

**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**  
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS TABASCO**

POSTGRADO DE PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**TIERRAS CON APTITUD PARA EL RIEGO EN PALMA DE ACEITE  
(*Elaeis guineensis* Jacq)) EN DOS ÁREAS DE BALANCÁN Y  
TENOSIQUE, TABASCO.**

**RUBÉN JIMÉNEZ JIMÉNEZ**

T E S I S  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS**

H. CÁRDENAS, TABASCO

2009

La presente tesis, titulada: **Tierras con aptitud para el riego en palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq)**, en dos áreas de Balancán y Tenosique, Tabasco, realizada por el alumno: **Rubén Jiménez Jiménez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS  
PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:

  
\_\_\_\_\_  
DR. DAVID J. PALMA LÓPEZ

DIRECTOR:

  
\_\_\_\_\_  
DR. WILDER CAMACHO GHIU

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
DR. LORENZO A. ACEVES NAVARRO

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
DR. JOSÉ J. OBRADOR OLÁN

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
MC. FELIPE MIRAFUENTES HERNÁNDEZ

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
DR. EVERARDO ACEVES NAVARRO

H. Cárdenas, Tabasco, agosto de 2009



# TIERRAS CON APTITUD PARA EL RIEGO EN PALMA DE ACEITE (*Elaeis guineensis* Jacq) EN DOS ÁREAS EN BALANCÁN Y TENOSIQUE, TABASCO.

Rubén Jiménez Jiménez, MC.

Colegio de Postgraduados, 2009.

El presente trabajo fue llevado a cabo en la región de Los Ríos, en Balancán y Tenosique, Tabasco, en un área con aptitud para el cultivo de palma de aceite. Para llevar a cabo los análisis correspondientes, se digitalizaron 36 ortofotos que cubren el área de estudio tomadas en 2003. La información referente a la infraestructura de riego, los cuerpos de agua y los suelos con potencial para riego en el área de estudio fue recopilada e integrada en una base de datos y mapas para su integración al Sistema de Información Geográfica (SIG), con lo que 111 cuerpos de agua fueron delimitados. Las plantas de bombeo son la infraestructura de riego encontrada con mayor frecuencia (80%), seguido de los pozos profundos (20%). Asimismo, se encontró que 80% y 68% del total de plantas de bombeo y pozos profundos respectivamente, se encuentran activos. 16 muestras de agua fueron colectadas y analizadas y se encontró que el agua es de buena calidad y que puede ser usada para el riego de palma de aceite y de otros cultivos. 4 muestras de agua analizadas están condicionadas por la Relación de Absorción de Sodio (RAS), tres por cloruros, tres por boro y una más por el contenido de Carbonato de Sodio Residual (CSR). Por otro lado, para la clasificación de tierras con aptitud para el riego, 41 descripciones de perfiles de suelos fueron realizados, de los cuales, 16 fueron seleccionados para el análisis e interpretación mediante comparación morfológica de suelos por unidad cartográfica. Tres clases de tierras regables fueron identificadas. Considerando el tipo de suelo, agua, topografía y drenaje, no se encuentra ninguna limitante para la implementación del sistema de riego para el cultivo de palma de aceite en el área de estudio.

**Palabras clave:** Clasificación de aguas, clasificación de suelos, infraestructura de riego

LAND SUITABILITY FOR IRRIGATION IN OIL PALM (*Elaeis guineensis* Jacq) IN TWO  
AREAS OF BALANCAN AND TENOSIQUE, TABASCO.

Rubén Jiménez Jiménez, MC.

Colegio de Postgraduados, 2009

The present work was carried out in Los Ríos region in Balancán and Tenosique, Tabasco, an area with aptitude for oil palm cultivation. 36 ortophotos taken in 2003 and covering this area were digitized for further analysis. Information about the existent irrigation infrastructure, water bodies and soils with potential for irrigation was compiled and integrated into a data base and several maps, forming Geographical Information Systems (GIS). 111 water bodies were delimited. The pumping plants are the most frequently infrastructure for irrigation found (80%), just followed by deep wells (20%). 80% and 68% out of the total pumping plants and of deep water wells respectively are active. 16 water samples were collected and analyzed revealing that water is of good quality and could be used for irrigation of not only oil palm but also other crops. 4 analyzed water samples are conditional for SAR (Sodium Absorption Ratio), 3 samples for chlorides, 3 for boron and 1 for RSC (Residual Sodium Carbonate) content. On the other hand, 41 soil profiles were described according to the irrigation capability used for land classification, from which, 16 soil profiles were further analyzed. Three irrigable land classes were identified in the studied area. Considering the type of soils and water, topography and drainage in this region, the establishment of irrigations systems for oil palm cultivation would be feasible.

**Key words:** Water classification, soil classification, irrigation infrastructure.

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis:

A Dios, por darme una segunda oportunidad para vivir, por permitirme un logro más en mi vida y por darme las fuerzas necesarias para luchar día con día.

A mis hijos, fuente de inspiración Rubén, Ricardo y Alan Ernesto, por ser un reflejo de mi pasado y presente. Los amo.

A mi esposa Claudia por creer en mí, por apoyarme siempre.

A mi madre Olga, por ser mi ejemplo de superación. A mi padre Dorilián por ser mi amigo.

A mis hermanos y hermanas, por los buenos ratos.

A todas aquéllas personas que conspiran para que mis objetivos se cumplan.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente:

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haber financiado mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados Campus Tabasco por otorgarme un espacio en su recinto.

A los profesores que me impartieron cursos durante mi formación como Maestro en Ciencias, a ellos que han contribuido a ampliar mi perspectiva.

Al Dr. David J. Palma López, por la asesoría, apoyo, esfuerzo, dedicación, y tiempo brindado durante la realización del tema de investigación y la redacción de la presente tesis.

A los integrantes de mi consejo particular: Dr. Wilder Camacho Chiu, Dr. Lorenzo A. Aceves Navarro, Dr. José J. Obrador Olán, M.C. Felipe Mirafuentes Hernández y Dr. Everardo Aceves Navarro, por los acertados comentarios para la mejora de este escrito.

Al M.C. Joaquín A. Rincón Ramírez y M.C. Elvia Moreno Cáliz, por la asesoría prestada en múltiples ocasiones en las diferentes etapas del presente trabajo.

A la Generación 2006-2007 del PROPAT por haber caminado juntos este sendero.

Al Ing. Antonio López Castañeda por su apoyo, asesoría y amistad.

Finalmente, agradezco el apoyo de mi familia, a mis hijos y mi esposa, por el apoyo incondicional durante este y todos mis proyectos. Mil gracias.

## CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS. ....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS. ....	x
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN. ....	1
I.1 Introducción general. ....	1
I.2 Objetivo general. ....	4
I.3 Hipótesis general. ....	4
I.4 Estructura de la tesis. ....	5
I.5 Literatura citada. ....	5
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA. ....	7
II.1 Generalidades de la palma de aceite <i>Elaeis guineensis</i> Jacq. ....	7
II.2 Antecedentes del riego. ....	10
II.3 Base de datos. ....	17
II.4 Los Sistemas de Información Geográfica (SIG). ....	21
II.5 Calidad del agua para riego. ....	27
II.6 Interpretación de suelos con fines de riego. ....	31
II.7 Área de estudio. ....	37
II.8. Literatura citada. ....	43
CAPÍTULO III. INFRAESTRUCTURA DE RIEGO DE DOS ZONAS DE BALANCÁN Y TENOSIQUE, TABASCO INTEGRADA EN UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. ....	52
III.1. Introducción. ....	52
III.2. Materiales y métodos. ....	54
III.3. Resultados y discusión. ....	59
III.4. Conclusiones. ....	64
III.5. Literatura citada. ....	64

CAPÍTULO IV. CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO DE DOS ZONAS DE BALANCÁN Y TENOSIQUE, TABASCO CON POTENCIALIDAD PARA PALMA DE ACEITE. ....	66
IV.1. Introducción. ....	66
IV.2. Materiales y métodos. ....	68
IV.3. Resultados y discusión. ....	69
IV.4 Conclusiones. ....	77
IV.5 Literatura citada. ....	79
CAPÍTULO V. CLASIFICACIÓN DE TIERRAS CON APTITUD PARA EL RIEGO. ...	81
V.1. Introducción. ....	81
V.2. Materiales y métodos. ....	82
V.3. Resultados y discusión. ....	87
V.4 Conclusiones. ....	94
V.5 Literatura citada. ....	94
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES. ....	96
Conclusiones. ....	96
Recomendaciones. ....	97
ANEXOS. ....	98

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Condiciones edafoclimáticas para el cultivo de la palma de aceite. ....	10
Cuadro 2. Sistema de clasificación de agua para riego de acuerdo a Palacios y Aceves (1970). .....	31
Cuadro 3. Especificaciones para determinar la aptitud de las tierras para riego.	37
Cuadro 4. Principales cultivos en Balancán, Tabasco en 2005. ....	40
Cuadro 5. Principales cultivos en Tenosique, Tabasco en 2005. ....	42
Cuadro 6. Clasificación de la infraestructura de riego. ....	58
Cuadro 7. Clasificación de la infraestructura inventariada en el área de estudio de los municipios de Balancán y Tenosique, Tabasco. ....	60
Cuadro 8. Ubicación de las muestras de agua colectadas. ....	71
Cuadro 9. Resultados de laboratorio de las muestras de agua analizadas. ....	72
Cuadro 10. Cálculo de indicadores y clasificación de aguas. ....	73
Cuadro 11. Especificaciones generales para la clasificación de las tierras con aptitud para el riego. ....	85
Cuadro 12. Simbología utilizada en la clasificación de tierras. ....	86
Cuadro 13. Perfiles de suelos clasificados de Balancán. ....	90
Cuadro 14. Perfiles de suelos clasificados de Balancán y Tenosique. ....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Diagrama representativo de un pozo profundo típico del Plan Chontalpa, Tabasco. ....	14
Figura 2. Mapa del área de estudio. ....	38
Figura 3. Secuencia metodológica del trabajo realizado. ....	55
Figura 4. Diseño del formulario de la Base de Datos. ....	57
Figura 5. Mapa que muestra las parcelas de palma de aceite y la infraestructura inventariada. ....	61
Figura 6. Fuentes de abastecimiento de agua de los sitios de riego de Balancán y Tenosique, Tabasco. ....	62
Figura 7. Estado actual de los pozos profundos. ....	63
Figura 8. Estado actual de las plantas de bombeo. ....	63
Figura 9. Mapa que muestra las parcelas de palma de aceite, los sistemas de riego existentes y cuerpos de agua como posibles fuentes de agua para el riego. ....	70
Figura 10. Periodo de crecimiento húmedo para Tenosique, Tabasco. ....	87
Figura 11. Mapa de tierras con aptitud para riego. ....	93



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### I.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

La palma de aceite o palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq) es la segunda más importante fuente de aceite en el mundo, después de la soya. Su importancia radica en la gran variedad de productos que genera, los cuales se utilizan en la alimentación y la industria. Tanto el aceite de su pulpa como el de su almendra son empleados para producir margarina, manteca, aceite de mesa y de cocina, además de jabones y cosméticos (ANIAME, 2004).

México presenta un déficit en la producción de aceite vegetal, y para cubrir sus necesidades importa aproximadamente el 85% del consumo nacional total, principalmente como grano de soya, que presupone un valor cercano a mil millones de dólares al año. Esta situación se agudiza, debido a que la demanda tiende a crecer, mientras que la oferta a disminuir. En los últimos cinco años, la superficie dedicada al cultivo de soya en México, ha disminuido de 300 mil a 50 mil ha. En este contexto, la palma de aceite representa una excelente alternativa para contribuir a la disminución del déficit de aceite que se observa en el país. La palma de aceite produce 10 veces más, aceite que la mayoría de los cultivos oleaginosos. Además, los avances genéticos que se han registrado últimamente hacen que las diferencias en rendimiento sean cada vez mayores (FAO-SAGARPA/NAL/PAC, 2000).

Entre 1997 y 2001, la producción mundial de aceite de palma creció a una tasa de 6.3 %, siendo Malasia e Indonesia, los principales productores. Estos países vieron crecer sus niveles de producción a tasas de 8% y 7%, respectivamente, en el mismo periodo, Colombia ha incrementado su producción a una tasa de 7% en los últimos cinco años.

En México, la explotación de la palma de aceite es una actividad relativamente reciente, en 1952 el gobierno Mexicano importó 30,000 semillas de Honduras, mismas que fueron sembradas en la costa de Chiapas, con las cuales se establecieron las primeras 200 ha en la finca “La Lima”, municipio Villa Comaltitlán, en el predio del Sr. Juan Bernstorff. La palma de aceite forma parte del grupo de cultivos que han sido impulsados durante el proceso de diversificación de la estructura productiva en las regiones húmedas de Veracruz, Campeche, Tabasco y Chiapas como se menciona en el Plan Rector Palma de Aceite de Chiapas (SAGARPA, 2004).

Este programa, se inició ante la necesidad de disminuir el déficit de aceite y sus derivados que presenta México, el cual es de un millón de toneladas métricas al año, con la consecuente fuga de divisas. La palma de aceite es un cultivo eminentemente tropical que tiene un rendimiento de aceite mucho más alto que cualquiera de las demás oleaginosas (soya 296, algodón 192, ajonjolí 170, y coco 360 kg ha<sup>-1</sup>), siendo éste de 3,780 Kg ha<sup>-1</sup> (ANIAME, 2004).

Actualmente, se tiene un gran interés por parte de productores, técnicos y tomadores de decisión, en la creación de programas de impulso a la siembra de palma de aceite en México, sobre todo con miras a obtener los mejores rendimientos. Según los estudios realizados en palma de aceite los rendimientos altos, la regularidad de la fructificación y un buen contenido de aceite en los frutos, se obtienen en áreas que disponen de una precipitación anual elevada y distribuida uniformemente en el año. Después del clima, el suelo es el que determina la producción de palma de aceite, sobre todo en las regiones en donde el clima ya representa en si mismo limitaciones al cultivo (ANIAME, 2004).

En Tabasco se comenzó un vigoroso programa para el establecimiento de nuevas plantaciones de palma de aceite en 1997, y a partir de un estudio de gran visión a escala 1:250,000 realizado por la Fundación Produce Tabasco y el Instituto Para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco

(ISPROTAB), se sugieren tres grandes áreas de producción: Jalapa-Tacotalpa, Balancán-Tenosique y Huimanguillo (Gobierno del Estado de Tabasco, s/f).

La agricultura predominante en Tabasco es básicamente de temporal, en donde el éxito de las cosechas de los cultivos está fuertemente influenciado por las interacciones climáticas, debido al tipo de abastecimiento de agua. La interacción entre temperatura, precipitación, nubosidad y evaporación, prevalentes en Tabasco, definen tres épocas en el año denominadas: “secas”, “temporal” y “nortes”. La época de secas o sequía en el estado de Tabasco se caracteriza por las bajas precipitaciones y altas temperaturas se presenta entre marzo y mayo, con altos valores de luminosidad (594 horas totales) y alta evaporación (más de 363 mm totales) (Larios & Hernández, 1993).

La sequía es definida como un periodo en que la lluvia es escasa o insuficiente, que causa un considerable desbalance hidrológico y daños a los cultivos por deficiencia de agua. Ocurre cuando la evapotranspiración excede a la precipitación por un periodo considerable. Se han hecho esfuerzos para combatir la sequía sembrando nubes para inducir lluvia, pero ésta práctica no ha resultado satisfactoria (Tijerina, 1996). El mismo autor menciona que en las zonas de climas húmedos y subhúmedos, la sequía es impredecible e involucra una anomalía en la ocurrencia de la lluvia y puede ocurrir en cualquier lugar, puede ser breve e irregular y afectar áreas muy localizadas.

El efecto de la sequía resulta en pérdidas directas debidas a los bajos rendimientos de los cultivos, deterioro de pasturas y muerte de ganado, lo que trae como consecuencia la reducción de los ingresos de la mayoría de los productores agrícolas. Dentro de las alternativas que actualmente se están practicando para contrarrestar dichos efectos, se encuentra el establecimiento de abastecimientos emergentes de agua (riego), perforaciones de pozos adicionales para uso inmediato o almacenamiento superficial para uso futuro.

Considerando lo anterior, en el presente trabajo se planteó como objetivo general clasificar las principales tierras con aptitud para el uso de sistemas de riego en plantaciones de palma de aceite en dos zonas, en Balancán y Tenosique, donde la finalidad es recomendar prácticas de riego en suelos aptos para ésta plantación, en función de la interpretación de suelos. El producto final obtenido es un mapa de escala 1:50 000 en donde se proponen las áreas aptas para el riego de palma de aceite.

Por lo que se realizó un inventario de la infraestructura de riego existente en el área de estudio, misma que puede ser usada para regar plantaciones de palma de aceite, se determinó la calidad del agua para riego de fuentes de abastecimiento potenciales en el área de estudio y finalmente, se identificaron las clases de tierras considerando el tipo de suelo, topografía y drenaje, con la finalidad de determinar las posibles limitantes para la implementación del sistema de riego para el cultivo de palma de aceite en el área de estudio.

## **I.2 OBJETIVO GENERAL**

El objetivo general del presente trabajo fue clasificar las principales tierras con aptitud para el uso de sistemas riego en plantaciones de palma de aceite en Balancán y Tenosique, Tabasco, e inventariar la infraestructura existente para riego, en la misma zona.

## **I.3 HIPÓTESIS GENERAL**

La hipótesis general planteada en el presente trabajo fue que dentro del área de estudio comprendida por los municipios de Balancán y Tenosique, Tabasco, existen tierras con potencial de uso para la producción de palma de aceite bajo condiciones de riego.

## **I.4 ESTRUCTURA DE LA TESIS**

El presente trabajo está organizado en cinco capítulos, en el CAPÍTULO I se hace una introducción general y se describen los objetivos e hipótesis generales planteados en el trabajo. En el CAPÍTULO II se presenta la revisión de literatura, mientras que en el CAPÍTULO III se presentan los resultados de la infraestructura de riego existente en el área de estudio, integrada en un sistema de información geográfica. En el CAPÍTULO IV se analiza la calidad del agua para riego en dos áreas de Balancán y Tenosique, Tabasco con potencialidad para palma de aceite y, finalmente, en el CAPÍTULO V se presentan los suelos con aptitud para el riego en palma de aceite en el área de estudio.

## **I.5 LITERATURA CITADA**

ANIAME (Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles A.C.). 2004. Boletín Vol. 9. Número 45.  
[www.portal.aniname.com/palma\\_.shtml](http://www.portal.aniname.com/palma_.shtml) - 22k)

FAO-SAGARPA/NAL/PAC (Food and Agriculture Organization/ Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2000. Informe nacional del programa palma de aceite. Evaluación de la alianza para el campo. "Evaluación de la palma de aceite en Tabasco". 123 p

Gobierno del Estado de Tabasco. SF. La palma de aceite en el sureste de México, "Caso Tabasco". Villahermosa, Tabasco. 194 p.

Tijerina, Ch., L. 1996. Evaluación temporal y espacial de la sequía. *In*: Memoria de la Tercera reunión nacional sobre sistemas de captación de lluvia. San Luis Potosí, S.L.P. 23-26 de septiembre de 1996.

Larios R.J. & J. Hernández J. 1992. Fisiografía, ambientes y uso agrícola de la tierra en Tabasco, México. Unidad de Centros Regionales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.130 p.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### **II.1. Generalidades de la palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq**

La palma de aceite es un cultivo que se ha extendido en el mundo gracias a su alto potencial productivo, ya que su rendimiento de aceite promedio es 3.7 t ha<sup>-1</sup>, superando a las oleaginosas tradicionales como la soya, la canola, el girasol y el algodón, cultivos en los que, actualmente, se busca incrementar el rendimiento de aceite de sus semillas mediante la aplicación de biotecnología (ANIAME, 2004).

El consumo de aceite de palma en México es de aproximadamente 137,000 t anuales, y su producción sólo abastece el 5.4%, que representa menos de las 7,000 t de aceite al año (Gobierno del Estado de Tabasco, s/f).

El cultivo de palma de aceite promovido por el Gobierno Federal, a través del Programa Alianza para el Campo, con el fin de reducir el déficit nacional en la producción de grasas de origen vegetal, constituye el principal uso alternativo del suelo impulsado en el oriente de Tabasco. El programa de palma de aceite contempla, para los campesinos que apliquen, apoyos en insumos (plantas) y US\$130.4 por hectárea sembrada durante un periodo de cinco años (Márquez *et al.*, 2005).

Según datos oficiales de Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON) de la SAGARPA, la superficie plantada para el ciclo 2003 fue de 29 167 ha (SAGARPA y SDR, 2004).

#### **II.1.1 Origen**

La palma de aceite es originaria de África, la distribución actual del cultivo se explica por el interés de los franceses, ingleses y belgas en desarrollar el cultivo en sus colonias de Asia y África, donde algunas empresas y dueños de grandes

extensiones establecieron plantaciones, plantas extractoras y desarrollaron tecnología (González *et al.*, 1999).

Al continente Americano, y particularmente a Brasil, fue traída por esclavos durante el siglo XVI. A Chiapas (México) se trajeron semillas de palma de aceite durante 1952, habiendo sido importadas de Costa Rica y se llevaron a una pequeña propiedad denominada “La Lima”, ubicada en el municipio de Pueblo Nuevo Comaltitlan, en la costa de Chiapas, donde se estableció la primera plantación comercial en 1953 (Leal, 1989).

### **II.1.2. Botánica**

Hartley (1983) ubica a la palma de aceite en la clasificación taxonómica siguiente:

Orden: Palmales

Tribu: Coccoineae

Familia: Arecaceae

Género: *Elaeis*

Especie: *guineensis*

### **II.1.3 Ecología**

La palma de aceite tiende a adaptarse aun en condiciones desfavorables, sin embargo, existe una estrecha relación entre las condiciones ambientales y las latitudes óptimas para el cultivo, lo que se manifiesta en los mejores rendimientos. Los principales aspectos sobre estas condiciones son agua, temperatura y luz (Leal, 1989).

Las mejores condiciones para su desarrollo se encuentran en regiones con clima tropical húmedo, tipo Af y Am; condiciones que se encuentran cercanas al ecuador, con un límite a 17° de latitud norte y sur (González *et al.*, 1999).



Las temperaturas mínimas inferiores a los 19°C afectan negativamente el rendimiento, mientras que las temperaturas máximas superiores a los 38°C inhiben la fotosíntesis; se considera que las temperaturas medias mensuales entre 25 y 28°C son favorables. Se estima que el cultivo requiere como mínimo 1800 horas luz año<sup>-1</sup> para obtener rendimientos óptimos. Los requerimientos de agua varían 1,800 y 2,000 mm anuales, siendo mejor si se tiene una distribución de 150 mm mensuales y la evapotranspiración es menor a la precipitación por lo menos nueve meses del año; asimismo, se considera que un mes seco es aquel donde llueve menos, de 60 mm (Surre, 1969, González *et al.*, 1999).

González *et al.*, (1999), mencionan que la producción de inflorescencia está relacionada con la emisión foliar, es decir, a cada hoja corresponde una inflorescencia. Sin embargo, muchas veces no se encuentran inflorescencias en las axilas de las hojas al tiempo de la antesis; a este fenómeno se le denomina aborto de las inflorescencias. Los abortos ocurren cuando las inflorescencias no se desarrollan al tiempo de su fase de crecimiento rápido, lo cual sucede a los cuatro y cinco meses antes de la antesis y cuando las inflorescencias apenas miden entre 6 y 13 cm.

Algunos factores que causan la aborción son: períodos de sequía prolongados, producción intensa de racimos o fruta, defoliaciones severas y altas densidades de población. Las inflorescencias femeninas, una vez fecundadas se transforman en racimos, las cuales están compuestas por un pedúnculo o raquis, espigas y frutos; es de forma ovoide, de 10 a 50 cm. de largo y 10 a 35 cm de ancho, el peso oscila entre 10 y 25 kg y posee un promedio de 1,200 frutos. El número de racimos producidos anualmente por palma varía de acuerdo a la edad, al material genético y a las condiciones climáticas prevaletientes (González *et al.*, 1999).

En el Cuadro 1 se muestran algunas condiciones edafoclimáticas para el desarrollo de la palma de aceite:

Cuadro 1. Condiciones edafoclimáticas para el cultivo de la palma de aceite.

Condiciones edafoclimáticas	Óptimo	Marginal
Precipitación media anual (mm)	> 1800	< 1500
Meses secos (< 60 mm mes <sup>-1</sup> )	< 1	> 4
Temperatura media anual (°C)	22-28	< 18, > 32
Profundidad del suelo (cm)	> 75	< 50
Pendiente (%)	< 12	> 23
Salinidad (dSm <sup>-1</sup> )	< 1	> 3
pH	4-6	< 3.5
Humedad relativa media anual (%)	> 80%	-
Altitud (msnm)	< 300	> 400
Horas de brillo solar anual	> 2000	-

Fuente: González *et al.*, (1999).

#### II.1.4 Riego

El riego en palma de aceite permite estabilizar y aumentar la producción, proporcionar mayor altura de las plantas en comparación con las no regadas, distribuir en forma heterogénea el sistema radical con alta concentración de raíces finas (absorbentes) hacia la zona húmeda, se observa una mayor precocidad en la producción de frutas en áreas regadas comparadas con áreas no regadas y un incremento del rendimiento de alrededor de 10% (Barrios *et al.*, 2003).

En climas donde existe alta precipitación y poca pendiente, se requiere construir sistemas de drenaje para mantener el nivel freático entre 1.5 y 3.0 metros de profundidad (Gobierno del Estado de Tabasco, s/f).

#### II.2 Antecedentes del riego

La irrigación de cultivos es un arte tan antiguo como la existencia del hombre, históricamente, para lograr su desarrollo, las civilizaciones han dependido de la agricultura de riego (Ángeles, 2000). Existen vestigios de sistemas de

almacenamiento y control del agua para riego y abastecimiento de la población que datan de hace más de 5000 años, vestigios de construcciones egipcias, chinas y americanas son solo un ejemplo de las diversas instalaciones hídricas (Hansen & Israelsen, 1975).

El riego es una operación agrícola que sirve para satisfacer las necesidades de agua de las plantas. Para los agricultores, el riego es un requisito indispensable para lograr buenas cosechas en lugares donde las lluvias naturales no son suficientes para satisfacer las necesidades de agua de los cultivos, su objetivo es satisfacer los requerimientos hídricos de los cultivos, en el momento adecuado y en la cantidad necesaria, al aplicar el agua en forma eficiente y uniforme, es decir, que la mayor cantidad de ésta quede almacenada en la zona radicular, a disposición del cultivo (Ángeles, 2000).

El riego proporciona diversos beneficios, tales como: brindar la humedad necesaria para que los cultivos puedan desarrollarse, asegurar la cosecha contra sequías de corta duración, bajar la temperatura del suelo y la atmósfera mejorando las condiciones ambientales, el desarrollo vegetativo (Hansen & Israelsen, 1975). El riego permite la posibilidad de cultivar en áreas no viables por las características climáticas, también permite intensificar la producción en las áreas de cultivo (Aidárov, *et al.*, 1985).

En muchas zonas tropicales, las condiciones son demasiado secas durante parte del año para permitir el crecimiento de cultivos sin irrigación. El periodo de crecimiento (PC) define la época del año en la que las condiciones de humedad y temperaturas son idóneas para la producción del cultivo. El PC proporciona un marco ideal para resumir en el tiempo elementos variables del clima, que se pueden entonces comparar con los requerimientos y las respuestas estimadas de las plantas. Parámetros tales como régimen de temperatura, lluvia total, evapotranspiración e incidencia de riesgos climáticos son más relevantes si se

calculan para el PC, cuando pueden influir en el desarrollo del cultivo, que si se hace para la media del año completo (FAO, 1997).

### **II.2.1 Usos del agua y tipos de unidades de producción en México**

Según la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2003) en México, el sector agropecuario es el más demandante de agua (78%), seguido por el abastecimiento público (13%) e industrial (9%).

La superficie total en México es de alrededor de 200 millones de ha, para efectos agropecuarios, las zonas áridas ocupan 50% de la superficie, las semiáridas 14%; las zonas templadas 19%, y las zonas tropicales húmedas 12.5%. Sólo 16% es potencialmente cultivable y de ese porcentaje el 82% ya está abiertas al cultivo, por lo que queda tan sólo 18% de la tierra arable para expansiones futuras (Lugo, 1990).

De los 3.5 millones de unidades de producción agrícola reportadas en México, sólo el 7.1% se podría calificar como tecnificado, 40% como de tipo tradicional y el 52.4% restante, como unidades de agricultura de subsistencia. Esto indica que un pequeño número de agricultores aportan cerca del 45% de la producción agrícola comercial del país, utilizando para ello únicamente el 30% de la superficie agrícola total (Lugo, 1990).

#### **II.2.1.1 Antecedentes del riego en el Estado de Tabasco**

En 1947, la Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) realizó un estudio, en el cual se concluyó que el Estado de Tabasco se consideraba como zona de riego necesario y se recomendaba drenar las planicies costeras del Estado para el manejo tecnológico del riego, por lo que en esa fecha uno de los objetivos fue crear, en la Chontalpa, el mayor distrito de riego sobre el río Grijalva (Tudela, 1992).

Se han realizado otros estudios recientes relacionados con este tema de investigación dentro del área de estudio el Colegio de Postgraduados en coordinación con la Secretaria de Desarrollo Agropecuario y Pesca (SEDAFOP), (Palma *et al.*, 2003).

El 90% de la superficie agrícola del estado continua siendo de temporal, sin embargo, de manera paulatina en cultivos con mayor rentabilidad económica como el plátano, las hortalizas y los cítricos están incorporando sistemas de riego. Actualmente, la población del sureste del trópico húmedo ha sido afectada por el déficit hídrico, ocupando tierras de primera calidad e incrementando el uso más intensivo en tierras bajo sistema de riego (CNA, 2002b).

### **El Plan Chontalpa**

Flores (1993), señala que en los municipios de Huimanguillo y Cárdenas entre 1966 y 1970, se llevó a cabo el Plan Chontalpa, con lo que se transformó el medio ambiente tropical con el desmonte de más de 40,000 ha, el control de inundaciones y la construcción de obras de drenaje adoptadas para el desarrollo de la agricultura. Dentro de esta transformación se crearon 16 obras de riego por aspersión con capacidad anual de 1,240 ha de cultivo, así como la perforación de 85 pozos profundos para riego (Figura 1), realizados por la SARH. En Huimanguillo, se perforaron 31 pozos, de los cuales sólo 19 han operado en el cultivo de arroz en los últimos años (CNA, 2004).

A mediados de los años setenta, se diseñaron planes y programas para el desarrollo del trópico húmedo del sureste que se basaron en una concepción del potencial agroproductivo, del ahora Plan Chontalpa, con aproximadamente 80 000 ha, que consistieron en la eliminación de la selva, desecamiento de la región e introducción de la infraestructura de riego que se adecuara a las estaciones y a los ciclos vegetativos de los numerosos cultivos; se pensaba que con este proceso incrementaría el 60% el rendimiento de los cultivos (Tudela, 1992).

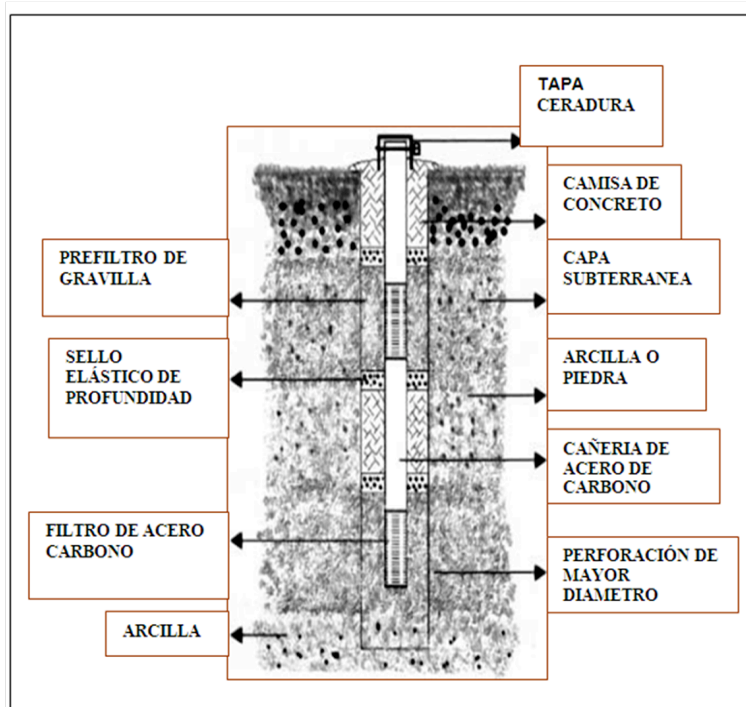


Figura 1. Diagrama representativo de un pozo profundo típico del Plan Chontalpa, Tabasco.

### **El Plan Balancán-Tenosique**

En el año 1971, la Comisión del Río Grijalva inició la programación y ejecución de un proyecto agropecuario denominado zona Balancán-Tenosique. Esta zona abarcó una superficie aproximada de 120,000 ha y fue dividida para fines prácticos en dos etapas (SARH, 1972). Se desencadenó una serie de estudios con fines de riego en todo el Estado, en 1972 se hizo el estudio agrológico especial del proyecto de riego para el Plan Balancán-Tenosique, realizado por la subdirección de agrología de la SARH (SARH, 1972).

Para 1981, la Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, a través de la Subdirección de Agrología, realizó el estudio agrológico semidetallado de la segunda etapa del proyecto Balancán-Tenosique, cuyo objetivo fue dar a conocer las características físicas, químicas e hidrodinámicas del suelo, así como su distribución y capacidad de uso. En dicho estudio se definieron las clases de suelos con fines de riego (SARH, 1981).

Según la CNA (2002a), algunos otros estudios relacionados que se han realizado en la zona son: i) El Estudio Geohidrológico de la zona de Los Ríos, Tabasco, ii) El Estudio Freatimétrico del Bajo Usumacinta, estados de Tabasco y Campeche, iii) El Estudio Geohidrológico de la zona de Los Ríos, Estado de Tabasco. En dichos estudios se realizaron actividades tales como el censo de aprovechamientos, recorridos piezométricos, prueba de bombeo, muestreo para análisis físico-químico; asimismo, se cuenta con información local de gran apoyo.

### **II.2.3 Métodos de riego**

De acuerdo a Enciso (1995) los métodos de riego se diferencian por la forma en que se aplica el agua en el suelo. Existen tres métodos básicos: superficial, en el cual el agua se aplica sobre la superficie del suelo; presurizado o localizado, el agua es conducida a presión por tuberías, hasta un emisor en el punto de aplicación; y subsuperficial, en el cual el agua se aplica por debajo de la superficie del suelo. Los sistemas de riego más importantes para cada método son el sistema de riego por gravedad (superficial), los sistemas de riego por aspersión, microaspersión y goteo (presurizado) y el riego subterráneo (subsuperficial)

#### **II.2.3.1 Riego superficial por gravedad**

En el riego superficial, el agua se distribuye directamente por la superficie del campo por gravedad a través de surcos, el cultivo aprovecha únicamente del 40 a 60% del agua aplicada. La ventaja fundamental de este método sobre los demás consiste en que para su práctica no se requieren gastos adicionales de energía eléctrica. Entre las desventajas de este método se encuentran: la necesidad de trabajo manual, la dependencia de las condiciones del relieve, la destrucción de la estructura del suelo, la dificultad de regulación del grado de humedad y su uniformidad en el suelo y la restricción en la mecanización de los procesos de la agricultura (Enciso, 1995).

### **II.2.3.2 El riego por aspersión**

Aidárov *et al.*, (1985) menciona que en el riego por aspersión, el agua se distribuye en forma de rocío sobre la superficie del suelo, a través de equipo especial de rociado. La eficiencia de este sistema de riego es 85%. Se utiliza preferentemente para irrigar cultivos de hortalizas, forrajes y frutales, y para suelos ligeros y de poco potencial en terrenos cultivables.

Las principales ventajas del riego por aspersión mencionadas por Aidárov *et al.*, (1985), son: la conservación de la estructura del suelo, la posibilidad de regular con precisión la profundidad de humectación del suelo, la posibilidad de utilizarlo en un microrelieve complejo y en pendientes elevadas, eliminar o reducir al mínimo los canales colectores y de desagüe de la red. El mismo autor menciona como principales desventajas las siguientes: necesidad de energía mecánica para el trabajo de algunos aspersores, influencia del viento en la uniformidad del riego en el área, necesidad del traslado de los tubos, la instalación de aspersores en campo y el gasto de trabajo necesario para ello.

### **II.2.3.3 El riego por goteo**

En el riego por goteo, el agua se suministra en forma de gotas directamente a la zona radical de cada planta en cantidades extraordinariamente pequeñas (gota a gota) además del agua de riego, se puede hacer la aplicación de insumos agrícolas, utilizando dispositivos especiales que son colocados en el terreno, encima de la superficie de la tierra o debajo de ella. La eficiencia de este sistema de riego es de 95% (Pizarro, 1996).

Las principales ventajas del riego por goteo son: el ahorro de agua (reduce las pérdidas de agua hasta 70% comparado con el riego por aspersión), no se requiere nivelar el terreno, es posible introducir insumos agrícolas junto con el agua, se conserva una alta aireación del suelo. Por otro lado, presenta ciertas desventajas como: es un sistema muy caro de instalar, si se proyecta o se instala mal, puede ocasionar la pérdida de la cosecha por falta de agua o nutrientes,



obstrucción de los goteros por sales precipitadas y por partículas que arrastra el agua cuando los sistemas de filtrado no son instalados o funcionan mal (Pizarro, 1996).

#### **II.2.4 Concepto de infraestructura**

La infraestructura se define como las partes de un sistema o instalación que proporciona un servicio; la infraestructura de riego mayor se refiere a las obras de gran envergadura como embalses, pozos profundos y canales de derivación, que abastecen los predios. La infraestructura de riego menor se refiere a la red de canales y estructuras laterales como: tomas, estructuras de medición y control de agua, pequeños sifones, alcantarillas, disparadores de energía, entre otros (Ángeles, 2000).

La infraestructura de riego es el conjunto de obras hidráulicas destinadas a la extracción captación, almacenamiento, conducción, distribución y aplicación del agua con fines de riego (USDA, 1972).

#### **II.3 Base de datos**

Byers (1993), la define como una serie de datos organizados y relacionados entre sí, los cuales son recolectados y explotados por medio de sistemas, como son los Sistemas de Apoyo para Decisión Espacial Geográficos (SADE) y los Sistemas de Información Estratégicos, ya que estos sistemas explotan la información contenida en las bases de datos para apoyar el proceso de toma de decisiones o para lograr ventajas competitivas.

##### **II.3.1 Componentes de una base de datos**

Según González (2002), una base de datos tiene los siguientes componentes:

**Entidades.** Las entidades, atributos y claves son conceptos importantes de la base de datos. Una entidad es una clase generalizada de personas, lugares o cosas (objetos), para los cuales se recopilan, almacenan y mantienen datos.

**Atributos.** Un atributo es una característica de una entidad, el valor específico de un atributo, conocido como *elemento de datos*, se puede encontrar con los campos de registro que describe una entidad. Como ya se planteo, un conjunto de campos de un objeto específico representa un registro. Una clave es un campo o grupo de campos en un registro que se utiliza para identificar a éste.

**Claves de los datos.** Una clave primaria es un campo o grupo de campos que identifica en forma única un registro. Ningún otro registro puede tener la misma clave primaria. La clave primaria se utiliza para distinguir registros con el fin de que se pueda tener acceso a ellos, organizarlos y manipularlos. En el caso del registro de un empleado, el número de éste representa un ejemplo de una clave primaria.

### **II.3.2 Tipos de bases de datos**

En un sistema de base de datos se tienen dos partes importantes: a) los datos mismos (la base de datos) y b) las operaciones que se pueden realizar con los datos (el sistema). De hecho, se pueden catalogar a las bases de datos por la forma como son obtenidos los datos (Byers, 1993). Partiendo de lo anterior, las bases de datos se pueden clasificar en tres tipos principales: relacionales, jerárquicas y de redes (Byers, 1993).

#### **II.3.2.1 Base de datos jerárquicas**

En un modelo jerárquico de base de datos, los datos se organizan en una estructura descendente, o en forma de un árbol invertido, el modelo jerárquico es más conveniente para situaciones en donde las relaciones lógicas entre los datos se pueden presentar en forma apropiada con el enfoque de un padre-muchos hijos, si tiene acceso a los datos en forma lógica pasando a través de la "generaciones" apropiadas de padres para llegar al elemento de datos que se busca, y solo hay una ruta de acceso a cualquier elemento particular de datos (Marín, 1991).

### **II.3.2.2 Base de datos de redes**

Un modelo de red es una ampliación del modelo jerárquico, sin embargo, en lugar de tener solo varios niveles de relaciones de uno a muchos, el modelo de red es una relación de propietario-miembro en la cual un miembro puede tener muchos propietarios. En una base de datos estructurada como un modelo de red a menudo se puede tener acceso a un elemento de datos en particular a través de más de una ruta (González, 2002).

### **II.3.2.3 Base de datos relacional**

Los modelos relacionales se han convertido en los modelos de base de datos de mayor demanda y su popularidad aumentara en el futuro. En el modelo relacional, cada fila de una tabla representa una entidad de datos, mientras que las columnas de la tabla representan los atributos. Cada atributo solo puede tomar ciertos valores, los valores permisibles para dichos atributos se denominan el dominio. El dominio para un atributo en particular indica cuales valores se pueden colocar en cada una de las columnas de la tabla relacional (González, 2002).

### **II.3.3 Los elementos de un sistema de base de datos**

Los principales componentes de un sistema de base de datos son los siguientes: datos, programas, máquinas y personas (Trejo, 2000), a continuación se define cada uno de los componentes del sistema de bases de datos.

**a) Datos.** Es lo que se conoce como base de datos propiamente dicha (ejemplo: propiedades del suelo, pH, MO, etc.) Para manejar estos datos se utiliza una serie de programas.

**b) Programas o Software.** Son los encargados de manejar los datos, son conocidos como DBMS (Data Base Management System) o también SGBD (Sistema Gestor de Base de Datos). Los DBMS tienen dos funciones principales que son: i) La definición de las estructuras para almacenar los datos y ii) La manipulación de los datos.

**c) Máquinas:** Son las computadoras con diferentes características y capacidades que desempeñan la función de ejecutar los programas.

**d) Personas:** Son especialistas encargados de ejecutar las máquinas y llevar a cabo de forma eficiente el manejo de las bases de datos obteniendo un despliegue adecuado y coherente de los datos tratados.

### **II.3.4 Importancia de las bases de datos**

Uno de los objetivos principales de un sistema de base de datos es proporcionar a los usuarios una visión abstracta de la información, es decir, el sistema oculta ciertos detalles relativos a la forma como los datos se manejan y mantienen. Sin embargo para que el sistema sea útil, la información debe recuperarse en forma eficiente (Marín, 1991).

### **II.3.5 Ventajas de las bases de datos**

Un sistema de base de datos brinda muchas ventajas importantes (Marín 1991), entre ellas: i) Encontrar y recuperar información existente, ii) Añadir nueva información a los archivos, iii) Borrar información que ya no es útil, iv) Modificar o editar información ya capturada, v) Crear una nueva base vacía y vi) Borrar una base de datos que ya no es necesaria (Morocho *et al.*, 2001, Sánchez, 2005).

### **II.3.6 Integración de bases de datos**

Históricamente hablando, muchas organizaciones llegaron a almacenar conjuntos de datos, de sus clientes y de su propia empresa de una manera ordenada y de fácil acceso, se empezó a hablar entonces de bases de datos. A medida que estas organizaciones o empresas crecieron, se vieron obligadas a intercambiar información entre bases de datos que en un principio no tenían visión de este intercambio. Es justamente ahí donde nace la necesidad no sólo de intercambio, sino de integración de datos (Morocho *et al.*, 2001).

En el ámbito agrícola, la integración está orientada a organizar bases de datos georreferenciadas a un sistema de información geográfico, para presentar una visión espacial de la distribución de áreas de estudio, sitios de muestreo, parcelas experimentales, focos de propagación de plagas, infraestructura o sitios de riego que existen en cierta zona, el proyecto basado en esta técnica, que trata de conectar la base de datos con un sistema de información geográfica permite incorporar valores cuantitativos, realizar estimaciones a partir de variables conocidas, actualizar datos, incorporar nuevas variables, etc; y así poder responder preguntas simples como ¿Qué sitios se localizan a una cierta distancia? ¿Cuál es la distribución de los sitios de riego en el área de estudio? (Sánchez, 2005).

### **II.3.7 Tipos de datos**

En el caso de fuentes con características espaciales o espacio-temporales, la diferencia más clara con propuestas existentes de integración para un Sistema Asociado de Base de Datos, es la naturaleza misma de dichos datos. En el caso de Bases de Datos espaciales existen tipos de datos geográficos, geométricos y alfanuméricos. El reto está en integrar dichas características, con un significado válido y entendible para el sistema asociado del que formarán parte estas Bases de Datos. La integración de Bases de Datos Espaciales provoca una visión de las Bases de Datos como un único sistema, el Sistema asociado de Gestión de Base de Datos Espaciales (Morocho *et al.*, 2001).

## **II.4 Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

### **II.4.1 Antecedentes de los SIG**

Generalmente la historia de los SIG se aborda desde la perspectiva informática, es decir de los avances que se produjeron en el desarrollo del software SIG, desde la propuesta realizada por el Canada Geographic Information System (CGIS), creado a mediados de los años sesenta. Sin embargo, la historia también se debe basar en los autores que desarrollaron los principios espaciales que contribuyeron en el avance de la tecnología SIG. Por lo tanto, los antecedentes deben explicar los

avances informáticos y de las ciencias afines (Aronoff, 1989, Soria *et al.*, 1998). El nivel que tiene esta rama del conocimiento no sería posible sin el aporte de disciplinas como la computación, matemáticas, estadística, percepción remota e investigación de operaciones (Mejía *et al.*, 2003).

Desde sus inicios, en los años cincuenta y mediados de los sesenta, los SIG presentan una serie de conceptos y métodos que constituyen la base sobre la que después se desarrolló la tecnología SIG. En este periodo se tienen avances en el análisis espacial, por ejemplo, en la cartografía y el análisis cartográfico (Mejía *et al.*, 2003).

#### **II.4.2 Definición de Sistemas de Información Geográfica**

Según Origel (2002), para conocer las funciones de los SIG en la sistematización de cartografía, primero se requiere hacer una revisión de los conceptos más importantes. Las múltiples definiciones de los SIG se pueden agrupar bajo tres perspectivas: 1) SIG como programa informático, 2) SIG como proyecto y sistema de información orientado a la administración territorial y 3) SIG como ambiente de trabajo de múltiples disciplinas profesionales con énfasis en el análisis espacial.

Como programa informático se hace referencia a productos comerciales, tales como Arc/Info® y ArcView GIS®. El énfasis se realiza en los programas informáticos y no en el resto de los componentes del sistema de información (Origel 2002).

La segunda acepción considera que un SIG es un todo, un dispositivo integrado por componentes fundamentales (software de SIG, hardware, datos, personal especializado y procedimientos). Como ejemplo de esta perspectiva el manual del National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA) de Estados Unidos define un SIG como «un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, administración, procesamiento, análisis, modelación, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para

resolver problemas complejos de planificación y gestión» (NCGIA, 1990). Por estas características los SIG son, en algunos casos, simultáneamente, un sistema de información y un sistema de apoyo a la decisión.

La tercera acepción sirve para denominar un campo profesional y científico en el que entra un grupo muy amplio de profesiones. El sector SIG es una comunidad de agentes ligados a los negocios, a la tecnología y en general a la disciplina de la geomática. Este grupo utiliza un recurso privilegiado para el análisis, la planificación y la administración territorial, y por lo mismo requiere cada vez más de especialistas capacitados en la solución de problemas geográficos y dispuestos a entender el uso óptimo de esta tecnología (Tomlinson, 1999).

El sector SIG toma forma en diferentes enfoques o puntos de vista más o menos excluyentes, los más importantes son: cartográfico, bases de datos y análisis espacial (Maguire *et al.*, 1991).

#### **II.4.3 Sistematización en cartografía y SIG**

Existen tres enfoques principales sobre los SIG, en el primero, se concibe un SIG como una herramienta para el manejo de cartografía, así como para la modelación cartográfica. La producción cartográfica determina los datos por incluir, la estructura de la base de datos y la forma de representación. Éste enfoque es propio de organismos productores de cartografía digital o analógica oficial y ha sido difundido por autores como Berry (1987) y Tomlin (1990).

En el segundo enfoque se entiende a un SIG como un tipo especial de base de datos. El énfasis está puesto en las características y el funcionamiento de ésta, y es un punto de vista propio de organismos dedicados al uso de información geográfica para la administración territorial; algunos de los autores que respaldan este enfoque son Laurini & Thompson (1992) y Guimet (1992). En este estudio se considera la adecuada estructuración de las bases de datos espaciales como parte fundamental de la cartografía digital en el ambiente de un SIG.

En el tercer enfoque se concibe a los SIG como sistemas capaces de poner en práctica el análisis espacial, siendo éste un punto de vista muy extendido entre las entidades dedicadas al estudio y análisis del territorio; es una visión propia de universidades, centros de investigación y departamentos de planeación; este último punto de vista está presente en los trabajos de autores como Goodchild *et al.*, (1992). En este estudio se considera que las funciones analíticas de los SIG le brindan valor agregado a la cartografía digital generada con estos sistemas.

#### **II.4.4 Programas de SIG y programas relacionados con cartografía**

A finales de la década de los ochenta, los programas de SIG se diferenciaban mucho de cualquier otro relacionado con la cartografía. Lo más característico de un SIG era su capacidad de análisis, de generar nueva información de un conjunto previo de datos mediante su procesamiento y reelaboración. Por lo tanto, un SIG era bastante más que un sistema de diseño asistido por computadora (CAD/CAM), lo cual se debía a la capacidad de relacionar elementos gráficos (puntos, líneas y polígonos), con los elementos de una base de datos temáticos (Dueker, 1987).

El SIG se diferenció de los programas de cartografía asistida por computadora ya que el SIG hacía énfasis en su posibilidad de manejar más de un conjunto de elementos gráficos al mismo tiempo y, sobre todo, en la capacidad de construir nuevos datos a partir de los ya existentes, lo cual era poco habitual en los programas de este tipo (Dueker, 1987).

Por otra parte, con el paso de los años se incrementó el procesamiento digital de imágenes satelitales. Con lo cual se desarrollaron programas específicos de percepción remota, integrados o no en los SIG, cuya serie de funciones actuales son: restauración, arreglo de datos; realce, producción de una imagen con mejor calidad; clasificación, extracción de nueva información; análisis biofísico, correlación de los datos de la imagen con parámetros físicos y biofísicos; finalmente, fusión e integración con datos de SIG para derivar cartografía actualizada (Origel ,2002).



#### **II.4.5 Integración de datos**

Un SIG permite la integración de datos que se pueden registrar geográficamente, dicha integración se logra con la georreferenciación de todos los datos, la cual puede ser de forma directa (por coordenadas) o indirecta (por indicadores relativos tales como la segmentación dinámica). Esta integración representa invertir menos tiempo en buscar, encontrar, elaborar y entregar una unidad de información, para dedicar más tiempo al análisis, pudiendo utilizar el diferencial en una mejor aplicación y en el uso de esta información. Por lo anterior, la integración tiene efectos predominantemente productivos (Comas & Ruiz, 1993).

Por otra parte, la integración tiene su más firme base en la capacidad de agregar y desagregar los datos, en poderlos analizar en un tiempo suficiente para satisfacer el ritmo de la toma de decisiones. De esta forma resulta estratégica, pues asegura un mayor control sobre toda la organización y sobre el territorio administrado (Comas y Ruiz, 1993).

#### **II.4.6 Productividad y análisis**

La elaboración de cartografía digital en el ambiente de un SIG hace posible el incremento de la productividad y la ejecución sistemática de tareas comunes. Al procesar la base de datos de un SIG se pueden generar modelos del mundo real, que además, se pueden transformar y manipular en forma interactiva. Con las capacidades analíticas de un SIG, el sistema completo puede servir como una prueba firme para el análisis de procesos geodinámicos y ambientales, así como una vía para anticipar resultados posibles, consecuencias negativas y fallas (Burrough, 1986).

#### **II.4.7 Funciones de los SIG**

Un SIG proporciona el almacenamiento coherente de la información espacial, que se puede actualizar o procesar con el mínimo esfuerzo. Permite obtener modelos cartográficos, a partir de la transformación o combinación de diversas variables. Asimismo facilita la visualización y presentación gráfica de los resultados, al

permitir el acceso a diversos periféricos controlados por computadora (Origel, 2002).

Según el mismo autor, las principales funciones y capacidades de un SIG se pueden agrupar en cuatro tipos: a) captura y codificación de datos, b) almacenamiento y manejo de datos, c) análisis y procesamiento de datos y d) representación de resultados.

#### **II.4.8 Aplicaciones de los SIG**

Un SIG es útil en cualquier área donde sea necesario el manejo de información espacial. Algunas de las principales aplicaciones son: definición de coincidencia de factores, tales como áreas con ciertas anomalías geofísicas, tipos de suelo, pendiente del terreno, vegetación, o ciudades con altos índices de contaminación. Actualización de información espacial, como son los mapas de diversa índole en donde los atributos sufren un cambio perceptible en el tiempo. Planeación de servicios y de trabajos de campo, entre otras (Origel, 2002).

La aplicación de los SIG en México se ha realizado dentro de los siguientes ámbitos: académico, gubernamental y empresarial. El más amplio es sin duda el académico, el gubernamental se ha orientado en general a cuestiones cartográficas y a la modelación de variables, mientras que el empresarial hasta hace pocos años empezó a ser más dinámico en la consulta de información espacial (Origel, 2002).

#### **II.4.9 Las ventajas de los SIG**

Los SIG poseen técnicas más refinadas en cartografía, facilitan el diseño, actualización, corrección, impresión y entrega, rápido desarrollo de sistemas computacionales digitales. La revolución cuantitativa en análisis espaciales, visualización e interpretación de mapas, por su elevada aptitud gráfica, acceso inmediato a listados alfanuméricos, informes, gráficos y estadísticas, edición de mapas, creación de hipótesis con los datos, en previsión de situaciones futuras,

análisis espacial mediante consultas selectivas, podemos “preguntar” al sistema una cuestión simple o una de mayor complejidad acerca de sus atributos alfanuméricos, su posición espacial, su posición relativa, etc. (Dávila, 2000).

## **II.5 Calidad del agua para riego**

La calidad del agua se refiere a las características de una fuente de agua, que influyen sobre su aptitud para un uso específico. Es decir, en qué grado la calidad del agua cumple con los requerimientos del uso al cual será destinada. En la evaluación de la calidad de agua para riego se pone énfasis en las características químicas, aunque el efecto de su aplicación dependerá de otros factores como el tipo de suelo, cultivo a regar y condiciones climáticas. El estudio de la calidad de agua para riego es un paso inevitable al emprender un proyecto de riego. La utilización continua de aguas de baja calidad, con manejo inadecuado, puede provocar un deterioro de la calidad de los suelos cuya recuperación puede ser técnicamente difícil y en algunos casos, económicamente inviable (Bresler *et al.*, 1982).

### **II.5.1 Problemas asociados a la calidad del agua de riego**

La composición y concentración de sales en la solución del suelo puede afectar el crecimiento de las plantas debido a: i) cambio en las propiedades del suelo; ii) efecto de toxicidad y iii) efecto osmótico (Rhoades, 1972). Los criterios prevalentes para calificar las aguas para riego y el peligro potencial de su uso son: salinidad, sodicidad y efecto de toxicidad (Richards, 1954).

#### **II.5.1.1 Salinidad**

El problema se produce por acumulación de sales solubles en la zona radical de los cultivos, hasta niveles o concentraciones que causan disminución del rendimiento. Su acumulación se produce por aporte directo del agua de riego o a partir del ascenso capilar desde capas freáticas cercanas a la superficie. Este último aporte es muy común en las regiones áridas y semiáridas bajo riego (Richards, 1954). Otro proceso que contribuye a la salinización del suelo es la

absorción de agua por las plantas, que hace que la concentración salina de la solución del suelo aumente a medida que el suelo se seca.

Con la repetición de este fenómeno se acumularán cantidades crecientes de sales, cuya concentración finalmente salinizará el suelo y limitará el crecimiento normal de los cultivos; ya que la alta concentración de sales en la zona radical reduce la disponibilidad de agua para las plantas por aumento del potencial osmótico de la solución. Los cultivos tienen diferente tolerancia a las sales debido a la propiedad de efectuar un ajuste osmótico que les permite generar gradientes de potencial necesarios para extraer el agua en los suelos salinos (Richards, 1954).

#### **II.5.1.2 Sodicidad**

El peligro de producir sodicidad en el suelo está relacionado con la acumulación de sodio intercambiable en el suelo lo cual produce un deterioro de la permeabilidad y estructura. Los riesgos de un agua para producir sodicidad en el suelo han sido expresados por diferentes índices. El índice más usado es la Relación de Absorción de Sodio (RAS) propuesto por Richards (1954) que, a pesar de ser empírico, es ampliamente empleado por su correlación con el porcentaje de sodio intercambiable (PSI). El PSI se calcula como el cociente porcentual entre el sodio de intercambio y la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).

#### **II.5.1.3 Efecto de toxicidad**

Algunos solutos tienen efecto tóxico directo sobre los cultivos. Los problemas de toxicidad se diferencian de los de salinidad en que ocurren dentro de las plantas. Se producen cuando un ión absorbido se acumula en las hojas, por efecto de la transpiración, hasta un nivel que daña la planta. El grado de daño depende del tiempo, la concentración, la sensibilidad del cultivo y el consumo de agua. Los iones de las aguas de riego que pueden causar daño en forma individual o combinada son: cloruro (Cl), sodio (Na) y boro (B) (Maas, 1984b).

La toxicidad más común, a partir del agua de riego es la producida por cloruro, que no es adsorbido por el suelo, y se mueve fácilmente en la solución desde donde es absorbido por la planta, circulando en ella hasta acumularse en las hojas. Si la concentración sobrepasa la tolerancia del cultivo aparecen claros síntomas de toxicidad que incluyen hojas quemadas y necrosis de tejidos (Bernstein, 1974; Maas, 1984b; 1986). Cloruro y sodio también pueden ser absorbidos directamente por el follaje, cuando se riega por aspersión, en períodos de alta temperatura y baja humedad relativa (Maas, 1986). En los cultivos sensibles, los síntomas ocurren cuando la concentración de cloruro alcanza los 0.3 a 1.0% del peso seco, aunque algunos árboles frutales muestran síntomas importantes en el límite inferior del rango (Bernstein, 1975).

El boro es un elemento esencial para el crecimiento de los cultivos. Se requieren cantidades relativamente bajas y se vuelve rápidamente tóxico cuando dichos valores superan el umbral (Wilcox, 1960; Maas, 1986; 1985; Bingham *et al.*, 1985). Para algunos cultivos, una cantidad del orden de los 0.2 mg L<sup>-1</sup> de boro en el agua es esencial, pero se vuelve tóxico a concentraciones de 1 a 2 mg L<sup>-1</sup> (Wilcox, 1960). Los síntomas de toxicidad por boro, que normalmente aparecen primero en las hojas más viejas, son el amarillamiento, marchitamiento progresivo y necrosis desde el borde hacia el centro de la hoja a medida que aumenta la concentración (Wilcox, 1960).

### **II.5.2 Clasificación del agua para riego**

Las clasificaciones existentes suponen que el agua de riego debe emplearse bajo condiciones medias de textura de suelo, velocidad de infiltración, drenaje, cantidad y tolerancia del cultivo a las sales (Richards, 1954). Más aún, la mayoría de ellas se ajustan a las características de clima árido o semiárido con baja precipitación efectiva en suelos de textura franco arenosa o franco arcillosa, pero siempre con buen drenaje interno y capa freática profunda, inexistente, o si es superficial, controlada por un sistema de drenaje subsuperficial.

Cuando se realiza la evaluación del recurso agua con fines de riego se debe considerar: i) concentración total de sales solubles, ii) concentración relativa del sodio con respecto a otros cationes, iii) concentración relativa de bicarbonatos respecto a la de calcio más magnesio y la concentración de boro u otros elementos que pueden ser tóxicos. La calidad de un agua para riego, debe evaluarse con base en la potencialidad de ésta para producir efectos dañinos al suelo, a los cultivos, a los animales y personas que consumen dichos cultivos (Richards, 1954, Aceves, 1979, Coras, 1996).

Para distinguir las ventajas o desventajas del agua que se pretende utilizar con fines de riego Coras, (1996) menciona que debe tenerse en cuenta la calidad química y la calidad agronómica. La calidad química está determinada por la concentración y composición de los constituyentes disueltos; que tengan, su conocimiento servirá para recomendar su uso con fines domésticos, industriales, pecuarios y/o agrícolas. Cuando el agua se va a usar para riego de cultivos la calidad química no va a especificar si el agua debe o no ser empleada, por lo que es necesario considerar la calidad agronómica.

La calidad agronómica, está determinada por los siguientes factores: calidad química, suelo por regar, método de riego, condiciones de drenaje del suelo, cultivos a regar, condiciones climáticas y prácticas de manejo del agua, del suelo y de las plantas (Coras, 1996).

#### **II.5.2.1 Criterios e índices para la clasificación química del agua para riego de acuerdo a Palacios y Aceves (1970)**

El método propuesto por Palacios y Aceves, (1970) hace posible conocer los límites de valores máximos y mínimos permisibles para la utilización de aguas con fines de riego agrícola (Cuadro 2).

Cuadro 2. Sistema de clasificación de agua para riego de acuerdo a Palacios y Aceves (1970).

CRITERIOS	ÍNDICES	ABREVIATURAS
1. Contenido de sales solubles.	1. Conductividad eléctrica.	CE
	2. Salinidad efectiva.	SE
	3. Salinidad potencial.	SP
2. Efecto probable del sodio sobre las características físicas.	1. Relación de adsorción de sodio.	RAS
	2. Carbonato de sodio residual.	CSR
	3. Por ciento de sodio posible.	PSP
3. Contenido de elementos tóxico para las plantas.	1. Contenido de boro.	B
	2. Contenido de cloruro.	Cl

## II.6 Interpretación de suelos con fines de riego

El valor principal de un estudio de suelos es el poder predecir cuál será la respuesta del suelo a un uso y manejo específicos. A la descripción de las limitaciones y el potencial del suelo para los usos agrícolas, pecuarios y forestales y para la construcción de infraestructura se le denomina interpretación de suelos o zonificación agroecológica (IMTA, 1989).

### II.6.1 Clasificación de suelos con fines de riego

La clasificación de las tierras, con fines de riego es una “interpretación” o “evaluación” de las características y cualidades físicas y químicas de las diferentes condiciones de suelos, en función de su aptitud para la agricultura de regadío. Se interpreta el suelo para riego tomando en cuenta las características que influyen en la construcción o instalación del sistema y su funcionamiento (IMTA, 1989).

### II.6.2 Clasificación de suelos por aptitud para el riego

La clasificación de tierras de acuerdo a su aptitud para el riego es una interpretación de las cualidades y características de los terrenos en función de la facilidad o dificultad que presentan para su uso, principalmente agrícola bajo riego. Los terrenos correspondientes a la clase I presentan condiciones de tierras casi planas, textura mediana, suelos profundos, clima en donde la única limitante es la

lluvia. Por otra parte, de la clase IV a la clase VI constituyen tierras con gran declive o con suelos someros o con gran afectación salina. Las tierras con clases intermedias tienen diferentes grados de limitaciones (IMTA, 1989).

La clasificación está formada por la categoría CLASE que se denomina mediante un numero romano que va I al VI, y las SUBCLASES son representadas por letras minúsculas que describen las limitaciones en la zona radicular (s), limitaciones topográficas (t), limitaciones de exceso de agua, drenaje o inundación (w), riesgo de erosión o efecto de antigua erosión (e) y escasez de agua de riego (c). Según el IMTA (1989), las clases se definen como sigue:

CLASE I. Suelos muy aptos para el riego: tienen escasas limitaciones que restringen su uso y un gran número de cultivos pueden adaptarse a ellos.

CLASE II. Suelos moderadamente aptos para el riego: poseen algunas limitaciones que reducen la elección de cultivos o requieren prácticas especiales de manejo.

CLASE III. Suelos poco aptos para el riego: poseen serias limitaciones que reducen la elección de los cultivos o requieren prácticas especiales de manejo o ambas.

CLASE IV. Suelos muy poco aptos para el riego: tienen limitaciones muy serias que restringen la elección de cultivos; requieren un manejo muy cuidadoso.

CLASE V. Suelos de condiciones especiales para el riego: no cumplen con los requerimientos mínimos para permanecer a las clases I a IV, pero debido a las condiciones especiales de microclima y con prácticas especiales de manejo del suelo y del agua, pueden ser aptos para cultivos especializados.

CLASE VI. Suelos no apropiados para el riego: no cumplen los requerimientos mínimos para permanecer a las clases I a V, están fuera del alcance del agua de riego, son áreas de construcciones de viviendas, o por cualquier otra razón resultan ser inadecuados para el riego.



Las subclases se definen:

Subclase (s). Limitaciones en la zona radical: suelos someros, pedregosidad, baja capacidad de almacenamiento de humedad, baja fertilidad difícil de corregir, salinidad o exceso de sodio.

Subclase (t). Limitaciones de la topografía: pendientes fuertes, ondulantes o quebradas o una combinación ambas, que generan limitaciones en el manejo del agua de riego.

Subclase (w). Limitaciones por exceso de agua: drenaje restringido, mato freático alto e inundaciones.

Subclase (e). Limitaciones por erosión, debido a la susceptibilidad de los suelos a ésta o al efecto de una erosión anterior.

Subclase (c). Limitaciones por escasez de agua para riego durante el periodo crítico de secas.

### **II.6.3 Determinación de la necesidad del riego**

A la combinación de la evaporación del terreno o superficie de agua, almacenada y la transpiración de la planta desde el mesófilo o tejido, se le conoce como evapotranspiración (Coras, 1993).

Según la FAO (1997), la estimación del periodo de crecimiento se basa en el modelo de balance hídrico que relaciona la precipitación (P) con la evapotranspiración potencial (ETp). Si el periodo de crecimiento no está limitado por la temperatura, la relación P/ETp determina el comienzo, el fin y el tipo de período de crecimiento. La determinación del comienzo del periodo de crecimiento se base en el inicio de la estación lluviosa, por lo que el Período de Crecimiento Húmedo (PCH) se determina con los registros de precipitación (PPT) y evapotranspiración potencial (ETp).

En los climas tropicales la temperatura no es un factor limitante para el crecimiento de los cultivos, caso contrario a la humedad que al haber precipitaciones tan abundantes, ésta llega a depositarse en los suelos inundables, los cuales abundan en Tabasco, en donde el 53.7% de los suelos es del tipo Gleysol y el 12% es

Vertisol. El procedimiento para la determinación del periodo de crecimiento húmedo consiste en graficar la precipitación mensual (PPT), la evapotranspiración potencial (ETp) y el 0.5 de la ETp, se tiene como criterio de decisión: cuando se cruce por primera vez la curva de la precipitación con la curva del 0.5 de ETp, se tiene el inicio del periodo de crecimiento húmedo (PCH); cuando se cruce por segunda vez, termina el periodo de lluvias, más no el fin del PCH, dado que esto ocurre cuando se consume 100 mm de agua almacenada en el suelo (FAO, 1997).

Las altas tasas de evaporación y las características de la precipitación tropical, son el principal problema en relación a la disponibilidad de agua para los cultivos, particularmente en el trópico seco. Gran cantidad de agua que cae en el trópico, especialmente en el húmedo, y no llega a ser disponible para la agricultura: escurre causando inundaciones (que pudieran ser benéficas, en algunos casos, como por ejemplo el cultivo del arroz) y ocurre en épocas en que las condiciones no son apropiadas para el crecimiento de cultivos de interés económico. Las condiciones particulares de alta demanda evaporativa de los trópicos, hacen que las cantidades de agua que pudiesen ser adecuadas en las zonas templadas, son inadecuadas en condiciones tropicales, al menos durante algunos periodos del año (Etchevers, 1990).

De acuerdo a las relaciones que existen entre el agua y la planta, es necesario conocer la influencia de la atmósfera por medio de los factores climáticos sobre los sistemas antes mencionados, con el fin de obtener información suficiente para resolver los problemas de “Cuándo y Cuánto regar”. Las metodologías más utilizadas para la estimación del agua que consumen los cultivos, los cuales puede ser mediante métodos directos (gravimétrico, lisímetros, evapotranspirómetros de Thornthwaite y atmómetros) e indirectos, los cuales se basan en la relación existente entre los elementos climáticos y sus efectos en los consumos de agua mediante evaporación y evapotranspiración, la principal desventaja es que muchas de ellos solo son válidos para las condiciones del lugar y para el cultivo donde fueron desarrolladas (Aguilera & Martínez, 1996).

#### **II.6.4 Aptitud de tierras con fines de riego**

El objetivo principal de clasificar las tierras con aptitud para el riego, es apoyar al desarrollo de proyectos de riego por la caracterización y delimitación de tierras aptas para sostener agricultura bajo riego. Las características y cualidades de la tierra, necesarias en la evaluación de la aptitud con fines de riego, son de carácter climático, edáfico, de drenaje, hidrológicas, topográficas, de vegetación, técnicas, económicas, sociales y políticas (USBR, 2005).

##### **II.6.4.1 Criterios de clasificación**

Según la USBR (2005), la clasificación de tierras con aptitud para el riego está basada principalmente en consideraciones económicas. La delimitación de las clases de tierra en campo está basada en características físicas de la tierra, las especificaciones de mapeo que expresan estas diferencias están desarrolladas con base en factores económicos. Los factores pertinentes del suelo, topografía, drenaje, clima y calidad de un área específica a investigarse deben estar correlacionados con los factores económicos para formular las especificaciones de clasificación. La distinción entre las diferentes clases y subclases de tierra se basa en las características físicas específicas de éstas: suelo (s), topografía (t) y drenaje (d).

###### **II.6.4.1.1 Calidad del suelo**

La USBR (2005), señala que dentro de las características más deseables en un suelo para la producción diversificada de cultivos están: 1) capacidad de retención de agua suficiente para mantener y proveer la humedad óptima para los cultivos entre cada riego, 2) drenaje interno óptimo para mantener la zona radical aireada y un nivel de sales aceptable, 3) tasa de infiltración adecuada, 4) profundidad suficiente para permitir el óptimo desarrollo radicular, 5) superficie cultivable, 6) bajas cantidades de sodio intercambiable o sustancias fitotóxicas solubles y 7) disponibilidad de nutrientes corregible.

Para determinar la aptitud de los suelos para el riego, se deben evaluar varias características, entre ellas, las características físicas (profundidad efectiva, textura, estructura, consistencia, color, permeabilidad al aire y al agua, drenaje, tasa de infiltración, susceptibilidad de erosión, capacidad de retención de humedad y pedregosidad), características biológicas (tipo y cantidad de materia orgánica, fijadores de nitrógeno y otros organismos benéficos, nemátodos y organismos patológicos), toxicidad, fertilidad, profundidad a capa endurecida, profundidad de los horizontes que restringen el desarrollo radical o movimiento del agua y el riesgo de erosión, Así mismo, se debe considerar la fertilidad inherente o capacidad para suplir elementos esenciales y micro elementos aprovechables, pH, capacidad de campo, salinidad, alcalinidad, boro, etc. (USBR, 2005).

Las deficiencias topográficas afectan adversamente el uso eficiente del agua de riego y aumentan los riesgos de erosión hídrica. La correlación de este factor con el grado de aptitud para riego, obliga a considerar tres factores topográficos principales como el grado de pendiente (%), relieve (microrelieve, ondulaciones, disección), posición (planicie, depresión, terraza, plano inclinado, pendiente plana o cóncava) (USBR, 2005).

El factor drenaje permite la descarga del agua de un área por escurrimiento laminar o canales (drenaje superficial), y la eliminación del exceso de agua contenida en el suelo por movimiento del agua hacía abajo, o por flujo lateral a través del suelo, subsuelo y substrato (drenaje interno). Los criterios más útiles para evaluar las necesidades de drenaje existente o potencial, son: infiltración del suelo y subsuelo, profundidad de capa freática (incluyendo su fluctuación), posición de la tierra, salinidad, alcalinidad e inundaciones (USBR, 2005).

### **Clasificación por aptitud para el riego**

La clasificación de tierras por aptitud para el riego es una interpretación de las cualidades y características de los terrenos en función de la facilidad o dificultad que el uso agrícola bajo riego. En el Cuadro 3 se muestran las especificaciones

para determinar la aptitud de las tierras para riego. En la parte horizontal son presentadas las clases de tierras según las limitaciones o riesgos en el uso de éstas, se ordenan de la más a la menos apta (USBR, 2005).

Cuadro 3. Especificaciones para determinar la aptitud de las tierras para riego.

Clase	Denominación	Evaluación
1	Arable	Muy adecuada para el riego. Nivel más alto de aptitud. Producciones altas dentro del intervalo climatológico a un costo razonable.
2	Arable	Conveniente para el riego. Exige seleccionar los cultivos. Mayores gastos para producir.
3	Arable	Marginalmente apta para el riego. Deficiencias importantes. Restringido número de cultivos.
4	Limitadamente arable	Usos restringidos. Requieren estudios complementarios para verificar si son regables. Puede ser regable para usos especiales (en ciertos casos frutales).
5	No arable	Clase provisional, agrupa suelos de aptitud dudosa para ser transformados. Requiere estudios posteriores.
6	No transformable	No cumple las condiciones mínimas exigidas. La capacidad de pago estimada se hace menor que los gastos previstos de la transformación.

Además de estas subclases básicas se reconocen subclases suplementarias (opcionales), que limitan la utilidad de la tierra a ciertos usos debido a drenaje inadecuado, textura pesada, excesiva salinidad y alcalinidad, topografía muy irregular, etc. En estos casos el uso particular de la tierra está indicado por letras mayúsculas adicionales al número de clase de riego, ejemplo: 4Rsd y 4Pst (donde R indica que son tierras aptas para cultivar arroz o caña y P cultivos perennes) (USBR, 2005).

## II.7 Área de estudio

El estudio se limitó a parte de la superficie ocupada por los municipios de Balancán y Tenosique, Tabasco (18° 10'-17° 15' N; 91° 42'-90° 59' W), tal y como se muestra en la Figura 2.

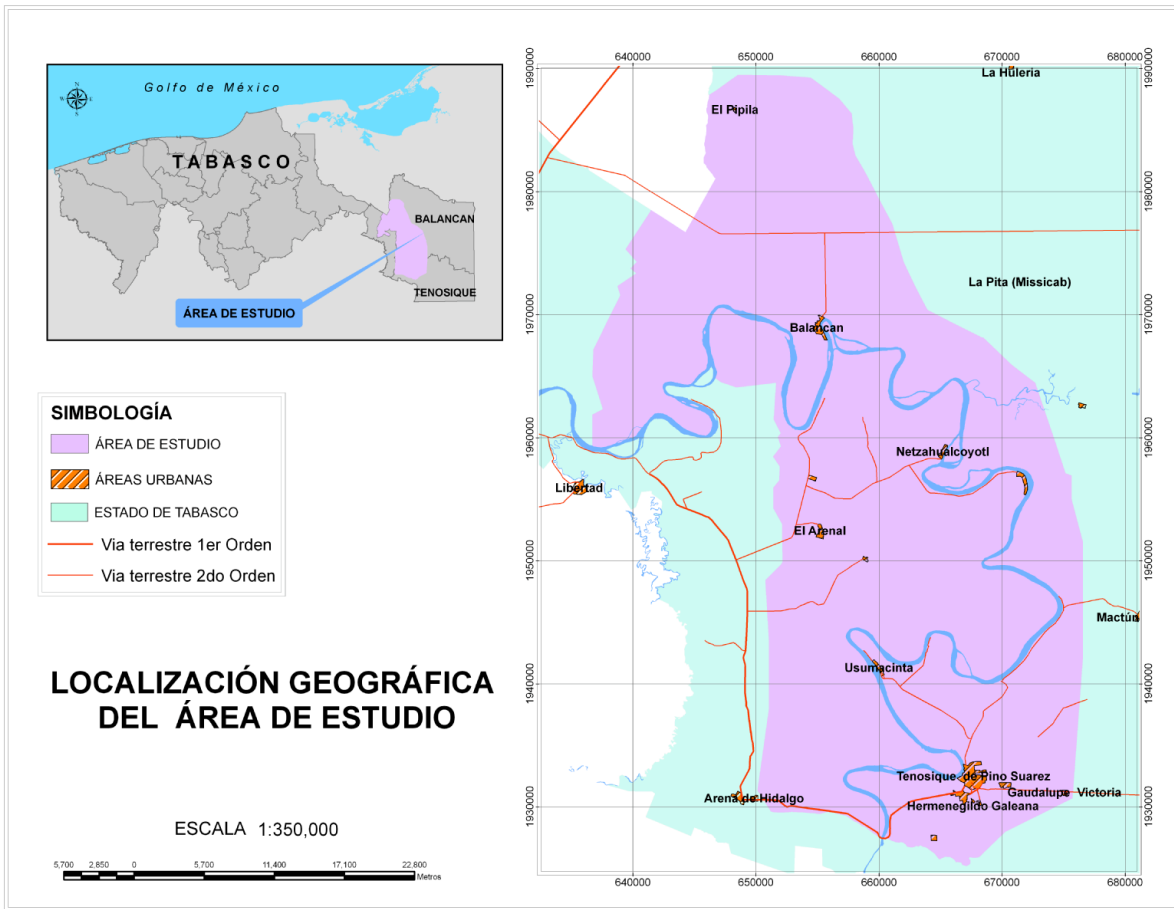


Figura 2. Mapa del área de estudio.

Esta región colinda al sur y este con la República de Guatemala, al norte con el estado de Campeche, al este con el municipio de Emiliano Zapata y el estado de Chiapas. En su geomorfología predominan las llanuras y los lomeríos bajos con extensas planicies de inundación, con una altitud promedio de 60 msnm (INEGI, 2001).

En su porción sur se encuentra un relieve de tipo montañoso predominando rocas calcáreas que no sobrepasan los 250 msnm. El clima predominante es cálido húmedo con lluvias en verano. La zona registra una temperatura media anual de 26 °C y una precipitación promedio de 2 750 mm anuales (INEGI, 2001).

Los recursos hídricos superficiales son numerosos, y el Usumacinta es el principal río que atraviesa la región. En la porción sur y sureste se encuentra vegetación de selva alta perennifolia, mientras que en el resto del área de estudio se localizan remanentes de selva mediana y baja subperennifolia en diferentes condiciones de conservación. La vegetación acuática (popales y tulares) es característica de las zonas inundables y en las zonas de drenaje deficiente es posible observar relictos de sabanas (INEGI, 2001).

## **II.7.1 Municipio de Balancán**

### **II.7.1.1 Localización**

El municipio de Balancán se localiza en la subregión de los Ríos de la región del Usumacinta, teniendo como cabecera municipal a la ciudad de Balancán de Domínguez, sus coordenadas geográficas son: 18° 10', al sur 17° 26' de latitud norte, y 90° 59' y 91° 42' de longitud oeste. Colinda al norte con el Estado de Campeche, al sur con el municipio de Tenosique; al oeste con el Estado de Campeche y la república de Guatemala, y al oeste con el municipio de Emiliano Zapata (Gobierno del Estado de Tabasco, 2006).

### **II.7.1.2 Extensión**

La extensión territorial del municipio de es de 3,574 km<sup>2</sup>, los cuales corresponden al 14.45% respecto del total del Estado, ocupa el segundo lugar en la escala de extensión municipal (Gobierno del Estado de Tabasco, 2006).

### **II.7.1.3 Hidrografía**

El municipio se encuentra regado por los ríos Usumacinta y San Pedro Mártir, éste último se une al Usumacinta frente a la Ranchería Bajo Netzahualcóyotl. El río Usumacinta, durante su curso por el municipio, forma pequeñas islas como las de: Missicab, Frente Único, Multe y Netzahualcóyotl. En la colindancia con el Estado de Campeche, corren los ríos Salsipuedes, Chumpán, San Joaquín y Pejelagarto. En el Municipio se encuentran 48 lagunas, destacando: El Mangal, La Tomasita, Chaschoc, El Chinal, Multé, Suniná, Leona Vicario, San José del Río, Santa Ana,

El Guanal y El Lechugal, que junto con 8 arroyos y tres estanques conforman una superficie de 18,600 has de agua (Gobierno del Estado de Tabasco, 2006).

#### II.7.1.4 Clima

El clima es cálido húmedo, con abundantes lluvias en verano; tiene una temperatura media anual de 26°C y la mínima absoluta alcanza los 20°C. El régimen de precipitaciones se caracteriza por un total de 1,500mm, localizándose las máximas en el mes de septiembre, y las mínimas en abril. La humedad relativa se estima en un máximo de 90% en los meses de septiembre y octubre y un mínimo de 74% en abril y mayo. En la región noroeste, el municipio tiene un clima cálido-subhúmedo, con lluvias en verano. Ésta zona es la menos húmeda del Estado, con un régimen de precipitación no mayor de 1,865.8mm (Gobierno del Estado de Tabasco, 2006).

#### II.7.1.5 Agricultura

El municipio de Balancán se destaca por la producción de cultivos básicos, tales como el maíz, arroz, sorgo, frijol y hortalizas. En el Cuadro 4 se muestran los principales cultivos.

Cuadro 4. Principales cultivos en Balancán, Tabasco en 2005.

Cultivo	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)
Arroz palay	4,224	8,172
Calabaza chigua	2,213	639
Caña de azúcar	123	7,380
Chile jalapeño	34	739
Chile seco	50	16
Frijol	2,088	961
Maíz	22,081	25,620
Papaya	640	24,550
Palma de aceite	2,518	0
Sandía	1,039	11,251
Sorgo	3,536	10,624

Fuente: SAGARPA, 2005.



### **II.7.1.7 Uso del suelo**

El municipio de Balancán presenta una gran diversidad de suelos. En el noroeste, limitando con el municipio de Emiliano Zapata y el Estado de Campeche, así como una pequeña área al este se encuentran suelos Gleysoles, que son generalmente de texturas arcillosas francas y presentan problemas de exceso de humedad por deficiente drenaje.

En la zona centro-sur se encuentran Vertisoles, suelos muy arcillosos; presentan fuertes agrietamientos en la época de sequía y tienen problemas de drenaje. En la región centro-norte del municipio, existen Cambisoles. Al este del municipio, en los límites con el Estado de Campeche y la República de Guatemala se tienen Rendzinas, que son suelos con alto contenido de materia orgánica y materiales calcáreos, generalmente asociados a pendientes abruptas.

En los límites con los municipios de Emiliano Zapata y Tenosique existen Regosoles, que son arenosos, ácidos, deficientes en fósforo y de mediana fertilidad. En menor proporción cuenta con Feozem, suelos ricos en materia orgánica, así como Fluvisoles asociados generalmente a las márgenes de los ríos (Gobierno del Estado de Tabasco, 2006).

## **II.7.2 Municipio de Tenosique**

### **II.7.2.1 Localización**

El municipio de Tenosique se encuentra ubicado entre las coordenadas 17° 40' y 17° 15' de latitud norte y 91° 00' y 91° 38' de longitud oeste. El municipio cuenta con una franja fronteriza al sur de 48 km y al este de 22 km (INEGI, 2003).

### **II.7.2.2 Extensión**

La extensión territorial del municipio de es de 1 883 km<sup>2</sup>, los cuales corresponden al 7.61% respecto del total del Estado, ocupa el sexto lugar en la escala de extensión municipal (INEGI, 2003).

### II.7.2.3 Hidrografía

El municipio se encuentra regado por los ríos Usumacinta y San Pedro Mártir, el primero tiene raudales en la parte alta como el San José, Agua Azul, Anaité y el Colorado. El río San Pedro Mártir proveniente del Petén, Guatemala, se interna a territorio mexicano en éste municipio, desplazándose hacia el norte en el municipio de Balancán, donde se une al río Usumacinta (INEGI, 2000). En el municipio hay gran cantidad de lagunas y arroyos, entre los que destacan la laguna de Canitzán, el Pucte, Laguna Grande, Laguna Chica, El Mait y Ensenada, así como el arroyo Polevá (Gobierno del Estado de Tabasco, 2006).

### II.7.2.4 Clima

El clima es cálido húmedo, con abundantes lluvias en verano; tiene una temperatura media anual de 30.5°C y la mínima absoluta alcanza los 26.9°C. El régimen de precipitaciones se caracteriza por un total de 3 286mm, con un promedio máximo mensual de 400mm en el mes de septiembre, y un mínimo mensual de 50mm en abril (INEGI, 2003).

### II.7.2.5 Agricultura

El municipio de Tenosique se destaca por la producción de cultivos básicos, tales como el maíz, caña de azúcar, frijol y sandía. En el Cuadro 5 se muestran los principales cultivos.

Cuadro 5. Principales cultivos en Tenosique, Tabasco en 2005.

Cultivo	Superficie cosechada (ha)	Producción (t año <sup>-1</sup> )
Calabaza chigua	695	215
Caña de azúcar	3,765	233,763
Frijol	307	117
Maíz	9,457	10,370
Mango	654	364
Palma de aceite	1,860	738

Fuente: SAGARPA, 2005.

### **II.7.2.7 Uso del suelo**

El municipio de Tenosique cuenta con diversidad de suelos. Al este y limitando con el municipio de Balancán y la República de Guatemala, se tienen Vertisoles, suelos muy arcillosos con fuertes agrietamientos en la época de sequía y con problemas de drenaje. En la parte central del municipio se tienen Cambisoles y Gleysoles, que generalmente son de texturas arcillosas o francas, presentan problemas de exceso de humedad por drenaje deficiente. También se encuentran Fluvisoles asociados a las márgenes de los ríos que bañan el municipio.

En la parte noroeste del municipio y en pequeñas áreas del sur, se encuentran Regosoles, que son suelos arenosos, ácidos y deficientes en fósforo. Al sur del municipio, en los límites del Estado de Chiapas y la República de Guatemala, se tienen Litosoles, suelos que presentan poca profundidad, limitada por estratos duros y coherentes (rocas) dentro de los primeros diez centímetros. Existe un sistema montañoso del cual se extraen piedras para la industria gravera y de cal, asimismo, se extraen arena y grava de los ríos, lagunas y arroyos (Gobierno del Estado de Tabasco, 2006).

## **II.8 LITERATURA CITADA**

- Aceves N. E. 1979. El ensalitramiento de los suelos bajo riego. Identificación, control, combate y adaptación. Colegio de Postgraduados, rama de riego y drenaje. Chapingo, México. 382 p.
- Aguilera C., M., y R. Martínez E. 1996. Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. Cuarta Edición. Ed. Chapingo. Chapingo, México. 174p.
- Aidarov I., P., I. Golovanov, A., y G. Mamaev, M. G. 1985. El Riego. Ed. Mir. Moscú. 240 p.

- Ángeles M., V. 2000. Diseño Agronómico de Sistemas de Riego Presurizado. Número de edición. Ed. Chapingo. Chapingo, México.
- ANIAME (Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles AC). 2004. ANIAME. Vol. 9. Número 45.  
[http://www.portal.aniame.com/palma\\_.shtml](http://www.portal.aniame.com/palma_.shtml) - 22k).
- Aronoff, S. 1989. Geographic information systems: a management perspective. Ed. WDL Publications. Ottawa, Canadá. 294 p.
- Barrios R., A. Arteaga, A. Florentino y G. Amaya. 2003. Evaluación de sistemas de subirrigación y de aspersión en suelos cultivados con palma aceitera. UDO Agrícola 3(1): 39-46.
- Berry, J.K., 1987. Fundamental operations in computer-assisted map analysis. International Journal of Geographical Information Systems. 1(2): 119-136.
- Bernstein, L. 1974. Crop growth and salinity. Agronomy. 17: 39-54.
- Bingham, F. T., J. D. Rhoades y R. Keren. 1985. An application of the Maas-Hoffman salinity response model for boron toxicity. Soil Science Society American Journal. 4:672-674.
- Bresler, E., B. L. McNeil y D. L. Carter. 1982. Saline and sodic soils: principles-dynamics-modeling. Springer-Verlag, Berlín Heidelberg. New York. 236 p.
- Burrough, P. A. 1986. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Monographs on Soil and Resources Survey no. 12.. Clarendon Press, Oxford.

- Byers, R. A. 1993. Introducción a las bases de datos con Dbase III plus. Editorial McGraw Hill. Mexico. 365 p.
- Comas, D. y E. Ruiz. 1993. Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica. Ed. Ariel. Barcelona, España. 308 p.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2002a. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero de Los Ríos, Estado de Tabasco. México, D.F. 14 p.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2002b. Manejo del agua y preservación de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2003. Agua en México. Sistema unificado de información básica del agua. México, D. F. 103 p.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2004. Informe de relaciones de usuarios de obras de riego construidas en el año de 1999-2004. Comisión Nacional del Agua. Folleto informativo. Cárdenas, Tabasco, México.
- Coras M., P.M. 1996. Calidad química del agua para riego. Ed. Coras M., P.M. Ed. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 116 p.
- Dávila M., F. J. 2000. Aplicaciones de los sistemas de información geográfica. Instituto del Mar del Perú. Disponible: <http://www.geogra.auh.es/>
- Dueker, K.J., 1987. Land Resource Information Systems: A review of fifteen years experience. Geoprocessing. 1: 197-208.
- Enciso J. 1995. Manual para planificar la tecnificación del riego parcelario. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, SEMARNAP, CONAGUA.107 p.

- Etchevers, B. J. D. 1990. Uso y manejo del suelo y agua. *In*: CRECIDATH-CP Retrospectiva y Perspectiva de la Investigaciones en el Uso de los Recursos Naturales del Trópico Mexicano. (comps.) Mosqueda V., R. O. Ruíz R., y C. Ávila R. Colegio de Postgraduados, Tepetates, Veracruz.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nation). 1997. Zonificación agroecológica, guía general. Boletín de suelos de la FAO 73. Roma, Italia. 91 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nation)-SAGARPA/NAL/PAC. 2000. Informe nacional del programa palma de aceite. ANIAME. 123 p en: [http://www.portal.aniname.com/palma\\_.shtml](http://www.portal.aniname.com/palma_.shtml) - 22k).
- Flores S., A. 1993. El proceso de producción agrícola del Plan Chontalpa, Tabasco. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 160 p.
- Gobierno del Estado de Tabasco. SF. La palma de aceite en el sureste de México, Caso Tabasco. Villahermosa, Tabasco. 194 p.
- González L., V. W., E. Ortiz C., A. Sandoval E., A. Olivera S., E. Domínguez C., L. Ávila A., A. Alejo J., A. Palacios P. y M. A. Coutiño F. 1999. Tecnología para la producción de palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq, en México. México. Libro Técnico No. 4. INIFAP, Veracruz, México. 177 p.
- González M., A. 2002. Tipos de bases de datos. Monografías.com <http://www.monografias.com/trabajos27/bases-datos/bases-datos.shtml#top>
- Guimet, P. J. 1992. Introducción Conceptual a los Sistemas de Información Geográfica. Ed. Estudio Gráfico. Madrid, España. 139 p.
- Hansen, E. H. y O. Israelsen W. 1975. Principios y aplicaciones del riego. Ed. Reverté. Barcelona, España. 369 p.

- Hartley, C. W. S. 1983. La palma de aceite. 1era. Edición en español de la 2da. Edición en inglés. Ed. Continental. México, D. F. 958 p.
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 1989. Manual de Clasificación, cartografía e interpretación de suelos con base en el sistema de taxonomía de suelos. eds. Daniels, L. A., E. García. E. y J. Vargas C. Comisión Nacional del Agua. Morelos, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2001. Síntesis de información geográfica del estado de Tabasco. Ed. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, México. 100 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2003. Síntesis de información geográfica del estado de Tabasco. Ed. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, México. 83 p.
- Laurini, R. y D. Thompson. 1992. Fundamentals of spatial information systems. Ed. Academic Press, The APIC Series # 37, London, UK. 672 p.
- Leal M., J. L. 1989. La palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq) estudio de caso en la costa de Chiapas. Tesis de licenciatura Departamento de Fitotecnia. Chapingo, México. 77 p.
- Lugo Ch., H.1990. Modernización del sector agropecuario mexicano, Instituto de proposiciones estratégicas A.C., México.
- Maguire, D.J., M. F. Goodchild, y D. W. (Coords.). 1991. Geographical Information Systems: principles and applications, Longman, Londres.

- Márquez R., I., B. de Jong, A. Eastmond, S. Ochoa G. y S. Hernández M. 2005. Estrategias productivas campesinas: un análisis de los factores condicionantes del uso del suelo en el oriente de Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*. 21(42): 57-73.
- Marín H., A. 1991. Un sistema de base de datos con opciones gráficos y estadísticos para las áreas Biológicas y Agronómicas. Tesis Maestría Colegio de Postgraduados Montecillos, México.
- Maas, E. V. 1984b. Crop tolerance. *Calif. Agric.* 38 (10): 20-21.
- Maas, E. V. 1986. Salt tolerance of plants. *Applied agricultural research. Appl. Agric. Res.* 1:12-26.
- Mejía S., E. A., E. Palacios V., A. L. Santos H. y M. E. Delgadillo P. 2003. Mejoramiento del manejo de distritos y módulos de riego utilizando Sistemas de Información Geográfica. *Tierra Latinoamericana* 21:4.
- Morocho V., Z., L. Saltor F. y L. Pérez V. 2001. Hacia la Integración de Bases de Datos Espaciales. Ed. Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. 17 p.
- NCGIA (National Center for Geographic Information and Analysis). 1990. Core Curriculum I. Introduction to GIS; II. Technical issues in GIS; III. Application issues in GIS. Ed. National Center for Geographic Information and Analysis. University of California, Santa Bárbara, California.
- Origel G., G. 2002. Sistematización de cartografía digital en la faja volcánica. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica. México, Distrito Federal. 144 p.



- Palacios V., O. y E. Aceves N. 1970. Instructivo para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego. Ed. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Palma L., D. J., V. Bernabe A., J. A. Rincón R., E. Moreno C., A. López C. y G. M. Escanga V. 2003. Infraestructura de riego y diagnóstico de erosión en el estado de Tabasco. Colegio de Postgraduados. Cárdenas, Tabasco. 22 p.
- Pizarro C, F. 1996. Riego Localizado de alta frecuencia (RLAF). Tercera edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 513 p.
- Rhoades, J. D. 1972. Quality of water for irrigation. *Soil Science* 113: 277-284.
- Richards L., A. 1954. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. *In: Manual de agricultura* N° 60. Ed. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. 171 p.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2004. Plan rector del sistema producto palma de aceite de Chiapas 2004-2014. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Chiapas, México. 97 p.
- Sánchez M., E. A. 2005. Plantaciones forestales comerciales: base de datos y análisis financiero. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 98 p.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). 1981. Estudio agrológico semidetallado de la segunda etapa del proyecto Balancán-Tenosique, estado de Tabasco. Ed. Subdirección de Agrología. Mérida, Yucatán. 145 p.

- Soria R., J., C. J. Ortiz S., F. Islas G. y V Volke H. 1998. Sensores remotos, principios y aplicaciones en la evaluación de los recursos naturales, experiencias en México. Publicación especial 7. Sociedad mexicana de la ciencia del suelo. Ed. Colegio de Postgraduados. Chapingo México. 93 p.
- SRH (Secretaría de Recursos Hidráulicos). 1972. Estudio agrológico especial del proyecto de riego, Balancán-Tenosique, Tabasco. Ed. Subdirección de Agrología. Publicación número 3. México, D.F. 145 p.
- SEDAFOP (Secretaría de Desarrollo Agrícola Forestal y Pesca). 2003. Boletín informativo de las unidades de riego para el desarrollo rural. Ed. SEDAFOF. Villahermosa, Tabasco, México.
- Trejo M., J. A. 2000. Sistemas de base de datos. Monografías en línea
- Tomlin, C.D., 1990, Geographic Information Systems and Cartographic Modeling, Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.
- Tomlinson, 1999. An Overview: The Future of GIS, *ArcNews*, Winter 1999-2000. Environmental System Research Institute (ESRI), Redlands, California. p. <http://www.esri.com/news/arcnews/winter9900articles/gis2000/03-tomlinson.html>
- Tudela F. 1992. La modernización forzada del trópico: caso Tabasco. Ed. Colegio de Mexico A. C. México, D. F. 475 p.
- Surre, C. y R. Ziller. 1969. La palmera de aceite. Técnicas agrícolas y producciones tropicales. Ed. Blume. 231 p.
- USDA(United States Department of Agriculture-Soil Conservation Service). 1972. Plantas de bombeo para riego. Ed. Diana. México, D. F. 86 p.

USBR (United States Department of the Interior Bureau of Reclamation). 2005. Reclamation managing water in the west: Technical guidelines for irrigation suitability land classification. United States Department of the Interior Bureau of Reclamation. Denver, Colorado. Chapters II- V.

Wilcox, L. V. 1960. Boron injury to plants. USDA. Inf. Bull. 211, 7 p.

## CAPÍTULO III

### INFRAESTRUCTURA DE RIEGO DE DOS ZONAS DE BALANCÁN Y TENOSIQUE, TABASCO INTEGRADA EN UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

#### III.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad el lenguaje digital se ha venido ocupando en todos los ámbitos por todas las funciones que realiza, anteriormente las bases de datos se almacenaban en papel y se deterioraban en poco tiempo por diversos factores. Es por ello, que se han generado programas de cómputo con capacidades de diseño en acomodo de información ordenada que facilita al usuario el acceso a la información (Lantada y Núñez, 2004).

Un SIG es una base de datos computarizada que contiene información espacial, en donde se almacena información cartográfica e información alfanumérica (base de datos asociada con los atributos de cada elemento del mapa digital). De ahí, la importancia de contar con un diseño adecuado de las bases de datos en campos tan complejos como la planificación urbana, la gestión de los recursos hídricos, la planificación del transporte, la gestión de la infraestructura, etc. (Origel, 2002, Tomlinson, 1999, Maguire *et al.*, 1991).

El USDA (1972), define a la infraestructura de riego como el conjunto de obras hidráulicas destinadas a la extracción, captación, almacenamiento, conducción y distribución del recurso agua con fines de riego. Por su parte, Ángeles (2000), define la infraestructura como las partes de un sistema o instalación que proporciona un servicio y la clasifica en dos, en infraestructura de riego mayor, donde ubica a las obras de gran envergadura, tales como embalses, pozos profundos y canales de derivación, que abastecen a los predios, e infraestructura menor, la cual se refiere a la red de canales y estructuras laterales, tales como

tomas, estructuras de medición y control de agua, pequeños sifones, alcantarillas, disparadores de energía, entre otros.

Esta base de datos georreferenciada es una herramienta que busca apoyar a los tomadores de decisiones y usuarios en general para realizar actividades de mejoramiento de la infraestructura de riego en los municipios de Balancán y Tenosique, debido a que la cartografía permite visualizar con facilidad y rapidez la distribución dentro del municipio sobre la infraestructura de riego, su estado actual, uso y condiciones.

Destacando la importancia de las diferentes aplicaciones de los SIG, en el presente trabajo se realizó un inventario georreferenciado de la infraestructura de riego en los municipios de Balancán y Tenosique para conocer la cantidad y el estado de conservación en que se encuentra dicha infraestructura, el cual es parte de un proyecto financiado por el Fondo Mixto, por lo anterior se planteó el objetivo general: Generar una base de datos de la infraestructura de riego existente del Municipio de Balancán y Tenosique, integrada en un Sistema de Información Geográfica, con los objetivos particulares siguientes:

- a) Realizar un inventario de la infraestructura de riego existente para conocer su estado actual.
- b) Integración de la base de datos de la infraestructura de riego existente a un Sistema de Información Geográfica, para elaborar la cartografía de la infraestructura de riego en un área de los municipios de Balancán y Tenosique.

La hipótesis del presente trabajo plantea que: En el área de estudio de los municipios de Balancán y Tenosique, existe infraestructura de riego sin uso y que más del 50% de dicha infraestructura está destinada al uso agrícola.

## **III.2 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **III.2.1 Área de estudio**

El área de estudio comprende la superficie con potencialidad para el cultivo de la palma de aceite localizada en la zona de los ríos de los municipios de Balancán y Tenosique, en el Estado de Tabasco. La superficie total comprendida es 141,823 ha localizadas entre las coordenadas extremas 636703 a 676588 y 1989488 1925140 UTM.

Se realizó el inventario, diagnóstico y evaluación de la infraestructura de riego existente, así como la caracterización del uso actual del suelo en el área de influencia. Esta información permite un manejo integral dentro de un marco de referencia del uso de la infraestructura, ligados a los sistemas de producción y uso del suelo, que finalmente permite dar alternativas sostenibles que generen como resultado un instrumento de planeación, gestión y acción.

En este estudio se utilizaron las coordenadas UTM, Datum WGS84, Proyección UTM, Zona 15 Norte. El presente trabajo se elaboró en el laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. El proceso metodológico para la operación de este trabajo se divide en tres fases tal como se muestra en la Figura 3.

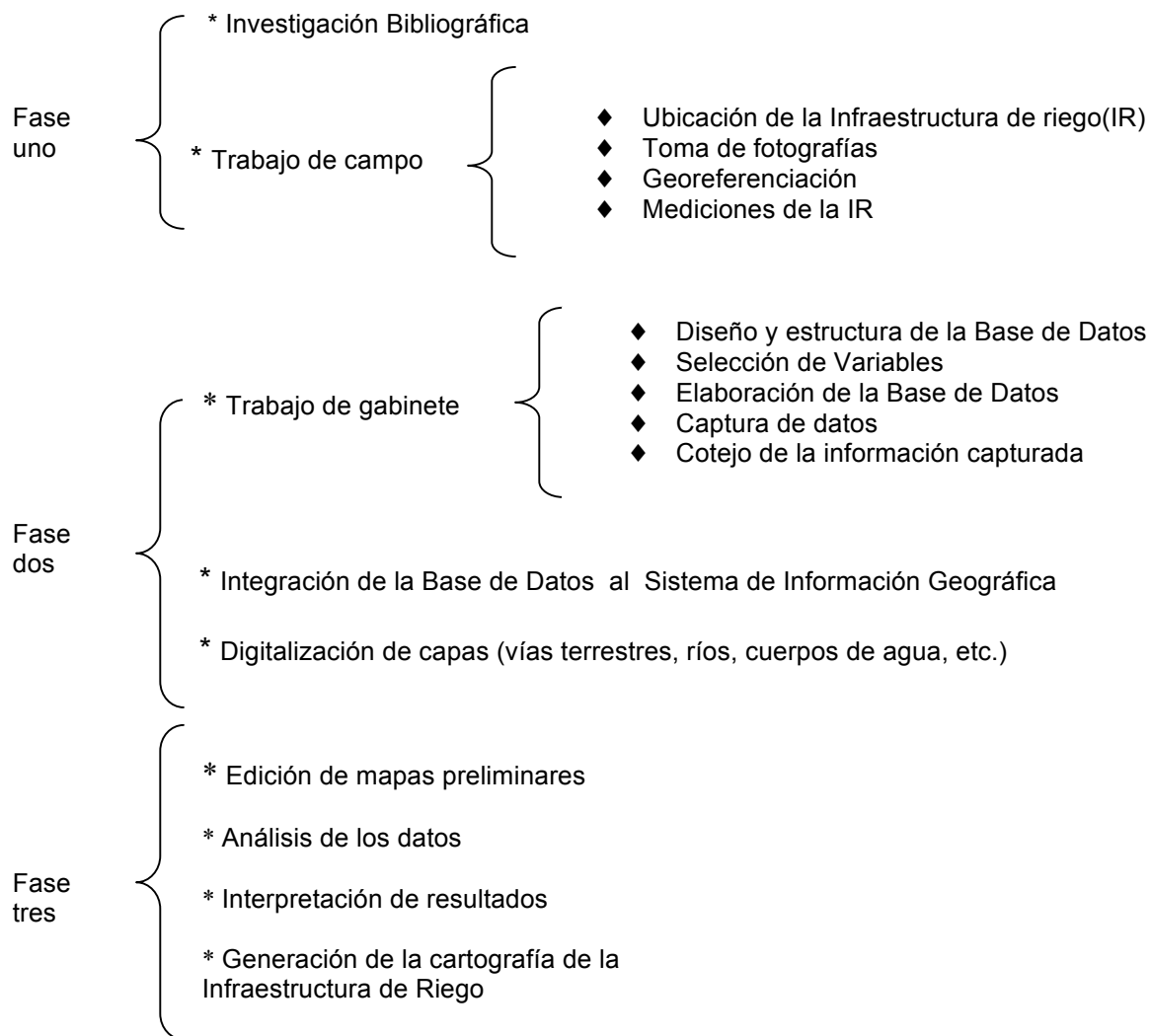


Figura 3. Secuencia metodológica del trabajo realizado.

### III.2.2 Ubicación Geográfica de la Infraestructura de Riego

El trabajo de campo, es la primera fase del trabajo, el cual comprende cuatro tiempos que fueron: ubicación de la infraestructura de riego, toma de fotografías, georeferenciación del sitio y mediciones de la infraestructura. La infraestructura inventariada en este trabajo fueron los pozos profundos mayores de 15 metros de profundidad y plantas de bombeo, con los cuales se extrae agua de ríos, lagunas, jagüeyes, drenes y bordos; mismos que se enlistan en el anexo C.

### **III.2.3 Georreferenciación de la infraestructura de riego**

Para la ubicación geográfica de la infraestructura de riego, se usó un Geoposicionador satelital, marca L<sup>E</sup> Lowrance Finder GO<sup>®</sup>, para lo cual se tomaron en promedio de 6 a 10 lecturas para tener una mejor precisión del GPS. Las coordenadas obtenidas fueron en la proyección UTM.

### **III.2.4 Mediciones y caracterizaciones de la infraestructura de riego**

Las mediciones que se tomaron de la infraestructura fueron las necesarias para la caracterización y evaluación de las mismas. En pozos profundos se tomó la medida del diámetro tubo de ademe y en las plantas de bombeo, se midió el diámetro del tubo o manguera de extracción. Otros indicadores considerados fueron las características del equipo de bombeo, caracterización del lugar, cultivo, propietarios, entre otros.

### **III.2.5 Diseño y estructura de la base de datos**

Para el diseño de la base de datos fueron consideradas 15 variables, las cuales fueron introducidas en el programa Access<sup>®</sup> de Microsoft<sup>®</sup> tanto en forma de tabla como de formulario.

#### **III.2.5.1 Selección de variables a evaluar**

Las variables fueron seleccionadas con base en el cumplimiento de los objetivos planteados e información relacionada con las condiciones de la infraestructura existente, entre ellas se consideraron las siguientes: diámetro del tubo, nivel del manto freático, pendiente del terreno, cultivo, propietario, estado actual, infraestructura, bomba y actividad.



### III.2.5.2 Elaboración de la base de datos

Se trabajó en el laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, se usaron los programas de computo Access® y Excel® de Microsoft®, así como un software de Sistemas de Información Geográfica (SIG) Arc Map 9.0®, en el cual la información de la base de datos fue integrada y procesada, convirtiéndolos en archivos Shapefile, para ser visualizados y manipulados por cualquier usuario interesado en su consulta mediante cualquier programa de Sistemas de Información Geográfica.

### III.2.5.3 Captura de datos

En la Figura 4 se muestra el diseño del formulario de la base de datos en donde la información recabada en campo fue concentrada de acuerdo a la fecha de registro.

The screenshot shows a data entry form with the following fields and values:

Field	Value
ID	1
NUM GPS	237
X	646475
Y	1978913
MUNICIPIO	BALANCAN
POBLADO	EJ. MARIO CALCANELO
PROPIETARIO	MANUEL RAMIREZ CORONA
CULTIVO	ARROZ
TIPO DE RIEGO	RODADO
DIAM PUL	16
TIPO BOMBA	0
CAPACIDAD HP	
SUPERFICIE RIEGO	100
ACTIVIDAD	INACTIVO
PENDIENTE	0.5
N FRIA MET	15
OBSERVACIONES	ES UN POZO QUE YA FUE AFORADO, PERO AUN NO ESTÁ CONCLUIDO NI INSTALADO EL EQUIPO DE BOMBEO Y DE ELECTRICIDAD.
MUESTRA	NO
FECHA ID	08/01/2008

At the bottom of the form, it indicates 'Registro: 1 de 62'.

Figura 4. Diseño del formulario de la Base de Datos.

### III.2.5.4 Cotejo de la información capturada

Dentro de esta etapa se evaluó el uso y el estado actual de la infraestructura de riego encontrada, y se realizó su clasificación, tal y como se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Clasificación de la infraestructura de riego.

Infraestructura de riego	Criterios para su clasificación
Activos	Sitios que actualmente están en uso.
Inactivos	Sitios que fueron usados y que actualmente están sin ninguna actividad por encontrarse en malas condiciones o están en proceso de rehabilitación.
Con infraestructura	Sitios que conservan parte de lo que fue su infraestructura
Sin infraestructura	Sitios que están totalmente desmantelados que únicamente se encuentra el tubo principal
Pozos profundos	Sitios cuyos pozos tienen una profundidad mayor de 15 metros
Plantas de bombeo	Sitios en donde la toma corresponde a algún cuerpo de agua superficial.

### III.2.6 Integración de la base de datos al Sistema de Información Geográfica

Con la finalidad de presentar un panorama de la situación de los sistemas de riego que fueron inventariados en el área de estudio, se enlazaron los datos de atributos presentados en el formulario de la base de datos, con un Sistema de Información Geográfica; lo que permitió visualizar en forma general y espacial la infraestructura de riego existente.

### **III.2.7 Digitalización de capas**

Para la edición del mapa preliminar, se utilizó información generada en el laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del Colegio de Postgraduados, a partir de las cartas topográficas de INEGI (1984, 1987, 1988, y 2000 a escala 1:50,000) y se usó una tableta digitalizadora y el Software ArcView 3.2<sup>®</sup> para digitalizar los rasgos principales como son: poblados, vías terrestres, líneas eléctricas, drenes, ríos, lagos, etc. Esta digitalización se realizó de forma vectorial a un formato shapefile el cual es compatible con la mayoría de software de SIG.

### **III.2.8 Edición de mapas preliminares**

Para la obtención del primer mapa preliminar, se introdujeron los archivos digitalizados, usándose como mapa base una escala de 1:50,000; posteriormente se agregaron los datos de la infraestructura de riego, así como el área de estudio. Finalmente se visualizó la ubicación geográfica de la infraestructura de riego existente.

## **III.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **III.3.1 Inventario de la infraestructura de riego en los municipios de Balancán y Tenosique**

En la presente investigación se desarrolló una base de datos con coordenadas geográficas de las obras de infraestructura de riego, se documentó la cantidad y condiciones en las que dicha infraestructura se encuentra y posteriormente esta base de datos fue incorporada a un Sistema de Información Geográfica, con la finalidad de mejorar la eficiencia en la consulta del inventario de la infraestructura de riego.

Para facilitar el análisis de la situación actual de la infraestructura de riego, ésta fue dividida en dos grupos: activa, aquella que está en pleno uso para diversos cultivos y/o actividades, e inactiva, que corresponde a instalaciones que fueron

usadas en alguna época y que ahora han dejado de funcionar por razones técnicas y/o económicas, aquí se incluyeron instalaciones que cuentan con el tubo principal del pozo profundo, o incluso parte de su infraestructura pero no la bomba.

En los resultados del inventario de la infraestructura de riego en el área de estudio se presentan los datos generales de las instalaciones encontradas, basado en la clasificación de la infraestructura de riego (Cuadro 7).

Cuadro 7. Clasificación de la infraestructura inventariada en el área de estudio de los municipios de Balancán y Tenosique, Tabasco.

<b>Condición de la infraestructura de riego</b>	<b>Cantidad</b>
<i>Inactiva</i>	15
Sin infraestructura	5
Con Infraestructura	10
<i>Activa</i>	47
Agrícola	45
Forestal	2
Con pozos	13
Con plantas de bombeo	49
Total	62

Se encontraron 62 sistemas de riego, de los cuales, 47 se encuentran activos y 15 inactivos. Del total de sistemas de riego activos, 45 son de uso agrícola y dos de uso forestal. Por otra parte, de los sistemas de riego inactivos únicamente diez de ellos cuentan con infraestructura de riego. Esta información es representada cartográficamente en la Figura 5, donde se observa su distribución en toda la superficie municipal.

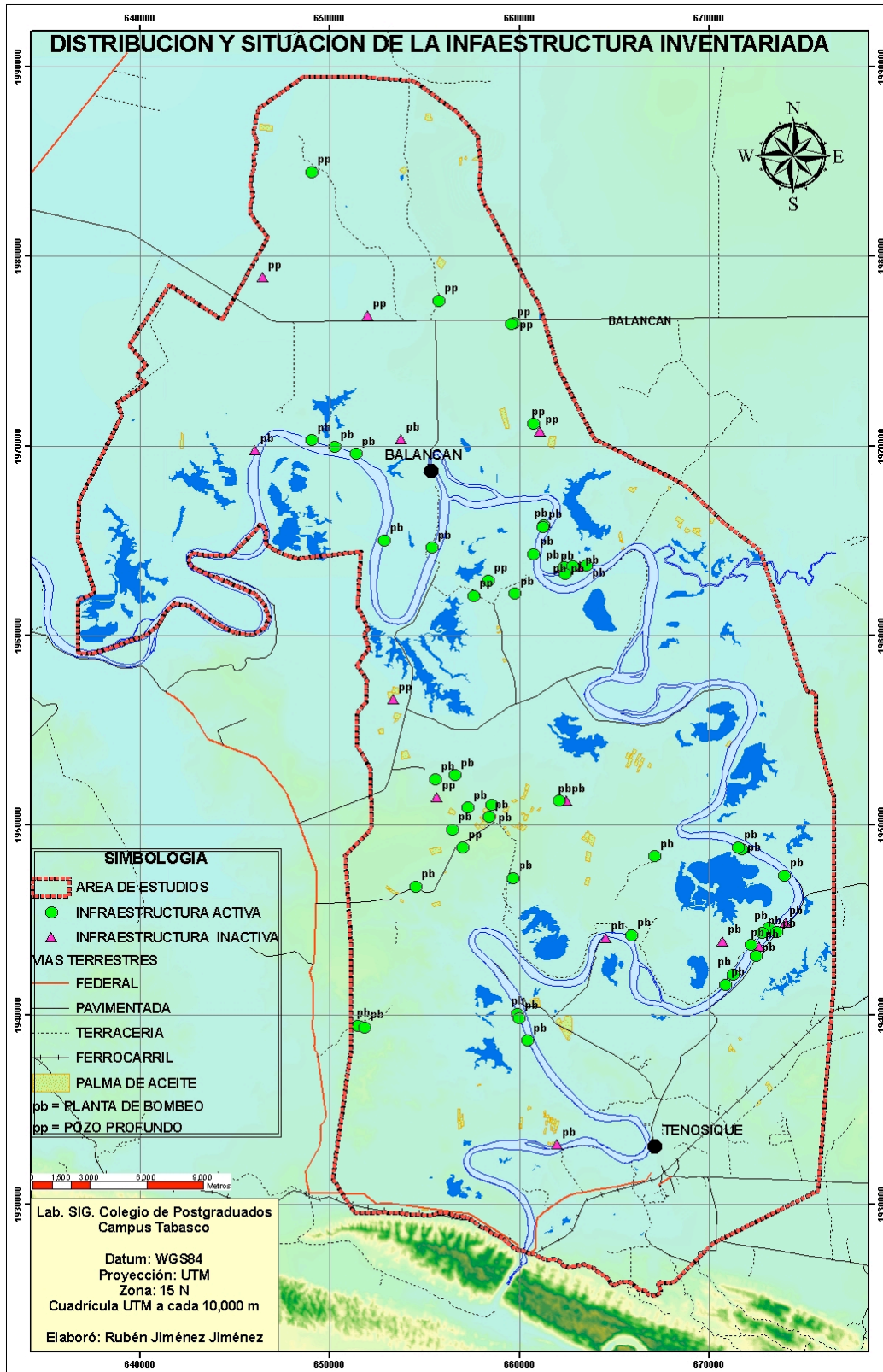


Figura 5. Mapa que muestra las parcelas de palma de aceite y la infraestructura inventariada.

La distribución espacial de la infraestructura inventariada presentada en la Figura 5 muestra que la infraestructura inactiva tiende a ubicarse hacia las partes más alejadas de los principales cuerpos de agua superficiales. Esto se debe a que la infraestructura compuesta por pozos profundos dejó de operar en su gran mayoría debido a los altos costos de mantenimiento y operación, máxime cuando los equipos pertenecían a sociedades de productores. Mientras que la infraestructura activa tiende a concentrarse hacia los márgenes del río Usumacinta.

Se encontraron 13 pozos profundos y 49 sitios con planta de bombeo (Figura 6), lo que representa el 21% y 79% respectivamente. En las plantas de bombeo se utilizan motores de gasolina y de electricidad que extraen el agua de ríos, lagos, drenes, jagüeyes, a través de pichanchas.

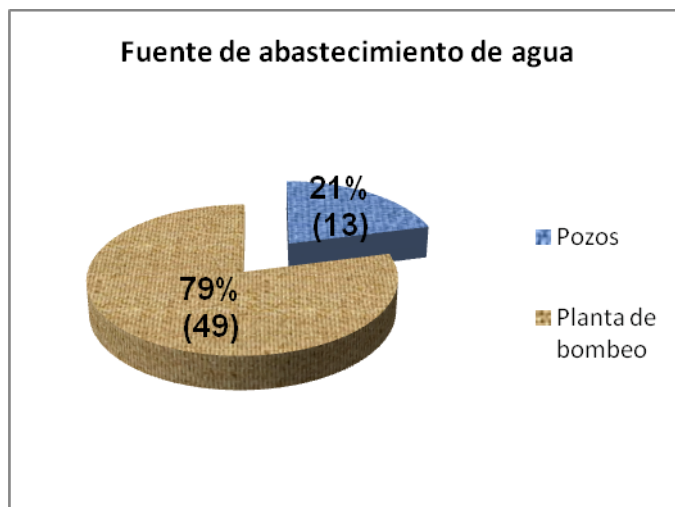


Figura 6. Fuentes de abastecimiento de agua de los sitios de riego de Balancán y Tenosique, Tabasco.

En los sistemas de riego en donde la fuente de abastecimiento de agua de riego es el pozo profundo, se observó que el 38% del total se encuentra inactivo (Figura 7).

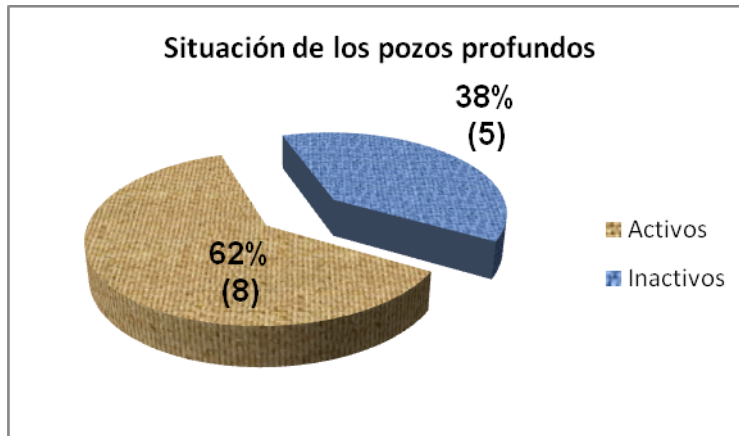


Figura 7. Estado actual de los pozos profundos.

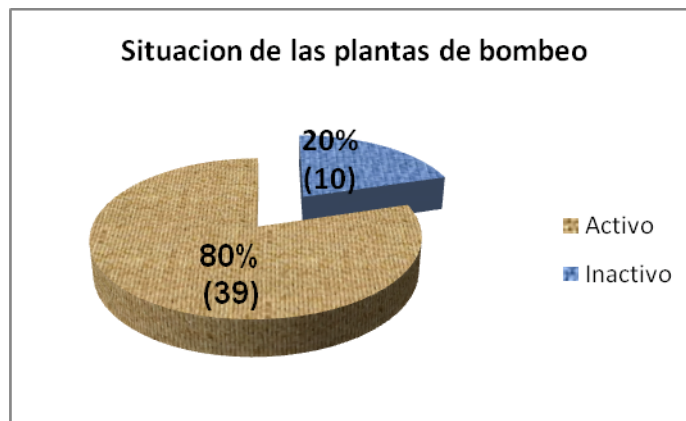


Figura 8. Estado actual de las plantas de bombeo.

El 80% de infraestructura de riego encontrada correspondió a plantas de bombeo, de las cuales 80% se encuentran activas. El 20% de infraestructura encontrada corresponde a pozos profundos, de los cuales 68% están activos. Las plantas de bombeo en su gran mayoría corresponden a infraestructura pequeña, la cual opera con motobombas de 6 hp (caballos de fuerza) que tienen la capacidad de regar hasta seis ha pero que normalmente se usan en una o dos ha de hortalizas, es decir, se encontró que el sistema de riego es subutilizado (Figuras 7 y 8). Esta infraestructura es de reciente introducción, a partir del año 2004, y fue impulsada por programas de gobierno estatal para productores de bajos recursos, los sistemas de riego son operados principalmente con motobombas de 6 hp.

### **III.4 CONCLUSIONES**

1. Se encontraron 62 sistemas de riego, de los cuales 47 se encuentran activos (45 de uso agrícola y dos de uso forestal) y 15 inactivos de estos últimos, solo 10 sistemas de riego cuentan con algún tipo de infraestructura.
2. La infraestructura activa tiende a concentrarse hacia los márgenes del río Usumacinta, mientras que la infraestructura inactiva se encuentra hacia las partes más alejadas de los principales cuerpos de agua superficiales.
3. Las plantas de bombeo son la infraestructura encontrada con mayor frecuencia (80%), seguido por los pozos profundos (20%).
4. El 80% de plantas de bombeo y 68% de pozos profundos se encuentran activos. Se encontraron en total 47 puntos con infraestructura activa, lo que representa el 76%.
5. Mediante la integración de la base de datos de la infraestructura de riego a un Sistema de Información Geográfica, se elaboró la cartografía de la infraestructura de riego en el área de estudio.

### **III.5 LITERATURA CITADA**

- Ángeles M., V. 2000. Diseño Agronómico de Sistemas de Riego Presurizado. Ed. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Maguire, D.J., M. F. Goodchild, y D. W. (Coords.). 1991, Geographical Information Systems: principles and aplicaciones, Longman, Londres.



Origel G., G. 2002. Sistematización de cartografía digital en la faja volcánica. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica. México, Distrito Federal. 144 p.

Tomlinson, 1999. An Overview: The Future of GIS, *ArcNews*, Winter 1999-2000. Environmental System Research Institute (ESRI), Redlands, California. <http://www.esri.com/news/arcnews/winter9900articles/gis2000/03tomlinson.html>

USDA (United States Department of Agriculture-Soil Conservation Service). 1972. Plantas de bombeo para riego. Ed. Diana. México, D. F. 86 p.

## **CAPÍTULO IV**

### **CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO EN DOS ZONAS DE BALANCÁN Y TENOSIQUE, TABASCO CON POTENCIALIDAD PARA PALMA DE ACEITE**

#### **IV. 1 INTRODUCCIÓN**

La demanda del agua crece constantemente, tanto para la agricultura como para el uso urbano e industrial; por lo que hoy en día se requiere de mayores cantidades de agua y en lugares, donde no la hay, se están sobreexplotando los mantos acuíferos, haciendo cada vez más difícil satisfacer la creciente demanda del vital líquido. El sector agrícola utiliza alrededor del 70% del agua de los ríos y acuíferos destinada para uso agrícola, doméstico e industrial (Shiklomanov, 2000). En muchos países en desarrollo se usa hasta 90% del agua para irrigación (FAO, 2005).

La adecuada combinación del agua y del suelo, en el espacio y tiempo, establecerá los límites superiores de la capacidad de sostenimiento de la población. El principio, aceptado por mucho tiempo de abrir nuevas áreas al cultivo, a medida que las antiguas se vayan haciendo incapaces de sostener a sus poblaciones tendrá que modificarse porque no quedan muchas áreas disponibles. Antes de abrir nuevas tierras al cultivo, debe realizarse una serie de trabajos de ingeniería con información previa y adecuada planeación (Olivier, 1982).

El riego se hace necesario en la agricultura debido a las condiciones climáticas imperantes de un lugar, siendo la distribución de la lluvia la de mayor importancia, esto debido a la variación en la intensidad, duración y distribución de la lluvia. Las altas tasas de evaporación y las características de la precipitación tropical, son el principal problema en relación a la disponibilidad para los cultivos, particularmente en el llamado trópico seco. Entre estas últimas características se puede mencionar la escasez de agua en algunas épocas del año entre otras, así como la variabilidad observada entre estaciones y años en la misma área.

Es un hecho comprobado que los agricultores cuyas tierras están situadas en zonas donde el clima es húmedo, pueden producir más y mejores cosechas de las que obtienen simplemente con los recursos de humedad del suelo, mediante el establecimiento de sistemas de riego que les proporcione agua de un modo seguro y continuo (Israelsen, 1985).

Para la implementación de nuevas áreas de cultivo, principalmente bajo riego, entre otros estudios se deben considerar aspectos fundamentales sobre la aptitud de los suelos para el riego, calidad del agua de las posibles fuentes a utilizar y los requerimientos específicos del cultivo; con el fin de planear políticas estratégicas que nos indiquen el desarrollo comunitario con estos sistemas de riego y la conservación de los recursos naturales, suelo y agua (Israelsen, 1985).

La agricultura predominante en Tabasco es básicamente de temporal; el éxito de las cosechas obtenidas en sus cultivos está fuertemente influenciado por las interacciones climáticas, debido al tipo de abastecimiento de agua. La interacción entre temperatura, precipitación, nubosidad y evaporación, prevaecientes en Tabasco, definen tres épocas en el año denominadas: secas, temporal y nortes (Larios & Hernández, 1993). La seca que se caracteriza por las bajas precipitaciones y altas temperaturas entre el periodo de marzo a mayo, altos valores de brillo solar (594 horas totales) y alta evaporación de 363mm totales.

En las zonas de climas húmedos y subhúmedos, la sequía es impredecible e involucra una anormalidad en la ocurrencia de la lluvia y puede ocurrir en cualquier lugar, puede ser breve e irregular y afecta áreas muy localizadas. El efecto de la sequía resulta en pérdidas directas por los bajos rendimientos de los cultivos, deterioro de pasturas y muerte de ganado y por consiguiente, reducción de los ingresos de la mayoría de los productos agrícolas (Tijerina, 1996).

Dentro de las alternativas que actualmente se están practicando para contrarrestar dichos efectos, se encuentran los establecimientos de abastecimiento emergentes de agua, perforaciones de pozos adicionales para uso inmediato o almacenamientos superficiales para usos futuros.

En Tabasco, se encuentran establecidas 186 unidades de riego que cubren 15 mil ha, existen, además, programas de apoyo que buscan conservar, mejorar y ampliar la infraestructura empleada para la conducción, distribución y aplicación del agua de riego, buscando hacer un uso más eficiente del agua para incrementar la producción y la productividad de los sistemas agrícolas. Considerando lo anterior, surge la necesidad de conocer la calidad de posibles fuentes de agua en los sitios con aptitud para palma de aceite, por lo que se planteó como objetivo particular: evaluar la calidad del agua para riego en tierras con aptitud para el cultivo de palma de aceite en dos zonas de Balancán y Tenosique, Tabasco.

La hipótesis planteada fue: en el área de estudio existen fuentes de agua que pueden ser usadas para el riego en palma de aceite.

## **IV.2 MATERIALES Y METODOS**

### **IV.2.1 Área de estudio**

El área de estudio se localiza en la zona de los ríos, en parte de los municipios de Balancán y Tenosique, en el Estado de Tabasco. La superficie total comprendida es 141,823 has localizadas entre las coordenadas extremas 636703 a 676588 y 1989488 1925140 UTM.

### **IV.2.2 Integración de las Bases de Datos**

Se recabó información relacionada con la infraestructura de riego, cuerpos de agua y ríos del área de estudio, dicha información se integró en una base de datos y posteriormente se transfirió a mapas para su integración al Sistema de Información Geográfica (SIG).

### **IV.2.3 Elaboración de mapas**

Para elaborar el mapa de ubicación de los cuerpos de agua se realizó la digitalización de 36 ortofotos del 2003, correspondientes al área de estudio, lo cual permitió identificar los cuerpos de agua del área de estudio.

### **IV.2.4 Colecta de las muestras de agua**

Con la información recabada previamente y con un cuestionario elaborado (Anexo A) en el cual se caracterizó la fuente de agua, tipo de uso, características del equipo, cultivo y época, se procedió a la obtención de muestras de agua en campo, para lo cual se tomó 1 L de agua de diferentes fuentes de agua, las muestras fueron etiquetadas y enviadas para su análisis al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas (LASPA) del Colegio de Postgraduados en Cárdenas, Tabasco.

### **IV.2.5 Clasificación de las muestras de agua**

Las muestras colectadas fueron analizadas y los resultados fueron utilizados para obtener los indicadores requeridos por la metodología propuesta en Chapingo por Palacios y Aceves (1970), este método permite clasificar las aguas con fines de riego.

## **IV.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **IV.3.1 Elaboración de mapas**

Mediante la digitalización de 36 ortofotos de 2003, correspondientes al área de estudio, se identificaron 111 cuerpos de agua entre lagunas permanentes, no permanentes y jagüeyes, además, del río Usumacinta, mismos que se muestran en el anexo C. Se obtuvo un mapa que muestra la ubicación de los cuerpos de agua y los sistemas de riego existentes en el área de estudio, tal y como se muestra en la Figura 9.

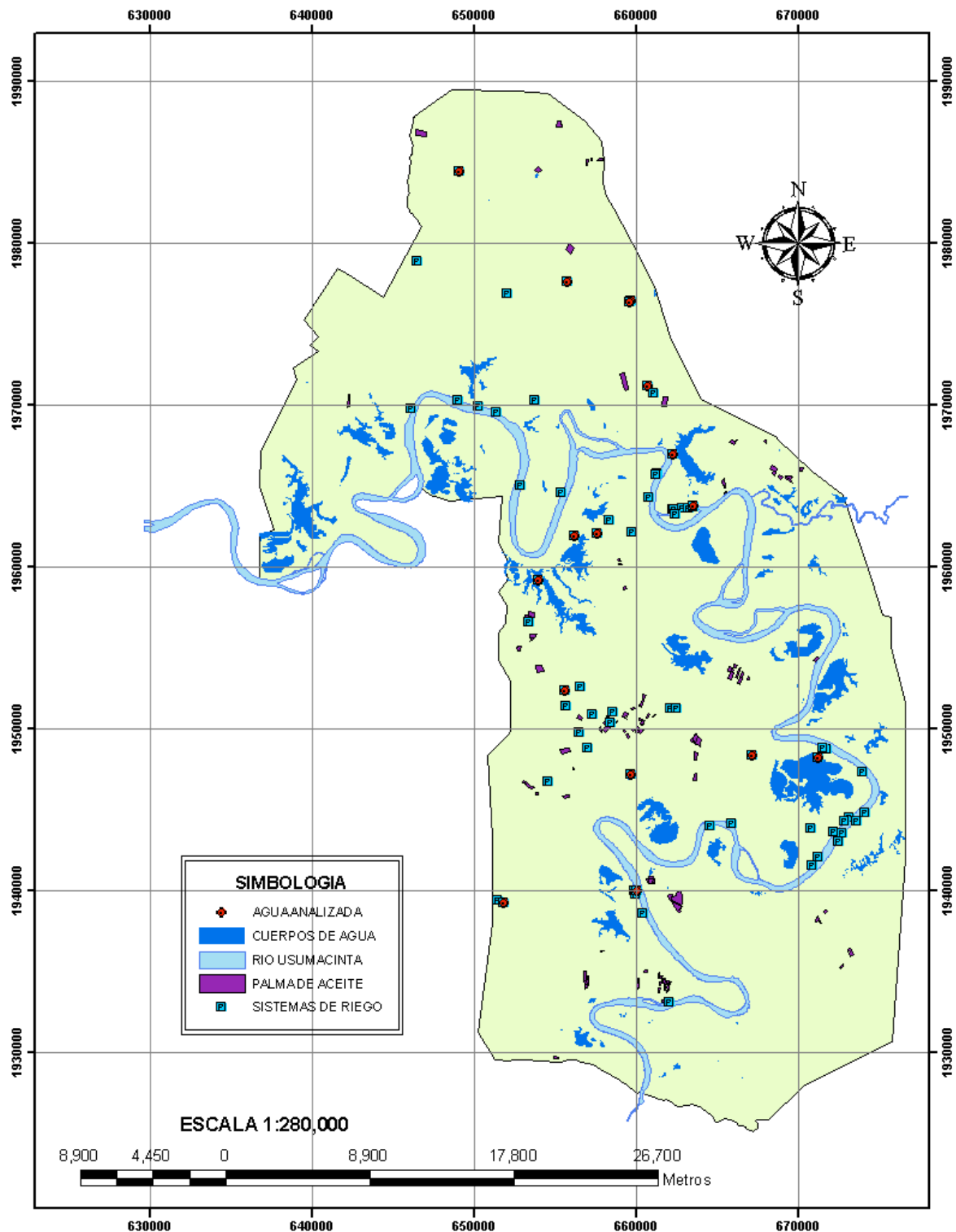


Figura 9. Mapa que muestra las parcelas de palma de aceite, los sistemas de riego existentes y cuerpos de agua como posibles fuentes de agua para el riego.

### IV.3.2 Clasificación de aguas con fines de riego

Los resultados de laboratorio de las 16 muestras de agua analizadas (Cuadro 9) fueron utilizados para calcular los indicadores requeridos por la metodología propuesta en Chapingo por Palacios y Aceves (1970). Las muestras de agua fueron clasificadas en función de los valores de salinidad efectiva, salinidad potencial, boro, cloro, la RAS y CRS.

Cuadro 8. Ubicación de las muestras de agua colectadas.

COORDENADAS UTM		FUENTE	MUNICIPIO	MUESTRA
X	Y			
649044	1984448	POZO	BALANCÁN	494
655757	1977655	POZO	BALANCÁN	495
659699	1976481	POZO	BALANCÁN	496
659588	1976420	POZO	BALANCÁN	497
660735	1971165	POZO	BALANCÁN	498
663557	1963790	RÍO USUMACINTA	BALANCÁN	499
657598	1962083	POZO	BALANCÁN	500
656223	1961906	LAGUNA EL LECHUGAL	BALANCÁN	501
655568	1952410	JAGÜEY	BALANCÁN	502
653996	1959173	LAGUNA LEONA VICARIO	BALANCÁN	503
662298	1966990	LAGUNA SUNINA	BALANCÁN	504
651823	1939301	JAGÜEY	TENOSIQUE	627
671193	1948227	LAGUNA CANITZAN	TENOSIQUE	628
667142	1948343	RIACHUELO	TENOSIQUE	629
659679	1947187	LAGUNA	TENOSIQUE	630
660029	1940041	RÍO USUMACINTA	TENOSIQUE	631

Cuadro 9. Resultados de laboratorio de las muestras de agua analizadas.

MUESTRA	SITIO DE MUESTREO	pH	CE	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na	B	FECHA
		mg L <sup>-1</sup>											
		meq L <sup>-1</sup>											
		dS m <sup>-1</sup>											
494	RANCHERÍA LAS DELICIAS, CAMPO ALTO	5.21	0.050	NSD	0.51	0.75	NSD †	0.03	0	0.01	0.24	0.11	14/01/2008
495	RANCHERÍA XOCHIMILCO, GUAJIMALPA	5.71	0.080	NSD	0.51	0.83	NSD	0.05	0.03	0.10	0.3	0.11	
496	VIVERO PROPLANSE	5.43	0.050	NSD	0.51	0.75	NSD	0.02	0	0.01	0.24	0.06	
497	VIVERO PROPLANSE	5.43	0.090	NSD	0.51	0.75	NSD	0.03	0.01	0.03	0.66	0.17	
498	RANCHERÍA SUNINA	4.71	0.280	NSD	0.51	1.17	NSD	0.23	0.03	0.64	1.43	0.11	
499	RIO USUMACINTA	7.35	0.480	0.51	2.86	2.42	NSD	0.03	3.56	1.21	0.19	0.17	
500	RANCHERÍA 2 ARBOLITOS, LAGUNA COLORADA	7.39	0.330	0.51	3.20	0.83	NSD	0.10	1.44	0.50	0.55	0.17	
501	LAGUNA EL LECHUGAL	7.27	0.170	NSD	2.36	0.75	NSD	0.08	0.66	0.48	0.24	0.40	
502	EJIDO EL ARENAL	6.70	0.060	NSD	0.51	0.67	NSD	0.06	0.01	0.05	0.24	0.29	
503	LAGUNA LEONA VICARIO	6.96	0.100	NSD	1.18	1.08	NSD	0.09	0.25	0.23	0.22	0.4	
504	LAGUNA SUNINA	7.03	0.100	NSD	0.10	0.92	NSD	0.08	0.21	0.16	0.26	0.29	
627	SANTA LUCIA (JAGUEY)	5.98	0.029	NSD	0.51	0.83	NSD	0.09	0.03	0.05	0.06	0.60	28/01/2008
628	LAGUNA CANITZAN	6.89	0.202	0.34	2.02	0.83	NSD	0.05	1.01	0.64	0.16	0.43	
629	EL MANANTIAL	6.46	0.041	NSD	0.51	0.83	NSD	0.05	0.01	0.05	0.20	0.34	
630	EJIDO GUAYACAN	5.95	0.048	NSD	0.67	0.83	NSD	0.07	0.15	0.08	0.16	1.20	
631	RIO USUMACINTA DEL EJIDO CENTRO USUMACINTA	7.72	0.518	0.51	2.86	0.83	NSD	0.02	2.89	1.48	0.17	0.30	

†NSD= No se detectó



Cuadro 10. Cálculo de indicadores y clasificación de aguas.

MUESTRA	SITIO DE MUESTREO	Σ DE CATIONES				Σ DE ANIONES				RAS	CI	B	CLASIFICACION POR						
		SE†	SPI††	CSR	RAS	SE†	SPI††	CSR	CI				RAS	CI	RAS	B			
494	RANCHERÍA LAS DELICIAS, CAMPO ALTO	0.28	1.26	0.27	0.75	0.5	3.394	0.75	0.11	0.11	0.11	0.11	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	C1-S1	BUENA
495	RANCHERÍA XOCHIMILCO, GUAJIMALPA	0.48	1.34	0	0	0.41	1.176	0.83	0.11	0.11	0.11	0.11	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	C1-S1	BUENA
496	VIVERO PROPLANSE	0.27	1.26	0	0	0.5	3.394	0.75	0.06	0.06	0.06	0.06	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	C1-S1	BUENA
497	VIVERO PROPLANSE	0.73	1.26	0	0	0.47	4.666	0.75	0.17	0.17	0.17	0.17	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	C1-S1	BUENA
498	RANCHERÍA SUNINA	2.33	1.68	1.82	1.17	-0.16	2.470	1.17	0.11	0.11	0.11	0.11	BUENA	BUENA	BUENA	CONDIC.	CONDIC.	C2-S1	BUENA
499	RIO USUMACINTA	4.99	5.79	1.62	2.42	-1.4	0.123	2.42	0.17	0.17	0.17	0.17	BUENA	BUENA	BUENA	CONDIC.	CONDIC.	C2-S1	BUENA
500	RANCHERÍA 2 ARBOLITOS, LAGUNA COLORADA	2.59	4.54	0.65	0.83	1.77	0.558	0.83	0.17	0.17	0.17	0.17	BUENA	BUENA	CONDIC.	CONDIC.	BUENA	C2-S1	BUENA
501	LAGUNA EL LECHUGAL	1.46	3.11	0	0	1.22	0.317	0.75	0.4	0.4	0.4	0.4	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	C1-S1	CONDIC.
502	EJIDO EL ARENAL	0.36	1.18	0	0	0.45	1.385	0.67	0.29	0.29	0.29	0.29	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	C1-S1	BUENA
503	LAGUNA LEONA VICARIO	0.79	2.26	0	0	0.7	0.449	1.08	0.4	0.4	0.4	0.4	BUENA	BUENA	BUENA	CONDIC.	CONDIC.	C1-S1	CONDIC.
504	LAGUNA SUNINA	0.71	1.02	0	0	-0.27	0.604	0.92	0.29	0.29	0.29	0.29	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	C1-S1	BUENA
627	SANTA LUCIA (JAGUEY)	0.23	1.34	0	0	0.43	0.300	0.83	0.6	0.6	0.6	0.6	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	C1-S1	CONDIC.
628	LAGUNA CANITZAN	1.86	3.19	0	0	0.71	0.176	0.83	0.16	0.16	0.16	0.16	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	C1-S1	BUENA
629	EL MANANTIAL	0.31	1.34	0	0	0.45	1.154	0.83	0.2	0.2	0.2	0.2	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	C1-S1	BUENA
630	EJIDO GUAYACAN	0.46	1.5	0	0	0.44	0.471	0.83	0.16	0.16	0.16	0.16	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	C1-S1	BUENA
631	RIO USUMACINTA DEL EJIDO CENTRO USUMACINTA	4.56	4.2	1.19	0.83	-1	0.115	0.83	0.17	0.17	0.17	0.17	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	C2-S1	BUENA

† SE= Salinidad efectiva

†† SP= Salinidad potencial

Aceves (1979) menciona que la calidad de un agua para riego, debe evaluarse con base en la potencialidad de ésta para producir efectos dañinos al suelo, a los cultivos, a los animales y personas que consumen dichos cultivos. En el presente trabajo se estudiaron las limitantes presentes en 16 muestras de agua colectadas en el área de estudio, con la finalidad de determinar si dichas fuentes de agua pueden ser utilizadas con fines de riego agrícola, los resultados de laboratorio de dichas muestras de agua analizadas se muestran en el Cuadro 9. La clasificación de las diferentes muestras de agua fue realizada con base en estándares establecidos por Palacios & Aceves (1970), el cual hace posible conocer los límites de valores máximos y mínimos permisibles para la utilización de aguas con fines de riego agrícola, la clasificación de las muestras de agua en el Cuadro 10 se muestran los cálculos de indicadores y clasificación de aguas.

La principal limitante para la planeación y puesta en marcha de un proyecto de irrigación es la cantidad de agua disponible en una región, dicha limitante no existe en el área de estudio, por lo que la limitante a evaluar es la calidad del agua existente con la finalidad de ser utilizada como fuente de abastecimiento de futuros sistemas de riego e incluso de los ya existentes. En el área de estudio, se cuenta con diversos sistemas de riego, a los cuales es conveniente realizar estudios periódicos de la calidad del agua que permitan inferir riesgos potenciales de daños a los suelos, o posibles efectos perjudiciales para los cultivos y, de manera indirecta, para los consumidores, por la presencia de agentes potencialmente tóxicos.

De acuerdo a Palacios & Aceves (1970), la salinidad efectiva (SE) es una estimación más real del peligro que presentan las sales solubles del agua de riego al pasar a formar parte de la solución del suelo, mientras que la salinidad potencial (SP) es un índice para estimar el peligro de las sales de Ca y Mg (que aumentan la presión osmótica). El total de las muestras de agua analizadas no presentan restricción alguna con respecto a la salinidad efectiva y a la salinidad potencial.

De acuerdo al cuadro de clasificación de las muestra de agua analizadas (Cuadro 10), se tiene que nueve muestras (494-497, 502, 504 y 628-630), corresponden a aguas de buena calidad y pueden ser usadas para el riego de la gran mayoría de cultivos y suelos, con un mínimo de cuidados en el suelo y aguas.

Debido a la importancia que algunos solutos tienen al producir efectos tóxicos directos sobre los cultivos, se requiere conocer los niveles que dichos solutos presentan. Los problemas de toxicidad se diferencian de los de salinidad en que ocurren dentro de las plantas. Se producen cuando un ión absorbido se acumula en las hojas, por efecto de la transpiración, hasta un nivel que daña la planta. El grado de daño depende del tiempo, la concentración, la sensibilidad del cultivo y el consumo de agua. Los iones de las aguas de riego que pueden causar daño en forma individual o combinada son: cloro (Cl), sodio (Na) y boro (B) (Maas, 1984b).

La toxicidad más común a partir del agua de riego es la producida por Cl, el cual no es adsorbido por el suelo, y se mueve fácilmente en la solución desde donde es absorbido por la planta y circula en ella hasta acumularse en las hojas. Si la concentración sobrepasa la tolerancia del cultivo aparecen claros síntomas de toxicidad que incluyen hojas quemadas y necrosis de tejidos (Bernstein, 1974; Maas, 1984b; 1986).

El Cl y Na también pueden ser absorbidos directamente por el follaje, cuando se riega por aspersión, en períodos de alta temperatura y baja humedad relativa (Maas, 1986). En los cultivos sensibles, los síntomas ocurren cuando la concentración de Cl alcanza los 0.3 a 1.0% del peso seco, aunque algunos árboles frutales muestran síntomas importantes en el límite inferior del rango (Bernstein, 1975).

Las muestras de agua 498, 499 y 503 presentan restricciones para ser utilizadas como fuente de agua de riego, debido a los niveles de Cl encontrados en dichas muestras (1.17, 2.42 y 1.08 meq L<sup>-1</sup>, respectivamente). Considerado que la palma de aceite es un cultivo tolerante al Cl, las aguas correspondientes a dichas muestras pueden ser utilizadas como fuente de agua para el riego en palma de aceite.

Del total de muestras de agua analizadas, únicamente tres (501, 503 y 627) fueron clasificadas como condicionadas para ser utilizadas como fuente de agua de riego, esto debido a los niveles de B encontrados en dichas muestras (0.4, 0.4 y 0.6 mgL<sup>-1</sup>, respectivamente). Considerado que la precipitación en los meses con lluvia desplaza las sales y que la palma de aceite es un cultivo tolerante al B, las aguas correspondientes a dichas muestras pueden ser utilizadas como fuente de agua para el riego en palma de aceite. Para el uso de estas fuentes de agua en otros cultivos, es necesario considerar la adición de B por el agua de riego, el boro existente en el suelo, el tipo de riego y el manejo del cultivo.

Mientras que las muestras 498 y 499 están condicionadas por Cl y presentan RAS. De acuerdo con el cuadro de clasificación (Cuadro 10), esta agua es condicionada por su contenido de Cl aplicable solo en cultivos muy sensibles. Esta agua sería buena para suelos orgánicos o de textura ligera; en cambio podría no ser recomendable en suelos minerales de textura pesada. Mientras que para el caso de la RAS, de igual manera puede usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado. En casi todos los casos se pueden cultivar plantas moderadamente tolerantes a las sales y sin necesidad de prácticas especiales de control de la salinidad.

La muestra 500 está condicionada por CSR y por RAS, por lo que al utilizar esta agua como fuente de riego, se debe tener especial cuidado, dado que existe la posibilidad que se formen carbonatos de sodio, debido a que su alta solubilidad le permite permanecer en solución aún después de que se han precipitado los carbonatos de calcio y magnesio. En estas condiciones la concentración total y relativa de sodio puede ser suficiente para desplazar al calcio y magnesio de la solución del complejo de intercambio, produciendo la defloculación del suelo.

Para evitar la defloculación del suelo, se debe establecer drenaje en las áreas de cultivo con lo que se reduce el riesgo de compactación de suelo, asimismo, se recomienda realizar el subsoleo para evitar el encostramiento y la formación del piso de arado en el suelo. Además, los agricultores deben tener muy en cuenta los riegos hacia

sus parcelas en tiempo y volúmenes (dosificación), emplear metodologías de control de salinidad como la aplicación de yeso, azufre o ácido sulfúrico e implementar la incorporación de materia orgánica en las parcelas, con la finalidad de mejorar el suelo.

La muestra 503 está condicionada por el contenido de Cloruros y Boro. Para el caso del cloruro, el problema se puede solucionar impidiendo su acumulación en el suelo al mantener una fracción adecuada de lavado del suelo. Tratando siempre de monitorear los niveles de cloruro para que no se conviertan en problemas a futuro, ya que en cultivos muy sensibles pueden ocasionar quemaduras al follaje cuando se emplea el riego por aspersión. Para el caso del boro, también está condicionada, debido a que éste causaría problemas a cultivos muy sensibles, no así en la palma de aceite, por lo que esta agua se puede utilizar para el riego, únicamente se debe considerar un sobre riego, con la finalidad de efectuar el lavado del suelo. Cuando se tiene sospechas de la presencia de un determinado elemento en el agua que pudiera restringir o condicionar al agua con fines de uso de riego, es necesario realizar una prueba en especial para el elemento que se sospeche antes de dictaminar el uso o no del agua, ya que un solo elemento a determinadas concentraciones puede condicionar o restringir el uso del agua con fines de riego o para determinados cultivos.

La muestra 631, que corresponde al río Usumacinta, está limitada por el RAS, aunque según la clasificación puede usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado.

#### **IV.4 CONCLUSIONES**

1. Se analizaron 16 muestras de agua, nueve de las cuales (494-497, 502, 504 y 628-630) no presentaron ninguna restricción, es decir, son clasificadas como aguas de buena calidad y pueden ser usadas tanto para el riego en palma de aceite como para la gran mayoría de cultivos y suelos, con un mínimo de cuidados.

2. En general, las muestras de aguas analizadas con fines de riego en el área de estudio están condicionadas por la RAS (498-500 y 631), Cloruros (498, 499 y 503), Boro (501, 503 y 627) y una más (500) por el contenido de CSR.
3. Tres muestras (501, 503 y 627) presentan limitaciones relacionadas con el contenido de Boro, pero considerado que la palma de aceite está clasificado como cultivo tolerante a este elemento, el agua correspondiente puede ser utilizada para su riego. Para el uso de estas fuentes de agua en otros cultivos, es necesario considerar la adición de boro, además del boro existente en el suelo, el tipo de riego y el manejo del cultivo.
4. Una muestra (631) correspondiente al Río Usumacinta está limitada por el RAS, no obstante, puede ser usada como fuente de agua para riego ya que, de acuerdo a la clasificación utilizada, puede usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado.
5. En casi todos los casos se pueden cultivar plantas moderadamente tolerantes a las sales, sin necesidad de prácticas especiales de control de la salinidad, por lo que la palma de aceite puede cultivarse sin problema, ya que en la región el nivel freático es muy elevado y los lavados de sales se realizan cíclicamente, año con año, con lo que se reduce el riesgo de salinidad.
6. Se recomienda la realización de estudios periódicos de calidad del agua en los sistemas de riego existentes en el área de estudio con la finalidad de poder inferir riesgos potenciales de daños a los suelos y cultivos y, de manera indirecta, a los consumidores por presencia de agentes potencialmente tóxicos.

#### **IV.5 LITERATURA CITADA**

Aceves N., E. y O. Palacios V. 1970. Instructivo para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

Aceves N., E. 1979. El ensalitramiento de los suelos bajo riego. Identificación, control, combate y adaptación. Colegio de Postgraduados, rama de riego y drenaje. Chapingo, México. 382 p.

Bresler E., B. L. Mcneal and D. L. Carter. 1982. Saline and sodic soils: Principles-Dynamics-Modeling. Springer-Verlag, Berlín Heidelberg New York. 236 pp.

Coras M., P. 1996. Calidad química del agua para riego. Universidad Autónoma Chapingo, departamento de fitotecnia. Chapingo, México. pp 116

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2005. FAO Statistical Database (FAOSTAT), <http://faostat.fao.org/2005>.

Israelsen O., W. y Vaughn E. H. 1985. Principios y aplicaciones del riego. Ed. Reverté, S.A. Barcelona, España. 396 pp.

Larios R., J. & Hernández, J. 1992. Fisiografía, ambientes y uso agrícola de la tierra en Tabasco, México. Unidad de Centros Regionales. Universidad Autónoma Chapingo. 130 pp

Maas, E. V. 1984a. Salt tolerance of plants. p 57-75. In B. R. Christie (ed ) Handbook of plant science in agriculture. CRS Press, Boca Ratón, FL.

Maas, E. V. 1984b. Crop tolerance. Calif. Agric. 38 (10): 20-21.

Maas, E. V. 1985. Crop tolerance to saline sprinkler water. Plant soil 89:273-284.

Maas, E. V. 1986. Salt tolerance of plants. Applied agricultural research. Appl. Agric. Res. 1:12-26.

Rhoades J., D. 1972. Quality of water for irrigation. Soil Sci. 113: 277-284.

Richards L., A. 1954. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual de agricultura N° 60. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. 171 pp.

Shiklomanov I., A. 2000. Appraisal and Assessment of World Water Resources. Water International, 25(1), 11-32.

Tijerina V., A. y Ortega I., S. 1996. El impacto de la sequía en México. Colegio de Postgraduados. Tercera reunión nacional sobre los sistemas de captación de lluvia, del 23 al 26 de septiembre de 1996, San Luis Potosí, S.L.P México.

WILCOX L., V. 1960. Boron injury to plants. U. S.D.A Inf. Bull. 211, 7 pp.



## **CAPÍTULO V**

### **SUELOS CON APTITUD PARA EL RIEGO EN PALMA DE ACEITE EN DOS ÁREAS DE BALANCÁN Y TENOSIQUE, TABASCO**

#### **V.1 INTRODUCCIÓN**

El sistema de clasificación de tierras con fines de riego del USBR (2005), considera como primer paso en el proceso de evaluación de tierras, el establecimiento de una correlación entre características físicas (suelo, topografía, drenaje) y características económicas (capacidad productiva, costos de producción, costos de desarrollo) de la tierra. De esta manera, la clase de tierra, aún cuando es definida con base en atributos físicos, es una expresión de su capacidad de pago, entendida como parte del ingreso bruto de la unidad de producción que queda después de restar los costos de producción. Si esta parte del ingreso es suficiente para proveer un nivel de vida adecuado al agricultor y su familia, y asegurar una amortización razonable sobre el costo de las obras de regadío, la clase de tierra se considera apta para riego.

La clasificación de tierras de acuerdo a su aptitud al riego es una interpretación de las cualidades y características de los terrenos en función de la facilidad o dificultad que presentan para su uso, principalmente agrícola bajo riego. Además de estas subclases básicas se reconocen subclases suplementarias (opcionales), que limitan la utilidad de la tierra a ciertos usos debido a algunas condiciones físicas específicas de la tierra o deficiencias incorregibles o susceptibles de corrección solamente a un costo alto, tales como: drenaje inadecuado, textura pesada, excesiva salinidad y alcalinidad, topografía muy irregular, etc. (USBR, 2005).

Para el establecimiento de una correlación confiable entre características físicas y económicas de la tierra, se requiere la participación de un equipo interdisciplinario constituido por edafólogos, hidrólogos, agrimensores y economistas, entre otros. Además, se requiere el manejo de una información abundante de suelos, clima, cultivos, registros de producción y costos (IMTA, 1989, USBR, 2005).

En pocos proyectos de riego es posible cumplir estos requisitos, y frecuentemente, la evaluación de tierras con fines de riego, debe ser realizada sólo por edafólogos. Por otra parte, las características físicas de la tierra son más estables que las características económicas; éstas últimas varían más frecuentemente como consecuencia de cambios tecnológicos o incluso variaciones del mercado (IMTA, 1989, USBR, 2005).

En el presente estudio, se realizó la clasificación de las tierras con fines de riego considerando los atributos físicos y, posteriormente, estas podrían ser reagrupadas con en base consideraciones económicas. El objetivo del presente trabajo fue: Integrar una base de datos de los suelos con potencial para riego en las tierras con aptitud para palma de aceite a un Sistema de Información Geográfica, para elaborar la cartografía de dichos suelos en el área de estudio.

La hipótesis planteada fue: El uso de los Sistemas de Información Geográfica y los sistemas de clasificación de tierras por aptitud, permiten definir áreas aptas para el riego y mostrarlas en un mapa.

## **V.2 MATERIALES Y METODOS**

### **V.2.1 Localización del área de estudio**

El área de estudio se localiza en la zona de los ríos de los municipios de Balancán y Tenosique, en el estado de Tabasco. La superficie total comprendida es 141,823 ha localizadas entre las coordenadas extremas 636703 a 676588 y 1989488 1925140 UTM.

En este estudio se utilizaron las coordenadas UTM, Datum WGS84, Proyección UTM, Zona 15 Norte. El presente trabajo se desarrolló en tres diferentes etapas: 1) Fase de gabinete: se hizo la recopilación de información incluyendo mapas, fotografías aéreas y ortofotos digitales, fotointerpretación; digitalización; y determinación de puntos de

muestreo; 2) Fase de campo: se realizó el recorrido de reconocimiento del área de estudio y la descripción de los perfiles de suelos y toma de muestras para cada horizonte; 3) Fase de laboratorio: se realizaron los análisis de muestras de suelos para determinar pH, CE, MO, N, P, K, Ca, Mg, Na, (CIC), textura, Carbonatos, RAS, DaP, CE, HCC y CC.

La metodología para los análisis de suelo se basa en la NOM-021-RECNAT 2002, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. En este trabajo, se realizaron 43 descripciones de perfiles y con base en la comparación morfológica de suelos por unidad de fotointerpretación se seleccionaron 16 de ellos para su análisis e interpretación teniendo como principal indicador su posible uso para fines de riego, asimismo, también se consideró la clasificación taxonómica de cada uno de ellos.

Con el objeto de establecer las tierras irrigables, se procedió a clasificar los suelos identificados en el área de estudio en clases y subclases para riego, según los principios y criterios de clasificación del manual de USBR (2005). El procedimiento general del sistema está basado en el análisis de dos grupos de factores básicos: económicos y físicos, así como la posible influencia recíproca entre ellos.

### **V.2.2 Determinación del Período de Crecimiento Húmedo**

La estimación del periodo de crecimiento se basa en el modelo de balance hídrico que relaciona la precipitación (P) con la evapotranspiración potencial (ETp). Si el periodo de crecimiento no está limitado por la temperatura, la relación P/ETp determina el comienzo, el fin y el tipo de período de crecimiento. La determinación del comienzo del periodo de crecimiento se base en el inicio de la estación lluviosa, por lo que el Período de Crecimiento Húmedo (PCH) se determina con los registros de precipitación (PPT) y evapotranspiración potencial (ETp) (FAO, 1997).

El procedimiento para la determinación del periodo de crecimiento húmedo consiste en graficar la precipitación mensual (PPT), la evapotranspiración potencial (ETp) y el 0.5

de la ETp, se tiene como criterio de decisión: cuando se cruce por primera vez la curva de la precipitación con la curva del 0.5 de ETp, se tiene el inicio del periodo de crecimiento húmedo (PCH); cuando se cruce por segunda vez, termina el periodo de lluvias, más no el fin del PCH, dado que esto ocurre cuando se consume 100 mm de agua almacenada en el suelo (FAO, 1997).

### **V.2.3 Clasificación de las tierras con fines de riego**

La clasificación de las tierras con fines de riego es una “interpretación” o “evaluación” de las características y cualidades físicas y químicas de las diferentes condiciones de suelos, en función de su aptitud para la agricultura de riego. La clasificación de las tierras regables se realizó según los principios de la USBR (2005). El procedimiento general está basado en el análisis de dos grupos de factores básicos: económicos y físicos, así como la posible influencia recíproca entre ellos. En el cuadro 11 se muestran las especificaciones físicas para determinar la aptitud de tierras para riego.

La parte horizontal presenta las clases de tierras según las limitaciones o riesgos en el uso de ésta, se ordenan de la más apta a la no apta para el riego. La parte vertical enumera las características de la tierra o limitaciones de carácter permanente, que representa la subclase de la tierra.

Las especificaciones generales para la clasificación de tierras han sido desarrolladas de acuerdo con las características físico-químicas de la tierra, su comportamiento en condiciones de riego, rendimientos de cultivo y costos de desarrollo.

Cuadro 11. Especificaciones generales para la clasificación de las tierras con aptitud para el riego.

<b>Características</b>	<b>Clase I Arable</b>	<b>Clase II Arable</b>	<b>Clase III Arable</b>	<b>Clase IV Limitadamente arable</b>	<b>Clase V No arable</b>	<b>Clase VI No transformable</b>
Textura superficial 0-30 cm	Franco arenosa a franco- arcillosa	Arenosa franca a arcillosa muy permeable	Arenosa franca a arcillosa permeable	Arenosa franca a arcillosa	Arenosa franca a arcillosa	Tierras sin los requisitos mínimos de las anteriores
Profundidad efectiva (cm)	100	75-100	45-75	25-50		Suelos superficiales o muy pedregosos. Subsuelos impermeables
Capacidad de retención de agua a 120 cm GRAD mm	150.0	112.5-150	75.0-112.5	62.5-75.0		
Suelos						
Conductividad hidráulica en campo $\text{cm h}^{-1}$	0.5-12.5	0.125-12.5	0.125-25	cualquiera		
Caliza %	<35	35-50	50-65	>65		
Afloramientos rocosos (separación entre, en m)	60	30	15	9		
Sodicidad ESP %	<15	5-15	15-25	15-25	25-35	
Gravedad del problema	Ligera	Moderada				
Salinidad $\text{CEs dSm}^{-1}$ a 25°C	<4	4-8	8-12	12-16		
Topografía						
Piedras a remover $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$	19	47.5	95	133		
Inclinación % moderado a severamente erosionable	<2	2-5	5-10	10-20		
Ligeramente erosionable	<4	4-10	10-20	20-25		
Nivelación o deforestación	Ligera	Media	Grande	Grande		
Drenaje						
Profundidad de la capa freática (cm) franco o más fino	>150	100-150	50-100	25-50		
Arenoso	>125	75-125	50-75	25-50		
Drenaje superficial	Bueno	Bueno	Restringido	Restringido		
Profundidad a una capa impermeable (cm)	>210	180-210	150-180	45-150		

Estas especificaciones son orientativas y se deben ajustar a las condiciones locales. Los símbolos utilizados en la clasificación de tierras, se muestran en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Simbología utilizada en la clasificación de tierras.

Factores considerados	Símbolos a utilizar
1. Clase de suelo	1, 2, 3, 4, 5 y 6
2. Subclases de suelos según factores limitantes	
De suelo	s
de topografía	T
de drenaje	D
de suelo y topografía	St
de suelo y drenaje	Sd
de topografía y drenaje	Td
de suelo, topografía y drenaje	Std
3. Uso actual del terreno	
Terreno cultivado sin riego	L
Pasto permanente sin riego	P
Matorral o bosque	G
Terreno cultivado con riego	C
4. Productividad (alta a baja) (factor variable)	1, 2, 3, 4, 5 y 6
5. Costos de desarrollo del terreno (factor variable)	1, 2, 3, 4, 5 y 6
6. Necesidades de agua de la finca	
Bajas	A
Medias	B
Altas	C
7. Permeabilidad (volumen hasta 1.5 ó 3.0 metros)	
Buena	X
Moderada	Y
Baja	Z
8. Evaluaciones especiales:	
Pendiente	G
Ondulación del terreno	N
Riesgo de inundación	F
Profundidad a la arena, grava o guijarros	K
Necesidad de nivelación	U

Todos los criterios y especificaciones antes mencionados (determinación de clases, subclases, evaluaciones informativas y suplementarias), están representados por símbolos, combinados en la formula estándar que designa cada unidad cartográfica del mapa de aptitud de tierras para riego.

### V.3 RESULTADOS Y DISCUSION

#### V.3.1 Determinación del Período de Crecimiento Húmedo

Aplicando la metodología establecida por la FAO (1997) para la determinación del periodo de crecimiento húmedo (PCH) y utilizando datos meteorológicos históricos de evaporación y precipitación mensuales desde 1958 a 2004 y tomando como referencia al municipio de Tenosique, tenemos el comportamiento que se aprecia en la Figura 10.

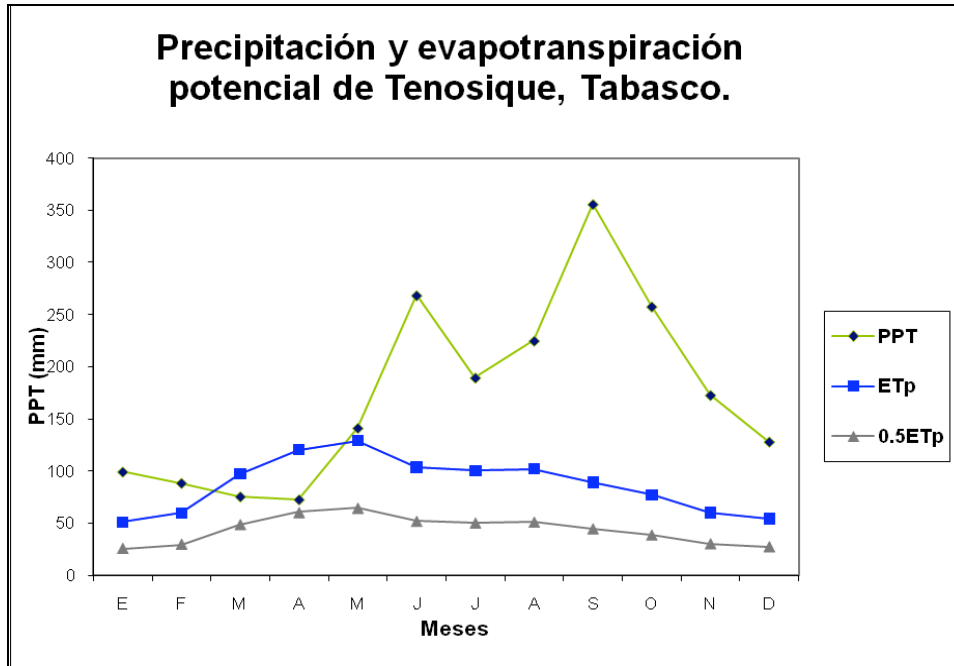


Figura 10. Periodo de crecimiento húmedo para Tenosique, Tabasco.

En la Figura 10 se aprecia que la curva de la PPT no se cruza con la curva de 0.5ETp, por lo que teóricamente no existe periodo de restricción de humedad, sin embargo, si consideramos la curva de evapotranspiración potencial, observamos un déficit desde mediados de febrero a mediados de abril, mientras que en el resto de los meses existe agua en demasía. Cabe hacer la aclaración que éstos son datos promedios y con fines de planeación y orientación dado que las condiciones climáticas son muy cambiantes en periodos cortos.

Considerando esta información, se determinó que existen aproximadamente 9 meses (mayo-enero) con disponibilidad de agua y alrededor de tres meses (febrero-abril) de

deficiencia, por lo que cuando se tienen cultivos establecidos durante esa época se hace necesaria la aplicación de riego de auxilio.

Las altas tasas de evaporación y las características de la precipitación tropical, son el principal problema en relación a la disponibilidad de agua para los cultivos, particularmente en el trópico seco. Entre éstas últimas características, podemos mencionar la escasez de agua en algunas épocas del año entre otras. Así como la variabilidad observada entre las estaciones y años en la misma área.

Gran cantidad de agua que cae en el trópico, especialmente en el húmedo, nunca llega a ser disponible para la agricultura: escurre causando inundaciones (que pudieran ser benéficas, en algunos casos, como por ejemplo el cultivo del arroz) y ocurre en épocas en que las condiciones no son apropiadas para el crecimiento de cultivos de interés económico. Las condiciones particulares de alta demanda evaporativa de los trópicos, hacen que las cantidades de agua que pudiesen ser adecuadas en las zonas templadas, sean inadecuadas en condiciones tropicales, al menos durante algunos periodos del año (Etchevers, 1990).

### **V.3.2 Clasificación de las tierras con fines de riego**

Los perfiles representativos de las unidades de fotointerpretación encontradas durante la fase de campo fueron agrupados por unidad de fotointerpretación. Cuando en una unidad se detectó un perfil con un suelo diferente, a éste perfil se le consideró para su interpretación con fines de riego. Fueron considerados 16 perfiles para su interpretación con fines de riego, entre ellos un suelo orgánico, los cuales perfiles de suelo se presentan en el anexo D.

En el levantamiento edafológico detallado con fines de riego para las tierras del área de estudio, se identificaron tres clases regables (clase I, II y III) y no se encontraron no regables, a excepción del suelo del perfil 46 que un suelo orgánico que se integra a estos resultados solo con fines de investigación dado que no cumple los requisitos



como suelo con aptitud para riego. Las clases de la 4 a la 6 no se encontraron en el área del estudio. En esta zona no se han reportado estudios similares a este trabajo, se han reportado trabajos similares para la zona de Balancán-Tenosique (SARH, 1981).

La identificación de las clases y subclases para riego, es la interpretación del estudio de suelos en cuanto a su aplicación práctica para comprender la utilización de la tierra con fines de su aptitud para riego. Agrupando fases de suelos, con cualidades o limitaciones similares, que corresponden a una aptitud para regadío parecida y son apropiadas con el mismo manejo (riego) para un mismo número de cultivos.

En los Cuadros 11 y 12 se detallaron los criterios, especificaciones técnicas y la simbología de clasificación para clases y subclases de tierras de acuerdo a su aptitud para regadío. En los Cuadros 13 y 14 se describen las clases y subclases para riego encontradas en el área analizada. Se describen sus limitaciones o restricciones, características principales, series, fases de suelo, localización y distribución.

Cuadro 13. Perfiles de suelos clasificados de Balacán.

Características	PERFIL 1 Arcilla	PERFIL 3 Migajón arenoso	PERFIL 8 Migajón arcillo arenoso	PERFIL 36 Arena migajosa	PERFIL 28 Arcilla	PERFIL 27 Migajón arenoso	PERFIL 39 Arena migajosa
Textura superficial 0-30cm	> 115	>100	>170	>90m	>150	>145	>160
Profundidad efectiva (cm)	120	155	125	50	122	153	50
Capacidad de retención de agua a 120cm CRADmm							
<b>Suelos</b>							
Conductividad hidráulica en campo $\text{cm h}^{-1}$ *	1	7	6	7	1	7	6
Caliza %	31	31.1	31.3	31.3	31.3	31.1	31.1
Elementos permitidos							
Grava % V				0.01			
Cantos % V							
Afloramientos rocosos (separación entre, en m)	0	0	0	0	0	0	0
Sodicidad	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula
ESP %			1				
RAS	0.51	0.99	0.34	0.54	1.36	1.99	0.48
Salinidad $\text{CEs dSm}^{-1}$ a 25°C	2.7	0.17	0.35	0.17	0.19	0.15	0.18
<b>Topografía</b>							
Piedras a remover $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$	0	0	0	0	0	0	0
Inclinación % moderado a severamente erosionable	1	3	0	3	0.5	1	1
Ligeramente erosionable	Nulo	Ligeramente	Nula	Severo	Nula	Nula	Nula
Nivelación o deforestación	0	0	0	0	0	0	0
<b>Drenaje</b>							
Profundidad de la capa freática (cm) franco o más fino arenoso	115	>100	170	>90	>150	>145	>160
Drenaje superficial	Restringido	Bueno	Bueno	Bueno	Restringido	Restringido	Bueno
Profundidad a una capa impermeable (cm)	>115	>100	>170	>90	>150	>145	>145
Clase de tierra	III	II	I	III	III	III	I

Cuadro 14. Perfiles de suelos clasificados de Balacán y Tenosique.

Características	PERFIL 13	PERFIL 16	PERFIL 32	PERFIL 5	PERFIL 9	PERFIL 30	PERFIL 40	PERFIL 41
Textura superficial 0-30cm	Migajón arenoso	Migajón arenoso	Arcilla	Arcilla	Arcilla	Migajón arenosos	Arcilla	Suelo orgánico
Profundidad efectiva (cm)	>160	>142	>125	>130	>162	>50cm	>145 cm	
Capacidad de retención de agua a 120cm CRADmm	90	253	175	39	160	140	>200	
<b>Suelos</b>								
Conductividad hidráulica en campo $\text{cm h}^{-1}$ *	6	6	1	0.25	0.25	7	0.25	
Caliza %	31.2	31.3	31.1	30.8	31.7	31.2	31.15	
Elementos permitidos	gruesos							
Grava % V								
Cantos % V								
Afloramientos rocosos (separación entre, en m)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sodicidad	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula
ESP %	0.29	1.14	2.18	0.73	1	1.53	1.2	
RAS	0.15	0.13	0.13	0.15	0.32	0.27	0.49	
Salinidad CE <sub>s</sub> dSm <sup>-1</sup> a 25°C								
<b>Topografía</b>								
Piedras a remover $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$	0	0	0	0	0	0	0	0
Inclinación % moderado a severamente erosionable	3	5	3	6		0		
Ligeramente erosionable	Ligeramente	Ligeramente	Ligeramente	Ligeramente	Ligeramente	Nula	Nula	Nula
Nivelación o deforestación	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Drenaje</b>								
Profundidad de la capa freática (cm) franco o más fino arenoso	>160	> 142	>125	>130	>150	>150	>145	>145
Drenaje superficial	Bueno	Restringido	Restringido	Bueno	Restringido	Restringido	Restringido	Restringido
Profundidad a una capa impermeable (cm)	>145	>142	>125	>130	>150	>90	>145	>145
Clase de tierra	II	III	III	III	III	III	III	VI

Para el perfil 1, que corresponde a la Unidad de Fotointerpretación (UFI), llanura aluvial alta, y el tipo de suelo es: Gleysol Hístico (Arcilloso Éútrico), se encontró lo siguiente:

$$\begin{array}{cccc} 3 & s & d & f \\ \hline G & & A & \\ Z & & & \end{array}$$

lo que significa que este suelo pertenece a la clase III, es decir, es marginalmente apto para el riego y tiene deficiencias importantes, por lo que su uso queda restringido a un cierto número de cultivos. Las principales limitantes de este suelo son la textura arcillosa y un drenaje deficiente que aumenta los riesgos de inundación en determinadas épocas del año.

Utilizando los criterios de clasificación del USBR (2005), se encontró que en la clase de tierra I se agrupan los perfiles de suelo 8 y 39, en los cuales no se encuentra ninguna limitante para la implementación del sistema de riego en estas nuevas tierras, considerando el tipo de suelo, topografía y drenaje. Dentro de la clase de tierra II, se encuentran los perfiles de suelo 13 y 3, los cuales únicamente presentan cierta limitante en cuanto a topografía se refiere, al ser ligeramente erosionables, más sin embargo esta limitante puede ser resuelta al emplear sistemas de riego presurizados. Esta limitante no tiene relevancia tratándose de cultivos perennes y/o frutales, en el caso particular del cultivo de palma de aceite se determina que no se encuentra ninguna limitante para la implementación del sistema de riego en nuevas tierras, considerando el tipo de suelo, topografía y drenaje.

En la clase de tierra III, se encuentran 11 de los 16 perfiles de suelo estudiados (perfiles 38, 9, 30, 27, 16, 28, 5, 36, 1, 40 y 32). Las principales limitantes que presentan estos perfiles son: drenaje superficial restringido, tierras ligeramente erosionables, suelo arcilloso. Estas limitantes pueden resolverse con el establecimiento de obras de drenaje, en cuanto a la erosión, aunque es ligera la tendencia; esta limitante puede ser resuelta al emplear sistemas de riego presurizados. En la figura 12 se muestra el mapa de aptitud para riego en el área de estudio.

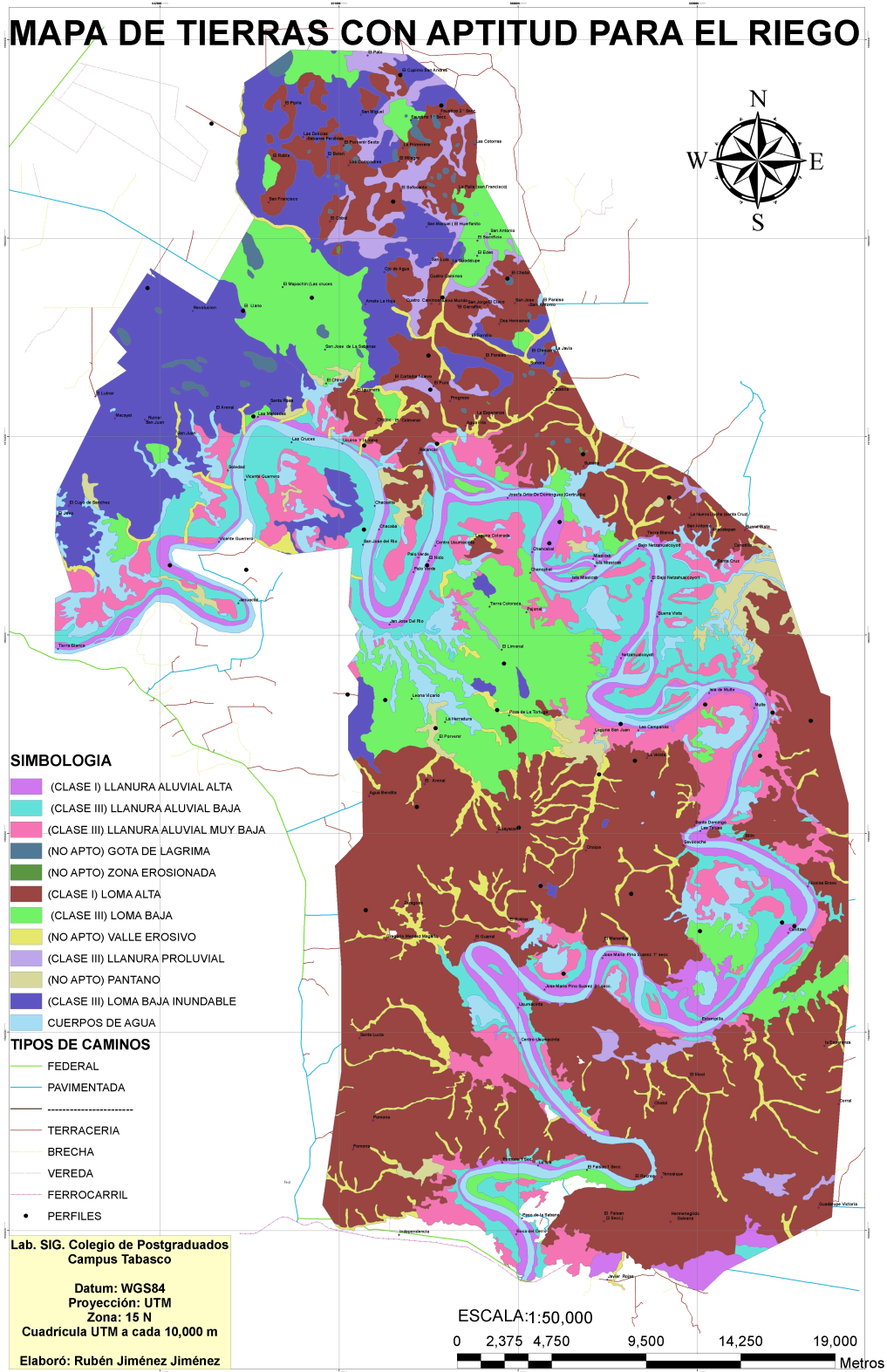


Figura 12. Mapa de tierras con aptitud para riego.

Considerando lo anterior, y considerando el tipo de suelo, topografía y drenaje, se determina que no se encuentra ninguna limitante para la implementación del sistema de riego en estas tierras para el cultivo de palma de aceite. Para proyectos de riego de zonas específicas en esta región se debe considerar al drenaje como un factor limitante para la apertura de nuevas tierras con la modalidad de agricultura bajo riego por lo que debe estudiarse la necesidad del drenaje.

#### **V.4 CONCLUSIONES**

1. En el levantamiento edafológico detallado con fines de riego para las tierras del área de estudio, se identificaron tres clases de tierras regables (clase I, II y III) y no se encontraron no regables, a excepción del suelo del perfil 46 que un suelo orgánico que se integró a estos resultados solo con fines de investigación dado que no cumple los requisitos como suelo con aptitud para riego.
2. Considerando el tipo de suelo, topografía y drenaje, no se encuentra ninguna limitante para la implementación del sistema de riego para el cultivo de palma de aceite en estas tierras analizadas.
3. Para proyectos de riego en zonas específicas de esta región se debe considerar la necesidad de drenaje.

#### **V.5 LITERATURA CITADA**

Etchevers, B. J. D. 1990. Uso y manejo del suelo y agua. *In*: CRECIDATH-CP Retrospectiva y Perspectiva de la Investigaciones en el Uso de los Recursos Naturales del Trópico Mexicano. (comps.) Mosqueda V., R. O. Ruíz R., y C. Ávila R. Colegio de Postgraduados, Tepetates, Veracruz. p

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nation). 1997. Zonificación agroecológica, guía general. Boletín de suelos de la FAO 73. Servicios de recursos, manejo y conservación de suelos dirección de foment de tierras y aguas. Roma, Italia.

IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 1989. Manual de Clasificación, cartografía e interpretación de suelos con base en el sistema de taxonomía de suelos. eds. Daniels, L. A., E. García. E. y J. Vargas C. Comisión Nacional del Agua. Morelos, México.

SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). 1981. Estudio agrológico semidetallado de la segunda etapa del proyecto Balancán-Tenosique, estado de Tabasco. Ed. Subdirección de Agrológica. Mérida, Yucatán. 145 p.

USBR (United States Department of the Interior Bureau of Reclamation). 2005. Reclamation managing water in the west: Technical guidelines for irrigation suitability land classification. United States Department of the Interior Bureau of Reclamation. Denver, Colorado. Chapters II- V.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

### 1. CONCLUSIONES

El presente conjunto de trabajos brinda resultados preliminares sobre los suelos con potencial para riego en las tierras con aptitud para palma de aceite de Balancán y Tenosique, Tabasco, con lo que se concluye lo siguiente:

1. Las plantas de bombeo son la infraestructura de riego encontrada con mayor frecuencia (80%), seguido de los pozos profundos (20 %). El 80% de las plantas de bombeo y 68% de los pozos profundos se encuentran activos.
2. La clasificación de las diferentes muestras de agua colectadas en los diferentes cuerpos de agua revela que el agua es de buena calidad y que puede ser usada para el riego de palma de aceite y de otros cultivos. De las muestras de agua analizadas con fines de riego en el área de estudio, nueve no presentan ninguna condicionante, cuatro muestras están condicionadas por la Relación de Absorción de Sodio (RAS), tres por cloruros, tres por boro y una más por el contenido de Carbonato de Sodio Residual (CSR).
3. Considerando el tipo de suelo, topografía y drenaje, para el cultivo de palma de aceite, no se encuentra ninguna limitante para la implementación de sistemas de riego en estas nuevas tierras.
4. En el levantamiento edafológico detallado con fines de riego, se identificaron tres clases regables (clase I, II y III) y no se encontraron no regables, a excepción del suelo del perfil 46 que un suelo orgánico que se integró a estos resultados solo con fines de investigación.



## 2. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en los presentes trabajos, y a las investigaciones realizadas en el área de estudio, se recomienda continuar el estudio abordando los siguientes temas:

1. Además de la cantidad disponible, la calidad del agua puede ser limitante para la planeación y puesta en marcha de un proyecto de irrigación, por lo que se deben determinar los factores condicionantes y de restricción de uso para tomar las medidas precautorias y de manejo adecuado del sistema de riego.
2. Cuando los sistemas de riego ya se encuentran en operación, como ocurre en algunos casos en el área de estudio es conveniente realizar estudios periódicos de la calidad del agua que permitan inferir riesgos potenciales de daños a los suelos, o posibles efectos perjudiciales para los cultivos y, de manera indirecta, para los consumidores, por la presencia de agentes potencialmente tóxicos.
3. Para el establecimiento de un proyecto de riego en otros cultivos, se deben considerar las limitantes de las diferentes fuentes de agua que se pretendan utilizar y los suelos aptos para su establecimiento.
4. Dado que en el presente estudio se realizó la clasificación de las tierras con fines de riego considerando los atributos físicos, en estudios posteriores se recomienda incluir consideraciones económicas.

## ANEXO A

### ANÁLISIS DE AGUA PARA LABORATORIO

Muestra No: \_\_\_\_\_ Fecha de  
muestreo: \_\_\_\_\_  
Nombre del sitio muestreado (río, pozo, canal,  
etc.: \_\_\_\_\_  
Lugar (Ejido,  
municipio): \_\_\_\_\_  
Características de los cultivos y del  
suelo: \_\_\_\_\_  
Ubicación geográfica (UTM):  
\_\_\_\_\_

### DATOS DE LABORATORIO

Registro No. \_\_\_\_\_ Fecha de  
análisis: \_\_\_\_\_  
CE A 25°C: \_\_\_\_\_ dSm<sup>-1</sup> pH : \_\_\_\_\_  
Boro : \_\_\_\_\_ ppm

Aniones en meq L <sup>-1</sup>					Cationes en meq L <sup>-1</sup>				
CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub>	SUMA	Ca	Mg	Na	K	SUMA

CO<sub>3</sub> + HCO<sub>3</sub> : \_\_\_\_\_ meq L<sup>-1</sup>

Ca + Mg : \_\_\_\_\_ meq L<sup>-1</sup>

## **METODOLOGÍA PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUA**

Con el fin que tanto el análisis del agua de riego, como las conclusiones y normas de manejo sugeridas sean las correctas, es fundamental que la muestra de agua que será estudiada sea representativa de la fuente de agua desde donde provendrá el agua de riego.

### **Forma de muestrear**

- a) Por lo general deberá tomarse una muestra de 1 L.
  
- b) La muestra debiera tomarse en un envase de plástico. Con el fin de limpiar todos los residuos que puedan contener los recipientes, estos deberán limpiarse con la misma agua que será muestreada.
  
- c) La muestra deberá ser identificada de manera clara debiendo indicarse:
  - Nombre y localización del sitio de muestreo (ejido, municipio, estado, etc)
  - Fecha en que fue tomada
  - Cultivo en que será usada
  - Nombre de la persona que tomo la muestra
  - Profundidad de muestra tomada (para agua de pozo)
  
- d) Las muestras deberán ser analizadas lo más pronto posible, para evitar que se contaminen o varíen su calidad. Tanto el pH como la conductividad eléctrica debieran analizarse lo antes posible.

### **Frecuencia del muestreo**

Esta dependerá del objetivo del trabajo, el método de riego usado, la exactitud deseada y la disponibilidad de personal.

Si sólo se quiere un muestreo periódico para caracterizar el agua, bastará tomar las muestras 1 vez por mes. Si el objetivo es conocer la variación en el contenido de sales,

entonces deberán hacerse muestreos más frecuentes, de tal forma de poder detectar de manera apropiada las variaciones en el contenido de sales del agua. En este caso la frecuencia de muestreo deberá ser de un día a una semana, dependiendo de la variabilidad en el contenido de sales del agua de riego (Aceves, 1979).

La metodología de la toma de muestras de aguas no es uniforme sino que varían según la naturaleza de la fuente por muestrear. A continuación se describe sobre el muestreo de agua en:

### **Ríos, canales y drenes**

Deben tomarse las muestras del agua en movimiento, se recomienda que sea unos centímetros por debajo de la superficie libre del agua. La frecuencia para épocas en que el caudal del río es aproximadamente uniforme, muestras mensuales son suficientes. No se deben tomar muestras en sectores en donde el agua este estancada ya que esta se puede haber contaminado, no siendo representativa del agua que escurre por el curso de agua.

En época de lluvias o avenidas deben tomarse muestras adicionales para caracterizar el agua durante el tiempo que dure, para detectar cambios en la concentración de sales.

### **Presas de almacenamiento**

Cuando se deriva constantemente el agua, con muestras mensuales a la salida de la obra son suficientes porque la concentración salina varía muy poco. Cuando se deriva periódicamente el agua, se recomienda muestrear al inicio de la derivación para detectar la variación de la concentración de sales.

### **Pozos profundos**

Se recomienda tomar la muestra de agua, después de que se haya bombeado como mínimo durante una hora, para que la concentración total de sales del acuífero a determinar sea confiable.

Una muestra mensual es aconsejable para llevar el control de las sales, en pozos donde la extracción son aproximadamente iguales a las aportaciones del acuífero, si la extracción es mayor a la aportación del acuífero, en este caso, será necesario hacer muestreos adicionales más frecuentes.

En ocasiones el agua del pozo puede contaminarse con sales que caigan desde la superficie, por tanto el muestreo deberá hacerse cuando ya se haya estado sacando agua durante una hora, para que sea extraída toda el agua salinizada y el agua restante sea más representativa de la calidad real del acuífero.

### **Muestreo de manantiales o de vertientes**

Por lo general las vertientes son muy estables en su calidad química. Es decir, son constantemente buenas o constantemente malas. Los muestreos debieran hacerse en forma mensual, a menos que se detecte alguna variación significativa, en este caso el muestreo debiera ser más frecuente.

### **Lagos de gran extensión**

Estas aguas no están completamente mezcladas y con muestreos mensuales a diferentes profundidades en varios lugares representativos, se puede detectar la variación de concentración de sales.

## ANEXO B

### **Clasificación de la calidad del agua para riego, hecha en Riverside, Cal., USDA**

Esta clasificación considera los siguientes indicadores:

1. El contenido total de sales solubles o concentración total.
2. La concentración relativa del sodio respecto a los otros cationes.
3. La concentración de Boro, Flúor u otros elementos que pueden ser tóxicos.
4. La concentración y presencia de algunos elementos en ciertas condiciones:
  - a. Concentración de bicarbonatos en relación con la presencia de Calcio más Magnesio.
  - b. Presencia y concentración respectiva del anión bicarbonato, sulfato y cloruro, por ejemplo, en zonas de riego que cuentan con cultivos de tipo permanente.

#### **1.1 Contenido total de sales solubles o concentración total**

- a. Conductividad eléctrica (CE): generalmente se expresa en micromho  $\text{cm}^{-1}$  a  $25^{\circ}\text{C}$  ( $\text{CE} \times 10^6$ ).

#### **2.1 La concentración relativa del sodio respecto a los otros cationes**

Para establecer la concentración relativa de Na con respecto a los cationes Ca + Mg, se utiliza la siguiente relación conocida como relación de absorción de Sodio (RAS), o bien con la Figura 1.

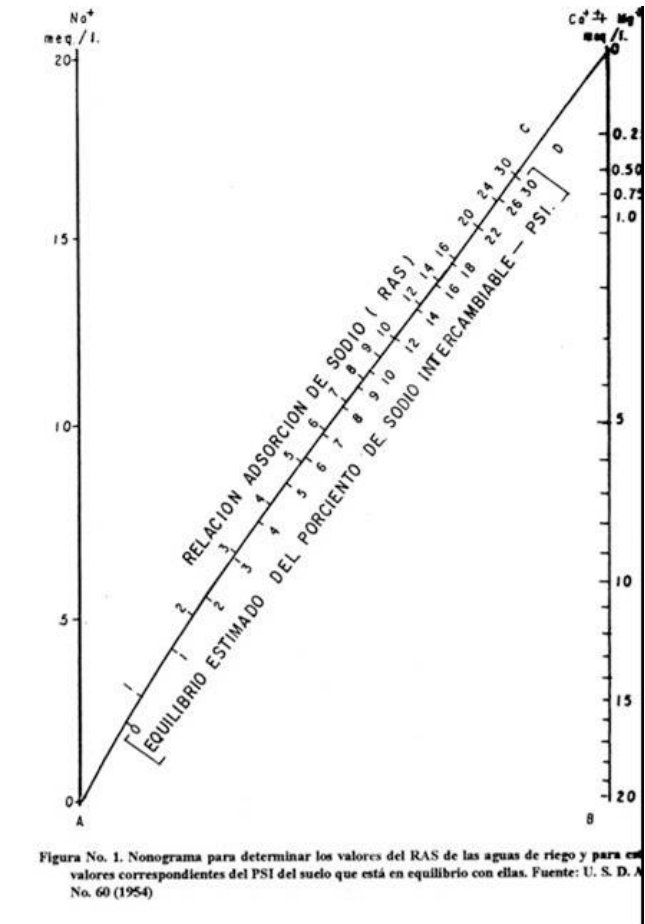


Figura 1. Esquema para determinar los valores de RAS.

$$RAS = Na / \sqrt{(Ca + Mg) / 2}$$

Donde las concentraciones de Na, Ca y Mg se expresan en me/Lt

La clasificación de aguas para riego se realiza con el diagrama de la Figura 2; donde quedan definidas 16 clases de aguas. Para utilizar el diagrama es necesario conocer la conductividad eléctrica (CE x 10<sup>6</sup>/cm a 25°C) y la concentración de los iones Sodio y Calcio mas Magnesio del agua para determinar el valor de la RAS.

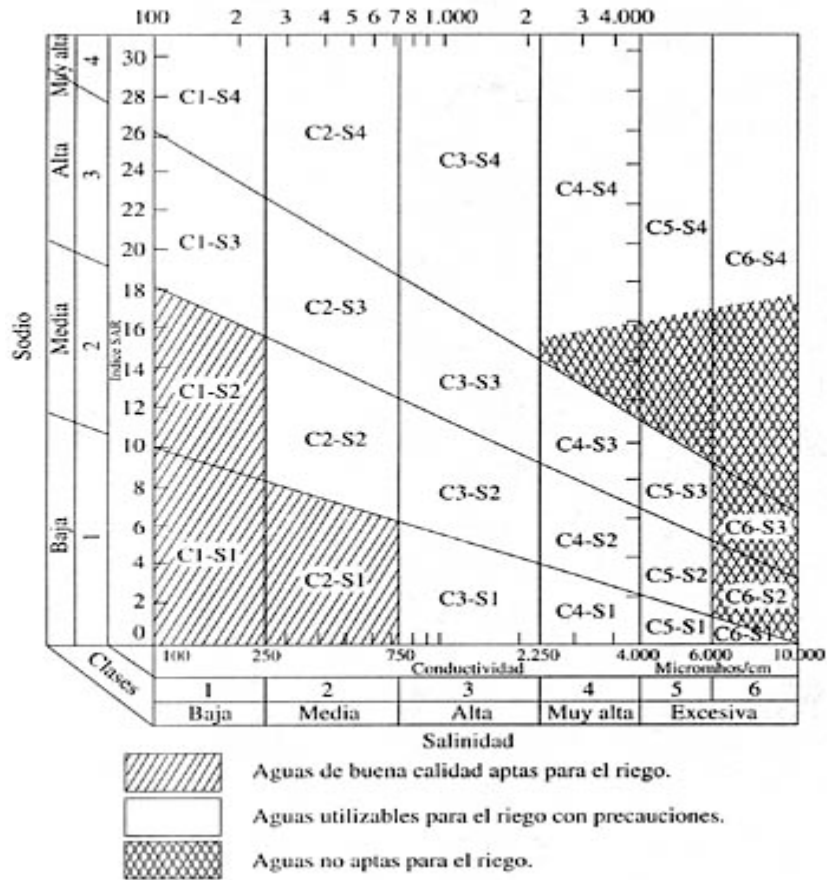


Figura 2-Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego. (U.S. Soil Salinity Laboratory).

Los siguientes son los comentarios de las 16 clases de aguas que se conforman con esta clasificación.

a) Agua de baja salinidad (C1). Puede usarse para el riego de la mayoría de los cultivos, y con poca probabilidad que se desarrolle salinidad. Se necesita algún lavado, pero éste se logra en condiciones normales de riego, excepto en suelos de baja permeabilidad.

b) Agua de salinidad media (C2). Deben usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado. En casi todos los casos se pueden cultivar plantas moderadamente tolerantes a las sales y sin necesidad de prácticas especiales de control de la salinidad.



c) Agua altamente salina (C3). No debe usarse en suelos con mal drenaje. Aun cuando el suelo tenga buen drenaje, pueden requerirse prácticas especiales de manejo y control de la salinidad, debiendo seleccionarse únicamente aquellas especies vegetales muy tolerantes a sales.

d) Agua extremadamente altamente salina (C4). No es apropiada para riego bajo condiciones normales, pero puede usarse ocasionalmente en circunstancias especiales. Los suelos deben ser permeables, con buen drenaje, debiendo aplicarse un exceso de agua para lograr un buen lavado. En este caso se deben seleccionar cultivos altamente tolerantes a las sales.

e) Agua baja en sodio (S1). Puede usarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable.

f) Agua media en sodio (S2). En suelos con textura fina el sodio representa un problema importante, aun cuando estos suelos tengan una alta capacidad de intercambio catiónico. Esta agua sólo debiera usarse en suelos de textura gruesa o en suelos orgánicos de buena permeabilidad.

g) Agua alta en sodio (S3). Puede producir niveles tóxicos de sodio intercambiable en la mayoría de los suelos, por lo que estos necesitan prácticas especiales de manejo, buen drenaje, fácil lavado y adición de materia orgánica.

h) Agua extremadamente alta en sodio (S4). Es inadecuada para el riego, excepto cuando su salinidad es baja o media y cuando la disolución del calcio del suelo y/o la aplicación de yeso u otros mejoradores no haga antieconómico el uso de esta agua.

## ANEXO C

Cuerpos de agua y sistemas de riego existentes con su respectivo identificador en el mapa de ubicación de los cuerpos de agua en Tenosique, Tabasco.

IDENTIFICADOR	NOMBRE	†PERMANENCIA	SUPERFICIE (ha)
1	Laguna Santana	0	222.70
2	Laguna Negra	0	40.06
3	Laguna Kish	0	8.61
4	Laguna El Tinto	0	16.93
5	Laguna El Arenal	0	23.13
6		0	8.68
7	Laguna el Cerco	0	39.36
8	Laguna El Mangal	0	405.21
9		1	2.59
10		1	5.90
11		0	3.53
29	Laguna Las Piedras	0	24.21
33	Laguna La Perdida	0	624.52
41	Laguna El Guanal	0	116.52
42	Laguna El Tintillo	0	80.02
43	Laguna El Cansancio	0	83.24
44	L. Leona Vicario	0	309.55
45	Laguna El Zapotal	0	58.69
56	Laguna El Popal	0	1.04
59	Laguna Las Cruces	0	5.62
71	Laguna Lingle	1	26.92
72		1	16.92
73	Laguna Poza Grande	0	26.35
74	Laguna Multe	0	258.35
75		0	4.81
76		0	6.06
77		0	13.47
71	Laguna Lingle	1	26.92
72		1	16.92
73	Laguna Poza Grande	0	26.35
74	Laguna Multe	0	258.35
75		0	4.81
76		0	6.06
77		0	13.47
78		0	14.10
79	Laguna El Billin	0	77.46
80	Laguna Canitzan	0	1021.35
81		0	24.12
82		0	3.66
83	Laguna El Maíz	0	361.25
84	Laguna Estapilla	0	130.93
85	Laguna La Rivera Del Carmen	0	93.08
86		0	12.83
87		0	6.92
88	Laguna Sta. Cruz	0	83.76
89		0	8.93
90		0	0.25
91		0	1.33
92	Laguna Concepción	0	10.45
93		0	3.20
94		0	4.42
95		0	4.68
96		0	0.57
97		0	11.40
98		0	1.50
99		0	0.97
100		0	0.76
101		0	0.20
102		0	0.61
103		0	1.90
104		0	9.00

105		0	7.26
106		0	2.65
107	Laguna Chica	0	97.95
108	Laguna Grande	0	156.21
109	Laguna El Pucte	0	33.84
110		0	45.46
111	Laguna San Juan	0	316.72

† 0 = Laguna permanente; 1= Laguna que se seca en alguna época del año.

Cuerpos de agua y sistemas de riego existentes con su respectivo identificador en el mapa de ubicación de los cuerpos de agua en Balancán, Tabasco.

IDENTIFICADOR	NOMBRE	†PERMANENCIA	SUPERFICIE (ha)
12	Laguna El Mangal	0	1.35
13	Laguna El Yomel	0	30.70
14	Laguna Lagartera Grande	0	0.64
15		1	4.27
16		1	0.29
17		1	0.47
18		1	0.62
19		1	4.65
20		1	4.97
21		1	1.67
22		1	4.82
23		1	1.23
24	Laguna Guau	0	90.61
25	Laguna San Juan	0	149.84
26	Laguna Las Piedritas	0	104.70
27	Laguna El Chinal	0	146.22
28	Laguna La Gloria	0	13.47
30	Laguna Las Piedras	1	1.94
31		1	12.36
32	Laguna La Perdida	0	31.16
34	Laguna El Guinar	0	78.50
35		0	14.59
36	Laguna El Tigre	0	9.19
37		0	21.44
38		0	43.35
39		0	138.70
40		0	20.68
46	Laguna El Lechugal	0	239.05
47		0	2.24
48	L. Popal Nuevo	0	10.50
49	Laguna El Popal	0	4.94
50		0	4.76
51		0	1.48
52		0	10.91
53		1	23.07
54		0	282.55
55		0	0.96
57	Laguna El Popal	0	0.31
58		0	1.09
60	Laguna Las Cruces	1	28.04
61		0	6.59
62		0	1.12
63		0	6.60
64	Laguna Sunina	0	333.26
65		0	1.14
66	Laguna Lingle	0	40.71
67		1	11.98
68		1	15.48
69		0	36.67
70		0	7.75

† 0 = Laguna permanente; 1= Laguna que se seca en alguna época del año.

## ANEXO D PERFILES DE SUELO

### Tipo de suelo: Fluvisol Calcico (Éutrico Sódico)

Perfil: 8

Descrito por: Amulfo Triano, Marco A. y Luis García

Fecha: 28 de junio de 2007

Localidad: Ejido Canitzan, Balancán, Tabasco

Localización: UTM 673889-1945333

Elevación: 22 msnm

Relieve: Plano

Pendiente: 0 %

Drenaje del sitio: Donador

Drenaje del perfil: Bien drenado

Material parental: Aluvión reciente del río Usumacinta

Flora cultivada: Cedro

Flora nativa: Pasto pajón

Observaciones: En el segundo horizonte se encontró una película de arena.



### Descripción del perfil de suelo



Profundidad en cm	Características										
	Transición horizontal y tenue; ligeramente húmedo; color pardo oscuro (10YR3/3); motas, prominentes, comunes, muy finas, finas y medias, de color, pardo muy oscuro (10YR2/2); textura, arena migajosa; estructura, moderadamente desarrollada, de forma poliédrica, angular y sub-angular, muy fina y fina; consistencia, muy friable ligeramente pegajoso y ligeramente plástico en muy húmedo; cutanes por eluvación, zonales, moderadamente, espesos, en poros de canales de raíces, de minerales arcillosos; poros, numerosos, muy finos y finos continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad muy rápida; raíces comunes, finas y delgadas; pH 5.	Transición horizontal y tenue; húmedo; color, pardo oscuro (7.5YR3/2); textura, migajón arenoso; estructura, fuertemente, desarrollada, de forma poliédrica, sub-angular, fina; consistencia friable no pegajoso y ligeramente plástico en muy húmedo; cutanes por eluvación, continuos, espesos, entre agregados en poros de canales de minerales arcillosos; poros, frecuentes, muy finos y finos continuos, caóticos entre agregados y tubulares; permeabilidad rápida; raíces comunes, finas y delgadas; pH 5.	Transición horizontal y media; húmedo; color, pardo amarillento oscuro (10YR3/4); textura, migajón arcillo arenoso; estructura, fuertemente, desarrollada, de forma poliédrica, sub-angular, fina; consistencia friable no pegajoso y ligeramente plástico en muy húmedo; cutanes planchados por presión, continuos, espesos, entre agregados en poros de canales de minerales arcillosos; moderada reacción al HCl; poros, frecuentes, muy finos, finos, continuos, caóticos dentro de agregados y tubulares; permeabilidad rápida; raíces comunes, finas y delgadas; pH 5.	Transición horizontal y marcada; ligeramente húmedo; color, pardo amarillento (10YR5/8); textura, arena migajosa; estructura, muy débilmente, desarrollada, de forma poliédrica, sub-angular, fina; consistencia, muy friable no pegajoso y no plástico en muy húmedo; moderada reacción al HCl; poros, numerosos, muy finos y finos continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad muy rápida; raíces pocas y finas; pH 5.	Horizonte ligeramente húmedo; color de la matriz, amarillo parduzco (10YR6/6); textura, arenosa; estructura, masiva; consistencia, muy friable no pegajoso no plástico en muy húmedo; moderada reacción al HCl; poros, numerosos, muy finos y finos, continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad muy rápida; raíces raras y finas; pH 5.						
(0-44)											
(44-75)											
(75-128)											
(128-153)											
(153-170)											

Ho.	Prof. (cm)	pH		CE (ds m <sup>-1</sup> )	MO (%)	N	P (mg Kg <sup>-1</sup> )	K	Ca	Mg cmol (+) Kg <sup>-1</sup>	Na	C.I.C.	Arcilla	Limo (%)	Arena	Clasificación textural
		H <sub>2</sub> O	KCl													
1	(0-44)	7.61	6.90	0.084	1.82	0.10	3.48	0.21	12.2	3.21	0.06	11.9	21	21	58	Migajón arcillo arenoso
2	(44-75)	7.72	6.88	0.087	1.62	0.09	1.16	0.17	21.4	5.18	0.05	17.6	33	30	37	Migajón arcilloso
3	(75-128)	7.80	6.80	0.078	0.61	0.05	1.59	0.16	21.9	4.36	0.07	17.6	35	24	41	Migajón arcilloso
4	(128-153)	8.02	7.16	0.068	0.27	0.01	3.33	0.08	26.4	2.06	0.05	9.3	19	16	65	Migajón arenoso
5	(153-170)	8.12	7.43	0.008	0.20	0.01	2.39	0.06	32.3	1.07	0.04	5.2	11	6	83	Arena migajosa

**Tipo de suelo: Vertisol Cálcico Gléyico (Hiperéutrico)**

Perfil: 38

Descrito por: Arnulfo Triano, Marco A. Raquel y Luis García

Fecha: 24 julio de 2007

Localidad: Ranchería Missicab, Balancán, Tabasco

Localización: UTM. 661565-1964619

Elevación: 12 msnm

Relieve: ligeramente plano

Pendiente: 5 %

Drenaje del sitio: Receptor

Drenaje del perfil: Imperfectamente drenado

Material parental: Aluviones recientes del río Usumacinta

Flora cultivada: Sorgo

Observaciones: es un sitio arado, grietas hasta los 83 cm. Con un diámetro de 8cm



**Descripción del perfil de suelo**



**Características**

Profundidad en cm	Descripción
(0-24)	Transición horizontal y media; seco; color de la matriz pardo muy oscuro (10YR2/2); motas, prominentes, comunes, muy finas y finas, de color amarillo rojizo (7.5YR6/8); textura arcilla fina; consistencia muy duro, muy firme, muy pegajoso y muy plástica en muy húmedo; estructura fuertemente, desarrollada poliédrica, sub-angular, muy fina; poros pocos, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados y tubulares; permeabilidad lenta; raíces comunes, muy finas y finas; fauna, restos de caracoles; pH 5.5.
(24-83)	Transición horizontal y tenue; ligeramente húmedo; color pardo oscuro (10YR3/3); motas prominentes, muchas, muy finas y finas, color pardo (7.5YR5/4) y marcadas pocas y finas de color gris muy pardo (7.5YR3/0); textura migajón, arcilloso; consistencia duro, firme, pegajoso y plástica en muy húmedo; estructura fuertemente, desarrollada de forma poliédrica, sub-angular, muy fina y fina; cutanes por eluvación, zonales, moderadamente espesos, entre agregados de minerales arcillosos de óxido de hierro; nódulos pocos, muy pequeños, negros esféroides blandos de manganeso; poros, muy finos y finos, continuos, caóticos dentro y fuera de agregados y tubulares; permeabilidad moderada; raíces comunes, finas; pH 5.5.
(83-120)	Transición horizontal y marcada; húmedo; color pardo (10YR5/3); motas tenues comunes y muy finas de color pardo amarillento (10YR5/8); textura migajón arcilla arenosos; consistencia ligeramente duro, friable, pegajoso y ligeramente plástica en muy húmedo; estructura moderadamente desarrollada de forma poliédrica, sub-angular, muy fina y fina; cutanes, por eluvación discontinuos espesos, entre agregados en poros de canales de raíces de minerales arcillosos de óxido de hierro; nódulos pocos, muy pequeños y pequeños, negros esféroides blandos de manganeso; ligera reacción al HCl; poros frecuentes, muy finos y finos, continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad rápida; raíces raras y finas, pH 5.5.
(120-154)	Horizonte muy húmedo; color pardo grisáceo oscuro (10YR4/2); motas marcadas, muchas muy finas y finas color pardo amarillento (10YR5/8); textura migajón arcilla arenoso; consistencia ligeramente duro, friable, pegajoso y ligeramente plástico; estructura moderadamente desarrollada, poliédrica, sub-angular muy fina y fina; cutanes por eluvación, continuos, espesos entre agregados, en poros de canales de raíces de minerales arcillosos de óxido de hierro; nódulos pocos, muy pequeños y pequeños, negros esféroides blandos de manganeso; ligera reacción al HCl; permeabilidad rápida, raíces muy raras y finas; pH 5.5.

Horizonte	Prof. (cm)	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	CE (ds m <sup>-1</sup> )	MO. (%)	N	P (mg Kg <sup>-1</sup> )	K	Ca	Mg cmol (+) Kg <sup>-1</sup>	Na	C.I.C.	Arcilla	Limo (%)	Arena	Clasificación textural
1	(0-24)	6.97	4.40	0.30	4.78	0.24	19.81	0.61	25.8	8.06	0.12	33.2	76	16	8	Arcilla
2	(24-83)	6.58	5.41	0.06	1.28	0.08	2.78	0.21	25.0	11.7	0.16	32.1	52	40	8	Arcilla limoso
3	(83-120)	7.74	6.85	0.11	0.67	0.06	2.78	0.23	30.1	11.3	0.13	25.9	62	30	8	Arcilla
4	(120-154)	7.77	6.96	0.11	0.54	0.03	4.26	0.18	27.3	7.89	0.11	3.11	46	34	20	Arcilla



**Tipo de suelo: Vertisol Cálcico (Hiperentrico)**

Perfil: 9

Descrito por: Arnulfo Triano, Marco A.

Fecha: 03 julio de 2007

Localidad: Ejido Canitzan, Tenosique, Tabasco

Localización: UTM 673259-1945518

Elevación: 17 msnm

Relieve: Plano

Pendiente: 1 %

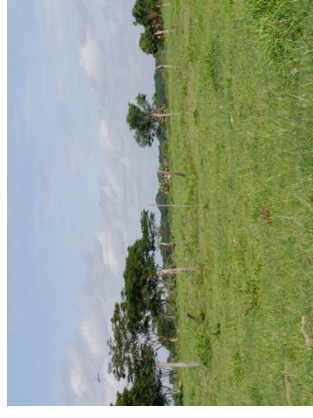
Drenaje del sitio: Normal

Drenaje del perfil: Imperfectamente drenado

Material parental: Aluvión reciente

Flora cultivada: Pasto

Observaciones: Presencia de agrietamiento en el primer horizonte



**Descripción del perfil de suelo**



**Características**

Profundidad en cm	Características										
(0-41)	Transición horizontal y media; ligeramente húmedo; color gris muy oscuro (10YR3/1); motas, tenues, comunes, muy finas y finas de color pardo amarillento oscuro (10YR4/6); textura migajon arcillo limoso; consistencia, friable, ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; estructura, fuertemente desarrollada, de forma poliédrica sub-angular fina; cutanes por eluvación, continuos, espesos en poros de canales de raíces de minerales arcillosos; nódulos, muy pequeños, negros, esferoides, blandos de manganeso; poros frecuentes, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro de los agregados y tubulares; permeabilidad rápida; raíces abundantes, finas y delgadas; pH 4.5.										
(4-66)	Transición horizontal y tenue; húmedo; color pardo amarillento (10YR5/4); motas marcadas, comunes y muy finas de color amarillo parduzco (10YR6/8); textura migajon limoso; consistencia, friable, ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; estructura, moderadamente desarrollada, de forma poliédrica, sub-angular finas; cutanes, planchados por presión, discontinuos, espesos entre agregados, en poros de canales de raíces, de minerales arcillosos; nódulos, pocos pequeños negros, esferoides negros, duros de manganeso; ligera reacción al HCl; poros, numerosos, muy finos y finos, continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad moderada; raíces comunes, finas y delgadas; fauna, lombrices; pH 5.										
(66-95)	Transición horizontal y marcada; húmedo; color pardo (10YR5/3); motas, marcadas, muchas y muy finas, de color, amarillo parduzco (10YR6/8); textura migajon arcillo arenoso; consistencia, friable, ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; piedras pequeñas, menos del 1%, gravas sub-angulares; estructura moderadamente desarrollada de forma poliédrica sub-angular, finas y muy finas; cutanes, planchados por presión, discontinuos, espesos entre agregados, en poros de canales de raíces de minerales arcillosos; nódulos, pocos, muy pequeños, negros, esferoides, duros de manganeso; moderada reacción al HCl; poros, frecuentes muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro de los agregados y tubulares; permeabilidad moderada; raíces comunes y finas; pH 5.										
(95-160)	Horizonte húmedo; color pardo (10YR5/3); motas, marcadas, muchas, muy finas y finas de color pardo amarillento oscuro (10YR3/6); textura migajon arcillosos; consistencia friable, pegajoso y ligeramente plástico; pedregoso, con gravas y piedras pequeñas, sub-angulares; estructura, moderadamente desarrollada, de forma poliédrica, sub-angular, finas y muy finas; cutanes, planchados por presión, discontinuos, espesos entre agregados, en poros de canales de raíces de minerales arcillosos; nódulos, frecuentes, muy pequeños negros, esferoides, duros de manganeso; fuerte reacción al HCl; poros, pocos, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro de los agregados y tubulares; permeabilidad moderada; raíces comunes y finas; pH 5.5.										

Ho.	Prof. (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	CE (ds m <sup>-1</sup> )	MO. (%)	N	P (mg Kg <sup>-1</sup> )	K	Ca	Mg emol (+) Kg <sup>-1</sup>	C.I.C.			Clasificación textural		
										Na	Arellita	Limo (%)		Arellita	
1	(0-41)	5.33	0.050	2.94	0.17	0.71	0.34	19.5	12.7	0.14	14.0	67	30	3	Arcilla
2	(4-66)	7.60	0.102	0.73	0.07	0.29	0.22	31.4	8.72	0.14	12.4	62	34	4	Arcilla
3	(66-95)	7.78	0.101	0.53	0.04	0.00	0.19	31.6	7.57	0.15	11.9	51	40	9	Arcilla
4	(95-160)	7.88	0.119	0.46	0.05	0.00	0.19	31.5	9.05	0.24	12.4	53	40	7	Arcilla

**Tipo de suelo: Fluvisol Gléyico (Arenico Eútrico)**

Perfil: 30

Descrió por: Armulfo Triano, Marco A. y Luis García

Fecha: 19 de julio de 2007

Localidad: Ejido Balancán, Balancán, Tabasco

Localización: UTM 665582-1972356

Elevación: 14 msnm

Relieve: Convexa-Cóncava

Pendiente: 2 %

Drenaje del sitio: Receptor

Drenaje del perfil: Imperfectamente drenado

Material parental: Terrazas aluviales del pleistoceno

Flora nativa: Cola de venado y taziste

Condiciones meteorológicas: Época de seca

Observaciones: Manto freático a los 150 cm



**Descripción del perfil de suelo**



**Características**

Profundidad en cm	Características												
(0-18)	Transición ondulada y marcada; seco; color negro (10YR2/1); textura migajón limoso; consistencia en seco blando, friable en húmedo, ligeramente pegajoso y plástico en muy húmedo; estructura moderadamente desarrollada, de forma granular, poliédrica, sub-angular, fina; cutanes por eluviación, continuos, moderadamente, espesos, en poros canales de raíces, con óxido de hierro; poros numerosos, muy finos y finos continuos, caóticos, tubulares; permeabilidad rápida; raíces abundantes, finas y delgadas; pH 4.5.												
(18-42)	Transición horizontal y marcada; ligeramente húmedo; de color negro (5YR2.5/1); motas tenues, pocas y finísimas; color pardo (7.5YR5/4); textura migajón arenoso; consistencia, friable en húmedo, ligeramente pegajoso y no plástico en muy húmedo; estructura muy débilmente desarrollada poliédrica, sub-angular, fina; poros numerosos, muy finos y finos continuos, caóticos, tubulares; permeabilidad rápida; raíces comunes, finas y delgadas; fauna lombrices; pH 4.5.												
(42-80) (42-55)	Transición regular y media; húmedo; color de la matriz pardo (7.5YR5/2); motas marcadas pocas y muy finas, color amarilllo parduzco (10YR6/8); tenues, pocas y finísimas de color pardo amarillento (10YR5/8); textura arenosa; consistencia, friable en húmedo, no pegajoso y no plástico en muy húmedo; sin estructura masiva; muy pocas piedras, gravas y redondas; poros numerosos, muy finos y finos continuos, caóticos, tubulares; permeabilidad rápida; raíces pocas y finas; pH 4.5.												
(80-101) (55-102)	Transición horizontal y marcada muy húmedo; color gris parduzco claro (10YR6/2); motas prominentes, comunes, muy finas y finas de color amarilllo parduzco (10YR6/8); textura arcilla arenosa; consistencia friable, pegajosa y plástico; estructura, débilmente desarrollada, de forma poliédrica, sub-angular media; ligeramente pedregoso, gravas y piedras pequeñas, redondas; poros, frecuentes, muy finos y finos continuos, caótico y tubulares; permeabilidad moderada; raíces pocas, finas y delgadas; pH 5.												
(101-150)	Horizonte saturado; color gris claro, (10YR7/0); motas prominentes, comunes, muy finas y finas amarillo rojizo (7.5YR7/8); rjo (10YR4/8); textura arcilla arenosa; consistencia friable en húmedo, pegajoso y plástico en muy húmedo; estructura, débilmente desarrollada, de forma poliédrica, sub-angular, media; ligeramente pedregoso, gravas y piedras pequeñas, redondas; poros, frecuentes, muy finos y finos continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad lenta; raíces pocas y finas; pH 5.												

Horizonte	Prof. (cm)	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	CE (ds m <sup>-1</sup> )	MO. (%)	N	P (mg Kg <sup>-1</sup> )	K	Ca	Mg cmol (+) Kg <sup>-1</sup>	Na	C.I.C.	Arcilla	Limo (%)	Arena	Clasificación textural
2	(18-42)	5.04	4.11	0.016	1.28	0.08	1.55	0.05	6.23	0.12	0.13	3.11	13	18	69	Migajón Arenoso
3	(42-80) (42-55)	5.44	4.50	0.012	0.19	0.02	1.13	0.01	0.08	0.08	NSD	NSD	11	8	81	Arena Migajoso
4	(80-101), (55-102)	5.00	4.43	0.020	0.13	0.03	0.42	0.20	3.28	2.98	0.14	9.33	37	8	55	Arcillo Arenoso
5	(101-150)	5.31	4.45	0.018	0.06	0.03	1.83	0.19	2.53	3.44	0.14	7.26	31	8	61	Migajón Arcillo-arenoso



**Tipo de suelo: Acrisol Gléyico Plíntico (Abruptico)**

Perfil: 27

Descrito por: Arnulfo Triano, Marco A. y Luis García

Fecha: 18 de julio del 2007

Localidad: Ejido El Llano, Balancán, Tabasco

Localización: UTM 646174-1976330

Relieve: Ligeramente cóncavo

Pendiente: 1 %

Drenaje del sitio: Donador

Drenaje del perfil: Imperfectamente drenado

Material parental: Terrazas aluviales del pleistoceno

Flora cultivada: Nance, pasto humidícola

Flora nativa: Güiro



**Descripción del perfil de suelo**

Ho.	Prof. (cm)	pH		CE (ds m <sup>-1</sup> )	MO. (%)	N	P (mg Kg <sup>-1</sup> )	K	Ca	Mg cmol (+) Kg <sup>-1</sup>	Na	C.I.C.	Arcilla	Limo (%)	Arena	Clasificación textural
		H <sub>2</sub> O	KCl													
1	(0-24)	5.19	5.60	0.056	1.80	0.09	3.24	0.32	1.17	0.72	0.10	4.15	13	22	65	Migajón Arenoso
2	(24-45)	4.31	3.85	0.034	0.77	0.06	0.14	0.10	0.78	0.74	0.05	5.18	35	12	53	Migajón Arcillo-arenoso
3	(45-92)	4.56	3.81	0.025	0.83	0.08	0.00	0.23	1.56	2.62	0.15	13.5	63	8	29	Arcilla
4	(92-145)	4.54	3.75	0.026	0.26	0.06	NSD	0.13	1.71	3.32	0.32	13.5	61	8	31	Arcilla

**Características**

Transición ondulada y marcada; seco; color de la matriz pardo oscuro (7.5YR3/2); motas marcadas, comunes y muy finas de color rojo amarillento (5YR5/8); textura franca; consistencia en seco blando, friable en húmedo, no pegajoso y no plástico en muy húmedo; estructura moderadamente desarrollada de forma poliédrica, sub-angular fina; cutanes por eluviación, zonales, moderadamente espesos, en poros de canales de raíces de minerales arcillosos de óxido de hierro; poros numerosos, muy finos, y finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados y tubulares; permeabilidad rápida; raíces, comunes, finas y delgadas; pH 5.

Transición ondulada y media; seco; color de la matriz pardo amarillento (10YR5/8); motas tenues, pocas, muy finas de color pardo oscuro (7.5YR5/8); textura migajón arcilloso; consistencia en seco blando, friable en húmedo, plástico y pegajoso en muy húmedo; estructura débilmente desarrollada de forma poliédrica, sub-angular muy finas y fina; pedregosidad, piedras menos del 1%, gravas redondas; cutanes por eluviación, discontinuos, moderadamente espesos, en poros de canales de raíces de minerales arcillosos de óxido de hierro; poros pocos, muy finos, y finos continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad rápida; raíces, comunes, finas y delgadas; pH 5.

Transición horizontal y tenue; ligeramente húmedo; color de la matriz gris parduzco claro (10YR6/2); motas prominentes, muchas, muy finas y finas de color rojo (2.5YR4/6); textura migajón arcillo limoso; consistencia duro en seco, friable en húmedo, ligeramente pegajoso y ligeramente plástico en muy húmedo; estructura fuertemente desarrollada de forma poliédrica, sub-angular, fina y muy fina; muy poca pedregosidad, gravas, piedras pequeñas y redondas; cutanes, planchado por presión, zonales, espesos, entre agregados y en poros de canales de raíces de minerales arcillosos; poros, pocos, muy finos y finos continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados y tubulares; permeabilidad moderada; raíces comunes, finas y delgadas; pH 5.

Horizonte ligeramente húmedo; color de la matriz gris parduzco claro (10YR6/2); motas prominentes, muchas, muy finas, finas y medias de color rojo (10YR4/8); textura arcilla limosa; consistencia firme en húmedo, pegajoso y plástico en muy húmedo; estructura fuertemente desarrollada de forma poliédrica, sub-angular, fina y muy fina; estratos endurecidos plintita moderadamente endurecidas continuas, aglomeradas; cutanes, planchado por presión, zonales, espesos, entre agregados y en poros de canales de raíces de minerales arcillosos; poros pocos, muy finos y finos, continuos, caóticos dentro y fuera de agregados y tubulares; permeabilidad lenta; raíces comunes finas y delgadas; pH 4.5.

**Tipo de suelo: Arenosol Ferrálico Rubico (Éutrico)**

Perfil: 39

Descrito por: Arnulfo Triano, Marco A. Raquel y Luis García

Fecha: 24 de julio de 2007

Localidad: Ranchería la Pita, Balancán Tabasco

Localización: UTM 667584-1966920

Elevación: 39 msnm

Relieve: Convexo

Pendiente: 1-3%

Drenaje del sitio: Donador

Drenaje del perfil: Bien drenado

Material parental: Terrazas aluviales del pleistoceno

Flora cultivada: Pasto remolón

Flora nativa: Tinto blanco



**Descripción del perfil de suelo**



**Características**

Profundidad en cm	Características
(0-22)	Transición horizontal y marcada; suelo seco; color de matriz, pardo muy oscuro (10YR2/2); textura arena migajosa, consistencia, blando, friable, no pegajoso no plástico en muy húmedo; estructura muy débilmente desarrollada de forma poliédrica, subangular muy finas; muy pocas piedras, gravas y redondas; poros frecuentes, muy finos, continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad rápida; raíces, abundantes y finas y dgdadas; pH 4.5.
(22-96)	Transición horizontal y media; suelo seco; color de matriz, pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4); motas marcadas, comunes, finas y medias, de color pardo oscuro (7.5YR3/4); textura arena migajosa; consistencia, suelto, friable en húmedo, no pegajoso y no plástico en muy húmedo; estructura muy débilmente desarrollada de forma poliédrica, subangular muy finas; ligeramente pedregoso, gravas y redondas; poros frecuentes muy finos, continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad rápida; raíces comunes finas y finas; pH 4.5.
(96-160)	Horizonte seco; color matriz amarillo (10YR7/6); textura, arenosa; estructura débilmente desarrollada de forma poliédrica, subangular, fina; consistencia, suelto, friable en húmedo, no pegajoso y no plástico en muy húmedo; sin estructura masiva; ligeramente pedregoso, gravas y piedras pequeñas y redondas; poros, numerosos, muy finos, continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad muy rápida; raíces comunes finas y finas; pH 5

Horizonte	Prof. (cm)	pH (H2O)	pH KCl	CE (ds m <sup>-1</sup> )	MO. (%)	N	P (mg Kg <sup>-1</sup> )	K	Ca	Mg cmol (+) Kg <sup>-1</sup>	Na	C.I.C.	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena	Clasificación textural
1	(0-22)	5.77	4.99	0.04	2.22	0.12	5.56	0.23	1.10	0.48	0.02	2.07	8	12	80	Arena migajoso
2	(22-96)	5.91	5.03	0.02	0.81	0.03	1.30	0.16	0.69	0.03	0.01	NSD	10	10	80	Arena migajoso
3	(96-160)	6.19	5.46	0.01	0.13	0.00	1.48	0.04	0.07	0.01	0.05	46.7	8	6	86	Arena migajoso

**Tipo de suelo: Ferralsol Háptico (Ródico Éutrico)**

Perfil: 13

Descrito por: Arnulfo Triano, Marco A. y Luis García

Fecha: 10 Julio de 2007

Localidad: Poblado el Arenal, Balancan, Tabasco

Localización: UTM 654908-1951338

Elevación: 33 msnm

Relieve: Convexo- cóncavo

Pendiente: 3 %

Drenaje del sitio: Donador

Drenaje del perfil: Bien drenado

Material parental: Terrazas aluviales del pleistoceno

Flora cultivada: Pasto brisanta

Observaciones: En el segundo Ho. se encontró una lengua del color del primer horizonte, indicativo de la eluviación del primer horizonte



**Descripción del perfil de suelo**

Profundidad en cm		Características												
	(0-15)	Transición horizontal y marcada; suelo seco; color pardo rojizo oscuro (5YR3/5); textura arena migajosa; estructura, débilmente desarrollada, poliédrica angular muy fina; consistencia, blando, friable, ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; cutanes, por eluviación, continuos, espesos confinados, en poros de canales de raíces de minerales arcillosos con óxido de hierro; poros numerosos, muy finos, continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad muy rápida; raíces abundantes finas y delgadas; pH 6.												
	(15-62)	Transición horizontal y tenue; seco; color rojo oscuro (2.5YR3/6); textura arenosa; piedras pequeñas menos del 1%, gravas angulares; estructura, muy débilmente desarrollada, poliédrica angular, muy fina; consistencia, blando, friable, no pegajoso y no plástico; poros, frecuentes muy finos y finos, continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad muy rápida; raíces, comunes, finas y delgadas; pH 6.5.												
	(62-106)	Transición horizontal y tenue; ligeramente húmedo; color rojo oscuro (10YR3/6); textura arena migajosa; estructura, débilmente desarrollada, poliédrica angular fina; consistencia, blando, friable, ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; poros, frecuentes, muy finos y finos, continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad rápida; raíces, comunes, finas y delgadas; pH 6.5.												
	(106-160)	Horizonte húmedo; color de la matriz rojo oscuro (10YR3/6); textura migajón arcillo arenoso; piedras pequeñas menos del 1%, gravas angulares; estructura moderadamente desarrollada poliédrica angular fina; cutanes planchados, por presión, discontinuos, moderadamente espesos, entre agregados de minerales arcillosos con óxido de hierro; poros frecuentes muy finos y finos, continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad rápida; raíces, comunes, finas y delgadas; pH 6.												



Ho.	Prof. (cm)	pH		CE (ds m <sup>-1</sup> )	MO. (%)	N	P (mg Kg <sup>-1</sup> )	K	Ca	Mg cmol (+) Kg <sup>-1</sup>	Na	C.I.C.	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena	Clasificación textural
		H <sub>2</sub> O	KCl													
1	(0-15)	5.33	4.67	0.048	3.37	0.15	2.82	0.20	1.8	0.71	0.03	2.59	15	17	68	Migajón arenoso
2	(15-62)	5.62	4.95	0.012	0.54	0.04	1.55	0.03	0.57	0.14	0.02	1.04	13	7	80	Migajón arenoso
3	(62-106)	5.58	5.07	0.013	0.34	0.01	1.13	0.05	1.0	0.16	0.03	1.56	25	5	70	Migajón arcillo arenoso
4	(106-160)	5.72	5.21	0.015	0.34	0.04	1.97	0.03	1.9	0.35	0.02	2.07	35	5	60	Migajón arcillo arenoso



**Tipo de suelo: Cambisol Flúvico (Esquelético Éutrico)**

Perfil: 3

Descrito por: Arnulfo Triano, Marcos A.y Luis G.

Fecha: 26 de junio de 2007

Localidad: Ejido Multe, Balancán, Tabasco

Localización: UTM 674702-1955674

Elevación: 30 msnm

Relieve: convexo-cóncavo

Pendiente: 3%

Drenaje del sitio: Donador

Drenaje del perfil: Imperfectamente drenado

Material parental: Terrazas aluviales del pleistoceno

Flora cultivada: Melina

Flora nativa: Tinto blanco



**Descripción del perfil de suelo**



**Características**

Profundidad en cm	Características
(0-33) (0-25)	Transición ondulada y marcada; en seco; color de matriz, pardo, en húmedo pardo, muy oscuro (10YR2/2); textura franca; ligeramente pedregoso, piedras pequeñas y sub-angulares; estructura débilmente desarrollada de forma poliédrica, sub-angular fina; consistencia, blando, friable, no plástica y no pegajoso en muy húmedo; poros, numerosos, muy finos y finos, continuos, caóticos fuera de los agregados y tubulares; permeabilidad moderada; raíces, comunes, finas y delgadas; pH 6.5.
(33-65) (25-64)	Transición horizontal y tenue; ligeramente seco; color de matriz, en seco,, pardo muy pálido (10YR7/3); en húmedo pardo (7.5YR5/4); motas amarillo rojizo (10YR6/8); son marcadas pocas, muy finas y finas; textura arenosa: muy pedregosos, piedras, pequeñas y sub-angulares; estructura débilmente desarrollada de forma poliédrica, sub-angular, fina; consistencia, blando, friable, no plástica y no pegajoso en muy húmedo; poros, numerosos, muy finos y finos, continuos, caóticos fuera de agregados y tubulares; permeabilidad rápida; raíces, comunes, finas y delgadas; pH 4.5;
(64-100)	Horizonte húmedo; color pardo claro (7.5YR6/4); motas, marcadas, comunes, finas y medias de color, amarillo rojizo (7.5YR6/5); textura arenosa; extremadamente pedregoso, gravas y piedras pequeñas, medias, sub-angulares y redondas; estructura masiva; consistencia, friable, no plástica y no pegajoso en muy húmedo; poros, frecuentes muy finos y finos, continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad rápida; raíces comunes, finas y delgadas; pH 5;

Ho.	Prof. (cm)	pH		CE (ds m <sup>-1</sup> )	MO. (%)	N	P (mg Kg <sup>-1</sup> )	K	Ca	Mg cmol (+) Kg <sup>-1</sup>	Na	C.I.C.	Arcilla	Limo (%)		Arena	Clasificación textural
		H <sub>2</sub> O	(KCl)														
1	(0-33) (80-25)	5.41	4.52	0.013	0.27	0.01	1.01	0.04	0.35	0.16	0.03	1.56	11	11	78	Migajon arenoso	
2	(33-65) (25-64)	5.47	4.79	0.023	1.08	0.12	3.19	0.24	2.64	0.53	0.01	4.67	15	13	72	Migajon arenoso	
3	(64-100)	5.37	4.52	0.010	0.13	0.01	1.01	0.02	0.12	0.06	NSD	NSD	11	7	82	Arena migajoso	

**Tipo de suelo: Lixisol Cutánico (Arcilloso Hiperéutrico Ferrico)**

Perfil: 16

Descrito por: Arnulfo Triano, Raquel Jiménez y Marco Antonio

Fecha: 1 de Julio del 2007

Localidad: Ejido Sacrificio, Balancán, Tabasco

Localización: UTM 659288-1958555

Elevación: 13 msnm

Relieve: plano

Pendiente: .5 %

Drenaje del sitio: Normal

Drenaje del perfil: Imperfectamente drenado

Material parental: Terrazas aluviales del pleistoceno

Flora cultivada: Pasto

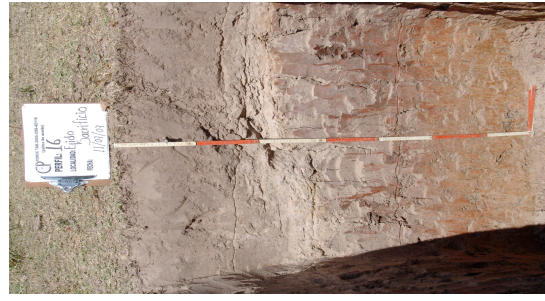
Flora nativa: Grama amarga

Observaciones: Grietas con profundidad hasta el tercer horizonte



**Descripción del perfil de suelo**

Profundidad en cm	Características									
	(0-35)	Transición horizontal y marcada; seco; color, pardo muy oscuro (10YR2/2); motas tenues, comunes y muy finas color pardo fuerte (7.5YR5/6); textura, migajón arcillo arenoso; consistencia en seco, blando, friable en húmedo, no pegajoso y ligeramente plástico en muy húmedo; pedregosidad, pocas, piedras, pequeñas y redondas; estructura, débilmente desarrollada, de forma poliédrica, sub-angular, fina; poros numerosos, muy finos y finos continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad rápida; raíces abundantes, finas y delgadas; pH 5.5.								
(35-57)	Transición horizontal y marcada; seco; color pardo (7.5YR5/4); motas tenues, pocas, muy finas y finas de color pardo fuerte (7.5YR5/8); textura arena migajosa; consistencia en seco blando, friable en húmedo, no pegajoso y no plástico en muy húmedo; pedregosidad pocas, piedras, pequeñas y angulares; estructura débilmente desarrollada de forma poliédrica sub-angular fina; poros numerosos, muy finos y finos, continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad rápida; raíces comunes y finas; pH 5.5.									
(57-88)	Transición horizontal y tenue; ligeramente húmedo; color pardo grisáceo oscuro (10YR4/2); motas prominentes, muchas muy finas, finas y medias de color rojo (2.5YR4/8); textura arcilla limosa; consistencia en seco muy duro, extremadamente firme en húmedo pegajoso y plástico en muy húmedo; estructura, fuertemente desarrollada, de forma poliédrica angular y sub-angular fina; poros pocos, muy finos y finos, continuos caóticos entre agregados y tubulares; cutanes por eluviación, discontinuos, moderadamente espesos en poros de canales arcillosos con óxido de hierro permeabilidad lenta; raíces comunes, finas y delgadas; pH 5.5.									
(88-142)	Horizonte húmedo; color pardo pálido (10YR6/3); motas prominentes, muchas, muy finas y finas, de color rojo (2.5YR4/8) y amarillo parduzco (10YR6/8); textura arcillo limoso; consistencia en seco, duro y firme; estructura, moderadamente desarrollada, poliédrica, angular y sub-angular fina; cutanes planchados por presión, discontinuos, moderadamente espesos en poros de canales arcillosos y óxido de hierro; nódulos pocos pequeños, negros, blandos, esferoides de manganeso; poros pocos, muy finos y finos, continuos caóticos, entre agregados y tubulares; permeabilidad lenta; raíces pocas y finas; pH 5									



Ho.	Prof. (cm)	pH		CE (ds m <sup>-1</sup> )	MO. (%)	N	P (mg Kg <sup>-1</sup> )	K	Ca	Mg cmol(+) Kg <sup>-1</sup>	Na	C.I.C.	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena	Clasificación textural
		H <sub>2</sub> O	KCl													
1	(0-35)	5.33	4.65	0.027	1.62	0.09	4.23	0.13	2.74	0.74	0.04	3.11	11	30	59	Migajón arenoso
2	(35-57)(35-40)	5.81	4.97	0.010	0.20	0.01	1.27	0.02	1.26	0.53	0.09	1.04	15	31	54	Migajón arenoso
3	(35-88)(57-88)	4.69	3.41	0.024	0.67	0.06	0.85	0.21	10.7	7.07	0.23	13.5	61	15	24	Arcilla
4	(88-142)	4.80	3.45	0.029	0.20	0.02	0.28	0.18	9.13	8.55	0.34	11.4	45	19	36	Arcilla

**Tipo de suelo: Vertisol Gléyico (Hiperéutrico)**

Perfil: 28

Descripción por: Arnulfo Triano, Marco A. y Luis García

Fecha: 18 de julio del 2007

Localidad: Rancho los caballos, Balancán, Tabasco

Localización: UTM 649629-1976991

Elevación: 20 msnm

Relieve: Plano

Pendiente: Normal a 0.5 %

Drenaje del sitio: Normal

Drenaje del perfil: Pobremente drenado

Material parental: Terrazas aluviales del pleistoceno

Flora cultivada: pasto

**Descripción del perfil de suelo**



**Características**

Profundidad en cm	Características
(0-10)	Transición horizontal marcada; seco; color pardo oscuro (10YR3/2); motas tenues, pocas y muy finas de color pardo amarillento oscuro (10YR4/6); textura franca; consistencia en seco blando, friable en húmedo, ligeramente pegajoso y ligeramente plástico en muy húmedo; estructura débilmente desarrollada, poliédrica, sub-angular muy fina; poros numerosos muy finos, continuos, caóticos, tubulares; permeabilidad rápida; raíces comunes, finas y delgadas; pH 5.
(10-46)	Transición horizontal y tenue; seco; de color pardo (10YR5/4); motas marcadas, comunes, muy finas y finas de color amarillo rojizo (7.5YR6/8); textura arcilla limosa; consistencia, muy duro en seco, muy firme en húmedo, ligeramente pegajoso y ligeramente plástico en muy húmedo; estructura fuertemente desarrollada poliédrica, sub-angular, muy fina; pedregosidad muy pocas, piedras, alrededor del 1% gravas y redondas; cutanes por eluviación, zonales, espesos, entre agregados de poros canales de raíces, con óxido de hierro; nódulos presentes, muy pequeños y pequeños, negros, esféroides de manganeso; poros frecuentes muy finos y finos continuos, caóticos, dentro de agregados y tubulares; permeabilidad moderada; raíces comunes, finas y delgadas, pH 5.
(46-75)	Transición horizontal y tenue; húmedo; color de la matriz pardo grisáceo (10YR5/2); motas prominentes muchas finas y muy finas color amarillo parduzco (10YR6/8); textura arcilla limosa; consistencia duro en seco, firme en húmedo, ligeramente pegajoso y ligeramente plástico en muy húmedo; estructura fuertemente desarrollada poliédrica, sub-angular, muy fina, cutanes planchado por presión, continuos, espesos, entre agregados y en poros de canales de raíces de óxido de hierro; nódulos, pocos muy pequeños y pequeños, negros esféroides de manganeso; poros, frecuentes muy finos y finos continuos, caóticos, dentro de agregados y tubulares; permeabilidad lenta; raíces comunes finas y delgadas; pH 5.5.
(75-104)	Transición horizontal y tenue; horizonte muy húmedo; color gris claro (10YR7/1); motas prominentes, muchas muy finas y medias de color amarillo (10YR7/8), textura arcilla media; consistencia friable, pegajosa y plástico; estructura, moderadamente desarrollada, de forma poliédrica angular fina; nódulos frecuentes, muy pequeños y pequeños, negros, esféroides de manganeso; poros, frecuentes muy finos y finos continuos, caótico y tubulares; permeabilidad lenta; raíces pocas y finas; pH 5.
(104-150)	Horizonte muy húmedo; color gris claro (10YR7/1), motas tenues pocas y finas gris rosáceo (7.5YR6/2) y amarillo rojizo (7.5YR7/8); textura arcilla limosa; consistencia friable en húmedo, ligeramente pegajoso y ligeramente plástico en muy húmedo; estructura, moderadamente desarrollada, de forma poliédrica angular fina; nódulos, frecuentes, muy pequeños y pequeños, negros, esféroides, de manganeso; poros, pocos, muy finos y finos continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad lenta; raíces raras y finas; pH 5.

Ho.	Prof. (cm)	pH (H2O)	pH KCl	CE (ds m <sup>-1</sup> )	MO <sub>d</sub> (%)	N (mg Kg <sup>-1</sup> )	P (mg Kg <sup>-1</sup> )	K	Ca	Mg	Na	C.I.C.	Arcilla	Limo (%)	Arena	Clasificación textural
1	(0-10)	4.45	3.89	0.056	1.80	0.09	13.66	0.17	1.89	1.15	0.13	6.22	21	34	45	Franco
2	(10-46)	5.44	4.70	0.063	0.71	0.08	0.70	0.12	11.2	5.26	0.39	18.7	51	22	27	Arcilla
3	(46-75)	5.97	4.96	0.056	0.13	0.05	NSD	0.17	21.0	9.87	0.60	31.1	69	16	15	Arcilla
4	(75-104)	6.23	5.13	0.037	0.13	0.03	NSD	0.20	25.0	11.0	0.52	34.2	73	16	11	Arcilla
5	(104-150)	6.45	5.11	0.030	0.00	0.02	0.00	0.24	26.6	11.8	0.48	35.2	57	36	7	Arcilla



**Tipo de suelo: Ferralsol Mólico (Ródico)**

Perfil: 5

Descrito por: Arnulfo Triano, Marco A. y Luis García

Fecha: 28 de junio de 2007

Localidad: Rancharía Guayacán, Tenosique, Tabasco

Localización: UTM 660039-1950294

Elevación: 76msnm

Relieve: Convexo

Pendiente: 6%

Drenaje del sitio: Donador

Drenaje del perfil: Bien drenado

Material parental: Terrazas del pleistoceno

Flora cultivada: Pasto

Flora nativa: Popales

Fauna: Ganado bovino

**Descripción del perfil de suelo**



Profundidad en cm		Características
(0-24)	(0-15)	Transición horizontal y marcada; húmedo; color, pardo rojizo oscuro (5YR3/2); textura, arena migajosa; pedregosidad, muy pocas piedras pequeñas y redondas; estructura, muy débilmente desarrollada, de forma poliédrica sub-angular, muy fina; consistencia, muy friable, no plástica y no pegajoso; poros, numerosos, muy finos y finos, caóticos y tubulares; permeabilidad rápida; raíces abundantes, finas y delgadas; fauna bmbrices; pH 5.
(24-48)		Transición horizontal y tenue; ligeramente húmedo; color rojo amarillento (5YR4/6); textura arenosa; pedregoso, gravas, piedras pequeñas y redondas; estructura, débilmente desarrollada, de forma poliédrica sub-angular, fina; consistencia, muy friable, no plástica y no pegajoso; poros, numerosos, muy finos y finos, continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad rápida; raíces comunes, finas y delgadas; pH 5.
(48-82)		Transición horizontal y media; ligeramente húmedo; color rojo (2.5Y4/6); textura, arcilla arenosa; pedregosidad, piedras dominantes mas del 75%, gravas y piedras pequeñas y redondas; estructura, débilmente desarrollada de forma poliédrica, sub-angular, fina; consistencia, muy friable, ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; poros, numerosos, muy finos y finos, continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad moderada; raíces comunes, fina y delgadas; pH 5
(82-130)		Horizonte húmedo; color rojo oscuro (2.5YR3/6); motas marcadas, pocas, muy finas y finas de color amarillo (2.5YR7/8); textura, arcilla arenosa; muy pedregoso, gravas, piedras pequeñas y redondas; estructura, moderadamente desarrollada, de forma poliédrica, sub-angular y fina; consistencia, muy friable, ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; poros, frecuentes muy finos y finos continuos, caóticos, dentro de los agregados y tubulares; permeabilidad moderada; raíces raras y finas; pH 5.5

Ho.	Prof. (cm)	pH		CE (ds m <sup>-1</sup> )	MO. (%)	N (mg Kg <sup>-1</sup> )	P (mg Kg <sup>-1</sup> )	K	Ca	Mg cmol(+) Kg <sup>-1</sup>	Na	C.I.C.	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena	Clasificación textural
		H <sub>2</sub> O	(KCl)													
1	(0-24)	5.46	4.81	0.029	3.23	0.15	1.45	0.13	2.80	0.71	0.03	5.18	11	13	76	Migajon arenoso
2	(0-15)	5.73	4.94	0.018	1.08	0.06	0.72	0.12	1.13	0.25	0.03	2.07	17	7	76	Migajon arenoso
3	(24-48)	5.32	4.54	0.013	1.01	0.06	NSD	0.12	2.04	0.31	0.02	3.63	33	5	62	Migajon arcillo arenoso
4	(48-82)	4.39	3.99	0.029	0.27	0.01	NSD	0.10	0.39	0.42	0.02	4.67	35	11	54	Arcillo arenoso

**Tipo de suelo: Regoso Háptico (Transportico Esquelético Arénico)**

Perfil: 36

Descrito por: Arnulfo Triano, Marco A. Raquel y Luis García

Fecha: 24 Julio de 2007

Localidad: Ranchería Sumina, Balancán, Tabasco

Localización: UTM 663264-1969100

Elevación: 17 msnm

Relieve: Cóncavo-convexo

Pendiente: 3%

Drenaje del sitio: Receptor

Drenaje del perfil: Bien drenado

Material parental: Terrazas aluviales del pleistoceno

Flora cultivada: Pasto

Flora nativa: Dormilona, grama, güiro, comizuelo y zarza



**Descripción del perfil de suelo**

Profundidad en cm	Características									
	(0-24) (0-17)	Transición horizontal y marcada; seco; color de la matriz pardo muy oscuro (10YR2/2); textura migajón arenoso; consistencia suelto, friable, no pegajoso y no plástica en muy húmedo; piedras menos del 1 %, gravas pequeñas y redondas; estructura muy débilmente desarrollada poliédrica angular media; poros frecuentes, muy finos y finos, continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad rápida; raíces comunes, finas y delgadas; pH 6.								
(24-50) (17-50)	Transición horizontal y media; seco; color de la matriz pardo rojizo (5YR5/3); textura arena migajosa; consistencia, blando, muy friable, no pegajoso y no plástica en muy húmedo; ligeramente pedregosos, gravas y piedras pequeñas, redondas; estructura muy débilmente desarrollada poliédrica angular muy fina; poros numerosos, muy finos y finos, continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad muy rápida; raíces comunes, finas y delgadas; pH 5.5.									
(50-71)	Transición horizontal y media; color de la matriz pardo amarillento (10YR5/4); textura arenosa; consistencia blando, friable, no pegajoso y no plástica; ligeramente pedregosos, gravas y piedras pequeñas, redondas; estructura muy débilmente desarrollada poliédrica angular muy fina; poros, numerosos, muy finos y finos, continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad muy rápida; raíces pocas y finas; pH 5.5.									
(71 - 90)	Horizonte ligeramente húmedo, piedras dominantes mas del 97 % gravas, piedras pequeñas y redondas									



Horizonte	Prof. (cm)	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	CE (ds m <sup>-1</sup> )	MO, (%)	N	P (mg Kg <sup>-1</sup> )	cmol (+) Kg <sup>-1</sup>				Clasificación textural				
								K	Ca	Mg	Na		C.I.C.	Arcilla	Limo	Arena
1	(0-24) (0-17)	4.72	4.42	0.03	4.38	0.2	3.89	0.06	0.84	0.14	0.001	2.07	10	12	78	Migajón arenoso
2	(24-50) (17-50)	4.89	4.71	0.01	0.74	0.03	1.67	0.02	0.06	0.01	NSD	NSD	10	6	84	Arena migajoso
3	(50-71)	4.73	4.69	0.02	0.20	0.02	2.41	0.03	0.06	0.01	NSD	34.2	12	4	84	Arena migajoso



**Tipo de suelo: Gleysol Hístico (Arcillo Éutrico)**

Perfil: 1

Fecha: 26 de junio de 2007

Descripción: Arnulfo Triano, Marco A. y Luis G.

Localidad: Ejido Multe, Balancan

Localización: UTM 672155-1953918

Elevación: 13 msnm

Relieve: Plano

Pendiente: 1 %

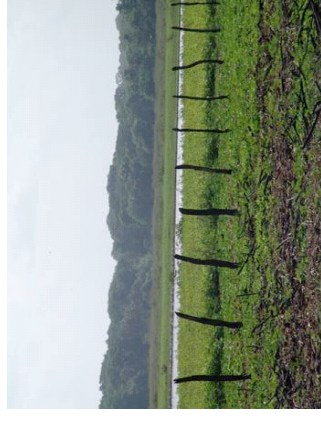
Drenaje superficial: Receptor

Drenaje del perfil: Pobremente drenado

Material parental: Aluvión activo del río Usumacinta

Flora nativa: Jacinto y zarza

Observaciones: Se encontró manto freático en 1.15m.: a 200 m hacia el Este se observaron cuerpos de agua (lagunas)



**Descripción del perfil de suelo**



**Características**

Profundidad (cm)	Características
(0-14)	Transición ondulada y media; en húmedo; color de la matriz, pardo muy oscuro (10YR2/2); textura orgánica; estructura masiva; poros, numerosos, muy finos y finos, continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad muy rápida; raíces abundantes, finas, delgadas y medias; fauna caracol; pH 5.5
(14-32)	Transición horizontal y media; muy húmedo; color gris oscuro (2.5YR4/0); con motas prominentes, muchas, muy finas y finas de color, rojo oscuro (10R3/6); textura arcilla fina; estructura fuertemente desarrollada, de forma poliédrica, subangular, media; consistencia muy friable, pegajoso y plástico en húmedo; cutanes planchados por presión continuos, espesos entre agregados, en poros de canales de raíces de minerales arcillosos, con óxido de hierro; poros frecuentes, muy finos y finos continuos, caóticos, fuera de agregados y tubulares; permeabilidad lenta raíces comunes, finas y delgadas; pH 6.
(32-76)	Transición horizontal y marcada; muy húmedo; color gris (5YR5/1); con motas, marcadas, comunes finas y medias de color amarillo parduzco (10YR6/6); textura arcilla media; estructura moderadamente desarrollada de forma poliédrica sub-angular fina; consistencia muy friable, pegajoso y plástico en húmedo; cutanes planchados por presión, discontinuos, espesos entre agregados, en canales de minerales arcillosos, con óxido de hierro; poros, frecuentes, muy finos y finos continuos, caóticos, fuera de agregados y tubulares; permeabilidad lenta; raíces comunes, finas y delgadas; pH 6.5.
(76-115)	Horizonte mojado; color pardo claro amarillento (10YR6/4); con motas tenuas, comunes, muy finas y medias de color gris muy oscuro (10Y6/3/1); textura arcilla limosa; estructura, moderadamente desarrollada de forma poliédrica sub-angular fina; consistencia muy friable, pegajoso y plástico en húmedo; poros frecuentes, muy finos y finos continuos, caóticos, fuera de agregados y tubulares; permeabilidad muy lenta; raíces raras y finas; pH 7.

Ho.	Prof. (cm)	pH		CE (ds m <sup>-1</sup> )	MO. (%)	N (mg)	P (mg)	K	Ca	Mg emol (+) Kg <sup>-1</sup>	Na	C.I.C.	Arcilla	Limo (%)	Arena	Clasificación textural
		H <sub>2</sub> O	KCl													
1	(0-14)	4.605 *	4.51	2.082	45.3	20.0	0.58	20.6	11.9	0.06	51.8	48	23	29	Arcilla	
2	(14-32)	5.44	4.94	0.354	3.50	1.16	0.26	28.3	16.0	0.36	39.4	77	17	6	Arcilla	
3	(32-76)	6.59	5.88	1.033	1.75	0.87	0.24	24.1	17.0	0.52	37.8	83	13	4	Arcilla	
4	(76-115)	7.51	6.77	0.478	0.88	0.58	0.65	26.4	11.8	0.53	33.7	81	15	4	Arcilla	

**Perfil: 40**

Descrito por: Arnulfo Triano, Marco A. Raquel y Luis García

Fecha: 25 julio de 2007.

Localidad: Ocuina y la loma, Balancán Tabasco

Localización: UTM 652261-1969538

Elevación: -1 msnm

Relieve: Plano

Pendiente: 5 %

Drenaje del sitio: Receptor

Drenaje del perfil: Pobremmente drenado

Material parental: Aluviones recientes del río Usumacinta

Flora nativa: zarza, verbena, malva, tinto, popal

Condiciones meteorológicas: Época de seca

Observaciones: Caras de deslizamiento en el horizonte 2 y 3



**Descripción del perfil de suelo**



Profundidad en cm		Características										
(0-43)	Transición horizontal y marcada; húmedo; color negro (7.5YR2/0); motas marcadas, comunes, muchas, muy finas y finas, color pardo fuerte (7.5YR4/6); textura arcilla limosa; consistencia friable, ligeramente pegajoso y ligeramente plástica en muy húmedo; estructura moderadamente desarrollada de forma poliédrica, subangular, muy fina y fina; cutanes por eluviación, zonales, moderadamente espesos, entre agregados de minerales arcillosos; poros, muy finos y finos, continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad lenta; raíces comunes, finas y delgadas; pH 5.5.											
(43-78)	Transición horizontal y media; muy húmedo; color pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2); motas marcadas, muchas, muy finas y finas de color pardo amarillo oscuro (10YR4/6); textura arcilla limosa; consistencia friable, ligeramente pegajoso y ligeramente plástica en muy húmedo; estructura moderadamente desarrollada de forma poliédrica, subangular, fina; cutanes por eluviación, zonales, moderadamente espesos, entre agregados de minerales arcillosos; poros, muy finos y finos, continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad lenta; raíces comunes, finas y delgadas; pH 5.											
(78-126)	Transición horizontal y marcada; muy húmedo; color gris muy oscuro (10YR3/1); textura arcilla media; consistencia friable, pegajoso y plástica en muy húmedo; estructura moderadamente desarrollada de forma poliédrica, subangular, fina; poros, muy finos y finos, continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad lenta; raíces marcadas y finas; pH 5.											
(126-150)	Horizonte muy húmedo; color pardo grisáceo oscuro (10YR4/2); motas, prominentes, muchas muy finas y finas color amarillo parduzco (10YR6/6); textura migajón arcillo limoso; consistencia friable, pegajoso y plástica en muy húmedo; estructura débilmente desarrollada, poliédrica, subangular, fina; poros, frecuentes, muy finos y finos, continuos, caóticos dentro y fuera de agregados y tubulares; permeabilidad moderada; raíces muy raras y finas; pH 5.											

Horizonte	Prof. (cm)	pH (H2O)	pH KCl	CE (ds m <sup>-1</sup> )	MO. (%)	N	P (mg Kg <sup>-1</sup> )	cmol(+) Kg <sup>-1</sup>					Clasificación textural			
								K	Ca	Mg	Na	C.I.C.		Arcill	Limo (%)	Arena
1	(0-43)	5.85	5.01	0.13	3.77	0.23	4.63	0.22	30.3	11.5	0.46	39.4	74	14	12	Arcilla
2	(43-78)	6.79	5.69	0.07	0.74	0.03	1.30	0.13	24.3	11.7	0.41	46.7	66	20	14	Arcilla
3	(78-126)	7.12	6.00	0.10	1.14	0.05	1.11	0.16	34.6	14.8	0.67	41.5	76	8	16	Arcilla
4	(126-150)	7.49	6.44	0.19	0.67	0.03	1.48	0.13	27.3	12.8	0.13	36.3	74	8	18	Arcilla

**Tipo de suelo: Vertisol Gleyico (Mesotrófico Férrico)**

Perfil: 32

Descripción por: Arnulfo Triano, Marco A. Raquel y Luis García

Fecha: 19 julio de 2007

Localidad: Nuevo mundo, Balancán, Tabasco

Localización: UTM 655583-1972358

Elevación: 19 msnm

Relieve: Cóncavo-convexo

Pendiente: 3 %

Drenaje del sitio: Receptor

Drenaje del perfil: Imperfectamente drenado

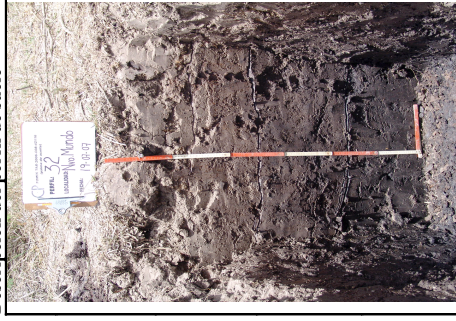
Material parental: Aluvión

Flora cultivada: Pasto cabezón

Flora nativa: Tazistal, junquillo y chintul



**Descripción del perfil de suelo**



Profundidad en cm		Características											
(0-29)	Transición horizontal y tenue; ligeramente húmedo; color de la matriz pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2); motas tenues, marcadas, comunes y muy finas de color rojo amarillento (5YR5/8); textura migajón arcillo limoso; consistencia duro, friable, pegajoso y ligeramente plástico en muy húmedo; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica sub-angular fina; poros frecuentes, muy finos y finos, continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad moderada; raíces comunes, finas y delgadas; pH 5.5.												
(29-53)	Transición horizontal y marcada; húmedo; color de la matriz pardo oscuro(7.5YR5/8); motas, marcadas, muy finas y finas de color rojo amarillento (5YR4/6); textura arcilla fina; consistencia blando, friable, pegajoso y plástica en muy húmedo; estructura moderadamente desarrollada de forma poliédrica sub-angular fina; cutanes planchados por presión, zonales, espesos, de canales de raíces de minerales arcillosos con óxido de hierro; poros frecuentes, muy finos y finos, continuos, caóticos dentro de agregados y tubulares; permeabilidad moderada; raíces pocas y finas; pH 5												
(53-89)	Transición horizontal y tenue; suelo húmedo; color gris muy oscuro (5YR3/1); motas, tenues, comunes; muy finas y finas de color (10YR4/6); textura arcilla media; consistencia friable, pegajosa y plástica en muy húmedo; estructura débilmente desarrollada de forma poliédrica angular fina; cutanes, planchados por presión, zonales, espesos, entre agregados de canales de raíces de minerales arcillosos con óxido de hierro; poros pocos, muy finos y finos, continuos, caóticos dentro de agregados y tubulares; permeabilidad lenta; raíces pocas y finas; pH 5												
(89-125)	Horizonte muy húmedo; color gris muy oscuro (7.5YR3/0); motas tenues comunes y muy finas de color pardo fuerte (7.5YR5/8); textura arcilla fina; consistencia friable, pegajosa y plástica en muy húmedo; estructura débilmente desarrollada de forma poliédrica angular fina; cutanes por eluvación, continuos, espesos, de canales de raíces de minerales arcillosos con óxido de hierro; poros pocos, muy finos y finos, continuos, caóticos dentro de agregados y tubulares; permeabilidad lenta; raíces raras y finas pH 5.												

Horizonte	Prof. (cm)	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	CE (ds m <sup>-1</sup> )	MO. (%)	N	P (mg Kg <sup>-1</sup> )	K	cmol (+) Kg <sup>-1</sup>				Arcilla (%)	Limo (%)	Arena	Clasificación textural
									Ca	Mg	Na	C.I.C.				
1	(0-29)	4.42	3.73	0.055	3.59	0.18	3.66	0.10	3.60	1.32	0.28	15.6	71	20	9	Arcilla
2	(29-53)	4.34	3.52	0.047	1.28	0.12	0.42	0.05	3.53	1.12	0.33	17.6	83	10	7	Arcilla
3	(53-89)	4.35	3.49	0.047	1.15	0.12	0.56	0.06	4.19	1.22	0.38	19.7	85	6	9	Arcilla
4	(89-125)	4.19	3.507	0.042	3.53	0.15	0.85	0.06	3.48	1.07	0.34	19.7	77	8	15	Arcilla



**Tipo de suelo: Vertisol Stagnico (Hiperentrico Húmido)**

Perfil: 41

Descrito por: Amulfo Triano, Marco A. Raquel y Luis García

Fecha: 25 julio de 2007

Localidad: Pucvucub, Balancán Tabasco

Localización: UTM 645727-1962703

Elevación: 9 msnm

Relieve: Plano

Drenaje del sitio: Receptor

Drenaje del perfil: Pobremente drenado

Material parental: Aluvión reciente del río Usumacinta

Observaciones: caras de deslizamiento en el horizonte 3 y 4

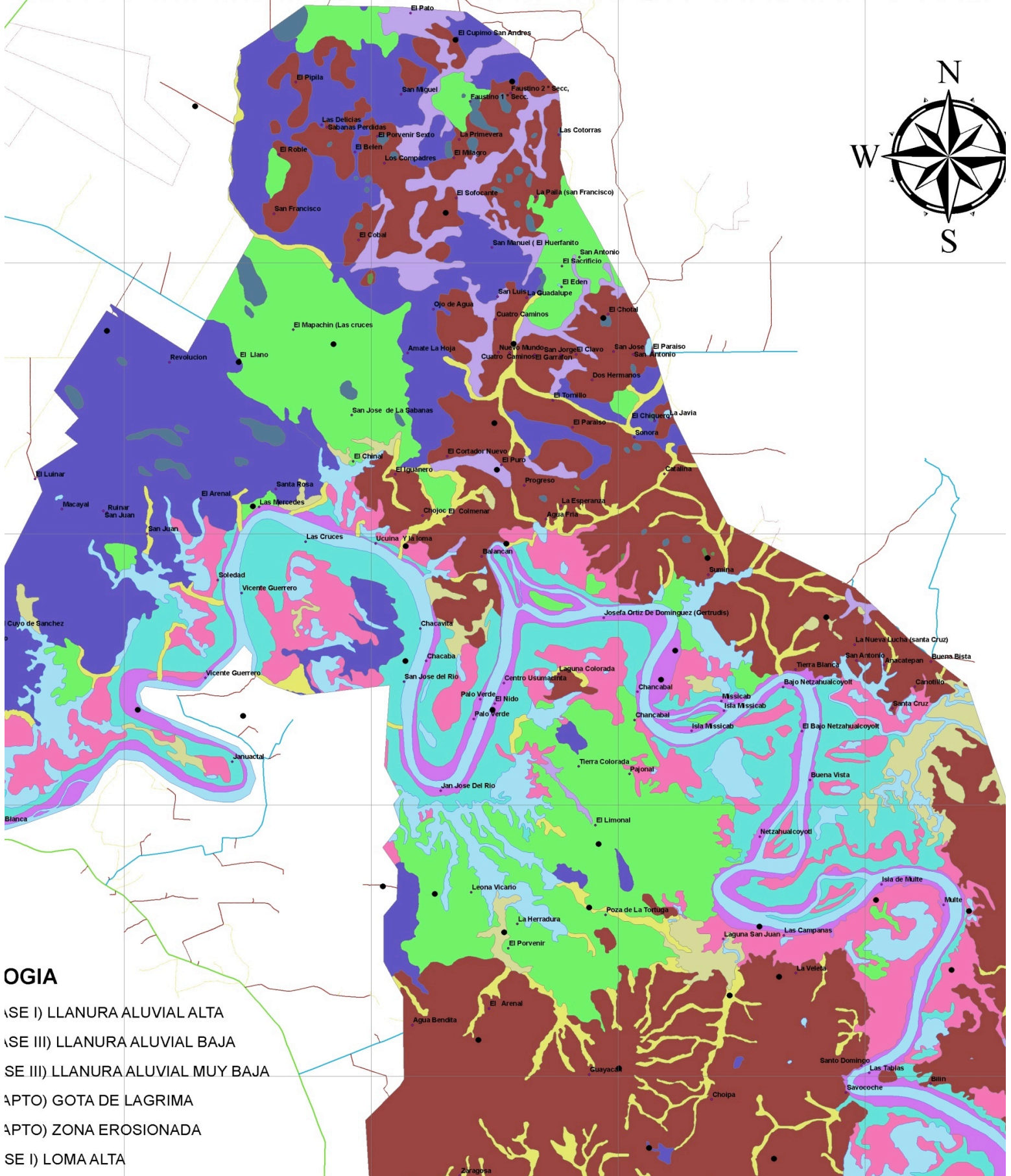
**Descripción del perfil de suelo**



Profundidad en cm		Características										
(0-26)	Transición horizontal y tenue; húmedo; color gris muy oscuro (10YR3/1); motas, marcadas, comunes, muchas, muy finas y finas, color rojo amarillento (5YR5/8); textura arcilla limosa; consistencia friable, ligeramente pegajoso y ligeramente plástica en muy húmedo; estructura moderadamente desarrollada de forma poliédrica, subangular, fina; cutanes por eluviación, zonales, moderadamente espesos, en poros de canales de raíces de minerales arcillosos con óxido de hierro; poros, pocos; muy finos y finos, continuos, caóticos dentro y fuera de agregados y tubulares; permeabilidad lenta; raíces comunes, finas, delgadas y medias; pH 5.5.											
(26-62)	Transición horizontal y tenue; húmedo; color pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2); motas marcadas, comunes, finas y medias de color pardo amarillento (10YR5/8); textura arcilla media; consistencia friable, pegajoso y plástica en muy húmedo; estructura débilmente desarrollada, poliédrica, subangular, fina; poros, pocos; muy finos y finos, continuos, caóticos dentro y tubulares; permeabilidad lenta; raíces comunes, finas y delgadas; pH 6.											
(62-114)	Transición horizontal y media; húmedo; pardo oscuro (10YR3/3); motas, tenues, pocas y muchas muy finas de color pardo amarillento (10YR5/8); textura migajón arcillo limoso; consistencia firme, pegajoso y plástica en muy húmedo; estructura moderadamente desarrollada de forma poliédrica, subangular, fina y media; cutanes planchados por presión, continuos, espesos entre agregados de minerales arcillosos con óxido de hierro; nódulos, pocos, muy pequeños y pequeños, negros esferoides blancos de manganeso; moderada reacción al HCl; poros frecuentes muy finos y finos continuos, caóticos dentro y fuera de agregados y tubulares; permeabilidad moderada; raíces comunes y finas; pH 6.											
(114-145)	Horizonte húmedo; color pardo oscuro (10YR3/3); motas, tenues, comunes muy finas y finas de color pardo amarillento oscuro (10YR4/6); textura migajón arcillo; consistencia firme, plástica y ligeramente pegajoso en muy húmedo; estructura moderadamente desarrollada de forma poliédrica, subangular, fina y media; nódulos, pocos, muy pequeños y pequeños, negros esferoides blancos de manganeso; fuerte reacción al HCl; poros frecuentes muy finos y finos continuos, caóticos dentro y fuera de agregados y tubulares; permeabilidad moderada; raíces raras y finas pH 6.											

Horizonte	Prof. (cm)	p H (H2O)	p H KCl	CE (ds m <sup>-1</sup> )	MO. (%)	N	P (mg Kg <sup>-1</sup> )	emol (+) Kg <sup>-1</sup>				C.I.C.	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Clasificación textural
								K	Ca	Mg	Na					
1	(0-26)	5.43	4.70	0.15	5.12	0.29	12.41	0.49	23.1	9.87	0.14	38.4	70	18	12	Arcilla
2	(26-62)	6.42	5.27	0.07	1.95	0.12	3.52	0.25	24.7	12.2	0.19	33.2	76	20	4	Arcilla
3	(62-114)	6.64	5.50	0.12	0.81	0.05	1.48	0.18	22.8	11.7	0.28	27.0	70	22	8	Arcilla
4	(114-145)	7.72	6.91	0.20	0.67	0.05	1.30	0.17	30.3	9.05	0.29	60.1	54	16	30	Arcilla

# MAPA DE TIERRAS CON APTITUD PARA EL RIEGO



## LEGENDA

- SE I) LLANURA ALUVIAL ALTA
- SE III) LLANURA ALUVIAL BAJA
- SE III) LLANURA ALUVIAL MUY BAJA
- APTO) GOTA DE LAGRIMA
- APTO) ZONA EROSIONADA
- SE I) LOMA ALTA