



SECRETARÍA DE DESARROLLO RURAL

www.campeche.gob.mx @CAMPECHEPROGRESA

EN **CAMPECHE**
VAMOS POR NUESTRO
PROGRESO



ESTUDIO PARA DETERMINAR ZONAS DE ALTA POTENCIALIDAD PARA EL CULTIVO DE GIRASOL (*Helianthus annuus* 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 Mancilla
M.C. Nubia Nitzel Torres Rosas
Ing. Matías Hernández Gómez




Campus Tabasco

Helianthus annuus L.



**ESTUDIO PARA DETERMINAR ZONAS DE ALTA
POTENCIALIDAD PARA EL CULTIVO DE GIRASOL
(*Helianthus annuus* 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
**Secretaría de Administración e Innovación
Gubernamental**

DR. EVERARDO ACEVES NAVARRO
Secretario de Desarrollo Rural

ARQ. MARIO HURTADO ESCALANTE
Responsable de la Unidad de Inversión

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



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

DIRECTORIO

DR. JESÚS MONCADA DE LA FUENTE
Director General

DR. RAÚL GERARDO OBANDO RODRÍGUEZ
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 CABALLERO DELOYA
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 DEL GIRASOL	2
IV.	CLASIFICACIÓN TAXONOMICA DEL GIRASOL	2
V.	DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DEL GIRASOL.....	3
5.1	Raíz	3
5.2	Tallo	3
5.3	Hojas.....	4
5.4	Inflorescencia.....	4
5.5	Fruto	5
VI.	PRINCIPALES PRODUCTORES DE GIRASOL A NIVEL MUNDIAL Y NACIONAL	5
VII.	REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS	11
VIII.	REQUERIMIENTOS EDAFOLÓGICOS	13
IX.	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA.....	14
X.	SELECCIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS BIOCLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE GIRASOL.....	16
10.1	Inventario climático	17
10.1.1	División climática	17



10.1.2 Período de crecimiento	17
10.2 Inventario edafológico	18
10.2.1 División edafológica	18
10.3 Fuentes de información	18
10.3.1 Información climática	18
10.3.2 Información edafológica	19
10.3.3 Información cartográfica	19
XI. ESTIMACIÓN DE RENDIMIENTO POTENCIAL PARA EL CULTIVO DE GIRASOL (<i>Helianthus annuus</i> L.)	19
XII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
XIII. CONCLUSIONES	26
XIV. BIBLIOGRAFÍA	28
XV. ANEXOS	33



ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Países que se dedican al cultivo de girasol a nivel mundial y su producción (toneladas)	6
Cuadro 2. Rendimientos ($t\ ha^{-1}$) de países productores de girasol.	7
Cuadro 3. Superficie cultivada de girasol (ha) por Estado y a nivel Nacional en la modalidad de riego.	9
Cuadro 4. Superficie cultivada de girasol (ha) por Estado y a nivel nacional en su modalidad de temporal.....	9
Cuadro 5. Producción (t) de girasol por Estado y a nivel nacional en su modalidad de riego.....	10
Cuadro 6. Producción (t) de girasol por Estado y a nivel nacional en su modalidad de temporal.....	10
Cuadro 7. Rendimientos ($t\ ha^{-1}$) de girasol por Estado y a nivel nacional en su modalidad de riego.	11
Cuadro 8. Rendimientos ($t\ ha^{-1}$) de girasol por estado y a nivel nacional en su modalidad de temporal.	11
Cuadro 9. Requerimientos agroclimáticos óptimos y absolutos para el desarrollo del girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.)	13
Cuadro 10. Requerimientos edafológicos óptimos y absolutos para el desarrollo del girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.)	14



Cuadro 11. Variables seleccionadas para definir las áreas potenciales para el cultivo de girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.) en el estado de Campeche.....	16
Cuadro 12. Superficies potenciales (ha y %) para el cultivo de girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.) en el estado de Campeche.	23
Cuadro 13. Superficie (ha) de las subunidades de suelos aptos para el cultivo de girasol en el estado de Campeche.....	23
Cuadro 14. Municipios del estado de Campeche con zonas edafoclimáticas potenciales para el cultivo de girasol.	25
Cuadro 15. Rendimiento potencial (t ha ⁻¹) para el cultivo de girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.) en los municipios del estado de Campeche.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Helianthus annuus</i> L.....	3
Figura 2. Semilla de <i>Helianthus annuus</i> L.....	5
Figura 3. Superficie cultivada en México, en 2010 con girasol de temporal más riego.....	9
Figura 4. Metodología simplificada de la zonificación agroecológica para el cultivo de girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.)......	15



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas en el estado de Campeche	33
Anexo 2.	Requerimientos bioclimáticos del cultivo de girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.)	35
Anexo 3.	Requerimientos edafológicos para el cultivo de girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.)	35
Anexo 4.	Zonas con alto potencial agroclimático para el cultivo de girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.) en el estado de Campeche.....	36
Anexo 5.	Zonas con alto potencial edafológico para el cultivo de girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.) en el estado de Campeche.....	37
Anexo 6.	Zonas con alto potencial edafoclimático para el cultivo de girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.) en el estado de Campeche.....	38



I. INTRODUCCIÓN

El girasol es una planta anual originaria del continente americano, específicamente de las regiones centro y norte de México, sur y oeste de los Estados Unidos de América; es uno de los principales cultivos utilizados para la extracción de aceite en el mundo (Ávila, 2009). Se utiliza especialmente para la producción de aceite y, en menor medida, como ornamental, confitero y para la alimentación de aves.

A nivel mundial los tres principales productores de este cultivo son Rusia, Ucrania y Argentina; sin embargo, Israel, Suiza y Croacia son los países que tienen mayor rendimiento en el cultivo de girasol en el mundo (FAOSTAT, 2011).

Proyecciones de la Oil World indican que la producción mundial de aceite de girasol se incrementará para 2015 y 2020 en 43.1 y 62.7%, respectivamente; las exportaciones aumentarán en 88 y 120 %, los stocks en 220 y 260 %, lo que incrementará en 9.3 y 9.45 %, respectivamente, la participación de este aceite en el total mundial, mejorando con ello la participación de los países en desarrollo (Ingaramo y Feoli, 2008).

En este sentido, el gobierno del estado de Campeche, en conjunto con algunas instituciones de investigación de la entidad, tiene el objetivo de identificar las zonas con alto potencial para el cultivo del girasol, como una opción de uso de la tierra.

Para tal propósito se realizó un estudio de Zonificación Agroecológica a fin de brindar información confiable al productor a través de la cual sea factible generar estrategias para un mejor uso de la tierra y redituabilidad del cultivo de girasol.



II. OBJETIVOS

- ❖ Realizar la zonificación del cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.) en el estado de Campeche, mediante la determinación de zonas con alta potencialidad productiva.
- ❖ Elaborar un mapa donde se indiquen las zonas con alta potencialidad productiva para el cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.) en el estado de Campeche.

III. ORIGEN DEL GIRASOL

Tradicionalmente se ha considerado que el girasol se originó en Estados Unidos de América (EUA), sin embargo, Bye *et al.* (2009) mencionan que a pesar de que el girasol comercial está más relacionado con las poblaciones del centro de EUA, las evidencias arqueológicas ubican a México como el centro de origen de *Helianthus annuus* L.

IV. CLASIFICACIÓN TAXONOMICA DEL GIRASOL

El girasol es una planta anual que pertenece a la familia Asteraceae, tribu Heliantoideae, género *Helianthus* y especie *H. annuus* L. (Figura 1). El género agrupa alrededor de 67 especies silvestres, de las cuales 11, incluyendo *H. annuus* poseen $2n$ igual a 34 cromosomas (Aguilar, 2004).



Figura 1. *Helianthus annuus* L.

V. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DEL GIRASOL

5.1 Raíz

En estado cotiledonar la raíz pivotante alcanza 4 a 5 centímetros de largo; cuando presenta cuatro a cinco pares de hojas verdaderas y éstas son mayores de 3 cm, la raíz puede alcanzar una profundidad de 50 a 70 centímetros, aunque su máximo crecimiento ocurre en la etapa reproductiva. Desarrolla una gran cantidad de raíces secundarias y terciarias que miden 10 a 40 cm, las cuales pueden penetrar a una profundidad de hasta 1.5 metros, cuando las condiciones de humedad del suelo y el estado nutricional del mismo lo favorecen (Ávila, 2009; Aguilar, 2004).

5.2 Tallo

En las variedades cultivadas es cilíndrico y con tricomas, con un diámetro de 2 a 5 centímetros, de color verde, con pubescencia variable, su interior está formado por



un tejido conocido como esclerénquima, que es capaz de almacenar una gran cantidad de agua y nutrientes. Dependiendo de las condiciones, el tallo puede alcanzar una longitud de 0.6 a 2.5 metros de altura, siendo 1.70 a 2 metros la más recomendable para facilitar la cosecha mecánica (Ávila, 2009; Aguilar, 2004).

5.3 Hojas

Tienen forma acorazada, bordes dentados, peciolos largos, tricomas y estomas de ambos lados, nervaduras bien desarrolladas y textura rugosa con o sin otro tipo de pubescencia. Las hojas son opuestas en los dos o tres primeros nudos basales, las demás alternas. El número varía entre 20 y 40, dependiendo del cultivar y las condiciones ambientales donde se desarrolle (Ávila, 2009). Su tamaño es variable, encontrándose las de mayor tamaño en la parte media, en ellas se lleva a cabo la mayor actividad fotosintética (Mejía *et al.*, 1996, citado por Aguilar, 2004).

5.4 Inflorescencia

La inflorescencia se denomina capítulo y se encuentra ubicada en la parte superior del tallo, su forma puede ser cóncava, convexa o plana y está rodeada por brácteas de color verde, el centro está compuesto por 300 a 1000 flores (Aguilar 2004), que se encuentran insertadas en un receptáculo carnoso. Las flores pueden ser de dos tipos (Ávila, 2009):

a) Flores liguladas estériles: 30 a 70, con sus láminas oblongas u oblanceoladas de 6 a 10 cm de longitud y 2 a 3 cm de ancho, de color amarillo dorado, amarillo claro o amarillo anaranjado, dispuestas en una o dos filas en la periferia del capítulo, por lo que comúnmente son llamadas “pétales”. Su coloración y posición las hace muy atractivas a los insectos polinizadores.



b) Flores fértiles: son mucho más numerosas y se ubican en el centro del capítulo, se distribuyen concéntricamente hacia el punto central, cada una posee un ovario y un solo óvulo de cuya fecundación se afirma el fruto (grano o aquenio).

5.5 Fruto

El fruto es un aquenio formado por una semilla (núcleo) y el pericarpio (casco); mide 7 a 25 mm de longitud y 4 a 13 mm de ancho, dependiendo de la variedad, es ligeramente aterciopelado, veloso, con el pericarpio duro y fibroso, su forma puede ser lineal, ovalada o casi redonda, angosto en su base y de colores diversos (Anónimo, 2005; Aguilar 2004). No tiene endospermo, por lo que los cotiledones son la única reserva de nutrientes para el embrión.



Figura 2. Semilla de *Helianthus annuus* L.

VI. SUPERFICIE CULTIVADA Y RENDIMIENTO DE GIRASOL POR ESTADO Y A NIVEL MUNDIAL

De acuerdo con la FAO, en 2009 se cultivaron en el mundo 23, 716,835 hectáreas de girasol, con una producción de 32, 391,774 toneladas (Cuadro 1) y un rendimiento mundial de 1.37 t ha^{-1} . De los 70 países productores, Rusia, Ucrania,



Argentina, India, China, España, Myanmar, USA, Rumania y Francia concentraron 76% de la superficie cultivada, mientras que Rusia, Ucrania, Argentina, China, Francia, USA, Bulgaria, Hungría, Rumania y Turquía 77% de la producción; Israel, Suiza y Croacia obtuvieron los mayores rendimientos (tres o más t ha⁻¹); en 30% de los países reportados no se alcanzó a obtener una t ha⁻¹. Los países con mayor superficie y producción se encuentran en los continentes africano y Americano los que, en conjunto, producen 81% del girasol en el mundo, mientras que Asia, Europa y Oceanía producen el restante 19%. En este contexto, México ocupa el sexagésimo quinto lugar en área cosechada (216 ha), sexagésimo cuarto en producción (332 t) y vigésimo séptimo en rendimiento (1.54 t ha⁻¹) (Cuadros 1 y 2).

Cuadro 1. Países que se dedican al cultivo de girasol a nivel mundial y su producción (toneladas).

PAÍS	PROD.	PAÍS	PROD.
RUSIA	6, 454,320	IRÁN	45,000
UCRANIA	6, 360,600	TANZANÍA	35,000
ARGENTINA	2, 483,440	MARRUECOS	30,000
CHINA	1, 955,640	GRECIA	28,200
FRANCIA	1, 713,290	EGIPTO	24,000
USA	1, 377,130	BELARÚS	23,000
BULGARIA	1, 317,980	TAILANDIA	22,565
HUNGRÍA	1, 256,190	ISRAEL	18,200
RUMANIA	1, 098,050	AZERBAIYÁN	14,569
TURQUÍA	1, 057,130	KENYA	14,000
INDIA	900,000	PORTUGAL	13,900
ESPAÑA	876,400	UZBEKISTÁN	13,000
SUDÁFRICA	801,000	SIRIA	12,701
MYANMAR	767,000	SUIZA	11,700
PAKISTÁN	420,487	ANGOLA	10,789
SERBIA	377,549	CHILE	10,006
KAZAJSTÁN	367,900	ZIMBABWE	10,000
MOLDOVA	284,000	MALAWI	8,089
ITALIA	280,200	ZAMBIA	8,000
SUDÁN	247,000	MACEDONIA	7,774
UGANDA	234,000	MOZAMBIQUE	6,500
BOLIVIA	206,466	TÚNEZ	6,340
PARAGUAY	194,000	BOTSWANA	6,000



Continuación del Cuadro 1. Países que se dedican al cultivo de girasol a nivel mundial y su producción (toneladas).

PAÍS	PROD.	PAÍS	PROD.
ESLOVAQUIA	187,238	POLONIA	4,128
CANADÁ	101,900	TAYIKISTÁN	3,300
BRASIL	98,317	AFGANISTÁN	2,500
CROACIA	82,098	ALBANIA	2,300
VENEZUELA	80,000	GEORGIA	2,300
AUSTRIA	71,012	MÉXICO	332
IRAQ	65,000	ESLOVENIA	330
REPÚBLICA CHECA	61,031	ECUADOR	255
KIRGUISTÁN	57,510	BOSNIA Y HERZEGOVINA	182
ALEMANIA	56,900	ARGELIA	67
AUSTRALIA	55,310	NAMIBIA	49
URUGUAY	50,600	TERRITORIO PALESTINO	10
TOTAL			32391774

Fuente: FAOSTAT, 2011.

Cuadro 2. Rendimientos ($t ha^{-1}$) de países productores de girasol.

PAÍS	REND.	PAÍS	REND.
Israel	5.25	Pakistán	1.32
Suiza	3.20	Sudáfrica	1.26
Croacia	3.00	Brasil	1.25
Austria	2.75	Moldava	1.25
Alemania	2.41	Grecia	1.20
Egipto	2.40	Marruecos	1.20
Serbia	2.40	Uganda	1.20
República Checa	2.38	Uzbekistán	1.18
Francia	2.36	Kirguistán	1.17
Hungría	2.35	Federación de Rusia	1.15
Chile	2.30	Kenya	1.08
Italia	2.26	Australia	1.07
Eslovaquia	2.26	España	1.03
China	2.04	Botswana	1.00
Bulgaria	1.93	Venezuela	0.94
Albania	1.92	Uruguay	0.92
Macedonia	1.88	Myanmar	0.91
Paraguay	1.87	Bosnia y Herzegovina	0.88
Siria	1.82	Tailandia	0.85

Fuente: FAOSTAT, 2011



Continuación del Cuadro 2. Rendimientos ($t\ ha^{-1}$) de países productores de girasol.

PAÍS	REND.	PAÍS	REND.
Polonia	1.81	Malawi	0.83
Turquía	1.81	Sudán	0.81
Azerbaiyán	1.78	Túnez	0.80
Belarús	1.77	Territorio Palestino	0.77
USA	1.74	Angola	0.72
Ecuador	1.70	Irán	0.67
Canadá	1.60	Zambia	0.62
México	1.54	India	0.61
Ucrania	1.52	Mozambique	0.60
Tayikistán	1.50	Portugal	0.60
Bolivia	1.47	Kazajstán	0.57
Afganistán	1.47	Zimbabwe	0.50
Eslovenia	1.45	Tanzania	0.42
Rumania	1.44	Namibia	0.41
Argentina	1.36	Argelia	0.40
Iraq	1.33	Georgia	0.26

En México se cultivaron 2,042.59 ha de girasol en 2010, 91% bajo riego y 9% en temporal (Figura 3); el rendimiento promedio nacional fue $2.02\ t\ ha^{-1}$, obteniéndose el más alto en la modalidad riego ($2.04\ t\ ha^{-1}$), en temporal el rendimiento fue $1.76\ t\ ha^{-1}$. El SIAP (2011) reporta 7 estados que cultivan girasol, uno lo cultiva en temporal y riego, seis bajo riego y uno solo en temporal (Guanajuato); en este contexto, Baja California Sur y Guanajuato ocupan, respectivamente, el primer lugar en superficie cultivada en temporal (1,161 ha) y riego (162.5 ha), los estados con menor superficie cultivada son Tamaulipas (9 ha) y Durango (27 ha), para riego y temporal, respectivamente (Cuadros 2 y 3).

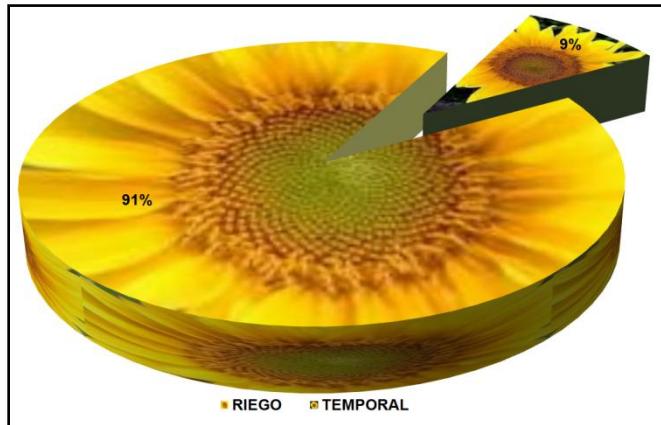


Figura 3. Superficie cultivada en México, en 2010 con girasol de temporal y riego.

Cuadro 3. Superficie cultivada de girasol (ha) por Estado y a nivel Nacional en la modalidad de riego.

ESTADOS	2005	2006	2007	2008	2009	2010
BAJA CALIFORNIA SUR	-	-	-	-	26	1,161.00
CAMPECHE	-	170	-	-	-	-
DURANGO	-	-	-	-	-	321.09
MORELOS	1.5	3.4	2	2	-	-
NAYARIT	20	1.5	1.4	1.5	-	-
JALISCO	-	-	-	-	-	272
SAN LUIS POTOSI	-	-	-	-	-	75
TAMAULIPAS	-	-	-	-	-	9
ZACATECAS	-	-	-	-	-	15
TOTAL	21.5	174.9	3.4	3.5	26	1,853.09

Fuente: SIAP, 2011

Cuadro 4. Superficie cultivada de girasol (ha) por Estado y a nivel nacional en su modalidad de temporal.

ESTADOS	2009	2010
DURANGO	20	27
GUANAJUATO	-	162.5
ZACATECAS	184	-
	204	189.5

Fuente: SIAP, 2011



En cuanto a producción, También Baja California Sur y Guanajuato ocupan el primer lugar en la modalidad de riego (Cuadro 5) y temporal (Cuadro 6), respectivamente. En temporal la producción de girasol se da a partir del año 2009, antes de ese año el SIAP no reporta datos al respecto; en cuanto a rendimientos a nivel nacional en riego, el máximo lo tiene Baja California Sur (2.34 t ha^{-1}) y en temporal Guanajuato (1.96 t ha^{-1}) (Cuadros 7 y 8).

En este contexto, Campeche no se reporta como estado productor de girasol desde el 2006.

Cuadro 5. Producción (t) de girasol por Estado y a nivel nacional en su modalidad de riego.

ESTADOS	2005	2006	2007	2008	2009	2010
BAJA CALIFORNIA SUR	-	-	-	-	67	2,683.00
CAMPECHE	-	170	-	-	-	-
DURANGO	-	-	-	-	-	331.34
MORELOS	5.1	6.52	4.8	2.4	-	-
NAYARIT	26	1.75	2.1	2.93	-	-
JALISCO	-	-	-	-	-	544
SAN LUIS POTOSI	-	-	-	-	-	0
TAMAULIPAS	-	-	-	-	-	10.8
ZACATECAS	-	-	-	-	-	0
TOTAL	31.1	178.27	6.9	5.33	67	3,569.14

Fuente: SIAP, 2011

Cuadro 6. Producción (t) de girasol por Estado y a nivel nacional en su modalidad de temporal.

ESTADOS	2009	2010
DURANGO	36	27
GUANAJUATO	-	201.05
ZACATECAS	228.5	-
TOTAL	264.5	228.05

Fuente: SIAP, 2011



Cuadro 1. Rendimientos ($t\ ha^{-1}$) de girasol por Estado y a nivel nacional en su modalidad de riego.

ESTADOS	2005	2006	2007	2008	2009	2010
BAJA CALIFORNIA SUR	-	-	-	-	2.58	2.34
CAMPECHE	-	1	-	-	-	-
DURANGO	-	-	-	-	-	1.03
MORELOS	3.4	1.92	2.4	1.2	-	-
NAYARIT	1.3	1.17	1.5	1.95	-	-
JALISCO	-	-	-	-	-	2
SAN LUIS POTOSI	-	-	-	-	-	0
TAMAULIPAS	-	-	-	-	-	1.2
ZACATECAS	-	-	-	-	-	0
	1.45	1.02	2.03	1.52	2.58	2.04

Fuente: SIAP, 2011

Cuadro 2. Rendimientos ($t\ ha^{-1}$) de girasol por estado y a nivel nacional en su modalidad de temporal.

ESTADOS	2009	2010
DURANGO	2	1
GUANAJUATO	-	1.96
ZACATECAS	1.33	-
	1.39	1.76

Fuente: SIAP, 2011

VII. REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE GIRASOL

Andrade *et al.* (2002) indican que el patrón de crecimiento y desarrollo fenológico del girasol se encuentra regulado por la disponibilidad de agua y nutrientes en interacción con los factores ambientales. De tal manera que la tasa de producción de materia seca está determinada por la cantidad de radiación interceptada, agua y nutrientes (Connor y Sadrás, 1992).



Rollier (1977) y Angus *et al.* (1981) mencionan que para la germinación del girasol se requieren temperaturas superiores a 5°C, siendo su intervalo óptimo entre 15 y 20°C (Macchia *et al.*, 1985; Gay *et al.*, 1991); temperaturas inferiores después de la siembra disminuyen el potencial de rendimiento. Díaz-Zorita *et al.* (2003) señalan que la temperatura máxima es de 40°C y mínima de 3°C. El umbral de temperatura de suelo (0 a 5 cm) es de 8°C a 10°C, temperaturas menores demoran la emergencia, afectan negativamente el vigor de las plántulas, la eficiencia de la implantación y el rendimiento. Las temperaturas medias diurnas para un buen desarrollo van de 17 a 34°C (Doorenbos y Kassam, 1979; FAO-ECOCROP, 2011) (Cuadro 9).

Otro factor importante en la producción del girasol es el abasto oportuno de agua para la formación del aceite, específicamente en el período entre la formación de los capítulos florales y la maduración completa de las semillas (ShivRaj, 1985); de no haberlo se puede afectar negativamente el inicio de la floración y el del ciclo total del cultivo (Méndez-Natera *et al.*, 2007). La FAO (FAO-ECOCROP, 2011) y Doorenbos y Kassam (1979) mencionan que las necesidades hídricas varían de 600 a 1000 mm/ciclo, dependiendo del clima y maduración del periodo vegetativo total. La evapotranspiración en el girasol aumenta desde su establecimiento hasta la floración hasta llegar a los 12-15 mm/día; cuando la máxima es de 5–6 mm/día, la absorción de agua se ve afectada cuando se ha agotado alrededor del 45% del agua total disponible en el suelo (Doorenbos y Kassam, 1979).

Según Pirjol *et al.* (1972), niveles bajos de humedad causan un decremento de la actividad fotosintética, reduciendo el rendimiento de grano y aceite en girasol. Esta relación es más notoria si el período de sequía se produce durante la floración, cuando hay un mayor efecto en el rendimiento si se compara con una deficiencia al término (Millar, 1970).

Las temperaturas mínima y óptima de germinación son de 15 y 20°C, respectivamente, la mínima óptima y máxima de crecimiento es de 10, 20 y 28°C,



respectivamente; las mínima, óptima y máxima de floración, corresponden a 5, 16-17 y 30°C, respectivamente. Las temperaturas mínima, óptima y máxima de fructificación corresponden a 7, 20 y 30°C, respectivamente (Iglesias y Taha, 2010). En el Cuadro 9, se enlistan los requerimientos agroclimáticos para el cultivo (FAO-ECOCROP, 2011).

Cuadro 3. Requerimientos agroclimáticos óptimos y absolutos para el desarrollo del girasol (*Helianthus annuus L.*).

REQUERIMIENTO	OPTIMO		ABSOLUTO	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	17	34	5	45
Precipitación anual (mm)	600	1000	300	1600
Temperatura crítica (en reposo)		-10		
Temperatura crítica (en crecimiento temprano)		0		
Zona climática (clasificación de Köppen)	Tropical seca y húmeda (Aw), estepa o semiárida (Bs), subtropical húmeda (Cf), subtropical con verano seco (Cs), subtropical con invierno seco (CW), templada oceánica (Do), templada continental (DC), templada con inviernos húmedos (Df), templada con inviernos secos (Dw)			
Latitud	20	-	50	55
Fotoperiodo	Días cortos (menos de 12 horas)			
Intensidad de la luz	Muy brillante	Muy brillante	Muy brillante	Cielos despejados
Altitud (m)	---	---	---	2600

Fuente: FAO-ECOCROP, 2011.

VIII. REQUERIMIENTOS EDAFOLÓGICOS

Según Doorenbos y Kassam (1979), el cultivo de girasol puede desarrollarse en diversos tipos de suelo, con distintas texturas, excepto en arenosa y arcillosa. La profundidad mínima para su cultivo se encuentra entre los 25 y 35 cm (Aragón, 1995), con buena disponibilidad de agua en esta capa. Sin embargo, Doorenbos y Kassam (1979) indican que requiere suelos con mayor profundidad y bien



drenados, debido a que el sistema radicular puede extenderse hasta 3 m, extrayendo el agua en una capa de 0.8 a 1.5 m. El girasol se desarrolla en suelos con pH óptimo de 6 a 7.5, de mediana profundidad (50 a 150 cm), con texturas que van de ligeras a pesadas y salinidad menor a 4 dS/m (Cuadro 10).

Cuadro 4. Requerimientos edafológicos óptimos y absolutos para el desarrollo del girasol (*Helianthus annuus* L.).

REQUERIMIENTO EDAFOLOGICO	OPTIMO	ABSOLUTO
pH	6 a 7.5	5.5 a 8
Profundidad	Medianos (50 a 150 cm)	Medianos (50 a 150 cm)
Textura	Mediana, ligera	Pesada, Mediana, ligera
Fertilidad	Alta	Baja
Salinidad	Baja (<4 dS/m)	Baja (<4 dS/m)
Drenaje	Bueno (periodos secos)	Bueno (periodos secos)

Fuente: FAO-ECOCROP, 2011.

IX. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA

Para identificar las zonas potenciales para el cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.) en el estado de Campeche se empleó la metodología propuesta por Tijerina *et al.* (1990) en la cual se expone que la producción sustentable de alimentos está determinada por los factores o indicadores ambientales (suelo y clima) y por un complejo número de factores socioeconómicos, culturales y tecnológicos. Así, en la determinación de zonas de alta potencialidad para el cultivo de girasol en Campeche únicamente se emplearon los indicadores ambientales.

Para la Zonificación Agroecológica se utilizó la metodología propuesta por International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) y FAO (1981), incorporando una herramienta de ayuda en la toma de decisiones con múltiples criterios para optimizar el uso del recurso suelo (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. En este sentido la FAO desarrolló el programa de computo AEZWIN que integra todo lo anterior y que se puede adquirir en el portal de la FAO (1994, www.fao.org).

En la Figura 4, se esquematiza de manera sucinta la metodología de la zonificación agroecológica (FAO, 1981) para el cultivo de girasol (*Helianthus annuus L.*) en el estado de Campeche.

El esquema de la Figura 4 se sustenta 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 ¿Qué rendimiento se puede esperar?

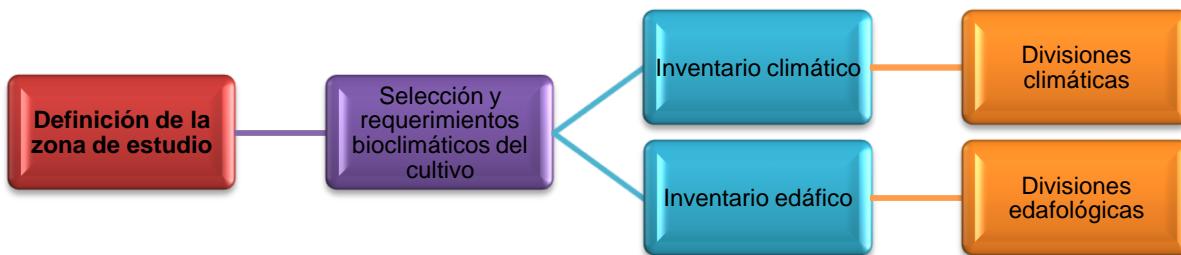


Figura 4. Metodología simplificada de la zonificación agroecológica para el cultivo de girasol (*Helianthus annuus L.*).

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

- ❖ 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 fisioedáfico 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).

X. REQUERIMIENTOS BIOCLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE GIRASOL

Las variables principales que se consideraron para determinar las zonas con alto potencial productivo en el cultivo de girasol fueron el clima y el suelo por la relación directa que guardan con el rendimiento del cultivo. Dentro de las variables bioclimáticas se analizaron cinco elementos climáticos y ocho propiedades edafológicas (físicas y químicas) (Cuadro 11). Estos requerimientos bioclimáticos se tomaron de los reportados por la FAO en su sitio de Internet:

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

Cuadro 5. Variables seleccionadas para definir las áreas potenciales para el cultivo de girasol (*Helianthus annuus L.*) en el estado de Campeche.

CLIMA	SUELO
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 III 2.0. (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 anterior 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 girasol (*Helianthus annuus L.*).

10.1 Inventario climático

La elaboración de un inventario climático, de acuerdo a los lineamientos de la FAO (1978; 1981) consta de dos etapas: 1) definición de las divisiones climáticas mayores, y 2) obtención de los períodos de crecimiento.

10.1.1 División climática

Las divisiones climáticas fueron definidas con base en los requerimientos térmicos del cultivo, que limitan su distribución a escala global. El primer paso para establecer las divisiones climáticas mayores fue considerar 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 $0.5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 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.

10.1.2 Período de crecimiento

El periodo de crecimiento considera el número de días, durante el año, en que existe disponibilidad de agua y temperaturas favorables para el desarrollo del cultivo de girasol. Para calcular el inicio, final y duración en días, del periodo de



crecimiento de los cultivos, de acuerdo con el método de la FAO (1978; 1981) se utilizó el programa AGROCLIM (Aceves *et al.*, 2008), 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.

10.2 Inventario edafológico

10.2.1 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 7 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 girasol. 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 primera aproximación delimitar algunas de las áreas productoras.

10.3 Fuentes de información

10.3.1 Información climática

La información climática requerida en el estudio se extrajo de la base de datos CLICOM y el banco de datos histórico nacional del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CNA). Para ello se usó el Extractor Rápido de Información Climatológica, ERIC III 2.0, (IMTA, 2009). La información analizada consistía en reportes diarios de las 55 estaciones meteorológicas del estado de Campeche (Anexo 1). Asimismo, ésta información se complementó con las normales climatológicas mensuales reportadas por el Servicio Meteorológico Nacional en su página Web (SMN, 2010).

Estos reportes diarios contienen información de las variables: temperaturas mínimas, temperaturas máximas y 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 para el estado de Campeche por Contreras (2000).

10.3.2 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 con FAO/UNESCO.

10.3.3 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 girasol, las cuales se denominan áreas con alto potencial productivo.

XI. ESTIMACIÓN DE RENDIMIENTO POTENCIAL PARA EL CULTIVO DE GIRASOL (*Helianthus annuus L.*)

Actualmente 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 demeritarlo de acuerdo a los problemas ambientales o de manejo que se presenten. El método de Zonas Agroecológicas que fue propuesto por FAO (1978) se utilizó (adaptándolo y modificándolo) para estimar el rendimiento potencial del cultivo de girasol para el estado de Campeche.

La estimación de rendimiento máximos propuestos en el proyecto de Zonas de Agroecológicas de la FAO (1978 y 1981), se basa en las 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 pueden producir 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).

$$Bn = (0.36 \cdot bgm \cdot L) / ((1/N) + 0.25 \cdot C_t) \quad (2)$$

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

Donde:

bgm = Tasa máxima de producción de biomasa bruta para un IAF ≥ 5 en ($\text{kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) se calcula mediante la ecuación (3)

$$bgm = F \cdot b_0 + (1 - F) \cdot b_c \quad \text{Expresada en } (\text{kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}) \quad (3)$$

Donde:

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

b_0 = Tasa de fotosíntesis bruta en días completamente nublados ($\text{kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) ($P_m = 20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$). 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 ($\text{kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) ($P_m = 20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$). Se obtiene de Tablas, entrando con el valor de la latitud de la localidad en cuestión.



bo y bc son valores diarios y en cultivos cerrados ($IAF \geq 5$)

$$F = (A_c - 0.5 * Rg) / (0.80 * Rg) \quad (4)$$

Donde:

A_c = Radiación fotosintéticamente activa en un día totalmente despejado ($\text{cal cm}^{-2} \text{d}^{-1}$) (Tablas para $P_m = 20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$)

R_g = Radiación global medida ($\text{cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

Los valores de (A_c), (b_0) y (b_c) para diferentes latitudes que reporta de manera tabulada la FAO, (1978), para una fotosíntesis máxima (P_m) de $20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, 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).

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

T_{foto} = Temperatura diurna ($^{\circ}\text{C}$).

T_{max} = Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$)

T_{min} = Temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$)

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

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



Donde:

IAF = Índice de área foliar. Cuyo valor utilizado fue de 2.9(Ojeda et al., 2010)

N = Duración del ciclo del cultivo 140 días.

C_t= Coeficiente de respiración (Rm) este coeficiente se calcula con la ecuación (7)

$$C_t = C_{30} * (0.044 + 0.00019 * T + 0.0010 * T^2)$$

C₃₀= 0.0108 para cultivo como el girasol que no es leguminosa.

T = Temperatura media (Celsius).

Para un mayor detalle y exemplificación 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).

A parir de la biomasa neta obtenida se procede a calcular el rendimiento potencial; el cual se obtiene al multiplicar la biomasa neta por el índice de cosecha (Hi=0.2) del cultivo de girasol. El valor de Hi fue calculado con los datos reportados por Morales-Rosales et al., (2006).

Finalmente se desarrollan los mapas para zonas con potencial climático, zonas con potencial edafológico y zonas con potencial edafoclimático para el cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.) en el estado de Campeche.

XII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en el estudio realizado, se encontró que el estado de Campeche cuenta con una superficie total de 4, 886,400.61 hectáreas con potencial agroclimático para el cultivo de girasol. Es decir, el cultivo se puede establecer en 88% de la superficie del estado (Cuadro 12 y Anexo 4).



Cuadro 12. Superficies potenciales (ha y %) para el cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.) en el estado de Campeche.

CULTIVO	SUPERFICIE CON POTENCIAL AGROCLIMÁTICO		SUPERFICIE CON POTENCIAL EDAFOLÓGICO		SUPERFICIE CON POTENCIAL EDAFOCLIMÁTICO	
	ha	(%)	ha	(%)	ha	(%)
Girasol	4,886,400.61	88	1,924,430.93	35	1,241,443.7	22

*Porcentaje de superficie con respecto a la superficie total.

En cuanto a los requerimientos de suelo para este cultivo, Campeche cuenta con una superficie de alto potencial de 1,924,430.93 hectáreas para el cultivo de girasol (Anexo 5), es decir, poco menos de la mitad de la superficie del estado cuenta con suelos aptos. En el Cuadro 13 se enlistan las 25 subunidades de suelo aptas para este cultivo, de las cuales, las subunidades Gleysol Mólico (Calcárico, Arcílico) y Vertisol Gléyico (Calcárico) representan el 44% de la superficie mencionada con 33% y 11% respectivamente, en tanto que las subunidades Luvisol Cutánico Gléyico (Éutrico, Arénico), Luvisol Gléyico (Hiperéutrico, Arcílico) y Gleysol Hístico (Calcárico, Sódico) apenas representan el 0.37% de la superficie.

Cuadro 13. Superficie (ha) de las subunidades de suelos aptos para el cultivo de girasol en el estado de Campeche.

Subunidades	Superficie (ha)
Luvisol Cutánico Gléyico (Éutrico, Arénico)	1,867.09
Luvisol Gléyico (Hiperéutrico, Arcílico)	1,888.49
Gleysol Hístico (Calcárico, Sódico)	3,389.15
Luvisol Háplico (Férreo, Hiperéutrico)	9,726.10
Regosol Endogléyico (Calcárico, Sódico)	12,752.17
Gleysol Háplico (Calcárico, Húmico, Arcílico)	13,004.00
Gleysol Mólico (Calcárico, Sódico)	43,064.10
Gleysol Háplico (Húmico, Arcílico, Nótico)	19,059.29
Gleysol Mólico (Calcárico, Sódico, Arcílico)	20,846.64



Continuación del Cuadro 13. Superficie (ha) de las subunidades de suelos aptos para el cultivo de girasol en el estado de Campeche.

Subunidades	Superficie (ha)
Luvisol Cutánico Gléyico (Hiperéutrico, Arcílico)	22,113.24
Luvisol Háplico (Húmico, Hiperéutrico)	35,448.80
Luvisol Háplico (Férreo, Crómico)	37,453.87
Cambisol Gléyico (Húmico, Arcílico)	39,201.72
Gleysol Mólico (Calcárico, Arcílico, Nótico)	40,982.10
Gleysol Mólico (Éutrico, Arcílico)	51,351.10
Luvisol Nítico (Férreo, Hiperéutrico)	53,783.93
Luvisol Háplico (Hiperéutrico, Esquelético, Arcílico)	57,666.55
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
Luvisol Léptico (Hiperéutrico, Arcílico)	127,754.04
Vertisol Gléyico (Calcárico)	216,001.44
Gleysol Mólico (Calcárico, Arcílico)	624,854.48

Al considerar tanto los requerimientos agroclimáticos como edafológicos para el cultivo de girasol se identificó una superficie con alto potencial para este cultivo de 1, 241,443.73 hectáreas para este cultivo, lo cual representa el 22% de la superficie estatal. Dicha superficie se localiza en 10 municipios, concentrándose en los municipios de Champotón, Escárcega, Calakmul, Hopelchén, Candelaria y Campeche (Cuadro 14).



Cuadro 14. Municipios del estado de Campeche con zonas edafoclimáticas potenciales para el cultivo de girasol.

Municipio	Superficie (ha)
Tenabo	32,697.02
Hecelchakán	58,614.21
Calkiní	63,021.46
Carmen	65,719.98
Campeche	110,423.97
Candelaria	153,255.83
Hopelchén	154,677.60
Calakmul	168,249.12
Escárcega	205,393.13
Champotón	229,391.41
Total:	1, 241,443.73

El cálculo del rendimiento potencial para el cultivo de girasol (expresado en materia seca) en los distintos municipios del estado de Campeche se muestra en el Cuadro 15. En los 11 municipios del estado es posible alcanzar un buen rendimiento potencial en el cultivo de girasol, de estas cifras destaca el rendimiento del Municipio de Tenabo con 3.16 t ha^{-1} , valor que supera al rendimiento promedio potencial del estado de 3.06 t ha^{-1} . También las cifras de los otros municipios como Candelaria (3.07 t ha^{-1}), Carmen (3.10 t ha^{-1}), Escárcega (3.13 t ha^{-1}), Hecelchakán (3.09 t ha^{-1}) y Palizada (3.12 t ha^{-1}) superan al rendimiento promedio estatal. El menor rendimiento potencial de girasol corresponde al municipio de Champotón con 2.96 t ha^{-1} .



Cuadro 15. Rendimiento potencial ($t\ ha^{-1}$) para el cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.) en los municipios del estado de Campeche.

MUNICIPIO	RENDIMIENTO POTENCIAL (materia seca) ($t\ ha^{-1}$)
Champotón	2.96
Calkiní	2.97
Calakmul	2.98
Campeche	3.05
Hopelchén	3.06
Candelaria	3.07
Hecelchakán	3.09
Carmen	3.10
Palizada	3.12
Escárcega	3.13
Tenabo	3.16
Rendimiento promedio	3.06

Elaboración propia con resultados del estudio realizado en esta obra

XIII. CONCLUSIONES

De este estudio se desprenden las siguientes conclusiones:

- ❖ El estado de Campeche cuenta con una superficie de 4, 886,400.61 hectáreas con alto potencial agroclimático para el cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.).
- ❖ El estado de Campeche cuenta con una superficie de 1, 924,430.93 hectáreas con alto potencial edafológico para el cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.).
- ❖ El estado de Campeche cuenta con una superficie de 1, 241,443.73 hectáreas apta para el cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.), cuya superficie satisface tanto los requerimientos de clima y edafológicos para el desarrollo del cultivo.



- ❖ El cultivo de girasol se puede establecer bajo temporal en al menos 22% de la superficie del estado de Campeche, con la implementación de un manejo agrícola integrado para favorecer su rendimiento óptimo. Si se introduce riego de auxilio, las condiciones edafológicas favorables corresponden a casi 45% de la superficie del estado. Este porcentaje sería la superficie potencial que Campeche tiene para cultivar con girasol con un alto potencial productivo.
- ❖ Los principales municipios con áreas potenciales para el cultivo de girasol en orden decreciente son: Champotón, Escárcega, Calakmul, Hopelchén y Candelaria.
- ❖ En el estado de Campeche el cultivo de girasol tiene un rendimiento potencial promedio de 3.06 t ha^{-1} que integra a los 11 municipios.
- ❖ En general los valores de los rendimientos potenciales del cultivo de girasol en seis municipios del Estado de Campeche se encuentran por arriba del rendimiento promedio potencial (3.06 t ha^{-1}).
- ❖ De los rendimientos potenciales calculados destaca el obtenido para el municipio de Tenabo (3.16 t ha^{-1}).



XIV. BIBLIOGRAFÍA

Aceves, N. L. A.; A. Arrieta y J. L. Barbosa O. 2008. Manual de AGROCLIM 1.0. Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas, Tabasco, México. 28p.

Anónimo. 2005. The Biology of *Helianthus annuus* L. (Sunflower). Biology Document Bio2005-01. Plant Biosafety Office. Canadian FoodInspection Agency. Version electrónica: <http://ceragmc.org/docs/decdocs/05-209-009.pdf>, [Consultado: el 14 de noviembre de 2011].

Angus J.F., R.B. Cunningham; M.W Moncur; D. H. Mackenzi. 1981. «Phasic development in field crops. I. Thermal response in the seedling phase», *Field Crops Res.*, 3: 365-378.

Avilá M., J. 2009. Manual para el cultivo de girasol. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Serie B No. 20. Maracay, Venezuela. 49 pág.

Bye, R.; E. Linares y D.L. Lentz. 2009. MÉXICO: CENTRO DE ORIGEN DE LA DOMESTICACIÓN DEL GIRASOL. Revista Especializada en Ciencias

Campos, A. D.F. 1996. Programa en BASIC para la estimación del rendimiento climático máximo. Agrociencia, 30: 21 – 30.

Connor, D.J., and V.O. Sadras. 1992. Physiology of yield expression in sunflower. *Field Crop Res.* 30:333-389.



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.

De Caram, G. A.; P. Angeloni y J. Prause. Determinación de la Curva de Dilución de Nitrógeno en Diferentes Fases Fenológicas del Girasol. *Agric. Téc.* [Online]. 2007, vol.67, n.2, pp. 189-195. ISSN 0365-2807.

Díaz-Zorita, M.; G. A. Duarte; E. Plante y Duarte & Asociados. 2003. *El Cultivo de Girasol*. ASAGIR – Asociación Argentina de Girasol. 10 pág. En línea: http://www.asagir.org.ar/Publicaciones/cuadernillo_web.pdf [Consultado el 11 de noviembre de 2011.]

Doorenbos, J. y A.H. Kissam. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje Núm. 33. FAO. Roma. 212 p.

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). 1977. Zonificación Agro-ecológica. Boletín de Suelos de la FAO 73.

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. 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/home>

Fischer, G.; J. Granat y M. Makowski.1998.AEZWIN – An Interactive Multi-criteria Analysis Tool for Land Resources Appraisal.FAO-IIASA, InterinReport. IR – 98-051.

García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. Serie Libros, Num. 6. México D.F. 90 p.

Gay C.; F. Corbineau; C. Come. 1991. «Effects of temperature and oxygen on seed germination and seedlinggrowth in sunflower (*Helianthus annuus*L.)», *Env. Exp. Bot.*, 31: 193-200.

IMTA, (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 2009. ERIC III 2.0. Extractor Rápido de Información Climatológica v.2.0.

Ingaramo, J. y C. Feoli. 2008. El cultivo de girasol en la región semiárida Pampeana. Proyecto Regional La Pampa-San Luis “Productividad y sustentabilidad de la producción agrícola en sistemas mixtos”. Argentina.111 p.

Machia M., A. Benvenuti; M. Baldanzi. 1985. «Temperature requirements during germination in sunflower», en Proc. 11th Int. Sunflower Conf. Int. Sunflower Assoc. Mar del Plata, Argentina, pp. 93-97.



Méndez-Natera, J. R.; J. M. Cedeño-Gómez; J. R. Cedeño; J. A. Gil-Marín y L. Khan-Prado. 2007. Efecto de tres frecuencias de riego sobre el ciclo del cultivo, contenido nutricional de la semilla y rendimiento de aquenios en cuatro cultivares de girasol (*Helianthusannuus* L.). IDESIA (Chile) 25(3):31-40.

Melgares, J. El cultivo de girasol para flor cortada Revista Flormarket .Ed.

Millar, A. A. 1970. Efecto del déficit de agua en diversos períodos del ciclo de crecimiento sobre los rendimientos de algunos cultivos. OEA. IICA. 30 p. (Apuntes mimeografiados).

Morales-Rosales, Edgar J.Escalante-Estrada, J. Alberto; Tijerina-Chávez, Leonardo; Volke-Haller, Víctor; Sosa-Montes, Eliseo. 2006. "Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y de la radiación solar del agrosistema girasol-frijol". Terra Latinoamericana,num. Enero-Marzo, pp. 55-64

Ojeda, J.; Valentinuz O. y Coll L. 2010. RESPUESTA A LA DENSIDAD EN HÍBRIDOS DE GIRASOL DE DISTINTO CICLO. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Paraná. Argentina. Técnica Nº 2 – MAÍZ, GIRASOL Y SORGO. PROYECTO REGIONAL AGRÍCOLA - 630021. P. 75-78.

Pirjol, S. L.; Milicia C. I. y Vranceanu V. 1972. Etude de la resistance a la secheresse pendant differentes phases de vegetation chez le tournesol. 5° Conference Internationale sur le Tournesol. France, pp. 36-42.



Rattis T., L. M. y S. L. Modesto Z. 2008. Estudo da fenologia, biología floral do girassol (*Helianthus annuus*, Compositae) e visitantes florais associados, em diferentes estações do ano. Ciência et Praxis 1(1): 5 -14 Químico-Biológicas, 12(1):5-12.

Rollier M.; D. Come; E. E.Simond-Cote. 1977. «Étude de la germination des semences detournesol», *Informations Techniques CETIOM* 54: 3-28.

Shaw, R. M. y D. R. Laing. 1966. Moisture stress and plant responses. W. H. Pierre (ed.) Plant environment and efficient water use. Am. Soc. of Agron. Madison, Wis., USA. pp. 74-94.

Shiv Raj, A. 1985. An introduction to physiology of field crops. Reprinted 1985. Oxford & IBH Publishing CO, New Delhi, India. p. 134-139.

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-Trejo E.; Aceves-Navarro L. A. 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.

Figura de Portada: Ed. Anderegg G.S/F. En línea:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A_sunflower-Edited.png
[Consultado el 9 de noviembre 2011].



XV. ANEXOS

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

ID	NÚMERO DE ESTACIÓN	NOMBRE	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD
1	40001	Bolonchen, 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	Dzibalchen, 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, Carmen	-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	Nilchi, 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



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

ID	NÚMERO DE ESTACIÓN	NOMBRE	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD
29	4053	Santa Cristina, Campeche	-90,381	19,815	10
30	4054	Chicbul, Cd. Del Carmen	-90,923	18,778	25
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-Yaxche, Campeche	-89,742	20,004	30
34	4059	Tinun, 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	Dzitbalche, Calkiní	-90,059	20,321	30
41	4071	Pocyaxum, Campeche	-90,351	19,730	20
42	4072	Sihó-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 Colón	-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, Hecelchacan	-90,133	20,117	--
55	4086	El Zapote	-91,802	18,217	10

**Anexo 2. Requerimientos bioclimáticos del cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.).**

REQUERIMIENTO	OPTIMO		ABSOLUTO	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	17	34	5	45
Precipitación anual (mm)	600	1000	300	1600
Temperatura critica (durante el reposo)			-10	
Temperatura critica (durante el crecimiento temprano)			0	
Zona climática (clasificación de Köppen)	Tropical seco y húmedo (Aw), estepa o semiárida (Bs), subtropical húmedo (Cf), subtropical con verano seco (Cs), subtropical con invierno seco (CW), templado oceánico (Do), templado continental (DC), templado con inviernos húmedos (Df), templado con inviernos secos (Dw)			
Latitud	20	-	50	55
Fotoperiodo	Días cortos (menos de 12 horas)			
Intensidad de la luz	Muy brillante	Muy brillante	Muy brillante	Cielos despejados
Altitud (m)	---	---	---	2600

Fuente: FAO-ECOCROP, 2011.

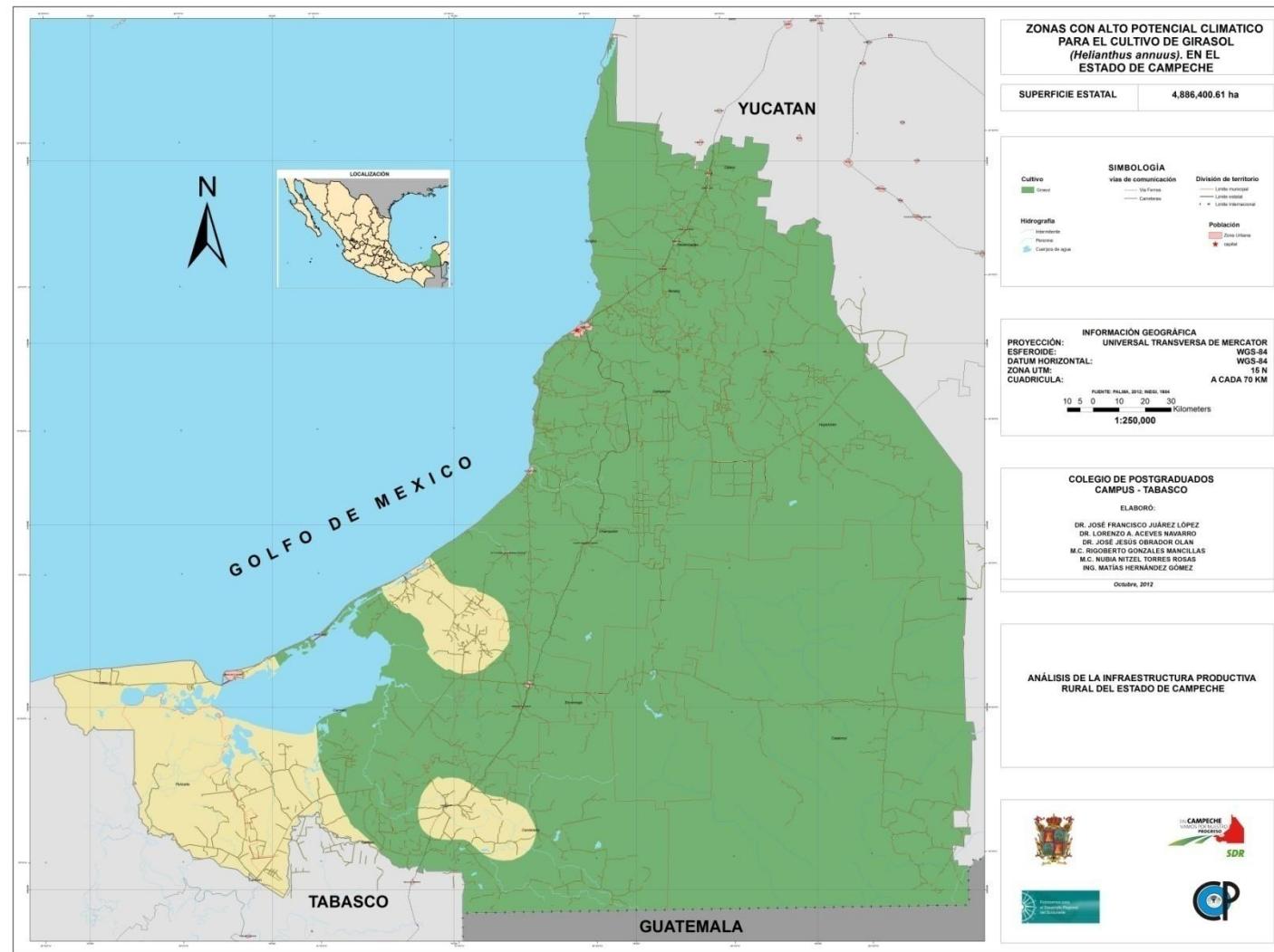
Anexo 3. Requerimientos edafológicos para el cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.).

REQUERIMIENTO	OPTIMO	ABSOLUTO
pH del suelo	6 a 7.5	5.5 a 8
Profundidad del suelo	Medianos (50 a 150 cm)	Medianos (50 a 150 cm)
Textura del suelo	Mediana, ligera	Pesada, Mediana, ligera
Fertilidad del suelo	Alta	Baja
Salinidad del suelo	Baja (<4 dS/m)	Baja (<4 dS/m)
Drenaje del suelo	Bueno (periodos secos)	Bueno (periodos secos)

Fuente: FAO-ECOCROP, 2011.

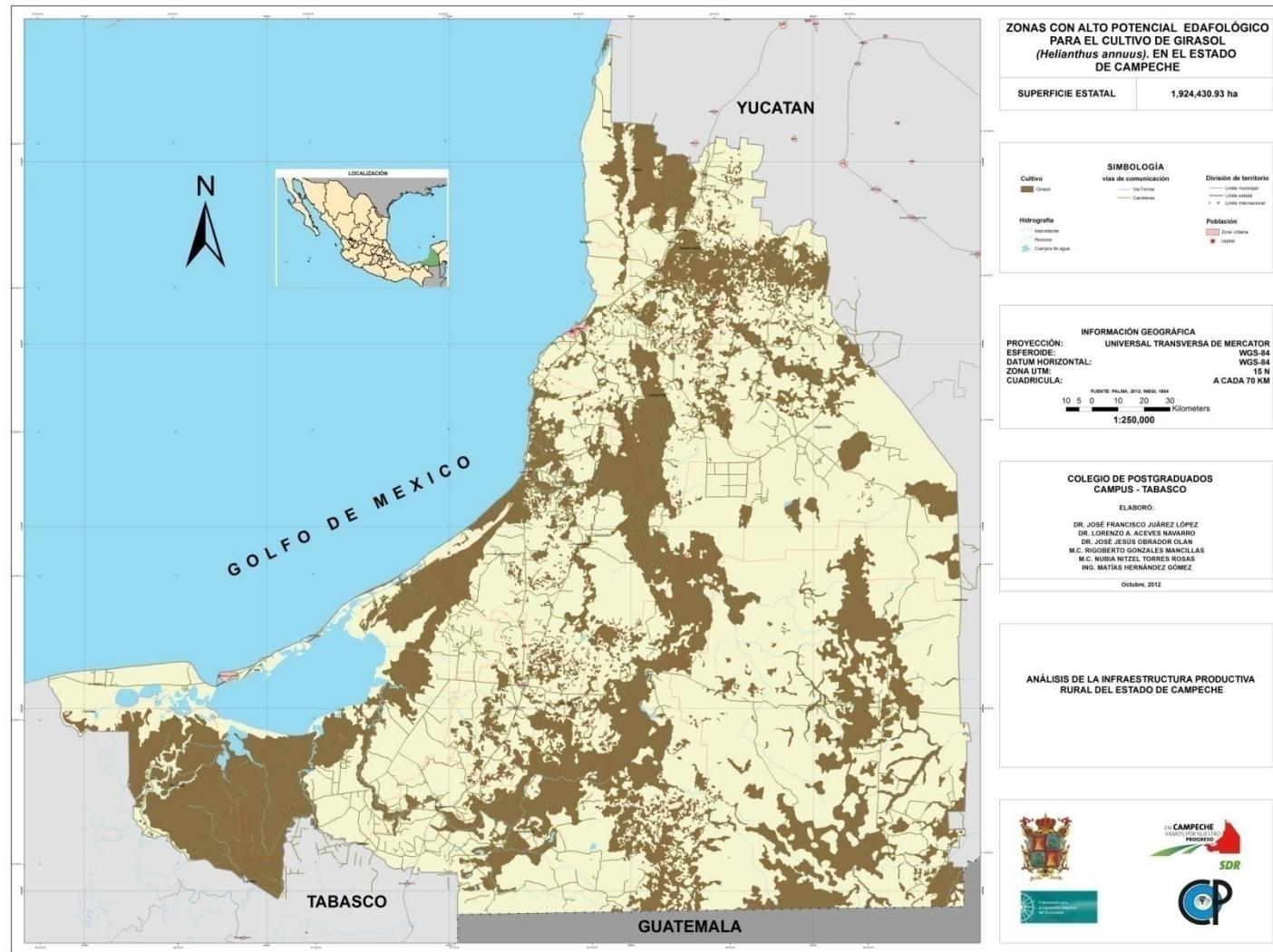


Anexo 4. Zonas con alto potencial agroclimático para el cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.) en el estado de Campeche.





Anexo 5. Zonas con alto potencial edafológico para el cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.) en el estado de Campeche.





Anexo 6. Zonas con alto potencial edafoclimático para el cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.) en el estado de Campeche.

