



GOBIERNO DEL
ESTADO DE
TABASCO

SAGARPA



SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN

ESTUDIO PARA DETERMINAR ZONAS DE ALTA POTENCIALIDAD DEL CULTIVO DE LA SOYA (*Glycine max*(L) Merrill) EN EL ESTADO DE TABASCO



SECRETARÍA DE
DESARROLLO AGROPECUARIO
FORESTAL Y PESCA



inifap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Dr. Lorenzo Armando Aceves Navarro

Dr. José Francisco Juárez López

Dr. David Jesús Palma López

Dr. Rutilo López López

M.C. Benigno Rivera Hernández

M.C. Joaquín Alberto Rincón Ramírez

Ing. Ambiental Román Morales Colorado

Lic. en Biología Rocío Hernández Alvarado

Ing. Araceli Martínez Sánchez

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
III. SUPERFICIE CULTIVADA Y RENDIMIENTO DE SOYA EN MÉXICO	2
IV. REQUERIMIENTOS AGROCLIMÁTICOS	7
V. REQUERIMIENTOS EDAFOLÓGICOS	9
VI. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA	10
VII. SELECCIÓN Y REQUERIMIENTOS BIOCLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE SOYA	12
7.1. INVENTARIO CLIMÁTICO	14
7.1.1. División climática.....	14
7.1.2. Período de crecimiento	14
7.2. INVENTARIO EDAFOLÓGICO	15
7.2.1. División edafológica	15
7.3. FUENTES DE INFORMACIÓN	15
7.3.1. Información climática.....	15
7.3.2. Información edafológica	15
7.3.3. Información cartográfica.....	16
VIII. ESTIMACIÓN DE RENDIMIENTO POTENCIAL PARA EL CULTIVO DE SOYA.....	16
IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
X. CONCLUSIONES	22
XI. BIBLIOGRAFÍA	23
XII. ANEXOS	27

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1. SUPERFICIE POR ESTADOS Y PROMEDIO NACIONAL DEL CULTIVO DE SOYA EN LA MODALIDAD DE TEMPORAL.....	3
CUADRO 2. RENDIMIENTO POR ESTADO Y A NIVEL NACIONAL DEL CULTIVO DE SOYA EN LA MODALIDAD TEMPORAL.....	4
CUADRO 3. SUPERFICIE POR ESTADOS Y PROMEDIO NACIONAL DEL CULTIVO DE SOYA EN LA MODALIDAD DE RIEGO.	5
CUADRO 4. RENDIMIENTO POR ESTADO Y A NIVEL NACIONAL DEL CULTIVO DE SOYA EN LA MODALIDAD DE RIEGO.	6
CUADRO 5. VARIABLES SELECCIONADAS PARA DEFINIR ÁREAS DE ALTA POTENCIALIDAD PARA EL CULTIVO SOYA EN EL ESTADO DE TABASCO.	13

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PORCENTAJE DE SUPERFICIE CULTIVA EN MÉXICO DE SOYA DURANTE EL AÑO 2007.....	6
FIGURA 2. METODOLOGÍA SIMPLIFICADA DE LA ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA PARA EL CULTIVO DE SOYA.....	11
FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA SUPERFICIE CON ALTO POTENCIAL PRODUCTIVO PARA EL CULTIVO DE LA SOYA EN TABASCO.....	20
FIGURA 4. SUPERFICIE POR MUNICIPIO CON ALTO POTENCIAL PRODUCTIVO PARA EL CULTIVO DE LA SOYA.	2

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN EL ESTADO DE TABASCO.....	28
ANEXO 2. REQUERIMIENTOS BIOCLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE LA SOYA (FAO, 1994).....	29
ANEXO 3. ZONAS CON POTENCIAL CLIMÁTICO PARA EL CULTIVO DE LA SOYA EN EL ESTADO DE TABASCO.	30
ANEXO 4. UBICACIÓN DE LAS SUBUNIDADES DE SUELO CON ALTO POTENCIAL PRODUCTIVO PARA EL CULTIVO DE LA SOYA EN EL ESTADO DE TABASCO	31
ANEXO 5. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA SUPERFICIE CON ALTO POTENCIAL EDAFOCLIMÁTICA PARA CULTIVAR SOYA EN TABASCO.....	32
ANEXO 6. RENDIMIENTO POTENCIAL PARA EL CULTIVO DE LA SOYA EN EL ESTADO DE TABASCO.	33

I. INTRODUCCIÓN

La industria aceitera en México depende en gran medida de las importaciones de oleaginosas para elaborar sus productos; a partir de esto produce aceites que son utilizados por la industria de alimento y finalmente distribuirse al consumidor final.

El consumo nacional de semillas oleaginosas para el 2006 fue de 5.5 millones de toneladas, de las cuales se produjeron en el país sólo 0.5 millones, por lo que se tuvieron que importar cerca de 5 millones de toneladas con un valor de más de 14,000 millones de pesos, lo que representa una importante fuga de divisas para el país.

Del total de las importaciones de oleaginosas que se realizó en el 2006, el 91% (5 millones de toneladas) correspondió a soya y canola, lo que representa un nicho de mercado interno importante para cultivara estos granos.

Para abastecer la demanda interna de soya, cártamo y canola, sería necesario sembrar aproximadamente 600,000 ha de canola y cerca de 2 millones de hectáreas entre soya y cártamo al año (aproximadamente 2.6 millones de ha); mientras que la superficie actual no cubre el 7% de la demanda anual de la industria aceitera nacional (Anónimo, 2008).

El cultivo de soya evolucionó en un clima templado del norte de China y es ahora el mayor cultivo productor de aceite que ha sido introducido en los trópicos, en México la mayor producción de soya en su modalidad de temporal se localiza en los trópicos.

Sin embargo, esta leguminosa no se cultiva en Tabasco, a pesar que se ubica en la franja tropical Mexicana, mencionada leguminosa puede ser una alternativa viable para diversificar la agricultura tabasqueña, mas aun cuando su demanda a nivel nacional no está satisfecha, por la importancia social y

económica que el cultivo de soya podría tener en el estado de Tabasco se planteo el presente trabajo de investigación bajo los siguiente objetivos.

II. OBJETIVOS

- ✚ Realizar la zonificación del cultivo de soya (*Glycine max* (L). Merrill), mediante la determinación de zonas con alta potencialidad productiva.
- ✚ Elaborar un mapa del estado de Tabasco donde se indiquen la(s) zonas con alta potencialidad productiva para el cultivo de la soya (*Glycine max* (L). Merrill).

III. SUPERFICIE CULTIVADA Y RENDIMIENTO DE SOYA EN MÉXICO

En México la superficie sembrada de soya en la modalidad de temporal en los últimos ocho años (Cuadro 1) está concentrada en cinco estados (Campeche, Chiapas, San Luís Potosí, Tamaulipas y Veracruz). Siendo Tamaulipas el estado que siembra la mayor superficie (38,131 ha), se guido por el estado de Chiapas (23,810 ha) (SIAP-SAGARPA, 2008).

Aunque existen ocho estados que han intentado sembrar esta leguminosa bajo esta modalidad, su aportación a la producción nacional no es continua, y en los últimos dos años no aparecen con aportaciones en la producción nacional (SIAP-SAGARPA, 2008). En dicha modalidad no figura el estado de Tabasco.

Cuadro 1. Superficie cultivada de soya en la modalidad de temporal por estados y a nivel nacional en hectáreas.

ESTADOS	AÑOS							
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Campeche	550.00	775.00	1,000.00	650.00	1,522.00	5,395.00	3,577.50	3,143.00
Chiapas	12,788.30	11,978.00	9,284.00	8,923.00	11,838.00	13,587.46	10,845.00	23,810.09
San Luis P.	8,396.00	6,045.00	4,572.00	5,576.00	11,463.00	12,537.00	6,982.00	9,400.30
Tamaulipas	42,328.00	22,323.00	30,025.00	43,135.00	54,905.50	48,971.50	44,176.20	38,131.00
Veracruz	4,027.00	4,595.00	2,664.00	5,561.00	6,997.00	6,800.00	5,500.00	2,925.00
Morelos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00
Nuevo L.	10.00	15.00	0.00	0.00	80.00	80	0.00	0.00
QuintanaR.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	450	0.00	0.00
Yucatán	0.00	0.00	0.00	13.00	0.00	10.00	0.00	0.00
Michoacán	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Guerrero	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	68,104.30	45,735.00	47,550.00	63,858.00	86,805.50	87,832.96	71,080.70	64,703.00

Fuente: SIAP-SAGARPA (2008).

El rendimiento a nivel nacional de la modalidad de temporal durante los últimos ocho años (2000-2007), se muestra en el Cuadro 2. En él se observa, que el estado de Chiapas tiene los más altos rendimientos por hectárea (2.37 t ha^{-1}). En mencionado cuadro se puede observar también, que los rendimientos a nivel nacional en el último año es de 1.76 t ha^{-1} , aunque en el años 2005, se reportaron rendimientos de 2.22 t ha^{-1} .

La superficie de soya en México en la modalidad de riego en los últimos ocho años (Cuadro 3) está concentrada en dos estados (Sinaloa y Tamaulipas). Sin embargo como se observa en mencionado cuadro, Sinaloa en los últimos dos años (2006-2007) ha dejado de sembrar esta leguminosa, por lo que Tamaulipas siembra 88.32 % de la superficie cultivada en México bajo esta modalidad, el otro 11.68 % se siembra en cinco estados de la república.

Cuadro 2. Rendimiento de soya en la modalidad de temporal por estados y a nivel nacional (t ha⁻¹).

ESTADOS	AÑOS							
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Campeche	2.46	1.49	1.80	1.10	1.95	2.58	1.46	1.95
Chiapas	2.38	2.30	2.34	2.55	2.38	1.81	2.36	2.37
San Luis Potosí	1.33	0.75	1.5	1.63	1.93	2.64	1.61	1.44
Tamaulipas	1.17	1.18	1.19	1.75	1.01	1.71	0.94	1.10
Veracruz	1.34	1.69	1.81	2.00	2.99	2.62	1.5	1.95
Nuevo León	1.50	1.50	0.00	0.00	0.60	2.20	0.00	0.00
Quintana roo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50	0.00	0.00
Yucatán	0.00	0.00	0.00	0.5	0.00	3.00	0.00	0.00
Guanajuato	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nayarit	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Michoacán	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Guerrero	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PROMEDIO	1.53	1.44	1.50	1.86	1.81	2.22	1.57	1.76

Fuente: SIAP-SAGARPA (2008).

En Tabasco durante los últimos años (1980-2007), solo sembró una hectárea de soya, en el municipio de Cárdenas, sin embargo no existe reporte del rendimiento obtenido del cual se pueda obtener mayor conocimiento acerca de este cultivo (SIAP-SAGARPA, 2008).

Los rendimientos en la modalidad de riego son muy variable por estados (Cuadro 4). Sin embargo, en los últimos años Tamaulipas, Campeche y chihuahua, son los que reportan los mayores rendimientos con: 1.21, 2.8 y 2.84 t ha⁻¹, respectivamente. El rendimiento a nivel nacional para el años 2007, fue de 1.93 t ha⁻¹, aunque son ligeramente inferior a los del 2006 que alcanzaron 2.23 t ha⁻¹. Es importante hacer notar que los rendimientos en temporal son muy similares a los obtenidos con riego; en los dos últimos años 2006 y 2007, los rendimientos con riego solo superaron en 0.660 y 0.170 kg ha⁻¹ respectivamente a los de temporal.

Cuadro 3. Superficie cultivada de soya en la modalidad de riego por estados y a nivel nacional en hectáreas.

ESTADO	ANOS							
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Sinaloa	823.00	23,967.00	6,007.58	153.00	309.00	8,940.00	0.00	0.00
Tamaulipas	7,821.00	5,388.00	6,477.00	7,092.00	8,629.00	8,875.00	6,544.00	7,644.00
Campeche	150.00	0.00	0.00	150.00	250.00	250.00	299.00	250.00
Chihuahua	289.00	39.00	20.00	0.00	56.00	244.00	49.00	72.00
San Luis potosí	226.00	0.00	80.00	0.00	0.00	0.00	100.00	641.00
Nayarit	14.00	3.00	13.00	0.00	1.00	2.00	0.00	2.00
Durango	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coahuila	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tabasco	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Guanajuato	0.00	0.00	3.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jalisco	0.00	0.00	38.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Chiapas	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	18.00	0.00	45.00
Nuevo León	0.00	0.00	0.00	0.00	370.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	9,326.00	29,400.00	12,639.33	7,405.00	9,615.00	18,329.00	6,992.00	8,654.00

Fuente: SIAP-SAGARPA (2008).

En México la mayor producción de soya se obtiene de las siembras realizas de temporal, las cuales producen el 87.59 % de la producción nacional (77,409.39 t) y la modalidad de riego aporta el 10.91% (10,961.90 t). Esto se debe principalmente al mayor porcentaje de hectáreas cultivas de temporal (Figura 1).

Cuadro 4. Rendimiento por estado y a nivel nacional del cultivo de soya en la modalidad de riego ($t\ ha^{-1}$).

ESTADOS	AÑOS							
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Sinaloa	2.54	2.00	1.93	2.61	1.88	1.20	0.00	0.00
Tamaulipas	1.24	1.47	1.39	1.78	1.24	1.78	2.01	1.21
Campeche	2.50	0.00	0.00	0.00	1.25	2.50	2.25	2.80
Chihuahua	2.45	2.02	3.50	0.00	1.92	2.35	2.37	2.84
San Luis potosí	1.20	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	2.30	1.80
Nayarit	1.21	0.67	1.01	0.00	1.30	1.20	0.00	2.50
Durango	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coahuila	2.50	1.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tabasco	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Guanajuato	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jalisco	0.00	0.00	1.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Chiapas	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	2.28	0.00	0.45
Nuevo león	0.00	0.00	0.00	0.00	2.60	0.00	0.00	0.00
PROMEDIO	1.81	1.28	1.74	1.84	1.69	1.88	2.23	1.93

Fuente: SIAP-SAGARPA (2008).

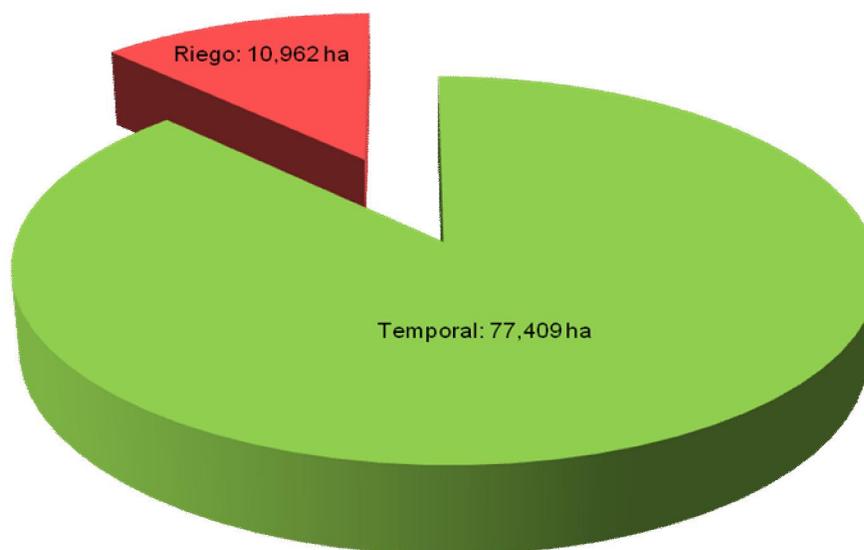


Figura 1. Superficie en porcentaje cultivada de soya en México en la modalidad de temporal más riego.

IV. REQUERIMIENTOS AGROCLIMÁTICOS

El cultivo de soya se extiende desde los trópicos hasta aproximadamente 50° de latitud Sur y Norte. Puede cultivarse desde el nivel de mar hasta los 2000msnm de altitud y en algunos lugares en los trópicos hasta los 3000mnsnm.

Las temperaturas óptimas para el desarrollo de la soya están comprendidas entre los 20 y 30°C, siendo las temperaturas próximas a 30°C las ideales para su desarrollo. Las temperaturas óptimas oscilan entre los 15 y 18°C para la siembra y los 25°C para la floración. Sin embargo, la floración de la soya puede comenzar con temperaturas cercanas a los 13°C.

La soya es una planta sensible a la duración del día, es una planta de día corto. Respecto de la humedad durante su cultivo, la soya necesita al menos 300mm de agua, que pueden ser en forma de riego cuando se cuenta con un sistema de riego, o bien en forma de lluvia en aquellas zonas templadas húmedas donde las precipitaciones son suficientes (Da Mota, 1978).

En muchas regiones tropicales y subtropicales, la temperatura del suelo al momento de la siembra es alrededor de 20°C, con la cual se obtiene una emergencia de plántula a los 3 ó 5 días (Da Mota, 1978; Berlato y Gonçalves, 1978). Temperaturas mayores de 40°C son conocidas por tener efectos adversos en la tasa de crecimiento, iniciación floral y puesta de vainas.

El efecto de tales temperaturas elevadas en el desempeño del cultivo de soya es particularmente severo, si la humedad del suelo es limitante. La inducción floral y el desarrollo reproductivo en el cultivo son particularmente sensibles a las temperaturas nocturnas (Parker y Borthwick, 1949), por lo que demandan temperaturas óptimas entre 21 a 27°C.

La tasa de formación de vainas es también muy sensible a la temperatura, por abajo de 22°C disminuye la iniciación de vainas. (Thomas y Raper, 1981).

La precipitación es la fuente principal de agua de la mayoría de la producción de soya en el mundo, dado que solamente un pequeño número de unidades de producción tienen riego para suplementar los requerimientos de agua de este cultivo. Reportes de consumo estacional de agua por la soya varía de 250mm en situaciones secas, hasta aproximadamente 840mm en condiciones de disponibilidad continua y óptima.

El consumo de agua por el cultivo de soya se incrementa a medida que el cultivo crece y alcanza su máximo durante la floración y llenado de vainas. La soya tiene dos periodos críticos bien definidos con respecto a los requerimientos de agua: De la siembra a emergencia y el llenado de vainas. Durante la germinación, ya sea un exceso o un déficit de humedad es perjudicial para la uniformidad en la distribución y número de plantas por superficie, aunque un exceso es mucho más limitante que un déficit (Salinas *et al.*, 1989).

Doorenbos y Kassam, (1979) mencionan que, el contenido de agua en el suelo durante este periodo no debe exceder el 85% o ser menor que el 50% de la humedad aprovechable del suelo. Un déficit de humedad durante el periodo de llenado de vainas es más perjudicial en el rendimiento que durante la floración (Sionit y Kramer, 1977). Para alcanzar los máximos rendimientos, un abastecimiento adecuado de agua debe estar disponible durante el periodo del desarrollo de la semilla, ya sea de lluvias frecuentes, riego o humedad almacenada en el suelo.

Cuando ocurre un déficit de agua durante las primeras etapas vegetativas del desarrollo, la soya se recupera mejor que otros cultivos (Doss y Thurlow, 1974). La soya puede tolerar periodos cortos de estrés de humedad debido a su profundo sistema radical (Ritter, 1992).

La mayoría de los cultivares de soya responden al fotoperiodo cuantitativamente a días cortos y se adaptan en una franja estrecha de latitudes;

por lo tanto, el día biológico de la soya es la duración del periodo de luz con una intensidad mayor que 5.3 lux. Esto corresponde aproximadamente a la intensidad de luz que provee el sol a 50°C por encima del horizonte.

V. REQUERIMIENTOS EDAFOLÓGICOS

El cultivo de la soya no es muy exigente en suelos muy ricos en nutrientes, por lo que a menudo es un cultivo que se emplea como alternativa para aquellos terrenos pocos fertilizados que no son aptos para otros cultivos.

Se desarrolla en suelos neutros o ligeramente ácidos con pH de 6 hasta la neutralidad, donde se consiguen buenos rendimientos. Es especialmente sensible a los encharcamientos del terreno, por lo que en los de textura arcillosa con tendencia a encharcarse no es recomendable su cultivo. Si el terreno es llano, debe estar bien nivelado, para que el agua no se estanque en los rodales. Sin embargo, es una planta que requiere mucha agua, por lo que en los terrenos arenosos deberá regarse con frecuencia. La soya es poco resistente a la salinidad (INIFAP, 1994)

La soya no es de un tipo de suelo en particular, aunque un suelo con textura migajosa es deseable, el cultivo se desarrollará en arcillas como en suelos arenosos. Prefiere suelos con buen drenaje, pero sobrevive a periodos cortos de inundación, así como de sequía. Suelos medio profundos son preferibles, pero el cultivo también se desarrolla en suelos someros.

El mejor pH fluctúa entre 5.5 a 7.0 y durante su ciclo puede variar de 4.5 - 8.4. Suelos fértiles son preferibles, pero el cultivo también crece en suelos infértiles.

VI. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA

Con la finalidad de proporcionar una idea general del procedimiento empleado en la zonificación, en los siguientes párrafos se explica de manera resumida el método y, para mayor información al respecto se sugiere consultar “El Manual de la Metodología para Evaluar la Aptitud de las Tierras para la Producción de Cultivos Básicos en Condiciones de Temporal” de Tijerina *et al.*, (1990).

La producción sustentable de alimentos es 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. La determinación de zonas de alta potencialidad para cultivos de soya en el presente estudio, solo analiza los factores ambientales.

Para la determinación de las zonas de alta potencialidad para el cultivo se utilizó el procedimiento de Zonificación Agroecológica propuesto por la FAO (1981). En colaboración con el *International Institute for Applied Systems Analysis* (IIASA) el 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). 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).

La Figura 2 esquematiza de manera sucinta la metodología de la zonificación agroecológica (FAO, 1981) utilizada en el cultivo de soya.

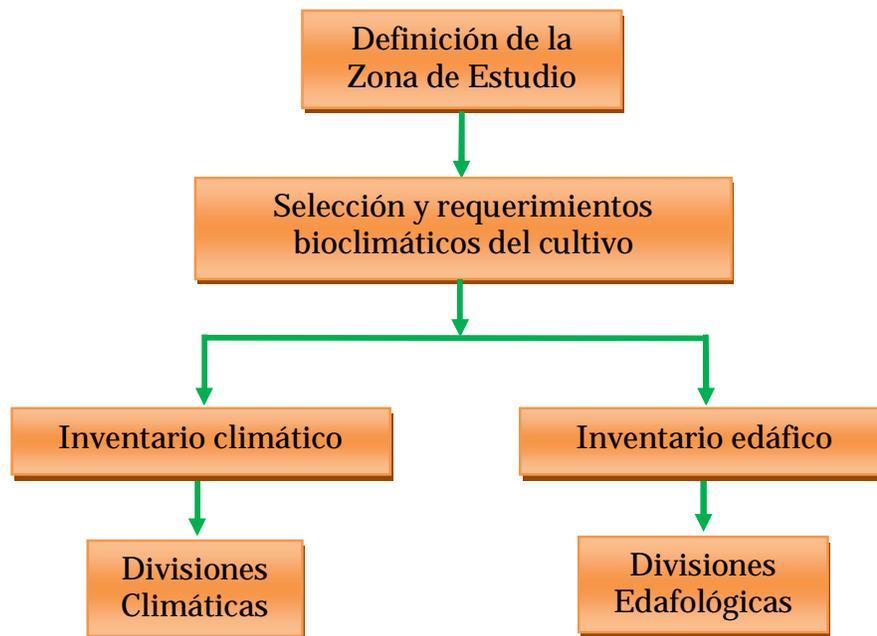


Figura 2. Metodología simplificada de la zonificación agroecológica para el cultivo de soya.

El esquema de la Figura 2, 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?
- ✚ ¿Cuánto rendimiento puedo esperar?

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

1. Definición de los requerimientos agroecológicos del cultivo.
2. Acopio de datos climatológicos y estimación de elementos faltantes.
3. Análisis agroclimático, para definir el inventario climático y las divisiones climáticas.
4. Análisis fisioedáfico para definir el inventario edáfico y las divisiones edafológicas.
5. Elaboración de los mapas componentes.
6. Síntesis cartográfica sucesiva.
7. Presentación de resultados.
8. Verificación de campo (cuando el cultivo existe en el campo).

VII. SELECCIÓN Y REQUERIMIENTOS BIOCLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE SOYA

Las variables principales que se consideraron para determinar las zonas con alto potencial productivos en el cultivo de soya fueron: clima y suelo por la relación directa guardan con el rendimiento del cultivo, dentro de las variables climáticas se analizaron cinco elementos climáticos y ocho propiedades edafológicas (físicas y químicas) (Cuadro 4). 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 seleccionadas para definir áreas de alta potencialidad para el cultivo soya en el estado de Tabasco.

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.

Como parte del proceso de selección de la información, se utilizó la base de datos del programa ERIC III (IMTA, 2003); que permitió analizar los registros diarios de temperatura y precipitación de 93 estaciones meteorológicas en el estado de Tabasco, utilizando como criterios la longitud de la serie histórica y su distribución geográfica para el Estado.

De estas 93 estaciones reportadas para el estado de Tabasco, solo 35 cumplían con los requisitos anteriores, ya que el resto mostraban información incompleta, registros cortos y/o poca representatividad geográfica.

Para complementar la información reportada por ERIC III, (IMTA, 2003), se acudió a la base de datos reportada por García, (2004) para las variables de precipitación y temperaturas, buscando que cubriesen de manera regular al estado de Tabasco. De esta manera, se seleccionaron las 35 estaciones meteorológicas que se reportan en el (Anexo I).

Se consultó información vía INTERNET, así como la documentación disponible en la Biblioteca del Colegio de Postgraduados en Cárdenas Tabasco y la biblioteca del INIFAP en Huimanguillo Tabasco. Esto con la finalidad de hacer

una investigación más extensa en conocimientos edafoclimáticos del cultivo de soya.

7.1. INVENTARIO CLIMÁTICO

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

7.1.1. División climática

Las divisiones climáticas fueron definidas en base a los requerimientos térmicos del cultivo, 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 altotérmico de $0.5^{\circ}\text{C}/100$ m de elevación, con el trazo de isólineas. Es importante mencionar que para el estado de Tabasco no hubo problemas en la clasificación del clima porque es similar en toda la región.

7.1.2. 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 de soya.

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.

7.2. INVENTARIO EDAFOLÓGICO

7.2.1. División edafológica

La segunda etapa del método consiste en la evaluación del recurso suelo con base en las unidades del sistema FAO/UNESCO, las variables utilizadas fueron mencionan en el Cuadro 5. Las cuales fueron comparadas con las subunidades de suelo del estado de Tabasco de Palma *et al.*, (2007).

Posteriormente, se realizó la sobreposición de los mapas de clima y suelo para delimitar las áreas aptas para el cultivo de soya.

7.3. FUENTES DE INFORMACIÓN

7.3.1. Información climática

El presente estudio se realizó a partir de las siguientes fuentes:

Se usó el Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC) (IMTA, 2003), el cual, facilita la extracción de la información 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, 2005). La información consiste en reportes diarios de 35 estaciones meteorológicas del Estado.

7.3.2. Información edafológica

Se realizó en base al Plan de Uso Sustentable de los Suelos de Tabasco de la Fundación Produce Tabasco, que contiene resultados generados de los últimos 25 años, sobre el conocimiento de los suelos; aborda aspectos físicos y químicos, clasificándolos de acuerdo a la Organización de la Naciones Unidad para la Agricultura y la Alimentación y Organización de la Naciones Unidad para la Educación, Ciencia y la Cultura (FAO/UNESCO).

7.3.3. Información cartográfica

La herramienta que se utilizó para la elaboración de cartografía fue el sistema de información siguiente:

Programa ArcView GIS (ESRI, 2004), que consiste en un sistema de mapeo computarizado que relaciona lugares con información agroclimática, iguales a las del cultivo de soya, las cuales se denomina áreas con alto potencial productivo.

VIII. ESTIMACIÓN DE RENDIMIENTO POTENCIAL PARA EL CULTIVO DE SOYA

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 demeritarlo de acuerdo a los problemas ambientales o de manejo que se presenten.

Uno de esos procedimientos es el conocido como el método de Zonas Agroecológicas que fue propuesto por FAO (1978). En el presente trabajo se utilizó este procedimiento, adaptándolo y modificándolo para estimar el rendimiento potencial del cultivo de soya en Tabasco.

La estimación de rendimientos máximos propuestos en el proyecto de Zonas de Agroecológicas de la FAO (1978 y 1981), se basa en la ecuación (1)

$$Y = B_n * H_i \quad (1)$$

Donde:

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

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

H_i = 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).

$$Bn = (0.36 * b_{gm} * L) / ((1/N) + 0.25 * C_t) \quad \text{Expresada en (kg ha}^{-1}\text{)}. \quad (2)$$

Donde:

b_{gm} = 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)

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

Donde:

F = Fracción del día cubierta con nubes estimada con la ecuación (4).

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

Donde:

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

Los valores de (A_c) para diferentes latitudes se reportan tabulados por FAO, (1978). Asumiendo que la radiación fotosintéticamente activa de un día totalmente cubierto es el 20% de (A_c) y que la radiación fotosintéticamente activa equivale al 50% de la radiación global total de onda corta (R_g) tomada de (Peralta-Gama *et al.*, 2008).

También se reportan en tablas los valores de bc y bo para plantas con una fotosíntesis máxima (Pm) de 20 kg CH₂O ha⁻¹ h⁻¹, para lo cual se requiere calcular la temperatura diurna (T_{foto}), la cual se calcula con la ecuación (5)

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

T_{max} = Temperatura máxima

T_{min} = Temperatura mínima

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

bo = 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.

bc = 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.

bo y bc son valores diarios y en cultivos cerrados (IAF ≥ 5)

L = Coeficiente de tasa máxima de crecimiento, fue calculado mediante la ecuación (6)

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

IAF = Índice de área foliar 3.6 (Ricon y Silva, 1992)

log₁₀(IAF) se obtiene de gráfica.

N = Duración del ciclo del cultivo 120 días.

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

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

C₃₀ = 0.0283 para leguminosas

C₃₀ = 0.0108 para no leguminosas

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 por el índice de cosecha (Hi) del cultivo de soya que fue de 0.30 (Vargas, 1994).

IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de las variables climáticas y edáficas, que más influye en el crecimiento y desarrollo en el cultivo de la soya, se mencionan en la ficha técnica (Anexo 2).

Desde el punto de vista climático (temperatura y precipitación) todo el estado de Tabasco, es apto para cultivar soya (Anexo 4) en el ciclo primavera-verano. En el ciclo otoño-invierno no es posible cultivar este grano, debido a las constantes precipitaciones, las cuales no permiten realizar la cosecha, provocando la pérdida del grano por pudriciones y hongos entre otras causas (Doss y Thurlow, 1974; Sionit y Kramer, 1977).

En cuanto a los requerimientos de suelo para el cultivo de la soya, Tabasco cuenta con una superficie de 267,623 hectáreas, las cuales corresponden a las subunidades de suelo: Fluviosol Éútrico (FLeu) y Fluviosol Éútrico-Gléyicos (FLeugl) y Cambisol éútri-Calcárico (CMeuca) (Anexo 5). El resto de la superficie de la entidad, no presenta suelos aptos para este cultivo. Por ejemplo los suelos Gleysols por tener un alto contenido de arcilla, presentan una permeabilidad baja o pobre, presentando problemas de inundación, lo cual causaría problema al cultivo de tipo patológico (Salinas *et al.*, 1989).

De acuerdo al análisis edafoclimático (clima y suelo) el estado de Tabasco cuenta con 267,535 hectáreas con alto potencial productivo para establecer este cultivo en la entidad (Figura 3) que se distribuyen en los diecisiete municipios del estado de Tabasco. De ellas el 48 % se localizan en cuatro municipios que se jerarquizan a continuación: Cárdenas (42,221 ha), Huimanguillo (38,289 ha), Cunduacán (26,227 ha) y Tacotalpa (22,001 ha). Las áreas de color rosa en el mapa edafoclimático de la figura, representa las áreas con alto potencial productivo, donde es factible cultivar la soya en Tabasco.

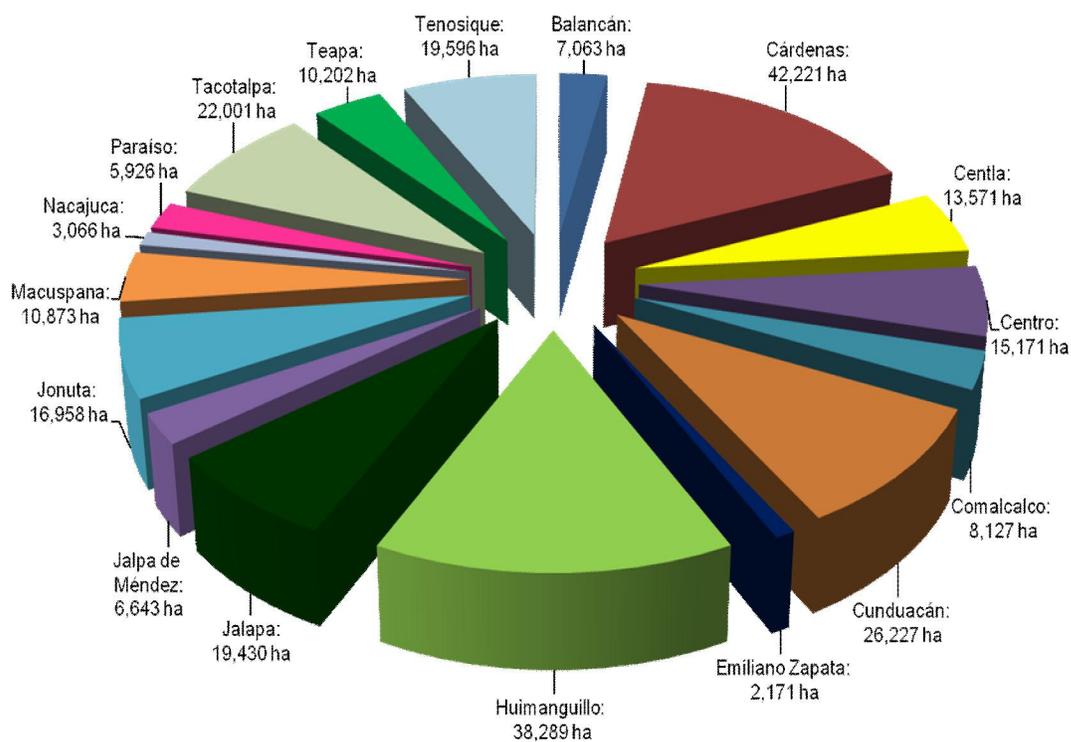


Figura 3. Superficie por municipios con alto potencial productivo para el cultivo de la soya en el estado de Tabasco.



Figura 4. Distribución geográfica de la superficie con alto potencial productivo para el cultivo de la soya en Tabasco.

El rendimiento potencial para el cultivo de la soya en el estado de Tabasco es de 2.8 t ha^{-1} , dichos rendimientos son similares a los reportados en el años 2007 por el estado de Chiapas 2.37 t ha^{-1} en su modalidad de temporal, y son superiores a lo reportados por: Campeche (1.95 t ha^{-1}), San Luís Potosí, (1.44 t ha^{-1}), Tamaulipas (1.1 t ha^{-1}) y Veracruz (1.95 t ha^{-1}) respectivamente (SIAP-SAGARPA, 2008).

Es importante resaltar que los rendimientos potenciales de 2.8 t ha^{-1} para el estado de Tabasco, superan en 0.87 t ha^{-1} a los rendimientos obtenidos a nivel nacional en la modalidad de riego, en los cuales se reportan rendimientos promedio de 1.93 t ha^{-1} .

Aunque en el estado de Tabasco el ISPROTAB, (1998) publicó rendimientos de 2 t ha^{-1} . Lo cual evidencia la bondad que tiene este cultivo para ser introducido como parte de la diversidad de cultivo propicio para el estado de Tabasco.

X. CONCLUSIONES

Del presente estudio realizado, con la metodología propuesta por la FAO (1978) se desprenden las siguientes conclusiones.

- ✚ En el ciclo primavera-verano, todo el estado de Tabasco tiene un alto potencial climático (temperatura y precipitación).
- ✚ No es factible sembrar el cultivo de soya en el ciclo otoño-invierno en el estado de Tabasco.
- ✚ El potencial edafológico del estado de Tabasco, para cultivar soya es de 267,623 hectáreas.
- ✚ La superficie con alto potencial edafoclimático (clima y suelo), para cultivar soya en el estado de Tabasco es de 267,535 hectáreas.
- ✚ El 48% de la superficie con alto potencial edafoclimático se localizan en cuatro municipios: Cárdenas (42,221 ha), Huimanguillo (38,289 ha), Cunduacán (26,227 ha) y Tacotalpa (22,001 ha).
- ✚ El principal factor ambiental que más limita el potencial productivo, para cultivar soya en el estado de Tabasco en el ciclo primavera-verano es el factor suelo.
- ✚ Los rendimientos potenciales esperados para el cultivo de la soya en el estado de Tabasco en el ciclo primavera-verano son de 2.8 t ha⁻¹.
- ✚ La fecha de siembra del cultivo de soya en el estado de Tabasco son del 15 de junio al 20 de julio.

XI. 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.
- Anónimo, 2008. Cámara Nacional de la Industria de Aceites y Grasas Comestibles (CANIAG). Disponible *In: www.cofupro.org.mx*
- Berlato, M.A y Gonçalves, H.M. 1978. Relação Entre Índice Hídrico P/ETP e Rendimento da Soja *Glycine max*(L.) Merri. Agronomia Sulriograndense. Porto Alegre-RS, v.14, No. 2. pp. 227-233.
- CNA (Comisión Nacional de Agua). 2005. Productos climatológicos. Servicio Meteorológico Nacional. Disponible *In: <http://smn.cna.gob.mx>*
- Da Mota, F.S. 1978. Soya Bean and Weather. Technical Note. No. 160. OMM. Ginebra, Suiza, 64 p.
- Doorenbos, J.; Kassam, A.H. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje Núm. 33. FAO. Roma. Italy. 212 p.
- Doss, B.D y Thurlow, D.L. 1974. Irrigation, row width, and plant population in relation to growth characteristics of two soybean cultivars. Agron. J. 66:620–623
- 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.
- 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.
- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. Serie Libros, Num. 6. México D.F. 90 p.
- IMTA. (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). ERIC. 2003. Extractor Rápido de Información Climatológica v.1.0.
- INIFAP. 1994. Manual para Cultivar Soya de Temporal en el Centro de Veracruz. Folleto técnico No. 8. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz.Ver. pp. 4-22.
- 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.

- Parker, M.W. y Borthwick, H.A. 1949. Growth and composition of Biloxi soybean grown in a controlled environment with radiation from different carbon-arc sources. *Plant Physiol.* 24:345-358.
- 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 y 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.
- Rincón, C.S. y Silva, L.C. 1992. Fenología área foliar y producción de materia seca de tres variedades de soya *Glicine max* (L) Mer, bajo riego en condiciones de sabana. *Agronomía Tropical* (42)175-190.
- Ritter, O.W.; Ruiz, G.S y Salvatierra, F.R. 1992. Localización microclimática de zonas óptimas para la introducción del cultivo de la soya en el estado de Tlaxcala. *Atmosfera* 5. pp. 169-179.
- Salinas, A.R.; SantoS, D.S.B.; Santos, F.B.G.; Mello, V.D.C. y Gomes, A.S. 1989. Evaluación de la calidad fisiológica de semillas de soya producidas en diferentes niveles de humedad en el suelo. In: Conferencia Mundial de Investigación en Soja. Buenos Aires. J. Pascale. pp. 391-397.
- SIAP-SAGARPA. 2008. Servicio de información agroalimentaria y pesca- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible // <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>
- Sionit, N, y Kramer P.J. 1977. Effect of water stress during different stages of growth of soybean. *Agro. J.* 69: 274-278.

- Thomas, J.F y Raper, C.D. 1981. Day and night temperature influence on carpel initiation and growth in soybeans. *Bot. Gazz.* 142, 183–187.
- 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.
- Vargas, V.M.L.P. 1994. El rendimiento y estado hídrico de la soya (*Glycine max* L Merr) en función del déficit hídrico durante la etapa reproductiva. Tesis, de maestría en ciencias. Colegio de Postgraduados Montecillos Estado de México. 139 p.

XII. ANEXOS

ANEXOS

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

MUNICIPIO		ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
BALANCÁN	1	APATZINGAN	705156	1946979	65
	2	BALANCAN	655091	1969771	18
	9	EL TRIUNFO	693295	1984127	60
	27	SAN PEDRO	695219	1968096	40
CÁRDENAS	4	CAMPO EW-75	557540	1983263	8
	5	CARDENAS	459419	1990228	21
CENTLA	34	VICENTE GUERRERO	510562	2033891	8
CENTRO	18	MACULTEPEC	517627	2008633	10
	25	PUEBLO NUEVO	513608	1957983	60
	33	VILLAHERMOSA	507587	1989818	10
COMALCALCO	6	COMALCALCO	687931	2021525	20
CUNDUACÁN	7	CUNDUACAN	481482	1998492	26
	26	SAMARIA	471059	1986519	17
	32	TULIPAN	463500	2002205	16
	10	EMILIANO ZAPATA	701469	1961701	16
HUIMANGUILLO	11	FCO. RUEDA	404399	1972592	7
	16	LA VENTA	391568	2005239	20
	20	MEZCALAPA	455800	1949668	50
	21	MOSQUITERO	432846	1958952	32
	24	PAREDON	459189	1964044	12
JALPA DE MÉNDEZ	12	JALPA DE MENDEZ	493478	2009179	10
JONUTA	13	JONUTA	589944	1999612	13
MACUSPANA	14	KM662	549151	1949496	100
	19	MACUSPANA	541873	1963308	60
	31	TEPETITAN	564905	1971084	10
PARAÍSO	23	PARAISO	478849	2034453	0
TACOTALPA	8	DOS PATRIAS	521395	1947419	60
	17	LOMAS ALEGRES	533597	1946882	70
	22	OXOLOTAN	526557	1921057	210
	28	TAPIJULAPA	318383	1931626	167
TEAPA	15	LA HUASTECA	507863	1961606	16
	29	TEAPA	505129	1941876	72
TENOSIQUE	3	BOCA DEL CERRO	659848	1927016	100
	30	TENOSIQUE	667062	1932608	32
	35	FRONTERA	538702	2047388	1

Anexo 3. Requerimientos bioclimáticos del cultivo de la Soya (FAO, 1994).

	ÓPTIMA		ABSOLUTA			ÓPTIMA	ABSOLUTA
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima			
					PROFUNDIDAD	Mediana (50-150cm)	Someros (20 -50cm)
REQUERIMIENTOS DE TEMP °C	20	33	10	38	TEXTURA	Media	Pesada Media y Ligera
PRECIPITACIÓN ANUAL (mm)	600	1500	450	1800	FERTILIDAD	Alta	Baja
LATITUD			47	52	TOXICIDAD POR ALUMINIO		
ALTITUD				3000	SALINIDAD	Baja (<4 dS/m)	Media (4-10dS/m)
pH	5.5	6.5	4.5	8.4	DRENAJES	Moderado	Moderado
INTENSIDAD LUMINOSA	Muy brillante	Muy brillante	Muy brillante	Nublado			

