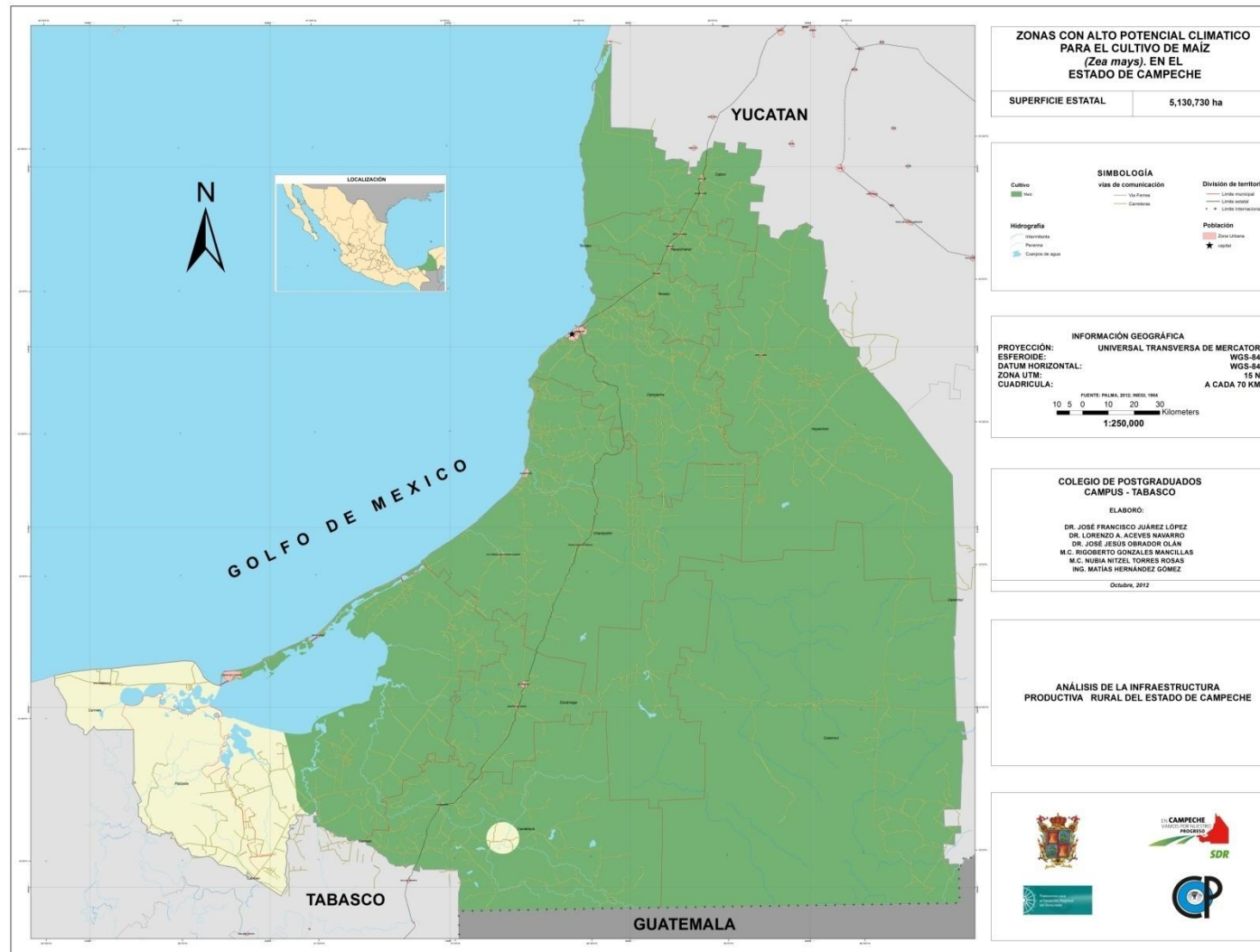
Anexo 3. Requerimientos edafológicos para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

REQUERIMIENTO	ÓPTIMO	ABSOLUTO
pH del suelo	5 a 7	4.5 a 8.5
Profundidad del suelo	Medianos (50 a 150 cm)	Poco profundos (20 a 50 cm)
Textura del suelo	-	-
Fertilidad del suelo	Alta	Baja
Salinidad del suelo	Baja (<4 dS/m)	Mediana (4-10 dS/m)
Drenaje del suelo	-	-

Fuente: FAO-ECOCROP, 2011

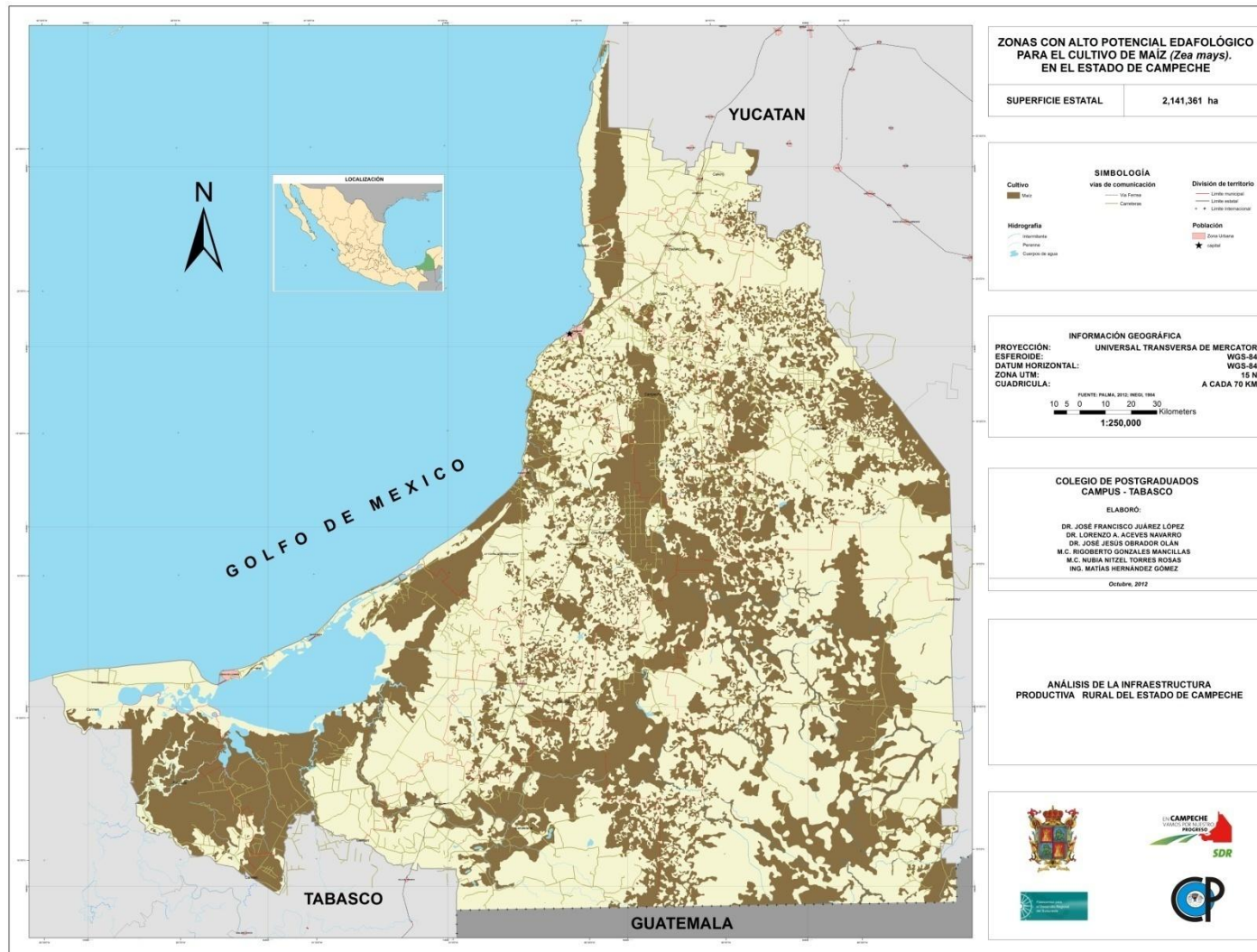


Anexo 4. Zonas con potencial climático para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Campeche.





Anexo 5. Zonas con potencial edafológico para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Campeche.





Anexo 6. Zonas con alto potencial edafoclimáticos para el cultivo de maíz (Zea mays L.) en el estado de Campeche.

