

GOBIERNO DEL
ESTADO DE
TABASCO

SAGARPA



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

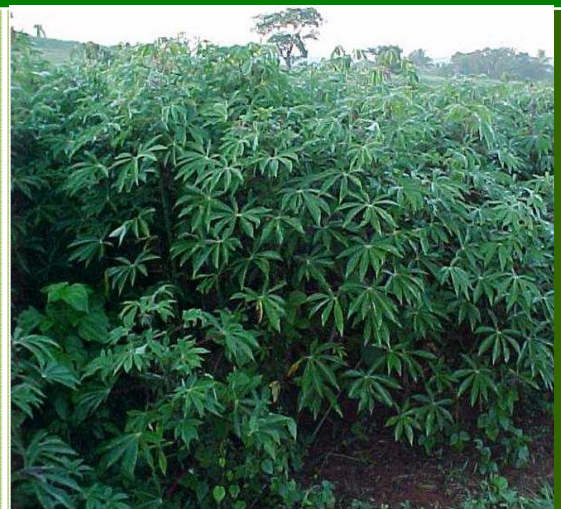
ESTUDIO PARA DETERMINAR ZONAS DE ALTA POTENCIALIDAD DEL CULTIVO DE YUCA (*Manihot esculenta* Crantz.) EN EL ESTADO DE TABASCO



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

Ing. Rigoberto González Mancillas

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
III. ORIGEN DEL CULTIVO	2
IV. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA YUCA	3
V. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DEL CULTIVO DE YUCA	3
VI. RELACIÓN DE PAÍSES QUE PRODUCEN YUCA A NIVEL MUNDIAL	7
VII. SUPERFICIE CULTIVADA Y RENDIMIENTOS DE YUCA POR ESTADO Y A NIVEL NACIONAL	8
VIII. REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE LA YUCA	11
IX. REQUERIMIENTOS EDAFOLÓGICOS DE LA YUCA	12
X. TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE YUCA.....	13
10.1. Preparación del terreno	13
10.2. Método de siembra, densidad y sistema de plantación	13
10.3. Marcos de plantación	14
10.4. Limpias y escardas	14
10.5. Fertilización o abonado	15
10.6. Control de maleza	16
10.7. Control de plagas	17
10.8. Control de enfermedades	17
10.9. Riego	19
10.10. Cosecha	19
XI. MATERIAL GENÉTICO Y VARIEDADES DE YUCA.....	20
XII. AGROINDUSTRIA, PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS DE LA YUCA	21
XIII. MERCADO MUNDIAL DE LA YUCA	23
XIV. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA	23
XV. SELECCIÓN Y REQUERIMIENTOS BIOCLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE LA YUCA	26
15.1. Inventario climático	27
15.1.1. División climática	27

15.1.2. Período de crecimiento	28
15.2. Inventario edafológico	28
15.2.1. División edafológica	28
15.3. Fuentes de información	28
15.3.1. Información climática	28
15.3.2. Información edafológica	29
15.3.3. Información cartográfica	29
XVI. ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO POTENCIAL PARA EL CULTIVO	
DE YUCA	29
XVII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
XVIII. CONCLUSIONES	37
XIX. BIBLIOGRAFÍA	38
XX. ANEXOS	44

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Países que se dedican al cultivo de de la yuca a nivel mundial y su superficie cosechada	8
Cuadro 2. Superficie sembrada de yuca a nivel nacional en la modalidad de temporal en los últimos seis años en hectáreas	9
Cuadro 3. Superficie sembrada de yuca a nivel nacional en la modalidad de riego en los últimos seis años	9
Cuadro 4. Rendimientos de yuca a nivel nacional en la modalidad de temporal en los últimos seis años	10
Cuadro 5. Rendimientos de yuca a nivel nacional en la modalidad de riego en los últimos seis años	10
Cuadro 6. Variedades de yuca de importancia económica	21
Cuadro 7. Productos donde se emplea el cultivo de la yuca	22
Cuadro 8. Variables seleccionadas para definir áreas de alta potencialidad para el cultivo yuca en el estado de Tabasco	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología simplificada de la zonificación agroecológica para el cultivo de yuca	25
Figura 2. Superficie por municipio con alto potencial para cultivar yuca en el estado de Tabasco	34
Figura 3. Distribución geográfica de la superficie con alto potencial productivo para el cultivo de la yuca en el estado de Tabasco	35

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas en el estado de Tabasco	45
Anexo 2. Requerimientos bioclimáticos del cultivo de yuca (FAO, 1994).....	46
Anexo 3. Zonas con alto potencial climático para cultivar yuca en el estado de Tabasco	47
Anexo 4. Zonas con alto potencial edafológico para cultivar yuca en el estado de Tabasco	48
Anexo 5. Zonas con alto potencial edafoclimático para cultivar yuca en el estado de Tabasco	49
Anexo 6. Análisis químico de los suelos	50

I. INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz), es ampliamente cultivada en América Latina, África tropical y Asia. Es el cuarto cultivo a nivel mundial más importante en los países en desarrollo, con una producción estimada en el 2006 de 226 millones de toneladas. Es el alimento básico de casi mil millones de personas en 105 países, la cual proporciona hasta un tercio de las calorías diarias requeridas por el hombre (FAO, 2008).

La yuca es también la fuente de almidón más barata que existe, siendo utilizada en más de 300 productos industriales. Un uso prometedor es la fermentación del almidón para producir etanol, para ser empleado como biocombustible; el cual podría ayudar a proteger la seguridad alimentaria y energética de los países pobres amenazados en la actualidad por los crecientes precios de los alimentos y el petróleo (FAO, 2008).

Según la FAO, (2006) se estima que anualmente se extraen 6 millones de toneladas de almidón de yuca, para una gran variedad de productos como: agentes estabilizadores en sopas y alimentos congelados, revestimiento para pastillas y papel, adhesivo para estampillas y madera laminada, para el acabado de textiles, como materia prima para elaborar etanol e incluso como agente de cohesión en el concreto entre otros.

En América Latina y el Caribe está creciendo la producción comercial de almidón de yuca, para la producción de almidones modificados e hidrolizados, los cuales alcanzan precios más altos. Sin embargo, la extracción de almidón representa una parte muy pequeña del total de la producción de yuca. De toda la producción regional de raíz de yuca entre el 60% y el 70%, que equivale a unos 40 millones de toneladas al año, se destina a la producción de alimentos tradicionales, por lo que la región aporta apenas el 4% al suministro mundial de almidón de yuca (FAO, 2006).

En México, el estado de Tabasco es el principal productor de este tubérculo. Sin embargo, en los últimos años ha perdido una superficie considerable en la producción de yuca. Por lo que el gobierno de la entidad ha puesto de manifiesto la importancia del cultivo de yuca como producto estratégico y básico para la industria, para favorecer el desarrollo del sector alimenticio, además para contribuir al empleo rural y urbano. Es por ello, que ante tal escenario el gobierno del estado, a través de las instituciones mencionadas en la hoja de presentación, realiza el presente estudio de zonificación agroecológica, con la finalidad de identificar las áreas con el mayor potencial productivo para el establecimiento del cultivo de yuca, por lo que se plantearon los siguientes objetivos:

II. OBJETIVOS

- ✚ Realizar la zonificación del cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) 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 yuca (*Manihot esculenta* Crantz).

III. ORIGEN DEL CULTIVO DE LA YUCA

El origen de la yuca es incierto, Domínguez, (1980) menciona que existen diversas opiniones acerca del centro de origen de esta especie, se cree que tuvo su origen en muchos lugares; entre ellas, África, Asia, América Central, México, Brasil y la región amazónica. Olsen y Schaal (2001) y Olsen, (2004) mencionan que la yuca es originaria de América del Sur, probablemente domesticada en la región del Amazonas. El proceso de domesticación involucra el proceso de selección del número de raíces, el hábito de crecimiento, número de tallos, y la facilidad de la propagación (Jennings, 1979).

IV. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA YUCA

Reino: Vegetal

División: Phanerogama

Orden: **Geraniales**

Familia: Euphorbiaceae

Tribu: Manihoteae

Género: *Manihot*

Especies: *esculenta-utilíssima-aipi*

V. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DEL CULTIVO DE YUCA

La yuca es una planta tropical perenne arbustiva, que pertenece a la familia de las *Euphorbiaceas*. Se le conoce con diferentes nombres; ubí, Kehella ó kaspé (Indonesia), mandioca, ramu o yuca (América Latina), mandioca ó aipium (Brasil), manioe (Madagascar y África), tapioca (India, Malasia) y cassava en regiones de habla inglesa (FAO-FIDA, 2000).

Tallo.

Es el órgano que se utiliza para la reproducción vegetativa o asexual de la especie. El tallo maduro es cilíndrico y su diámetro varía de 2 a 6 cm. Se pueden observar tres colores básicos de tallos maduros: gris-plateado, morado y amarillo verdoso, varían con la edad y la variedad. Están formados por la alternación de nudos y entrenudos. El nudo es el punto en el que una hoja se une al tallo y el entrenudo es la porción del tallo comprendida entre dos nudos sucesivos (Anónimo, s/f).

En el nudo se inserta el pecíolo de la hoja, una yema axilar protegida por una escama y dos estipulas laterales. El largo de los entrenudos es variable, dependiendo no solo de la variedad sino también de factores como la edad de la planta, la ocurrencia de una sequía, un ataque severo de trips, fertilidad disponible de la planta, etc.

La presencia de las yemas axilares es importante, ya que a partir de las mismas una estaca puede producir una nueva planta.

Cuando la estaca se entierra horizontalmente, todos los nudos tienden a brotar, pero si se entierra en posición vertical, por lo general solo la yema apical se activa. La filotaxia típica de la yuca es de 2/5 dando a entender con esto que las hojas se ubican en espiral alrededor del tallo. Si se parte de una determinada hoja (la hoja 1) y se cuentan sucesivamente las hojas hacia arriba, la sexta hoja estará exactamente en la misma posición, pero más arriba en el tallo que la hoja uno.

El tallo primario luego de cierto período de crecimiento produce eventualmente ramificaciones que pueden ser reproductivas (inflorescencia) o vegetativas (ramas laterales). La ramificación vegetativa puede dar origen a 2 o 4 ramas secundarias, las que a su vez podrían eventualmente producir ramas terciarias y así sucesivamente.

Hoja.

La lámina foliar es palmeada y profundamente lobulada. El número de lóbulos de una hoja es variable y por lo general siempre oscila entre 3 y 9. Los lóbulos miden entre 4 y 20 cm, de longitud y entre 1 y 6 cm de ancho, siendo los centrales de mayor tamaño que los laterales. El color de las hojas también es una característica varietal y varía con la edad de la planta. Las hojas maduras pueden ser desde púrpura, verde oscuro hasta verde claro. Es común observar cogollos de color púrpura que eventualmente a medida que las hojas crecen y se desarrollan, cambian a una coloración verdosa. El color del cogollo es muy útil para la identificación varietal, pues es muy constante. El color de la nervadura oscila entre verde y morado.

El pecíolo de la hoja puede tener una longitud entre 9 y 20 cm, es delgado y de pigmentación variable (verde a morada). No siempre el color del pecíolo coincide con el de la nervadura. Las hojas maduras son siempre glabras, es decir

que carecen de pubescencia. Las hojas del cogollo pueden ser o no pubescentes y esto está relacionado con la resistencia a trips.

El haz de la hoja está cubierta por una cutícula cerosa brillante mientras que el envés es opaco y en él se encuentra la mayoría de los estomas. Si bien el producto económico de la yuca es la raíz, las hojas tienen también importantes usos. En varias regiones de África y de Asia, estas son procesadas y utilizadas en el consumo humano. Tienen valor nutritivo con altos niveles proteicos que oscilan entre 18% y 22% en base seca, minerales y carotenos

Inflorescencia.

No todas las variedades de yuca florecen en las mismas condiciones ambientales y entre las que lo hacen hay marcadas diferencias en cuanto al tiempo de floración y la cantidad de flores que producen. El ambiente influye considerablemente en la inducción de la floración. La yuca es una planta monoica, es decir, con flores unisexuales masculinas y femeninas en una misma planta y generalmente en la misma inflorescencia. La polinización es cruzada, por lo que cada individuo es naturalmente híbrido con altos niveles de heterocigocidad. Esta es realizada típicamente por acción de los insectos.

La autopolinización se ve desfavorecida por el hecho de que las flores femeninas de un racimo abren primero que las masculinas, fenómeno conocido como protógina. Sin embargo, es posible ocasionalmente que las masculinas y femeninas de distintos racimos pero de una misma planta abran de manera simultánea y cuando ello sucede es posible la ocurrencia natural de auto polinización.

Las flores femeninas en el racimo ocupan las posiciones basales y las masculinas las distales. Estas últimas son más pequeñas y numerosas que las femeninas. Las flores no presentan ni cáliz ni corola, sino más bien una estructura

indefinida llamada perianto compuesta de cinco tépalos (algo intermedio a los sépalos y pétalos en las flores compuestas).

La flor masculina es esférica con una dimensión aproximada de 0.5 cm, presenta un pedúnculo recto y corto mientras que la femenina es más grueso y largo. El proceso de liberación de polen se inicia de 2 a 3 horas antes de que la flor se abra y puede finalizar antes de que esta termine de abrirse completamente. Los granos de polen son grandes, esféricos y se producen en pocas cantidades en los sacos. El polen es pegajoso y se adhiere a las patas de los insectos para su polinización, permaneciendo viable durante 6 horas.

Semilla.

La semilla es de forma ovoide-elipsoidal y mide alrededor de 1 cm de largo, 6 mm de ancho, y 4 mm de espesor, la teste es lisa de color café con moteado gris.

Raíz.

La principal característica de las raíces de la yuca es su capacidad de almacenamiento de almidones, razón por la cual es el órgano de la planta que hasta el momento ha tenido un mayor valor económico.

Cuando la planta proviene de semilla sexual, sé desarrolla una raíz primaria pivotante y varias de segundo orden. Si la planta proviene de estacas, las raíces son adventicias y se forman en la base inferior cicatrizada de la estaca, que se convierte en una callosidad y también a partir de las yemas de la estaca que están bajo tierra. Estas raíces al desarrollarse, inicialmente forman un sistema fibroso, pero después algunas de ellas, generalmente menos de 10 inician su engrosamiento y se convierten en raíces tuberosas.

La planta absorbe el agua y los elementos nutritivos por medio de las raíces fibrosas, capacidad que se pierde cuando se transforma en tuberosas.

Cuando se inicia la acumulación de almidones el sentido de crecimiento de la raíz cambia de longitudinal a horizontal. Esto no significa que la raíz detenga en absoluto su crecimiento longitudinal. Los tejidos que componen una raíz tuberosa son sucesivamente de la parte externa hacia la interna la cáscara, la pulpa y las fibras centrales. Las raíces varían de coloración, desde el crema, pasando por el café claro y oscuro hasta el negro y pueden ser pedunculadas o sésiles (sentadas).

El desarrollo y crecimiento de las plantas están determinados por la relación del índice de área foliar (IAF), y por la distribución de la producción de la biomasa total a la cosecha final. A medida que el IAF aumenta la tasa de rendimiento tiende a incrementarse hasta que alcanza un nivel de 4 a 5 lo que corresponde a un intercepción de luz del 95% (El-Sharkawy y Cock, 1987a). En la yuca el IAF, máximo oscila entre 4 y 8 dependiendo del cultivar y de las condiciones atmosféricas y edáficas, que prevalecen durante el crecimiento del cultivo (El-Sharkawy y Cock, 1987b)

Al respecto Molina y El-Sharkawy, (1995) realizando estudios sobre fertilidad de suelo en relación a la producción de biomasa en cultivar de yuca MCol 1684, encontraron que en el tratamiento donde se aplicó la dosis de 100-100-100 (NPK) se obtuvieron los máximos rendimientos de 38.5 t ha^{-1} , de biomasa total las cuales se distribuyen de la siguiente manera: Follaje, 2.10 t ha^{-1} , tallo, 6.33 t ha^{-1} y raíz 30.17 t ha^{-1} , siendo su IAF igual a 1.3 medido a los 3 meses después de haberse plantado el cultivo. Kawano, (2003) menciona que el índice de cosecha de la yuca es de 0.70.

VI. RELACIÓN DE PAÍSES QUE PRODUCEN YUCA A NIVEL MUNDIAL

FAOSTAT, (2009) en su portal informa que a nivel mundial el cultivo de yuca se práctica en 101 países, donde Nigeria ocupa el primer lugar con 3,875,000 ha (Cuadro 1). <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?>

Cuadro 1. Países que se dedican al cultivo de la yuca a nivel mundial y su superficie cosechada.

Países	Hectáreas	Países	Hectáreas	Países	Hectáreas	Países	Hectáreas
Angola	760,000	Cuba	88,400	Madagascar	320,000	Samoa Am	15
Antigua-Barb	20	Dominic, Rep	16,978	Malasia	41,000	San Vicente	120
Argentina	17,500	Dominica	120	Malawi	172,539	Senegal	61,248
Bahamas	18	Ecuador	16,459	Maldivas	2	Seychelles	30
Barbados	22	El Salvador	1,540	Malí	5,925	Sierra Leona	74,000
Belice	19	Fiji, Islas	2,500	Martinica	120	Somalia	8,600
Benin	167,102	Filipinas	209,633	Mauricio	17	Sri Lanka	22,560
Bolivia	36,631	Gabón	45,000	México	1,235	St Lucía	340
Brasil	1,894,460	Gambia	2,600	Micronesia	1,200	STomé y Prn	640
Brunei Darsm	150	Ghana	800,000	Mozambique	850,000	Sudán	6,000
Burkina Faso	2000	Granada	30	Myanmar	16,500	Suriname	155
Burundi	75,000	Guadalupe	155	Nicaragua	12,000	Tailandia	1,174,209
Cabo Verde	320	Guatemala	5,200	Níger	5,500	Tanzania	675,000
Caimán, Is	10	Guayana Fr	1,700	Nigeria	3,875,000	Timor Orient	12,000
Camboya	108,000	Guinea	139,836	Niue	10	Togo	126,733
Camerún	350,000	Guinea Ecuat	18,000	Nuev Caldnia	420	Tonga	770
Centroaf,Rep	198,000	GuineaBissau	4,267	Panamá	1,438	Trinidad Tab	100
Chad	27,500	Guyana	1,850	Papua N Gui	12,500	Uganda	371,000
China	268,580	Haití	76,000	Paraguay	320,000	Venezuela	35,083
Colombia	159,376	Honduras	5,100	Perú	103,537	Viet Nam	497,000
Comoras	10,000	India	256,400	Polinesia Fr.	240	Wallis, Is	250
Congo, R Dem	1,849,203	Indonesia	1,201,481	Puerto Rico	60	Zambia	175,000
Congo, Rep	110,000	Jamaica	992	Reunión	30	Zimbabwe	44,500
Cook, Islas	60	Kenya	53,610	Rwanda	120,000		
Costa Rica	11,790	Laos	11,015	Salomón, Isla	150		
Côte d'Ivoire	320,843	Liberia	85,000	Samoa	30		

VII. SUPERFICIE CULTIVADA Y RENDIMIENTOS DE YUCA POR ESTADO Y A NIVEL NACIONAL

La superficie cultivada de yuca en México en los últimos seis años (2003-2008) en la modalidad de temporal ha sido muy inestable. Así, en el 2003 se cultivaron a nivel nacional 775 ha, al año siguiente la superficie casi creció al doble, para posteriormente en el 2005 volver a decrecer (Cuadro 2). En el 2008 la

superficie cultivada fue de 845.50 ha, de ellas el 89% se localizan en el estado de Tabasco, entidad que en los dos últimos años ha perdido 411 ha (SIAP-SAGARPA, 2009).

Cuadro 2. Superficie sembrada de yuca a nivel nacional en la modalidad de temporal en los últimos seis años en hectáreas.

ESTADOS	AÑOS					
	2003	2004	2005	2006	2007	2008
GUERRERO	2.00	2.00	3.00	3.00	0.00	0.00
MORELOS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MICHOACAN	0.00	0.00	0.00	45.00	45.00	60.00
TABASCO	758.00	1,113.00	798.00	1162.00	882.00	751.00
VERACRUZ	10.00	0.00	0.00	1.00	0.00	10.00
YUCATAN	5.00	10.00	4.00	12.00	20.00	24.50
TOTAL	775	1,125.00	805	1,223.00	947	845.50

SIAP-SAGARPA, 2009

La superficie cultivada de yuca en México en los últimos seis años en la modalidad de riego se ha incrementado ligeramente. Existen solo cuatro estados que cultivan yuca bajo esta modalidad. El estado de Morelos es quien reporta la mayor superficie bajo esta modalidad en el 2008 con 178.10 ha, aunque en el 2006 sembró 290.20 ha (Cuadro 3).

Cuadro 3. Superficie sembrada de yuca a nivel nacional en la modalidad de riego en los últimos seis años.

ESTADOS	AÑOS					
	2003	2004	2005	2006	2007	2008
GUERRERO	4.50	4.00	6.50	0.00	3.00	5.00
MEXICO	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00
MICHOACAN	30.00	20.00	40.00	55.00	55.00	40.00
MORELOS	179.80	184.90	160.90	290.20	238.20	178.10
TOTAL	216.30	210.90	209.40	290.20	298.20	235.10

SIAP-SAGARPA, 2009

Los rendimientos de yuca en México en los últimos seis años (2003-2008) en la modalidad de temporal se han mantenido con ligeras variaciones. Sin embargo, los rendimientos promedios más altos a nivel nacional se alcanzaron en el 2004 con 14.77 t ha⁻¹. En el 2008 el rendimiento promedio nacional fue de 13.57 t ha⁻¹. El estado de Michoacán es la entidad federativa con los mayores rendimientos con 30 t ha⁻¹ (Cuadro 4).

Cuadro 4. Rendimientos de yuca a nivel nacional en la modalidad de temporal en los últimos seis años.

ESTADOS	AÑOS					
	2003	2004	2005	2006	2007	2008
GUERRERO	8.00	8.50	8.5	8.00	0.00	0.00
MORELOS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MICHOACÁN	0.00	0.00	0.00	30.00	30.00	30.00
TABASCO	13.90	14.82	12.30	12.54	10.38	12.19
VERACRUZ	9.00	0.00	0.00	10.80	0.00	4.00
YUCATAN	10.1	9.6	0.00	5.00	10.30	0.00
TOTAL	13.79	14.77	10.4	13.16	11.32	13.57

SIAP-SAGARPA, 2009

Los rendimientos de yuca en México en la modalidad de riego se han visto incrementados en un 56.25%. El incremento se debe principalmente a que el estado de Michoacán ha incrementado sus rendimientos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Rendimientos de yuca a nivel nacional en la modalidad de riego en los últimos seis años.

ESTADOS	AÑOS					
	2003	2004	2005	2006	2007	2008
GUERRERO	8.00	6.00	3.88	0.00	8.00	8.00
MICHOACÁN	12.00	8.00	12.00	12.00	11.50	10.00
MICHOACÁN	25.00	25.00	30.00	30.00	30.00	35.00
MORELOS	8.39	9.61	10.23	13.09	11.97	13.19
TOTAL	10.72	10.99	13.83	16.29	15.25	16.75

SIAP-SAGARPA, 2009

VIII. REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE YUCA

La yuca se establece exitosamente en zonas comprendidas entre los 30° de latitud norte y sur, y desde el nivel del mar hasta los 2000 metros de altitud (Cock y El-Sharkawy, 1978; y Rodríguez y Sánchez, 1963). No tolera helas y es sensible a períodos prolongados de frío, por tal razón se cultiva en lugares con temperaturas medias mensuales mayores a 18°C (clima A), siendo el óptimo entre 24 y 26°C (Acosta, 1979; y Gonzales y Méndez, 1980).

Polhuis (1973) citado por Montalvo (1985) señala que los rendimientos máximos se obtienen con temperaturas entre 25°C y 27°C, siempre que haya suficiente humedad disponible durante el ciclo vegetativo. Aunque, temperaturas cálidas entre los 25°C y 30°C y entre 300 a 700 msnm son consideradas adecuadas para el cultivo. Con temperaturas más bajas o mayores alturas (más de 800 msnm) el ciclo se extiende demasiado (más de 12 meses) (Lardizábal, 2002).

La radiación solar es uno de los factores importantes en el crecimiento de las raíces de la yuca. Al respecto Albuquerque (1969) citado por Almeida (1979), afirma que la yuca necesita 2000 horas de brillo solar por año para un adecuado crecimiento de la planta. Bolhuis (1996), concluyó que la yuca es una planta de fotoperiodo corto, ya que períodos largos de iluminación inhiben la formación de raíces.

William y Joseph, (1970) mencionan que la planta de yuca solo convierte un 10% de la energía solar en energía química bajo forma de sistema orgánico, pero en la práctica el aprovechamiento llega apenas a un 2%, lo que corresponde a 50 toneladas de materia seca total por hectárea por año, por lo que la yuca es una planta típica de fotoperiodo corto de 10 a 12 horas, al pasar de 12 a 14 horas los rendimientos se ven disminuidos.

La yuca requiere de una muy buena precipitación durante todo su ciclo. La precipitación deseable es de 1,400 mm bien distribuidos durante su ciclo productivo (Lardizábal, 2002). García (1975), al trabajar en zonificación agroecológica del cultivo de la yuca en Venezuela, estableció una función de producción tomando en cuenta la precipitación anual. En ella se observa que el óptimo físico de rendimiento (29.4 t ha^{-1}) se obtienen con 1,380 mm de lluvias.

Menezes (1971), establece que la mayor exigencia de agua de la yuca ocurre entre el cuarto y sexto mes desde la siembra, disminuyendo después. Así mismo, menciona que el requerimiento hídrico se encuentra entre 500-2000 mm por año. Papadakis (1966) estableció que la yuca puede ser cultivada en lugares donde la precipitación media se encuentra entre 500 e incluso hasta los 5,000 mm año⁻¹.

En cuanto a la altitud, Almeida, (1979) establece que las alturas inferiores a 600 msnm son las mejores para producir este cultivo.

IX. REQUERIMIENTOS EDAFOLÓGICOS DEL CULTIVO DE YUCA

Mosqueda (1996), menciona que su establecimiento se puede lograr en cualquier tipo de suelo. Aunque, los mejores suelos son los francos o migajones arcillosos con un pH de 5.5 a 6.5. Es un cultivo que prefiere suelos francos pero produce muy bien en suelos pesados y hasta suelos arenosos, el pH del suelo es preferible en el rango de 5.8 a 6.5 (Lardizábal, 2002).

Según Bramao y Lemon, (1960) mencionan que suelos sueltos, porosos, freables, con suficiente cantidad de materia orgánica (1-2%) y un pH entre 6 y 7 son óptimos para producir yuca. No debe ser cultivada en suelos con exceso de agua, suelos desérticos, o en cualquier tipo de suelo donde las lluvias estén ausentes por 4 o 5 meses. La presencia de capas impermeables en el perfil de fragmento de material rocoso o de manto freático elevado que dificulte la

ramificación y desarrollo de la raíces a profundidades de 0.30 a 0.40 m limitan el crecimiento y desarrollo del cultivo de yuca.

Sánchez *et al.*, (1999), mencionan que los cultivos de yuca más desarrollados y productivos se encuentran en los suelos con pH 6 a 7 y los más débiles, a menudo con incidencia de bacteriosis, se encuentran en suelos con pH de 4.5 a 5.

X. TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE YUCA

La tecnología de producción del cultivo de la yuca descrito en este trabajo, está basado en información recopilada por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, 1973), y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Aristizábal *et al.*, 2007).

10.1. Preparación del terreno

Se realizan dos pasos de rastra pesada, en cruz y un paso de rastra ligera, en suelos de sabana, cubiertos de pastos naturales, francos o franco arenosos. En suelos de pH ácido, por debajo de 5, tras la labor anterior se aplica una tonelada de cal viva por hectárea. Si se aplica carbonato de calcio, no se podrá realizar la siembra hasta después de 1 o 2 meses. En suelos francos o franco-arcilloso-limosos o ácidos, se realiza un paso de arado integral o de tiro, seguido del encalado y de dos rastreos livianos, o como alternativa, dos pasos de rastra pesada seguidos de dos pasos de rastra liviana.

10.2. Método de siembra, densidad y sistema de plantación

Se recomienda realizar la plantación al comienzo de la estación de lluvias. En aquellas zonas en las que llueve durante todo el año, se podrá planificar la plantación de acuerdo con las demandas del mercado o las necesidades de la industria.

Si el cultivo de la yuca es industrial es preferible hacerlo en camellones.

- ✚ En platabandas convexas, de dimensiones 1.60 x 1.80m de ancho sobre las que se plantan dos hileras de yuca. Cuando la precipitación anual superan los 1300 mm.
- ✚ En camellones, a una distancia de 0.80m, en suelos poco profundos o cuando hay riesgo de humedad permanente.
- ✚ En suelos planos, para suelos poco profundos y de estructura pobre. Es el más rápido y económico.

Tras varios estudios en los que se evaluó la orientación y el tamaño de la estaca, así como su profundidad en el rendimiento del cultivo, el sistema más indicado es el de orientación horizontal y con estacas de unos 15 cm y colocadas a una profundidad de 5 a 6 cm.

10.3. Marcos de plantación

En la producción de raíces reservantes para la industria se recomienda utilizar marcos 1.20 x 1.00 m, (8,300 plantas por ha⁻¹), ó 1.20 x 0.80 m (10.375 plantas ha⁻¹). Mientras que en la producción semimecanizada para casabe y almidón el marco es de 1.00 x 0.80 m (12,509 plantas por hectárea).

10.4. Limpias y escardas.

Las limpias se realizan cuando las plantas tienen entre 20-30 cm, siendo recomendable una segunda labor a los dos meses. En el caso que haya asociación de cultivos, se reducen estas labores, y en el caso que sean leguminosas no se realizan.

El aporcado se lleva a cabo a los 2 ó 3 meses del ciclo, en aquellos cultivos que no están mecanizados. Con esto se consigue que las raíces reservantes se puedan desarrollar bien, y se evita la acción perniciosa de los rayos solares, así como el ataque de roedores u otras plagas.

10.5. Fertilización o abonado

El exceso de nitrógeno disminuye el contenido de almidón y aumenta las sustancias proteicas de las raíces reservantes, lo cual influye en la producción de harinas integrales de yuca para alimentación animal, pero no para la producción de almidones para uso industrial.

Los abonos nitrogenados minerales pueden ser nítricos (nitrato potásico y nitrato amónico) o amoniacales. En general se prefiere estos últimos al nítrico. Para evitar la lixiviación, el nitrógeno se aplica en dos etapas: al momento de la plantación y a los 2 ó 3 meses de plantado el cultivo, siendo en esta última más recomendable la urea aplicada vía foliar. Los abonos nitrogenados orgánicos son: abonos verdes, los estiércoles y los restos vegetales. La concentración de nitrógeno de distintos fertilizantes es: Sulfato amónico 20.5%, Nitrato amónico 33.5 %, Urea 42-46%, y Amoniaco anhidro 82.0%. Todos en estado sólido, salvo el último que es en estado gaseoso.

El fósforo se utiliza en el proceso de fosforilación, mediante el cual se sintetiza el almidón. Los síntomas de la deficiencia de fósforo son enanismo y un color de las hojas verde oscuro. Es preferible aplicar fosfatos de calcio insolubles, en vez de superfosfatos de calcio triples en cultivos de ciclo de 16-24 meses. La concentración de P_2O_5 de distintos fertilizantes fosfatados es: Superfosfato triple 44-48%, Superfosfato simple 16-20%, Harina de huesos 23-25%.

El potasio influye en el rendimiento de las raíces reservantes y en el contenido en materia seca total. La deficiencia de este elemento provoca una coloración bronceada en las hojas con posterior quemadura de los bordes. Algunos autores lo han calificado como el principal elemento en el abonado. La concentración de K_2O de distintos fertilizantes potásicos es: Sulfato potásico 48-50%, Cloruro potásico 45%, Nitrato potásico 44%.

10.6. Control de maleza

El control de malezas de la yuca es esencial durante los primeros 4 meses ya que después la cobertura de su follaje logra hacer la suficiente sombra para evitar tener competencia. Si antes de la siembra ya se tiene un poco de maleza se debe de realizar una aplicación de un herbicida como Paraquat. El uso de herbicidas pre-emergentes va a depender del tipo de malezas presente. A continuación se da una lista de algunos herbicidas que se pueden utilizar.

- ✚ Lasso 48 EC (ALACHLOR) 3.0 L ha⁻¹
- ✚ Prowl 50 EC (PENDIMETHALINA) 1.5 L ha⁻¹
- ✚ Gesaprim 90 WG (ATRAZINE) 1.2 kg ha⁻¹
- ✚ Gesapax 80 WG (AMETRINA) 2.5 kg ha⁻¹
- ✚ Goal 24 EC (OXYFLUORFEN) 1.2 L ha⁻¹
- ✚ Karmex 80 WP (DIURON) 2.0 kg ha⁻¹
- ✚ Afalon 50 WP (LINURON) 2.0 kg ha⁻¹

La aplicación de estos productos se debe de realizar el día antes de la siembra o inmediatamente después de la siembra. Con la yuca brotada no se pueden aplicar estos herbicidas así que no deje la labor de aplicación de herbicidas para después. Se debe utilizar un volumen de 300 litros de agua por hectárea para tener menos error en la aplicación. La mayoría de los herbicidas sellantes no ocupan adherente y no son muy sensibles a los diferentes pH.

Los herbicidas post emergentes se pueden usar selectivos o no selectivos. Por lo general los selectivos son para control de gramíneas (zacates).

Selectivos:

- ✚ Fusilade 12.5 EC (FLUAZIFOP-P-BUTYL) 1.0 L ha⁻¹
- ✚ Select 24 EC (CLETHODIM) 0.4 L ha⁻¹
- ✚ Nabu-S 12.5 EC (SETHOXYDIM) 0.5 L ha⁻¹

No Selectivos:

- ✚ Gramoxone Super 20 SL (PARAQUAT) 2.0 L ha⁻¹
- ✚ Round-up 35.6 SL (GLYPHOSATO) 3.5 L ha⁻¹
- ✚ Finale 15 SL (GLUFOSINATO DE AMONIO) 3.0 L ha⁻¹

10.7. Control de plagas.

El taladrador de tallos y ramas (*Coelostermus sp.*).

Existen cinco especies de este género que ataca a la yuca. Las larvas hacen galerías que pueden llegar a los 13 mm. El mejor método de control es la rotación de cultivos y la utilización de material de propagación sano.

Gusano de la hoja (*Erinnyis ello*, Lepidoptera).

Es una plaga importante que ataca por toda América y acaba con las hojas de la yuca y otras plantas. Como control biológico se han indicado las especies *Trichogramma spp*, *Telenomus dilopphonotae* y *Telenomus monolicornis*; *Apanteles americanus*, *Apanteles flaviventris* y *Belvosia williamsi*.

Ácaros

Provoca decoloración y deformación de las hojas, llegando a la caída de las mismas. Desorganiza todo el proceso de crecimiento de la planta, provocando acortamiento de los nudos y la muerte en los extremos apicales, incluso en toda la planta. Se observa una mayor proliferación en la estación seca. Son enemigos naturales *Somatium spp*, *Karschomia spp* de *Tetranychus bimaculatus*.

10.8. Control de enfermedades.

Mancha parda de la hoja (*Cercospora henningsii*).

Es una de las enfermedades más importantes de la yuca. Los síntomas que provoca son manchas marrones, más definidas en el haz y menos en el envés. Las venas cercanas a las lesiones circulares pueden aparecer de color negro. Las hojas situadas en la parte baja de la planta son más susceptibles de ser atacadas. Para controlar la enfermedad, lo mejor es utilizar variedades resistentes al hongo.

Como control químico se recomiendan fungicidas a base de óxido de cobre y oxiclورو de cobre suspendidos en aceite mineral.

Mancha blanca de la hoja (*Cercospora caribae*).

Es una enfermedad frecuente en los periodos húmedos y frescos. Los daños que causan estas especies comienza por un amarillamiento en la hoja, en el centro aparece un color pardo en cuyo borde en ocasiones aparece una línea irregular pardo-violeta. En las hojas produce manchas irregulares, primero amarillas y posteriormente pardas de 5 a 10mm. El hongo penetra en la planta a través de los estomas, invadiendo posteriormente los espacios intercelulares. El hongo sobrevive en la época seca sobre los tejidos viejos infectados, para volver a iniciar su actividad en el periodo de lluvias. No se conoce ninguna variedad resistente específica.

Ceniza o mildiu (*Oidium sp*).

Esta enfermedad aparece en la época seca. La ceniza de la yuca está causada por *Oidium manihotis*. Ataca preferentemente a las hojas más desarrolladas. Provoca lesiones amarillentas en las que en ocasiones aparecen áreas necróticas de color marrón. Pudiendo llegar hasta provocar la defoliación de la planta. En cuanto al control de la enfermedad, existen variedades resistentes. También se recomienda la aplicación de productos a base de azufre por aspersión.

Añublo pardo fungoso (*Cercospora vicosae*).

Suele presentarse donde aparece la mancha parda. Los síntomas son manchas grandes de color marrón, siendo marrón grisáceo en el envés. Puede ocasionar defoliaciones severas en variedades susceptibles. No obstante, no es una enfermedad que ocasione grandes pérdidas. Para controlar la enfermedad se recomienda el empleo de variedades resistentes.

Pudrición seca del tallo y la raíz (*Diplodia manihotis*).

Aparece una pudrición radical que conlleva a la muerte de la planta. También ataca el material de propagación almacenado, sobre todo en condiciones de alta humedad relativa, y a los restos de tallos que se han dejado en el terreno. Para controlar la enfermedad se recomienda la rotación con cultivos como maíz o sorgo. Se deben utilizar estacas sanas en la plantación desinfectando adecuadamente las herramientas.

10.9. Riego

Sena y Campos (1973) realizaron estudios acerca de las exigencias hídricas de la yuca en Brasil, con una precipitación anual de 1,196 mm y una temperatura media de 24.4°C. Sometieron el cultivo a tres frecuencias de riego diferentes: cada 10, 14 y 18 días, más un testigo sin riego. El máximo rendimiento se obtuvo regando cada 14 días, seguido de cada 10 y por último cada 18. Las parcelas que no se regaron obtuvieron sólo el 20% de la producción correspondiente a las regadas cada 14 días. A pesar de ser un cultivo de temporal, la yuca no produce económicamente en condiciones de deficiencia de humedad.

10.10. Cosecha

Un indicador de que la yuca se encuentra próxima a la madurez es el agrietamiento del suelo alrededor de la planta. Suele cosecharse entre los 7 y los 10 meses, en función de la variedad. Es importante no adelantarse demasiado a la cosecha pues tendrá demasiado contenido en látex y no será apto para el consumo.

Entre los 12-24 meses del ciclo de cultivo es el período óptimo para la recolección de la yuca cuando su destino es la industria del almidón, pues es cuando se alcanza el máximo rendimiento en raíces.

La cosecha puede ser manual o mecánica; en ambos casos es importante no dañar las raíces. La cosecha manual, es la más común y resulta más sencilla en suelos con una textura arenosa a franca. Previo a la cosecha, los tallos se cortan

con un machete o una segadora rotativa, a una altura de 10-15cm. Se necesitan aproximadamente de 18 a 20 jornales por hectárea.

La cosecha semimecanizada se lleva a cabo con un arado de vertedera que abre los surcos a ambos lados del caballón, con el objeto de que sea más fácil el arranque de las raíces. Una vez arrancadas las raíces, es necesario cortar con un machete el pedúnculo para separarlas del esqueje plantado originalmente.

XI. MATERIAL GENÉTICO Y VARIEDADES DE YUCA

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) conserva en el Banco de Germoplasma *in vitro* la mayor colección de yuca del mundo 6,073 clones discriminados en 5,724 clones de *Manihot esculenta*, que incluyen cultivares primitivos, cultivares mejorados y material genético y 349 accesiones correspondientes a 33 especies silvestres. La conservación en el banco de germoplasma se basa en dos sistemas: en el campo e *in vitro*. Estas dos modalidades de conservación *ex situ* mantienen exitosamente las combinaciones de genes, sin cambios comprobados en la estabilidad genética de los clones (Aristizábal *et al.*, 2007). En el Cuadro 6 se ilustran algunas variedades de importancia económica.

Cuadro 6. Variedades de yuca de importancia económica.

País de liberación	Nombre de la variedad	Código CIAT o nombre local	Año de liberación	Rasgos importantes
México	Costeña	MMex 59	1981	Tolerancia de la sequía; alto rendimiento
Cuba	CMC 40	MCol 1468	1981	Maduración temprana, alto rendimiento
Colombia	ICA-Negrita	CM 3306-4	1993	Alto rendimiento; alto contenido de almidón
Colombia	Corpoica-Reina	CM 6740-7	2000	Alto rendimiento; resistencia a CBB
Colombia	Corpoica-Colombiana	CM 3306-19	2000	Alto rendimiento; alto contenido de almidón
Colombia	Nataima-31	CG 489-31	2003	Resistencia a mosca blanca, doble propósito (consumo humano y agroindustria)
Colombia	Corpoica-Ginés	CM 4843-1	2004	Alto rendimiento

XII. AGROINDUSTRIA, PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS DE LA YUCA

De la planta de yuca se extraen diversos productos relacionados con la alimentación, la medicina, la industria, la minería, etc. En el Cuadro 7, se enlista una serie de productos donde interviene ya sea como materia prima principal o bien como producto secundario.

Un estudio realizado por la FAO en el 2006 sobre los posibles mercados de yuca revela, que los países tropicales importan anualmente almidón de maíz y sus derivados por un valor superior a 80 millones de dólares. En muchos países, señala el estudio, casi todas estas importaciones podrían sustituirse con almidón de yuca local o, más sencillamente, incluso con harina de yuca de buena calidad.

Cuadro 7. Productos donde se emplea el cultivo de la yuca.

Alimentación:	En repostería, dulcerías, rellenos, saborizantes, sopas, pan.
Adhesivos:	Goma de cola de fusión, estampillas, encuadernación, sobres etiquetas.
Explosivos:	Adhesivo para la cabeza de fósforo.
Papel:	Recubrimiento de papel, pañales desechables.
Construcción:	Aglutinantes para tabiques de concreto, adhesivo para la madera laminada.
Metal:	Adhesivo de metal poroso, aglutínate para núcleos de fundición.
Textiles:	Acabado de telas estampados, película de plástico biodegradable, baterías secas, como aglutinante de materia primas en la fabricación de aislante de asbesto y corcho.
Cosméticos:	Maquillajes, cremas faciales, como agente espesante en la fabricación de tintes, pinturas, uñas artificiales.
Farmacéuticos:	Revestimiento de capsulas, agentes dispersantes.
Minería:	Separación de materiales por flotación y sedimentación.
Aplicaciones médicas*	Artículos para ortodoncia, como cables y espumas para intervenciones endovasculares Microelementos para sutura inteligente. Agujas intravenosas que se ablandan en el cuerpo y aparatos para laparoscopia Sistemas de liberación de drogas Implantes degradables en el cuerpo para cirugías de invasión mínima. Suelas internas de zapatos para necesidades especiales u ortopédicas. Utensilios para personas con alguna discapacidad . Catéteres intravenosos.
Otros:	Como aglutinante en la fabricación de crayones, en la fabricación de fibra de vidrios.

Fuente:<http://www.universia.net.co/investigacion/destacado/patente-para-plastico-de-almidon-de-yuca.html>nte:
<http://www.quiminet.com/pr7/ALMIDON%2BDE%2BYUCA.htm#m-noticia>*

Otra importancia económica que ha despertado este cultivo a nivel mundial es la producción de biocombustible, por ejemplo: En Tailandia la empresa petrolera principal realizó un estudio de viabilidad para construir una fábrica que utilice la yuca para producir un millón de litros de etanol diarios, y recientemente Nigeria anunció un ambicioso programa para producir combustible biológico de etanol a partir de la yuca (FAO, 2006).

En cuanto a la alimentación animal, existen dos factores principales que permiten considerar a la yuca como un recurso de gran valor para la alimentación animal en el trópico. Es un producto de gran versatilidad en cuanto a sus

posibilidades de uso como alimento de animales rumiantes y monogástricos; se puede usar en estado fresco o seco en forma de harina, comprimidos o gránulos. Igualmente se puede utilizar de ella la cáscara, el bagazo, la mancha y otros subproductos de la industrialización.

XIII. MERCADO MUNDIAL DE LA YUCA

El mercado de la yuca ya sea como producto fresco, congelado, almidón, harina, etc., se concentra principalmente en el continente asiático, especialmente en China que acapara el 53% del mercado mundial en cuanto al comercio del almidón de yuca se refiere. En Europa las importaciones obedecen más como suministro de forrajes para la alimentación animales; aunque países como Italia y España la demandan para consumo en fresco. En América, Estados Unidos es el mayor importador de yuca fresca con 21,590 toneladas, las cuales provienen de 21 países. Los principales mercado en la Unión Americana son: Boston, Chicago, Filadelfia, Miami, New York y los Ángeles.

XIV. 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 yuca 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.*, 1999). Derivado de ello la FAO desarrolló el programa de computo AEZWIN que integra todo lo anterior y que se puede adquirir en el portal de la FAO (www.fao.org).

En la Figura 1 se esquematiza de manera sucinta la metodología de la zonificación agroecológica (FAO, 1981) utilizada en el cultivo de yuca.

El mencionado esquema 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?



Figura 1. Metodología simplificada de la zonificación agroecológica para el cultivo de yuca.

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).

XV. SELECCIÓN Y REQUERIMIENTOS BIOCLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE YUCA

Las variables principales que se consideraron para determinar las zonas con alto potencial productivo en el cultivo de yuca fueron: clima y suelo por la relación directa guardan con el rendimiento del cultivo. Dentro de las variables bioclimáticas se analizaron cinco elementos climáticos y ocho propiedades edafológicas (físicas y químicas) (Cuadro 8). 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 8. Variables seleccionadas para definir áreas de alta potencialidad para el cultivo yuca 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 yuca.

15.1. Inventario climático

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

15.1.1. 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 °C/100 m de elevación, con el trazo de isolíneas. Es importante mencionar que para el estado de Tabasco no hubo problemas en la clasificación del clima porque es similar en toda la región.

15.1.2. 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 la yuca.

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 *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.

15.2. Inventario edafológico

15.2.1. 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 las que se muestran en el Cuadro 8. 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 la yuca.

15.3. Fuentes de información

15.3.1. 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, del banco de datos histórico nacional del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2005). De las cuales se

seleccionaron las 35 estaciones meteorológicas que cumplieran con los requisitos mencionados en el apartado XV.

15.3.2. Información edafológica

Se utilizó la información reportada en el 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 Unidas para la Agricultura y la Alimentación y Organización de la Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y la Cultura (FAO/UNESCO) Palma *et al.*, (2007).

15.3.3. 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 yuca, las cuales se denominan áreas con alto potencial productivo.

XVI. ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO POTENCIAL PARA EL CULTIVO DE YUCA

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 de la yuca en Tabasco.

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

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

Donde:

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

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

Hi = Índice de cosecha (adimensional)

La biomasa neta (Bn) se entiende como la materia seca total y el rendimiento (Y) como la materia seca económicamente aprovechable que 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).

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

Donde:

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

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

Donde:

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

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

Donde:

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

También se reportan en tablas los valores de bc y bo para plantas con una fotosíntesis máxima (P_m) de $20 \text{ kg CH}_2\text{O ha}^{-1} \text{h}^{-1}$, 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

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

bo = 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.

bc = 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 ($\text{IAF} \geq 5$)

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 utilizada fue de 5.0 (Cock y El-Sharkawy, 1988)

$\log_{10}(\text{IAF})$ se obtiene de gráfica.

N = Duración del ciclo del cultivo (365 días). (FAO, 1994).

Ct = Coeficiente de respiración (Rm). Este coeficiente se calcula con la ecuación (7).

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

C_{30} = 0.0108 para cultivos como la yuca que no son 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 (H_i) del cultivo de yuca. El valor de H_i del cultivo de yuca utilizado fue de 0.50, el cual fue obtenido de (El-Sharkawy, 2007).

XVII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

Desde el punto de vista climático (temperatura y precipitación) el estado de Tabasco cuenta con 1,474,490 ha aptas para cultivar yuca (Anexo 3). El resto del estado no es apto; esto debido a que presenta zonas con requerimientos hídricos menores a las demanda fisiológica de la planta. Por otra parte también presenta zonas con precipitaciones que dificultarían el desarrollo de la raíz tuberosas de la planta, asimismo, también existen zonas que presentan períodos de crecimientos

menores a los 300 días que requiere como mínimo el cultivo para obtener rendimientos económicamente rentables (Bramao y Lemon 1960).

En cuanto, a los requerimientos de suelo para el cultivo de yuca, el estado de Tabasco cuenta con 30 subunidades de suelo aptas para este cultivo, que en conjunto suman una superficie de 685,403 hectáreas, las cuales se mencionan a continuación: Fluvisol Éutrico (FLeu), Fluvisol Éutrico, Vertisol Crómico (FLeu, VRcr), Cambisol Dístrico (CMdy), Cambisol Crómico (CMcr), Luvisol Crómico (LVcr), Luvisol Crómico, Acrisol Plíntico (LVcr, ACpl), Luvisol Crómico, Alisol Gléyico (LVcr, ALgl), Luvisol Háptico (LVha), Arenosol Hipoluvico (ARlww), Ferralsol Ródico (FRro), Regosol Dístrico (RGdy), Acrisol Húmico (AChu), Acrisol Húmico, Acrisol Gléyico (AChu, ACgl), Acrisol Húmico, Acrisol Plíntico (AChu, ACpl), Acrisol Húmico, Gleysol Plíntico (AChu, GLpl), Acrisol Gléyico (ACg), Acrisol Plíntico (ACpl), Acrisol Plíntico, Acrisol Gléyico (ACpl, ACgl), Acrisol Plíntico, Alisol Férrico (ACpl, ALfr), Acrisol Férrico (ACfr), Acrisol Háptico (ACha), Alisol Húmico (ALhu), Alisol Húmico, Alisol Gléyico (ALhu, ALgl), Alisol Húmico, Alisol Plíntico (ALhu, ALpl), Alisol Férrico (ALfr), Alisol Férrico, Alisol Háptico (ALfr, ALha), Alisol Férrico, Gleysol Mólico (ALfr, GLmo), Alisol Háptico (ALha), Plintosol Éutrico (PTeu) y Plintosol Úmblico (PTum).

Estas subunidades de suelo, son las que cumplieron con las variables edáficas (química y física) del Cuadro 8, que exige como mínimo el cultivo de yuca, para alcanzar rendimientos aceptables en el tubérculo y que se reportan en el Anexo 2. El resto de la superficie de Tabasco, no presenta suelos aptos para este cultivo. Por ejemplo la unidad de suelos Histosoles (Hs) que abarca una superficie de 90,581.87 ha son suelos inundables, no aptos para cultivar este tubérculo

El análisis edafoclimático (clima y suelo) muestra que el estado de Tabasco, cuenta con una superficie potencial de 476,617 hectáreas para cultivar yuca, que se distribuyen en trece municipios del estado de Tabasco (Figura 2), de las cuales

el 70% de ellas se concentran en cuatro municipios que se jerarquizan a continuación: Huimanguillo (171,124 ha), Balancán (70,386 ha) Tenosique (50,348 ha) y Macuspana (41,337 ha). En la Figura 3 se ilustran las zonas de color café claro con alto potencial productivo para producir yuca en el estado de Tabasco.

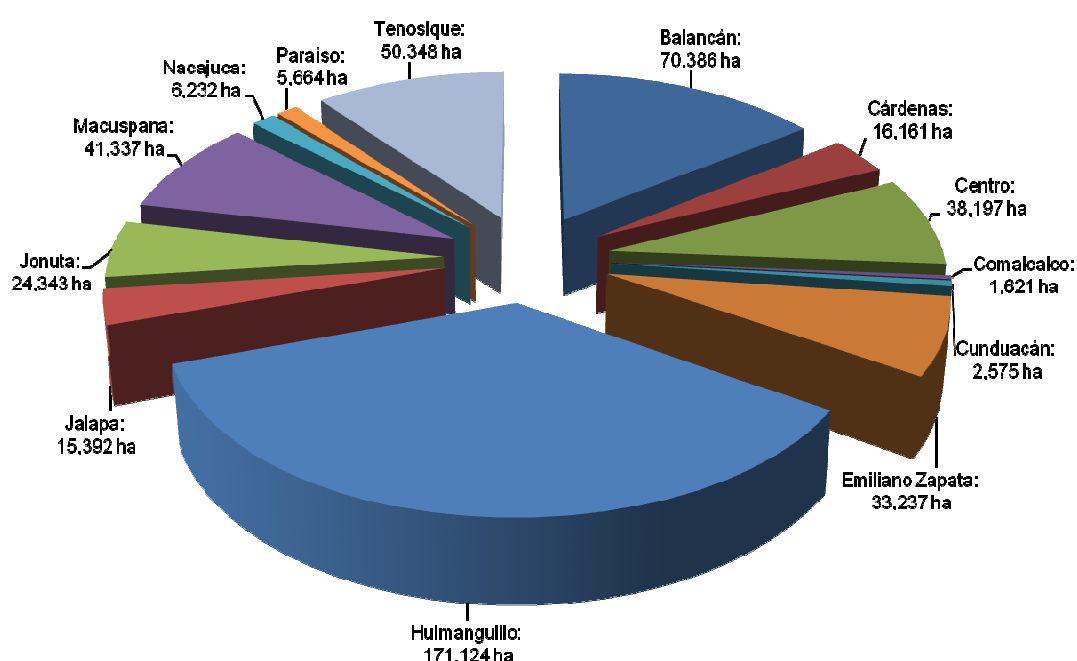


Figura 2. Superficie por municipio con alto potencial para cultivar yuca en el estado de Tabasco.

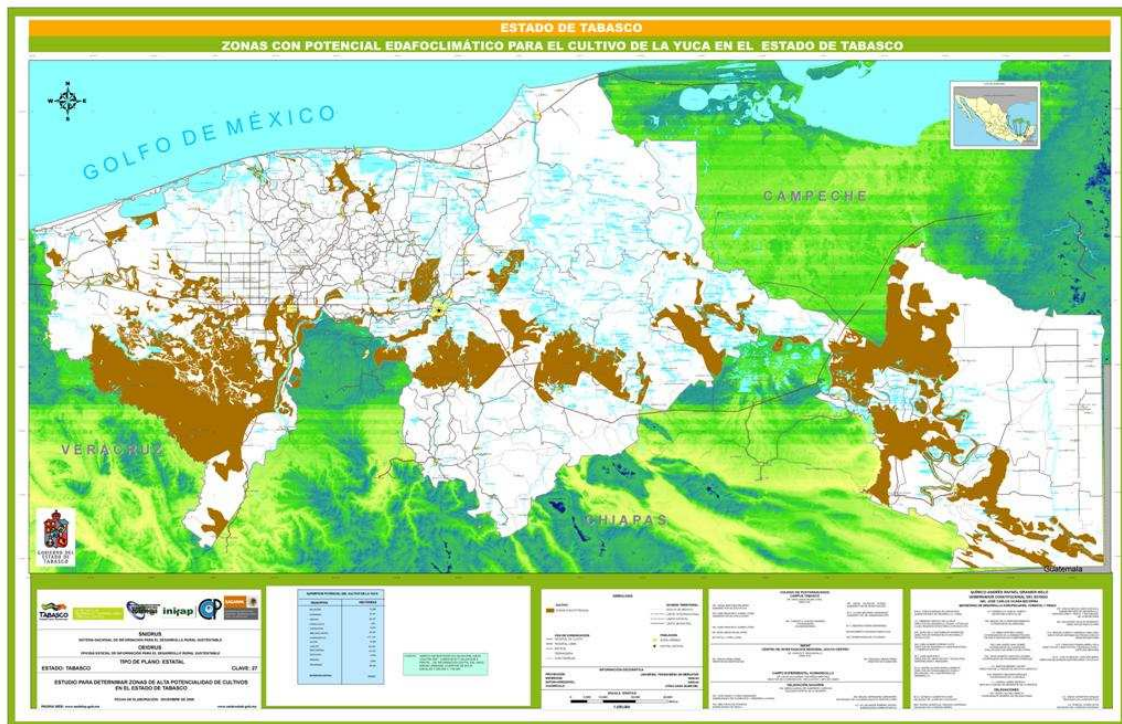


Figura 3. Distribución geográfica de la superficie con alto potencial productivo para el cultivo de la yuca en el estado de Tabasco.

El rendimiento potencial para el cultivo de la yuca para el estado de Tabasco es de 42.3 t ha^{-1} . Estos rendimientos fueron estimados para plantaciones con 12 meses de edad provenientes de material vegetativo por estacas, con una distancia de siembra de $1 \times 0.80 \text{ m}$, lo que equivale a obtener una densidad de 12,500 plantas por hectárea. Dichos rendimientos estimados son superiores al promedio nacional en la modalidad de temporal y de riego que son de 13.57 t ha^{-1} , y 16.75 t ha^{-1} respectivamente. Sin embargo, el estado de Michoacán reporta rendimientos de 30 t ha^{-1} en la modalidad de temporal y de 35 t ha^{-1} en la de riego. (SIAP-SAGARPA, 2009).

Los rendimientos estimados para el estado de Tabasco, superan en 30.11 t ha^{-1} a los obtenidos en el 2008 que fueron de 12.19 t ha^{-1} (SIAP-SAGARPA, 2009). Lo anterior indica que es necesario aumentar los esfuerzos en materia de investigación agronómica en este cultivo, o bien transferir los

conocimientos generados en los centro de investigación, para incrementar los rendimientos en campo.

La radiación global en el estado de Tabasco, presenta una variación muy pequeña, ya que las tierras continentales del estado de Tabasco son en su mayoría planicies, por ello los rendimientos estimados son similares en todo el territorio tabasqueño.

XVIII. CONCLUSIONES

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

- ✚ El estado de Tabasco, tiene un potencial climático (temperatura y precipitación) de 1,474,490 hectáreas para cultivar yuca.
- ✚ El potencial edafológico del estado de Tabasco, para el cultivo de la yuca es de 685,403 hectáreas.
- ✚ La superficie con alto potencial edafoclimático (clima y suelo) para cultivar yuca en el estado de Tabasco es de 476,617 hectáreas.
- ✚ El principal factor ambiental que más limita el potencial productivo para el cultivo de la yuca en el estado de Tabasco es el factor suelo.
- ✚ Los rendimientos potenciales esperados para el cultivo de la yuca en el estado de Tabasco son de 42.3 t ha⁻¹.
- ✚ El 70% de la superficie con alto potencial edafoclimático se concentran en cuatro municipios: Huimanguillo (171,124 ha), Balancán (70,386 ha) Tenosique (50,348 ha) y Macuspana (41,337 ha).
- ✚ Las fechas de siembra para este cultivo son del 25 de mayo al 30 de agosto.

XIX. BIBLIOGRAFÍA

- Aceves-Navarro, L. A.; Arrieta-Rivera, A. y Barbosa-Olán, J. L. 2008. Manual de AGROCLIM 1.0. Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas Tabasco. 28 p.
- Acosta, E. J. 1979. Marco de Referencia del Cultivo de la Yuca. SARH/CAEHUI. Huimanguillo, Tabasco. México. 25 p.
- Almeida, P. 1979. Requisito climáticos para o cultivo da mandioca e sua influencia sobre toxicidades. Pesquisa Agropecuaria. Pernambuco. Recife. Brasil 3(2): 193-208.
- Anónimo (s/f). Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural de Bolívar. Ficha Técnica para el Cultivo de Yuca. Disponible en:
<http://www.angelfire.com/planet/agribolivar/YUCA>
- Aristizábal, J.; Sánchez, T y Mejía, L.D. 2007. Guía Técnica para la Producción y Análisis de Almidón de Yuca. Boletín de Servicios Agrícolas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) No. 163, p. 2.
- Bolhuis, G. G. 1996. Influencia of length of the illumination period in root formation in cassava (*Manihot utilissima*). Poht. Neth. J. Agric. Sci. Vol. 14. (4).
- Bramao, D. L y Lemon, P. 1960. Soil map of South America. Madison 7 th inter. Congr. Soil. Sci. Trans. (4): 1-10.
- CIAT, (Centro Internacional de Agricultura Tropical - Coordinadoría de Asistencia Técnica Integral) 1973. Mandiaca. Informacoes importantes; Institucoes Practicas. Sau Paulo, Brasil. 18 p.

- Cock, J. H y El-Sharkawy, M. A. 1988. Physiological characteristics of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) 2. Initial products of 14 CO₂ fixation. *Photosynthesis Research* (12)237-241.
- Domínguez, C. 1980. Yuca. Investigación, Producción y Utilización. Compilaciones de Cursos de Capacitaciones de Yuca en el Centro Internacional de Agricultura Tropical. Asunción Paraguay. 87 p.
- El-Sharkawy, M. A. y J.H. Cock, 1987a. Response of cassava to water stress. *Plant and Soil*. (100):345-360.
- EL-Sharkawy, M.A. y J.H. Cock 1987b. C₃–C₄ intermediate photosynthetic characteristics of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). I. Gas exchange. *Photosynth. Res.* 12: 219–235.
- EL-Sharkawy, M. A. 2007. Physiological characteristics of cassava tolerance to prolonged drought in the tropics: Implications for breeding cultivars adapted to seasonally dry and semiarid environments. *Braz. J. Plant Physiol.* 19 (4) 257-286.
- 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, 1978. Agroecological Zones Project. World Soil Resources. Report Num. 48. Vol. 1, Africa. 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 N0. 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-FIDA. 2000. La Economía Mundial de la Yuca. Hechos, Tendencias y Perspectivas. Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Rome. 56 p.

FAO. 2006. El mercado de almidón añade valor a la revista. *Disponible In:* enfoque. yuca <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0610sp1.htm>.

FAO. 2008. Yuca para la seguridad alimentaria y energética. *Disponible In:* <http://www.fao.org/newsroom/ES/news/2008/1000899/index.html>.

FAOSTAT. 2009. Bases de datos estadísticos de la organización FAO. FAOSTAT-Agricultures. (En red) Disponible en: <http://www.faostat.fao.org/site/408/default.aspx>. Última modificación 24 de abril 2006.

Fischer, G.; Granat, J y Makowski, M. 1999. AEZWIN An interactive multiple-criteria analysis tool for land resources appraisal. World Soil Resources Reports 87. Food and Agriculture Organization of the United Nations. International Institute for Applied Systems Analysis. 91 p.

García, J. 1975. Zonificación agroecológica para el cultivo de la yuca. Agricultura Tropical. Venezuela. VIII (4): P. 145-186.

IMTA, (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 2003. ERIC III. Extractor Rápido de Información Climatológica v.1.0. 2007.

Jennings, D. L. 1979. Cassava. In: *Evolution of Crop plants*. (Ed. N.W. Simmonds). Longman, London. pp. 81-84.

- Kawano, K. 2003. Thirty years of cassava breeding for productivity-biological and social factors for success. *Crop Sci.* 43:1325-1335.
- Lardizábal, R. 2002. Manual de producción de yuca Valencia. Centro de Desarrollo de Agronegocios. Fintrac CDA. La Lima, Cortez, Honduras. pp. 1-17.
- Menezes, D. M. 1971. Época de plantío e colhita de mandioca in: Reunião da Comissão Nacional de Mandioca, 5ed. Sete Lagoas. pp. 59-62.
- Molina, J. L. y EL-Sharkawy, M. A. 1995. Increasing crop productivity in cassava by fertilizing production of planting material. *Field Crops Res.* (44) 151-157.
- Montalvo, A. 1985. La Yuca Mandioca. Cultivo, industrialización, Aspecto Económico, Empleo en la Alimentación y Mejoramiento. IICA. San José, Costa Rica. 386 p.
- Mosqueda, R. V. 1996. El cultivo de la yuca en la costa sur del golfo de México. *Novedades Hortícolas.* 11 (1-4): 9-12.
- Olsen, K. M. 2004. SSRs and inferences on cassava's origin. *Plant Molecular Biology* 56, 517-526.
- Olsen, K. y Schaal, B. 2001. Microsatellite variation in cassava *Manihot esculenta*, Euphorbiaceae and its wild relatives: evidence for a southern Amazonian origin of domestication. *American Journal of Botany* 88, 131-142.

- 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.
- Papadakis, J. 1966. El Clima; con Referencia al Clima de América Latina y su Potencial Agropecuario. ALBATROS. Buenos Aires, Argentina. 377 p.
- Peralta-Gamas, M.; Jiménez-Jiménez, R.; Martínez-Gallardo, J.B.; Castro, F.C.R.; Bautista-Bautista, E.; Rivera-Hernández, B.; Pascual-Córdova, A.; Caraveo-Ricardez, A.C 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. 243 p.
- Rodríguez, N. F. y C. A. Sánchez. 1963. Importancia del tipo de estaca para la producción de mandioca en Misiones. Revista de Investigaciones Agrícolas 17(3):289-302.
- Sánchez, E.D.; Acosta, E.J.; Rodriguez, C.M y Olivera, S.A. 1999. Manual para Producir Forraje de Yuca *Manihot esculenta* Crantz, en Tabasco. INIFAP-Campo Experimental Huimanguillo. Huimanguillo Tabasco, México. Libro técnico Num. 3/ Discusión agrícola. 95 p.
- Sena, Z. F. y H. R. Campos. 1973. Frequencia de Irrigacao no cultivo de Mandioca (*M. esculenta* Crantz). Cruz das Almas 1(1):21-38. (Serie Pesquisa).
- SIAP-SAGARPA. 2009. Servicio de información agroalimentaria y pesca-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible en: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>

Tijerina-Chávez L.; Ortiz-Solorio C.; Pájaro-Huertas D.; Ojeda T. E.; Aceves-Navarro L y Villalpando-Barriga O. 1990. Manual de la metodología para evaluar la aptitud de las tierras para la producción de los cultivos básicos, en condiciones de temporal. Colegio de Postgraduados. Programa de Agrometeorología. SARH. Montecillo México 113 p.

William, C. N y Joseph, K. T. 1970. Climate, Soil and Crop Production in the Humid Tropic. Kuala Lampur, Oxford University Press. 177 p.

XX. 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 2. Requerimientos bioclimáticos del cultivo de yuca (FAO, 1994).

	Óptima		Absoluta		Suelo	Óptima	Absoluta
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima			
Requerimientos de temperatura	20	29	10	35	Profundidad	Media (50 a 150 cm)	Media (50 a 150 cm)
Lluvia anual	1000	1500	500	5000	Textura	Media, ligera	Pesada, ligera , media
Latitud	-	-	25	30	Fertilidad	Moderada	Baja
Altitud	-	-	-	2000	Toxicidad al aluminio	-	-
pH del suelo	5.5	8	4	9	Salinidad	Baja (<4 dS/m)	Baja (4dS/m)
Intensidad de la luz	Cielo muy brillante	Cielo muy brillante	Cielo muy brillante	Cielo nublados	Drenaje	Buen drenaje	Seco

Anexo 6. Análisis químico de los suelos

SUBUNIDAD: Fluvisol Eútrico (FLeu)

Horizonte	T E X T U R A		pH H ₂ O	M.O. %	cmol (+) kg ⁻¹			P. asim mg kg ⁻¹	C.C. %	P.M.P. %	D.A. Mg m ⁻³
	A%	L%	R%		CIC	Ca	Na				
A1	46.1	16.3	37.6	6.3	2.52	16.75	7.30	0.54	0.46	2.62	33.10
C	43.2	29.9	26.9	6.3	0.28	12.87	6.94	0.65	0.27	0.70	-
2C1	92.3	4.8	2.9	6.4	0.42	3.37	1.27	0.41	0.13	8.05	-
2C2	94.3	1.8	3.9	6.7	0.49	2.87	0.82	0.30	0.10	4.55	-
2C3	96.3	1.8	1.9	6.7	2.81	2.0	1.80	0.22	0.06	5.25	-

SUBUNIDAD: Plintisol Umbrico (PTum)

Horizonte	T E X T U R A		pH H ₂ O	M.O. %	cmol (+) kg ⁻¹			P. asim mg kg ⁻¹
	A%	L%	R%		CIC	Ca	Mg	
A1	63.24	15.44	21.31	5.0	3.53	1.95	0.17	0.45
Cg	59.08	18.88	22.03	5.0	8.12	1.33	0.69	0.57
								0.11
								0.33
								9.06
								2.44

SUBUNIDAD: Plintosoles Eútricos (PTeu)

Horizonte	Prof. cms.	T E X T U R A		pH H ₂ O	M.O. %	cmol (+) kg ⁻¹			P. asim mg kg ⁻¹
		A%	L%			C.I.C.	Ca	Mg	
A1	0-33	80.4	4.0	15.6	6.4	1.67	3.32	1.98	0.7
B1	33-55	80.4	4.0	15.6	6.5	0.15	2.64	1.521	0.8
Btg2	55-(+130)	72.4	2.0	25.6	5.7	0.33	6.80	2.69	2.2
									0.08
									0.04
									2.2
									0.8

SUBUNIDAD: Acrisoles húmicos (AChu)

Horizonte	T E X T U R A				R%	pH H ₂ O	M.O. %	cmol (+) kg ⁻¹				P. asim mg k ⁻¹
	A%	L%	L%	A				CIC	Ca	Na	K	
A1	61.8	17.4			20.7	5.6	3.4	14.6	2.06	0.71	0.26	†
A2	59.1	18.8			22.0	5.7	1.3	7.3	1.44	0.24	0.27	†
Bt1	51.0	14.8			34.0	4.9	0.8	10.9	1.85	0.22	0.23	†
Bt2	56.6	10.0			33.3	5.3	0.4	13.8	1.54	0.53	0.23	†
Bt3	52.5	10.7			36.7	5.0	0.2	17.2	1.97	0.32	0.20	†

SUBUNIDAD: Acrisoles Gléyicos (ACgl)

Horizonte	T E X T U R A				R%	pH H ₂ O	M.O. %	cmol (+) kg ⁻¹				P. asim mg k ⁻¹	D.A. Mg m ⁻³
	A%	L%	L%	A				CIC	Ca	Mg	Na	K	
A1	39.8	33.9	27.2		5.6	5.6	2.3	17.2	.59	.59	-	.01	0.00
B1	32.8	25.0	42.2		5.3	5.3	0.8	22.8	.44	.64	-	.01	0.00
Btg2	30.8	24.0	45.2		5.2	5.2	0.2	25.0	.39	1.0	-	.01	0.00
Btg3	18.8	18.0	63.2		4.9	4.9	0.3	31.2	1.39	1.6	-	.02	0.06
													1.45
													1.50
													1.60
													22.8
													1.91

SUBUNIDAD: Acrisoles plínticos (ACpl)

Horizonte	T E X T U R A				R%	pH H ₂ O	M.O. %	cmol (+) kg ⁻¹				P. asim mg k ⁻¹
	A%	L%	L%	A				C.I.C.	Ca	Na	K	
A1	69.2	13.4			17.3	4.6	2.3	9.7	1.3	0.11	0.26	†
A2	67.4	12.7			19.8	5.2	1.5	8.5	1.6	†	0.12	-
Bt1	67.2	9.4			23.3	4.9	0.4	8.0	1.0	0.23	0.47	†
Bt2	67.2	5.4			27.3	4.7	0.4	12.7	1.0	0.13	0.37	†
C	61.7	1.5			36.7	5.2	0.2	17.9	1.4	0.24	0.23	†

SUBUNIDAD: Acrisoles Férricos (ACfr)

Horizonte	T E X T U R A		R%	pH H ₂ O	M.O. %	cmol (+) kg ⁻¹				P. asim mg kg ⁻¹
	A%	L%				CIC	Ca	Mg	Na	
A1	73.4	6.1	20.5	5.3	3.9	13.2	1.2	0.4	0.66	5.3
A2	72.2	6.3	21.5	5.2	0.1	7.9	0.6	1.2	0.52	3.2
B1	71.0	5.5	23.5	5.2	-	9.1	0.6	0.8	0.59	1.9
Bt2	68.4	3.1	28.5	5.2	1.3	12.9	0.6	1.2	0.87	2.6
Bt3	70.2	2.6	27.2	5.2	†	17.0	0.8	1.0	0.91	4.0
C	68.0	5.3	26.7	5.2	†	16.5	0.4	1.0	0.45	1.9

SUBUNIDAD: Luvisoles Crómicos (LVcr)

Horizonte	T E X T U R A		pH H ₂ O	M.O. %	cmol (+) kg ⁻¹				P. asim mg kg ⁻¹	C.C. %	P.M.P. %	D.A. Mg m ⁻³
	A%	L%			CIC	Ca	Mg	Na				
A1	77.1	2.6	20.3	6.5	1.98	8.22	5.25	1.07	0.13	7.24	-	1.26
A2	81.3	4.4	14.3	6.3	0.80	4.31	2.73	0.16	0.08	7.31	-	1.29
Bt1	70.1	2.8	27.1	5.1	0.93	11.17	5.04	2.57	0.22	19.27	-	1.31
Bt2	67.9	4.8	27.3	5.3	0.19	10.94	3.57	1.86	0.16	17.68	-	1.35

SUBUNIDAD: Luvisoles Háplicos (LVha)

Horizonte	T E X T U R A		R%	pH H ₂ O	M.O. %	cmol (+) kg ⁻¹				P. asim mg kg ⁻¹
	A%	L%				CIC	Ca	Mg	Na	
A1	59.8	24.0	16.22	5.5	1.72	5.6	3.57	1.19	0.165	7.86
B1	57.5	24.4	18.2	5.6	0.78	8.19	3.80	2.49	0.165	3.63
Bt2	51.8	12.0	36.2	6.6	0.60	25.678	11.66	11.18	0.530	1.12
Btg3	48.0	18.0	34.0	6.7	0.134	43.005	20.82	20.70	0.750	†

SUBUNIDAD: Alisoles Férricos (ALfr)

Horizonte	T E X T U R A				pH H ₂ O	M.O. %	-		cmol(+) kg ⁻¹				
	A%	L%	U	R			C.I.C.	Ca	Mg	Na	K		
A	55	12			33	5.0	4.14	13		2.89	2.80	0.06	0.92
Bt1	47	9			44	4.6	0.68	23		0.93	0.59	0.16	0.14
Bt2	51	7			42	4.8	0.55	30		0.50	0.31	0.23	0.12